

DOI 10.15593/2409-5125/2018.02.05

УДК 676.16

Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, С.А. Шевелева, Р.Р. Хакимов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВОК С ПОЛУЧЕНИЕМ ПОЛУФАБРИКАТА ДЛЯ КАРТОНА

Работа направлена на решение актуальной проблемы рационального природопользования – повышение комплексности использования древесного сырья путем утилизации отходов лесозаготовок, которые в настоящее время остаются на лесосеках, представляя пожарную и экологическую опасность.

Исследована возможность утилизации отходов лесозаготовок древесины березы (ветвей и вершинок) с получением волокнистого полуфабриката для использования в композиции тарного картона. Основная проблема решения этого вопроса – получение и подготовка технологической щепы из этих отходов. Решение проблемы получения щепы на лесосеках и транспортировки ее на целлюлозно-бумажные предприятия за рубежом вопросов не вызывает. Однако требует решения проблема окорки щепы из лесосечных отходов. В этом направлении выполнена определенная работа в ПНИПУ по облагораживанию (окорке) щепы с применением гидротермической и гидромеханической обработок. Получены положительные результаты. При этом выход окоренной щепы составил в среднем 75 %.

В работе показано, что окоренная березовая щепка из отходов лесозаготовок может быть с успехом использована для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы. Приведены результаты исследования в лабораторных условиях по технологии и условиям, максимально приближенным к производственным – по технологии получения полуцеллюлозы из березовой традиционной щепы на предприятии «Пермский картон». Наиболее высокие результаты по механическим свойствам полуцеллюлозы получены в случае проведения гидротермической обработки в слабощелочной среде с добавкой небольших количеств сульфита и карбоната натрия: при 30–33 °ШР разрывная длина 6800–7500 м; сопротивление продавливанию 325–375 кПа, излому 240–335 ч.д.п.

Таким образом, нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза из отходов лесозаготовок березовой древесины может быть с успехом использована в композиции тарного картона.

Ключевые слова: лесозаготовки, береза, отходы, щепка, окорка щепы, варка, полуцеллюлоза, качество, механические показатели.

Одним из современных требований рационального природопользования и охраны окружающей среды является комплексное использование древесного сырья, один из путей решения которого – активизация работы

Утилизация отходов лесозаготовок с получением полуфабриката для картона / Ф.Х. Хакимова, О.А. Носкова, С.А. Шевелева, Р.Р. Хакимов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 2. – С. 60–73. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.05

Khakimova F., Noskova O., Sheveleva S., Khakimov R. Recycling of logging waste to produce semi-finished material for cardboard. PNRPU. Applied ecology. Urban development. 2018. No. 2. Pp. 60-73. DOI: 10.15593/2409-5125/2018.02.05

лесоперерабатывающих отраслей в направлении ресурсосбережения путем максимальной утилизации отходов лесозаготовок [1–3].

Предприятиями лесопромышленного комплекса в основном используется стволовая древесина, которая составляет 60–65 % всей биомассы дерева. Остальная часть – ветви, вершины, пни и корни – являются отходами лесозаготовок и остаются на лесосеках, представляя пожарную и экологическую опасность [4]. Основная доля этих отходов не находит применения. Между тем лесосечные отходы (ветви, вершины) можно перерабатывать в технологическую щепу для целлюлозно-бумажного производства [5, 6].

Сбор и переработка лесозаготовительных отходов позволяют увеличить съем массы полезной древесины с единицы площади леса и сохранить от рубок значительные лесные массивы. Все это, кроме экономической, значительно улучшает экологическую составляющую лесной отрасли: ликвидирует захламленность лесных массивов, снижает возможность возникновения очагов лесных вредителей [7, 8].

За рубежом в последние десятилетия уделяется пристальное внимание проблеме утилизации древесных отходов и увеличению использования ресурсов биомассы древесины, что, естественно, связано с ростом потребности в лесопродукции, а также дефицитом и высокой стоимостью первичного сырья в виде стволовой древесины [9].

Исследования в этой области ведутся не один десяток лет, однако проблема рационального использования древесных отходов сохраняет свою актуальность [10, 11].

