

DOI:10.37482/0536-1036

ISSN 0536-1036

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.

1

2026



ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ПРОИЗВОДСТВО ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Научная статья

УДК 676.023.1

DOI: 10.37482/0536-1036-2026-1-201-210

Технология отбелки вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б

Ф.В. Лапаев[✉], аспирант; ResearcherID: [MGT-7454-2025](#),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1823-3597>

Л.Г. Махотина, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [V-9090-2017](#),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8784-967X>

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; filipp.lapaev@inproec.com[✉], lusi_makhotina@mail.ru

Поступила в редакцию 27.02.25 / Одобрена после рецензирования 16.05.25 / Принята к печати 19.05.25

Аннотация. В настоящее время отбелке подвергают вторичное волокно из макулатуры, состоящей из белых видов бумаги, для производства из него изделий санитарно-гигиенического назначения. В данной работе исследована возможность отбелки вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б (отходы использования гофрированного и коробочного картона) для его вовлечения в производство макулатурного коробочного картона WLC с белым покровным слоем вместо беленой сульфатной целлюлозы, применяемой на данный момент. Анализ литературных источников позволил установить, что наиболее перспективный способ отбелки вторичного волокна из макулатуры марки МС5Б – отбелка за счет обесцвечивания хромофорных групп пероксидом водорода. Данный способ является более экологичным по сравнению с другими, т. к. его использование не предполагает включения в процесс хлорсодержащих реагентов и требует меньше энергетических затрат за счет отсутствия делигнификации. В ходе исследования выявлены оптимальные технологические параметры отбелки: концентрация пероксида водорода – 30 %, продолжительность отбелки – 60 мин, температура процесса – 70 °С. Однако при данных технологических параметрах удалось повысить белизну ISO только с 23 до 36 % с увеличением оптических свойств без значительного ухудшения физико-механических показателей, т. к. отбелка почти не оказала влияние на морфологию волокна. При более «жестких» технологических параметрах белизна возрасла с 23 до 50 %, но при этом заметно снизились прочностные характеристики волокон. Также было отмечено уменьшение содержания лигнина после отбелки в жестких условиях по технологии TCF.

Ключевые слова: отбелка, вторичное волокно, макулатура, пероксид водорода, лайнер с белым покровным слоем, коробочный картон

Для цитирования: Лапаев Ф.В., Махотина Л.Г. Технология отбелки вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б // Изв. вузов. Лесн. журн. 2026. № 1. С. 201–210.

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-1-201-210>



Original article

Technology for Bleaching Secondary Fiber from Waste Paper Grade MS-5B (Old Corrugated Cardboard, OCC)

Filipp V. Lapaev[✉], *Postgraduate Student*; ResearcherID: [MGT-7454-2025](https://orcid.org/0009-0008-1823-3597),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-1823-3597>

Ludmila G. Makhotina, *Doctor of Engineering, Prof.*; ResearcherID: [V-9090-2017](https://orcid.org/0000-0001-8784-967X),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8784-967X>

Saint-Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; filipp.lapaev@inproec.com[✉], lusi_makhotina@mail.ru

Received on February 27, 2025 / Approved after reviewing on May 16, 2025 / Accepted on May 19, 2025

Abstract. Currently, secondary fiber from waste paper, consisting of white types of paper, is subjected to bleaching for the production of sanitary and hygienic products. The aim of this paper is to investigate the possibility of bleaching secondary fibre from MS-5B waste paper (waste from corrugated and boxboard) for its use in the production of WLC boxboard with a white cover layer instead of the bleached sulphate pulp, which is used today. An analysis of literary sources has revealed that the bleaching chromophore groups with hydrogen peroxide is the most promising method for the secondary fiber from waste paper grade MS-5B. This method is more environmentally friendly compared to others, since its use does not involve the inclusion of chlorine-containing reagents in the process and requires less energy costs due to the absence of delignification. The study established the optimal technological parameters for bleaching: hydrogen peroxide concentration – 30 %, bleaching duration – 60 min, process temperature – 70 °C. However, at these technological parameters the whiteness increased only from 23 to 36 % with an improvement of optical properties without a significant decrease in the physical and mechanical properties, because bleaching had almost no effect on the morphology of the fiber. Using more "rigid" technological parameters led to an increase in the whiteness from 23 to 50 %, but at the same time, the strength properties of the fibres noticeably decreased. The lignin content reduced after bleaching under "rigid" conditions using TCF technology.

Keywords: bleaching, secondary fiber, waste paper, hydrogen peroxide, liner with a white cover layer, white lined chipboard (WLC)

For citation: Lapaev F.V., Makhotina L.G. Technology for Bleaching Secondary Fiber from Waste Paper Grade MS-5B (Old Corrugated Cardboard, OCC). *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2026, no. 1, pp. 201–210. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37482/0536-1036-2026-1-201-210>

Введение

Мировое производство бумаги и картона с 2010 г. остается относительно стабильным, составляя в среднем около 400 млн т в год. Это связано с ростом потребления бумаги и картона в мире, в 2023 г. оно составило 420 млн т и, по прогнозам, продолжит расти в течение ближайшего десятилетия, достигнув 476 млн т к 2032 г. [19].



Наиболее массовыми видами продукции здесь являются тароупаковочные бумага, картон и бумага для печати. Следует отметить, что спрос на печатные виды бумаги падает и с 2015 г. их производство снижалось. Однако целлюлозно-бумажная промышленность продолжает развиваться благодаря растущему спросу на упаковку и средства гигиены на основе бумаги и картона [3, 18].