В целом общие тенденции использования отходов лесозаготовок характеризуются топливно-энергетической направленностью. В России на площадях с естественным лесовозобновлением порубочные остатки чаще сгнивают, а при искусственном лесонасаждении при необходимости очистки использованной лесосеки их приходится собирать и сжигать. Сжигание – дорогостоящий способ ликвидации отходов. Кроме того, этот способ небезопасен в пожарном отношении и вреден с точки зрения охраны окружающей среды [12].

Известно, что качество древесины вершин идентично качеству стволовой древесины, поэтому они могут быть использованы для получения высококачественной бумаги [13]. Результаты работ кафедры ТЦБП ПНИПУ показали возможность получения волокнистого полуфабриката хорошего качества для производства картона [5, 14].

По данным литературы [12], источниками для получения дополнительного волокна в целлюлозно-бумажном производстве являются те компоненты дерева, которые в настоящее время не используются: вер-

хушки, ветви, пни и корни. Дефицит волокнистого сырья может быть с избытком покрыт даже за счет верхушек, ветвей, т.е. при использовании только наземной части дерева.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что одним из возможных направлений переработки лесосечных отходов в виде ветвей и вершинок является производство полуцеллюлозы – волокнистого полуфабриката, получаемого слабой кратковременной химической и термической обработкой древесной щепы с последующим механическим разделением на волокна.

Цель данной работы – исследование возможности и целесообразности переработки отходов заготовки древесины березы (ветвей и вершинок) с получением нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, пригодной для изготовления бумаги и картона.

Наиболее целесообразным и эффективным способом переработки березовой древесины с получением волокнистого полуфабриката является нейтрально-сульфитный. Этот способ принят нами для переработки отходов лесозаготовок березовой древесины.

Пермский край является одним из крупных регионов-производителей тарного картона. В связи с этим представляет интерес изучение возможности использования отходов лесозаготовок березовой древесины для получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, пригодной для использования в композиции тарного картона.

Основная трудность решения проблемы – изготовление щепы из отходов лесозаготовок и ее окорка.

На предприятиях ЦБП используют главным образом стволую древесину. Приготовление щепы из отходов лесозаготовок связано с рядом трудностей, но они легко преодолимы. На зарубежных предприятиях выпускают компактные комплексы по приготовлению щепы из отходов лесозаготовок прямо на лесосеках. В нашей стране решению данной проблемы внимание уделяется недостаточно. Создана, например в ЦНИИМЭ, система машин для производства щепы на лесосеках, но в практику это внедряется слабо. Решением этого вопроса в лабораторных условиях в определенной мере занимается кафедра ТЦБП ПНИПУ.

Для исследований использована неокоренная щепка из ветвей и вершинок древесины березы – отходов лесозаготовок.

По данным литературы [12], относительный объем частей дерева березы от объема всего дерева: ствол – 100 %, верхушка – 10 %, ветви – 20 %, пневно-корневая система – 20 %.

Таким образом, практически неиспользуемые в настоящее время только наземные части дерева представляют собой солидную часть объема древесины [15].

Характеристика отсортированных образцов щепы из неокоренных ветвей и вершинок березы:

Компонентный состав, %:

древесина	86,6
корка свободная	8,1
корка связанная	5,3

Фракционный состав (остаток на сите с диаметром отверстий, мм), %:

30.....	2,2
20.....	40,6
10.....	49,4
5.....	7,5
поддон	0,3

Щепа из ветвей березы довольно однородна по размерам, отличается невысоким содержанием мелкой фракции; большая часть корки находится в нем в свободном состоянии (т.е. эта корка легко может быть отделена при окорке щепы) и щепа отличается весьма высоким содержанием в ней древесины (86,6 %).

Химический состав различных частей дерева березы приведен в табл. 1 [16–18].

По данным табл. 1 видно, что древесина ветвей содержит больше лигнина, пентозанов, экстрактивных веществ, золы и меньше целлюлозы, чем древесина ствола, что, следовательно, будет сказываться на свойствах полуцеллюлозы.

Таблица 1

Химический состав различных частей дерева березы,
% от массы абс. сухой древесины

Часть дерева	Лигнин	Целлюлоза по Кюршнеру	Пентозаны	Экстрактивные вещества	Зола
Ствол	20,6	45,1	25,5	1,40	0,25
Ветви	22,1	39,2	27,1	2,47	0,37
Корни	26,4	40,2	23,1	2,52	0,59
Кора	37,9	25,2	25,9	2,60	2,30
Целое дерево	23,7	41,7	22,4	1,82	0,54

Примечание: химический состав вершинок дерева практически соответствует составу ствола.

В исследованиях мы стремились использовать в лабораторных условиях технологию и условия, максимально приближенные к производственным. Поскольку в Пермском крае тарный картон производится на предприятии «Пермский картон», за основу технологии получения полуцеллюлозы принята технологическая схема этого предприятия с добавкой нового узла – подготовки щепы из отходов лесозаготовок. При этом основное внимание было уделено поиску эффективного способа окорки щепы из отходов лесозаготовок. Одним из таких способов окорки щепы может быть гидротермическая обработка с дальнейшим гидромеханическим разделением коры и древесины [7, 19].

Таким образом, исследованная и предлагаемая технология получения нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из ветвей и вершинок березы включает:

- 1) подготовку щепы – облагораживание (окорку);
- 2) получение полуцеллюлозы по технологии предприятия «Пермский картон».

Первый этап работы – исследование возможности облагораживания (окорки) неокоренной щепы из ветвей и вершинок березы.

Облагораживанию подвергается неокоренная щепка, полученная на лесосеках с помощью компактных комплексов и поставляемая транспортом на предприятие.

Облагораживание (окорка) щепы включает следующие операции:

- гидротермическая обработка щепы (ГТО) в автоклаве для ослабления адгезии коры к древесине при температуре 140 °С и гидромодуле 5:1 в течение 90 мин (условия ГТО приняты по результатам предварительных исследований) [13];
- гидромеханическая обработка (ГМО) в дезинтеграторе для отслоения коры от древесины;
- разделение древесины и коры сортированием через сито с отверстиями диаметром 10 мм.

Результаты окорки щепы из ветвей и вершинок березы (табл. 2) показали, что при ГТО в предгидролизат переходит 12,5–13,6 % водорастворимых и легкогидролизуемых компонентов исходной древесины. При последующем сортировании от щепы струей воды легко удаляются свободные корка и луб и мелкие фракции щепы (11,5–13,5). Часть коры остается на сите с древесиной в виде «связанной» коры. Древесина с этой частью коры направляется далее на варку.

Таблица 2

Результаты окорки (облагораживания) щепы из лесосечных
березовых отходов (после ГТО, ГМО и сортирования)

Показатель	Значение показателя	Среднее значение
Остаток на сите № 10, %:		
щепы свободная (без коры)	66,9–61,3	64,1
щепы со связанной корой	9,8–13,2	11,5
в том числе связанной коры	5,6–6,8	6,2
Отделено при сортировании свободной коры и мелкой древесины (отходы), %	13,5–11,5	12,2
Перешло в гидролизат компонентов древесины, %	12,5–13,6	13,1

Примечание: в таблице приведены результаты семи параллельных опытов по окорке щепы из древесных отходов.

Общие потери компонентов щепы в процессе окорки (древесины+коры) составляют в среднем 25 %. В результате выход окоренной щепы, содержащей 3,2–4,2 % связанной коры, составил в среднем 75 % (приведенные данные по результатам окорки получены как средние из семи параллельных опытов).

Второй этап работы – получение полуфабриката из облагороженной березовой щепы. Технология получения полуцеллюлозы в лабораторных условиях состояла из следующих стадий в соответствии с технологией производства полуцеллюлозы на предприятии «Пермский картон»:

- пропарка, пропитка и варка щепы;
- размол, промывка и сортирование полуцеллюлозы;
- готовый полуфабрикат – полуцеллюлоза.

Из схемы видно, что технологический процесс производства полуцеллюлозы остается как на «Пермском картоне», т.е. изменений не претерпевает.

Пропарку, пропитку и варку щепы проводили в автоклаве вместимостью 2 л с электрообогревом.

Операции процесса получения полуцеллюлозы:

1) пропарка паром с температурой 140–150 °С; температура щепы в автоклаве ~ 105 °С, продолжительность 3 мин;

2) пропитка и варка: заливка пропаренной щепы в автоклаве варочным раствором с температурой 70 °С; повышение температуры в автоклаве до 175 °С в течение 40–45 мин; варка при 175 °С и давлении 0,8–1,0 МПа в течение 50–100 мин при гидромодуле 4:1;

3) горячий размол сваренной полуцеллюлозы в центробежном размалывающем аппарате ЦРА;

4) промывка и сортирование полуцеллюлозы струей водопроводной воды на установке из набора сит.

Для варки полуцеллюлозы использован промышленный варочный раствор предприятия «Пермский картон» состава $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{CO}_3$. Расход реагентов на варку (в единицах Na_2O) составил: $\text{Na}_2\text{SO}_3 - 6 \%$, $\text{Na}_2\text{CO}_3 - 1,5 \%$ от абс. сухой древесины.

Условия получения и свойства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из ветвей и вершинок березы представлены в табл. 3. В таблице приведены наиболее важные показатели полуцеллюлозы, определенные по стандартным методикам анализа: массовые доли экстрактивных веществ (смола и жиры) – по ГОСТ 6841, лигнина – по ГОСТ 11960, пентозанов – по ГОСТ 10820.

В целом исследования показали, что из щепы веток *без окорки* получать полуцеллюлозу нецелесообразно вследствие ее сильной засоренности. По приведенным в табл. 3 показателям эти образцы (образцы 1–6) отличаются от образцов, полученных из окоренной щепы (образцы 7–12), значительно более высоким выходом и повышенным содержанием в полуцеллюлозе смол и жиров, что может стать причиной смоляных затруднений на производстве.

Полуцеллюлоза из щепы, окоренной предлагаемым нами способом, получается довольно высокого выхода. Отличительной особенностью полученных образцов полуцеллюлозы является высокая массовая доля в них пентозанов, т.е. высокая степень сохранения пентозанов в процессе варки полуцеллюлозы, что говорит о мягких условиях химической обработки щепы в процессе получения полуцеллюлозы. Этот результат положительно сказывается на процессе получения бумаги и картона, так как пентозаны способствуют легкому размолу полуцеллюлозы и получению повышенных показателей ее механической прочности.

В табл. 4 представлены механические показатели нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, полученной из щепы ветвей и вершинок березы (определены по методикам, изложенным в источнике [20]). Из данных таблицы следует, что полуцеллюлоза, полученная из окоренной предлагаемым нами способом щепы, имеет повышенные показатели разрывной длины, но пониженные показатели сопротивления продавливанию и излому (образцы 7–9). Для увеличения этих механических показателей нами предлагается добавление небольшого количества щелочных химикатов на стадии гидротермической обработки, т.е. при окорке щепы (образцы 10–12) с целью ослабления адгезии коры к древесине при возможно меньшем растворении компонентов древесины. В качестве щелочных реагентов использовали Na_2CO_3 и Na_3PO_4 в соотношении 1:1 с расходом по 0,5 % от абс. сухой древесины.

Таблица 3
Условия получения и свойства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы из ветвей и вершинок березы

Номер образца	Окорка	Регулир. рН при окорке	Продолж. варки, час-мин	Выход полуцеллюлозы, %		Массовая доля в полуцеллюлозе, %		
				от исходной древесины без окорки	от древесины после окорки	экстрактивных веществ	лигнина	пентозанов
1-3	-	-	1-25	55,6	-	1,90	-	-
			
			1-40	60,5	-	1,87	-	-
4-6	-	-	1-10	70,5	-	2,01	20,0	22,7
			
			0-50	68,1	-	2,10	21,0	21,4
7	+	-	1-45	52,5	68,0	1,65	19,0	21,9
8	+	-	1-10	54,8	70,0	1,75	18,3	20,9
9	+	-	1-05	57,0	73,0	1,50	18,5	22,5
10	+	+	1-25	56,9	67,3	1,79	17,3	21,6
11	+	+	1-10	57,5	69,4	1,66	16,9	22,0
12	+	+	1-05	62,3	70,5	1,65	17,1	23,0

Полуцеллюлоза, полученная из щепы березовых отходов после окорки гидротермической обработкой в слабощелочной среде, имеет высокие показатели выхода ($\approx 70\%$) и механической прочности – разрывной длины, сопротивления продавливанию и излому (табл. 4).

Таблица 4

Механические показатели нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, полученной из щепы ветвей и вершинок березы

Номер образца	Удаление коры (окорка)	Регулирование pH при окорке	Степень помола ПЦ (после размола), °ШР	Механические свойства полуцеллюлозы		
				разрывная длина, м	продавливание, кПа	излому, ч.д.п.
1–3	–	–	30	4150–4770	163–193	9
4–6	–	–	38–32	4590–5140	194–219	11–27
7	+	–	30	5040	194	22
8	+	–	32	5690	200	23
9	+	–	32	5850	202	29
10	+	+	33	7530	375	336
11	+	+	30	7330	359	219
12	+	+	30	6790	325	241

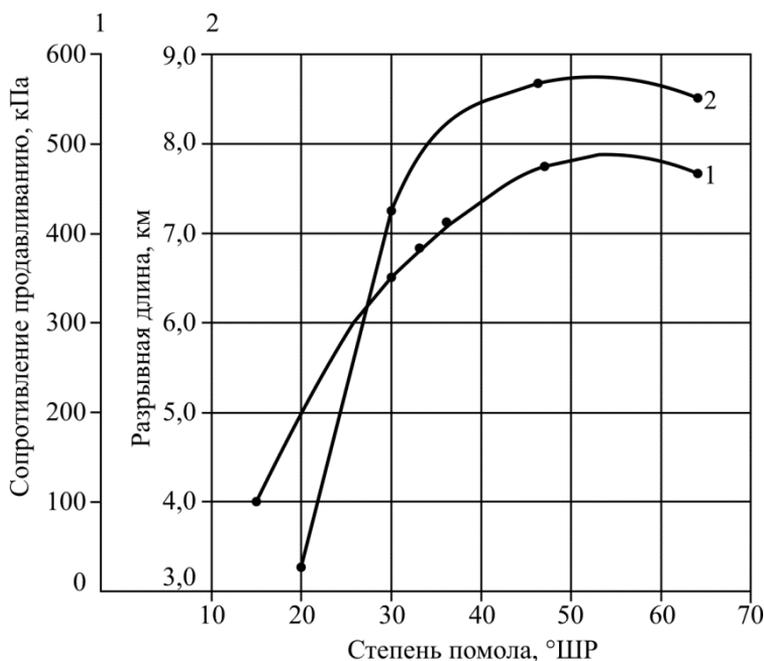


Рис. Изменение механических свойств нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы в процессе размола

На рисунке показана еще одна особенность нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы, полученной по предлагаемой технологии – легкая ее размалываемость. Уже при степени помола 30–33 °ШР достигаются высокие механические показатели, близкие к максимальным.

Таким образом, из отходов лесозаготовок березовой древесины (ветвей и вершинок) после окорки (облагораживания) гидротермическим способом может быть получена нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза с показателями качества, соответствующими нормам технологического регламента производства нейтрально-сульфитной целлюлозы высокого выхода (в случае окорки щепы в слабощелочной среде). В случае окорки щепы в водной среде (ГТО) полученную полуцеллюлозу рекомендуется использовать в композиции картона в смеси с нейтрально-сульфитной полуцеллюлозой, получаемой из кондиционной древесины. При этом образующиеся при окорке щепы промывные воды, содержащие только кору, луб, танниды и некоторые растворимые в воде компоненты древесины, могут быть отправлены на биологическую очистку на внеплощадочные очистные сооружения совместно с промывными водами от доокорочно-промывных барабанов.

Заключение:

1. Утилизацию отходов лесозаготовок (веток, вершинок) древесины березы рекомендуется проводить заготовкой из них технологической щепы на лесосеках, подготовкой щепы (окоркой) на предприятии, получением по существующей технологии нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы и использованием ее в композиции тарного картона.

2. Предлагается облагораживание (окорка) щепы гидротермической обработкой для снижения адгезии коры к древесине с последующим гидромеханическим разделением древесины и коры с одновременным отделением мелкой фракции.

3. Из окоренной предлагаемым способом щепы получается по существующей технологии нейтрально-сульфитная полуцеллюлоза с выходом $\approx 70\%$ и показателями качества, близкими к показателям полуцеллюлозы из кондиционной древесины.

4. С целью получения полуцеллюлозы высокой прочности целесообразно гидротермическую обработку щепы при окорке проводить в слабощелочной среде с добавкой небольшого количества сульфита и карбоната натрия.

5. Исследования по получению нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы проведены по технологии и условиям предприятия «Пермский картон», вырабатывающего полуцеллюлозу на установке «Дефибратор»; тех-

нология включает в себя процессы пропарки, пропитки и варки щепы; размола, промывки и сортирования полученной полуцеллюлозы.

6. Разработка предлагается предприятию «Пермский картон», так как существующая технология производства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы на предприятии сохраняется полностью; добавляется лишь подготовка щепы с получением ее на собственных лесосеках.

Библиографический список

1. Андреев А.А. Ресурсосбережение и использование отходов заготовки и переработки древесного сырья // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты.* – 2014. – № 10. – С. 148–155.
2. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность: учеб. пособие / Н.И. Альберг [и др.]. – М.: Изд. дом Академии естествознания, 2016. – 308 с.
3. Estimation of Energy Wood Potential in Europe / T. Karjalainen, A. Asikainen, J. Ilavsky, R. Zamboni, K.-E. Hotari, D. Röser. – Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, Vantaa, Finland, 2004. – 43 p.
4. Gerasimov Y., Seliverstov A., Syunev V. Industrial round-wood damage and operational efficiency losses associated with the maintenance of a single-grip harvester head model: a case study in Russia // *Forests.* – 2012. – Vol. 3, no. 4. – P. 864–880.
5. Гелес И.С. Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 499 с.
6. Полянин И.А., Макаров В.Е. Изготовление технологической щепы из некондиционной и пневой древесины с последующей ее переработкой // *Современные наукоемкие технологии.* – 2016. – № 10. – С. 292–297.
7. Михайлов К.Л., Гушин В.А., Тараканов А.М. Организация сбора и переработки лесосечных отходов и дров на лесосеке // *Лесной журнал.* – 2016. – № 6. – С. 98–109.
8. Современные направления переработки лесных ресурсов / Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова [и др.] // *Вестник технологического университета.* – 2015. – Т. 18, № 21. – С. 90–93.
9. Васильева Т.В. Обзор сложившихся тенденций использования древесных отходов за рубежом // *Лесной вестник.* – 2002. – № 4. – С. 71–73.
10. Мохирев А.П., Безруких Ю.А., Медведев С.О. Переработка древесных отходов предприятий лесопромышленного комплекса как фактор устойчивого природопользования [Электронный ресурс] // *Инженерный вестник Дона.* – 2015. – № 2, ч. 2. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011>.
11. Беловежец Л.А., Волчатова И.В., Медведева С.А. Перспективные способы переработки вторичного лигноцеллюлозного сырья // *Химия растительного сырья.* – 2010. – № 2. – С. 5–16.
12. Никишов В.Д. Комплексное использование древесины: учеб. для вузов. – М.: Лесная промышленность, 1985. – 264 с.
13. Хакимова Ф.Х., Носкова О.А. Отходы лесозаготовок – сырье для волокнистых полуфабрикатов производства картона // *Вестник Пермского национального политехнического университета. Химическая технология и биотехнология.* – 2017. – № 3. – С. 128–143.
14. Производство волокнистых полуфабрикатов из лиственной древесины / А.И. Бобров [и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 245 с.
15. Пен Р.З., Рязанова Т.В. Комплексная химическая переработка древесины. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 158 с.
16. Гелес И.С., Коржицкая З.А. Биомасса дерева и ее использование. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1992. – 230 с.
17. Технология целлюлозно-бумажного производства. Справочные материалы: в 3 т. – Т. 1. Сырье и производство полуфабрикатов. – СПб.: Политехника, 2002. – 424 с.

18. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. – СПб.: Изд-во СПбЛТА. – 1999. – 628 с.
19. Гелес И.С., Левкина Г.М. Влияние свойств древесины ветвей ели на показатели сульфитных целлюлоз / Строение древесины и его роль в процессе делигнификации: сб. докл. 4-го науч. сем. – Рига: Зинатне, 1990. – С. 47–51.
20. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие / В.К. Дубовый [и др.]; под ред. проф. В.И. Комарова, проф. А.С. Смолина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 230 с.

References

1. Andreev A.A. Resursosberezhenie i ispol'zovanie othodov zagotovki i pererabotki drevesnogo syr'ja [Resource-saving and use of waste of preparation and processing of wood raw materials]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty*, 2014, no. 10, pp. 148-155.
2. Kompleksnoe ustojchivoje upravlenie othodami. Derevoobrabatyvajushhaja i celljulozno-bumazhnaja promyshlennost' [Complex steady waste management. Woodworking and pulp and paper industry]. N.I. Al'berg, i dr.; pod red. N.I. Al'berg – M.: Izdatel'skij dom Akademii Estestvoznaniya, 2016. 308 p.
3. Karjalainen T., Asikainen A., Ilavsky J., Zamboni R., Hotari K.-E., Röser D. Estimation of Energy Wood Potential in Europe. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, 2004. 43 p.
4. Gerasimov Y., Seliverstov A., Syunev V. Industrial round-wood damage and operational efficiency losses associated with the maintenance of a single-grip harvester head model: a case study in Russia. *Forests*, 2012, vol. 3, no. 4, pp. 864-880.
5. Geles I.S. Drevesnoe syr'e – strategicheskaja osnova i rezerv tsivilizatsii [Wood raw materials – a strategic basis and a reserve of a civilization]. Petrozavodsk, Karelskii nauchnyi tsentr Rossijskoi Akademii Nauk, 2007, 499 p.
6. Poljanin I.A., Makarov V.E. Izgotovlenie tehnologicheskoi shhepy iz nekonkondionnoj i pnevoj drevesiny s posledujushhej ee pererabotkoj [Production of technological spill from sub-standard and pnev wood with the subsequent her processing]. *Sovremennye naukoemkie tehnologii*, 2016, no. 10, pp. 292-297.
7. Mihajlov K.L., Gushhin V.A., Tarakanov A.M. Organizacija sbora i pererabotki lesosechnyh othodov i drov na lesoseke [The organization of collecting and processing of felling waste and firewood on a cutting area]. *Lesnoi zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 98-109. (Izvestiia vysshih uchebnyh zavedenii).
8. Safin R.G., Sattarova Z.G. i dr. Sovremennye napravlenija pererabotki lesnyh resursov [Modern directions of processing of forest resources]. *Vestnik tehnologicheskogo universiteta*. 2015, vol. 18, no. 21, pp. 90-93.
9. Vasil'eva T.V. Obzor slozhivshisja tendencij ispol'zovaniya drevesnyh othodov za rubezhom [The review of the developed tendencies of use of wood waste abroad]. *Lesnoj vestnik*, 2002, no. 4, pp. 71-73.
10. Mohirev A.P., Bezrukih Ju.A., Medvedev S.O. Pererabotka drevesnyh othodov predpriyatij lesopromyshlennogo kompleksa, kak faktor ustojchivogo prirodopol'zovaniya [Processing of wood waste of the enterprises of timber processing complex as factor of steady environmental management]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2015, № 2, ch2. URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3011>.
11. Belovezhec L.A., Volchatova I.V., Medvedeva S.A. Perspektivnyje sposoby pererabotki vtorichnogo lignocelljuloznogo syr'ja [Perspective ways of processing of secondary lignocellulose raw materials]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja*. 2010, no. 2, pp. 5-16.
12. Nikishov V.D. Kompleksnoe ispol'zovanie drevesiny [Complex use of wood]. Moscow, Lesnaia promyshlennost', 1985. 264 p.
13. Hakimova F.H., Noskova O.A. Othody lesozagotovok – syr'e dlja voloknistyh polufabrikatov proizvodstva kartona [Waste from logging of tress as a raw material for fibrous semi-finished products for cardboard production]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo politehnicheskogo universiteta. Himicheskaja tehnologija i biotehnologija*, 2017, no. 3, pp. 128-143.
14. Proizvodstvo voloknistyh polufabrikatov iz listvennoj drevesiny [Production of fibrous semi-finished products from deciduous wood]. A.I. Bobrov [i dr.]. Moskva: Lesn.prom-st', 1984. 245 p.
15. Pen R.Z., Rjazanova T.V. Kompleksnaja himicheskaja pererabotka drevesiny [Complex chemical processing of wood]. Krasnojarsk: SibGTU, 2012. 158 p.

16. Geles I.S., Korzhitskaia Z.A. Biomassa dereva i ee ispol'zovanie [Biomass of a tree and its use]. Petrozavodsk, Karelskii nauchnyi tsentr Rossiiskoi Akademii Nauk, 1992. 230 p.

17. Tekhnologiya tselliulozno-bumazhnogo proizvodstva [The technology of pulp and paper production]. Saint-Petersburg, Politehnika, 2002, vol. I, part 1, 424 p.

18. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaja A.V. Himija drevesiny i sinteticheskikh polimerov [Chemistry of wood and synthetic polymers]. SPb.: SPbLTA, 1999. 628 p.

19. Geles I.S., Levkina G.M. Vliianie svoistv drevesiny vetvei eli na pokazateli sul'fitnykh tselliuloz [Influence of properties of wood of branches was eaten on indicators of sulfite celluloses]. Stroenie drevesiny i ego rol' v protsesse delignifikatsii. Sbornik dokladov 4-go nauchnogo seminar. Riga: Zinatne, 1990, pp. 47-51.

20. Laboratornyj praktikum po tehnologii bumagi i kartona [Laboratory workshop on technology of paper and cardboard: studies. grant]. V.K. Dubovyj i dr.; pod red. prof. V.I. Komarova, prof. A.S. Smolina. SPb.: Izd-vo Politehn. un-ta, 2006. 230 p.

Получено 30.03.2018

F. Khakimova, O. Noskova, S. Sheveleva, R. Khakimov

RECYCLING OF LOGGING WASTE TO PRODUCE SEMI-FINISHED MATERIAL FOR CARDBOARD

The work is aimed at solving the urgent problem of environmental management – increasing the comprehensiveness of the use of wood raw materials by recycling waste logging, which is currently remained in the cutting areas, being a source of fire and environmental danger.

The possibility of recycling of waste logging of birch wood (branches and tops) to obtain a fibrous semi-finished product for use in the composition of container board is studied. The main problem of solving this issue is the production and preparation of technological chips out of this waste. In foreign countries the solution of the problem of wood chips production at logging sites and its transportation to pulp and paper enterprises does not cause any problems. However, the problem of debarking of wood chips out of the forest waste needs to be solved. In this direction, some work has been done in PNRPU on the improvement (debarking) of chips with the use of hydrothermal and hydro-mechanical treatments. Positive results were obtained. The yield of debarked chips amounted to an average of 75 %.

It is shown that the debarked birch wood chips from logging waste can be successfully used to obtain neutral sulfite semicellulose. The results of the study in laboratory conditions close to the production ones (the technology of semi-cellulose production out of traditional birch chips in Perm Cardboard company) are presented. The best results on the mechanical properties of hemicellulose have been obtained in the case of carrying out hydrothermal treatment in alkaline environment with the addition of small quantities of sulfite and sodium carbonate: at the OSR 30–33 the breaking length is 6800–7500 m; Burst strength is 325–375 kPa; Folding endurance is 240–335 D.p.h.

Thus, neutral-sulfite semicellulose out of the waste of birch wood logging can be successfully used in the composition of container cardboard.

Keywords: logging, birch, waste, wood chips, chip debarking, pulping, semi-chemical pulp, quality, mechanical properties.

Хакимова Фирдавес Харисовна (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заслуженный работник высшей школы, профессор кафедры технологии полимерных материалов и порохов Пермского национального исследовательского политехнического университета, (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: tcbp@pstu.ru).

Носкова Ольга Алексеевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: oa-noskova@mail.ru).

Шевелева Софья Андреевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: 89194876423@rambler.ru).

Хакимов Роман Рашидович (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры химических технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: roman_etf@mail.ru).

Khakimova Firdaves (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical sciences, Professor, Honourable worker of the Higher school, professor of department of technology of polymeric materials and gunpowder, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: tcbp@pstu.ru).

Noskova Olga (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: oa-noskova@mail.ru).

Sheveleva Sofia (Perm, Russian Federation) – Undergraduate student, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: 89194876423@rambler.ru).

Khakimov Roman (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Chemical Technologies, Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomolsky av., 29, e-mail: roman_etf@mail.ru).