Упаковка остается крупнейшим сектором потребления бумаги и картона. По данным Euler Hermes, на долю картона к концу 2023 г. приходилось 2/3 мирового бумажного производства (до пандемии Covid-19 – только 1/2) [12]. Среднегодовое увеличение производства тароупаковочных бумаг и картонов составило 15,3 % – прогнозируется расширение рынка вторичного волокна из макулатуры [11, 17].

Макулатура представляет собой бывшие в употреблении изделия или печатную продукцию из бумаги и картона, а также отходы их производства и переработки [2, 10]. Основной причиной роста использования макулатуры становится экологическая политика. Ее цель – сохранение природных ресурсов, уменьшение количества твердых отходов.

Полезное использование макулатуры в России развивается стремительно [13]. Ряд исследователей работают в направлении вторичного использования макулатуры из белых сортов бумаги [6–8, 20].

В данной работе рассмотрена переработка макулатуры марки МС-5Б, которая применяется при изготовлении тароупаковочных видов бумаги и картона, например лайнера или коробочного картона, является отходом производства и потребления гофрированного и коробочного картонов, а также наиболее распространена среди всей собираемой макулатуры [1]. Согласно ГОСТ 10700–97, данная макулатура не должна содержать печатную краску, что исключает при переработке процесс деинкинга, одной из обязательных стадий которого является флотация. В настоящее время на гофроящики все чаще стали наносить печать методом флексографии с использованием 2–3 цветов. При флексографической печати применяют водно-спиртовые краски, которые легко удаляются при переработке макулатуры во вторичное волокно на стадии термодисперсионной обработки, и процесс деинкинга вновь не требуется, что входит в число преимуществ использования данного вида макулатуры.

Вторичное волокно из макулатуры марки МС-5Б обеспечивает высокие прочностные свойства готового продукта, однако поскольку эта марка макулатуры в основном состоит из отходов продукции, изготовленной из небеленых волокнистых полуфабрикатов, она имеет коричнево-желтый цвет. В связи с этим при производстве коробочного макулатурного картона WLC (white lined chipboard) для верхнего слоя приходится использовать беленую целлюлозу. Это приводит к необходимости установки линии по разволокнению и размолу беленой целлюлозы, что, в свою очередь, влечет повышение себестоимости продукции.

В настоящее время в России отбелке подвергают вторичное волокно из макулатуры, состоящей из белых и газетных видов бумаги, которое затем используют в основном при производстве санитарно-гигиенической продукции.

Цель данной работы – определить наиболее перспективные способы отбеливания вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б для его дальнейшего использования при производстве коробочного картона в белом покровном слое взамен беленой сульфатной целлюлозы.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования взяли вторичное волокно, полученное после переработки макулатуры марки МС-5Б на промышленной линии. Вторичное волокно отбирали из бассейна длинного волокна после его термодисперсионной обработки. Отливки, имитирующие верхний слой коробочного картона, массой 70 ± 3 г/м² изготавливали на листоотливном аппарате Репид-Кетен с автоматическим управлением. Перед изготовлением отливок размол не проводили.

В качестве отбеливающего реагента использовали пероксид водорода. Расход – 2,5 кг на 1 кг абсолютно сухого волокна. Отбелку проводили в термостойких стаканах с нагревом на электроплите с постоянным перемешиванием.

Отливки испытывали в соответствии со стандартными методами по ГОСТ. Исследовали влияние продолжительности и температуры процесса, концентрации пероксида водорода на оптические, печатные и физико-механические свойства вторичного волокна. Для определения морфологических характеристик волокна применяли анализатор Morfi Compact. Образец пропускали через оптическую ячейку, позволяющую получить изображение волокон с высоким разрешением. Оптическая разрешающая способность составляет 10 мкм, рабочая разрешающая способность – 4 мкм благодаря обработке результатов. Метод дает возможность установить количество волокон в суспензии, их распределение в общей массе, арифметическую и взвешенную длину, ширину, количество мелочи по длине, по площади, индекс фибрилляции, а также грубость волокон, угол изгиба, скручиваемость, т. е. показатели, от которых зависят бумагообразующие свойства волокон.

Результаты исследования и их обсуждение

Макулатура марки МС-5Б состоит из различных видов волокнистых полуфабрикатов: небеленой целлюлозы, полуцеллюлозы, различных видов древесной массы, вторичного волокна. Причем от партии к партии состав и процентное соотношение волокнистых полуфабрикатов меняются и не характеризуются стабильностью. Это создает проблемы в выборе химикатов и метода отбелки.

Отбелку вторичного волокна, состоящего преимущественно из целлюлозы, производят за счет делигнификации, используя химикаты, которые вступают в реакцию с хромоформными структурами волокнистого полуфабриката [3, 5, 15, 16]. Остаточный лигнин целлюлозных волокон имеет коричневатый цвет вследствие конденсации при глубокой химической переработке древесины. Конденсированный лигнин характеризуется наличием сопряженных структур, ароматических структур и двойных углерод-углеродных связей, карбонильных групп.

Волокна механической древесной массы содержат лигнин, который находится в неконденсированном состоянии и имеет хромоформные группы, образующиеся в результате окисления фенольных гидроксильных групп лигнина в хинонные в процессе производства этих волокнистых полуфабрикатов [9].

При содержании в макулатурной массе более 15–20 % волокон механической древесной массы использование отбеливающих реагентов, разрушающих лигнин, экономически нецелесообразно, т. к. при этом снижается выход волокнистого полуфабриката. При отбелке механической (древесной) массы основная цель – удаление только хромофоров – групп, придающих цвет [5].

Главное преимущество обесцвечивания состоит в полном исключении применения хлорсодержащих реагентов – метод, получивший в литературе название Total Chlorine Free, что благотворно влияет на экологическую составляющую процесса и готовой продукции. Данный вид отбелки менее энергозатратный, т. к. не требуется удаление лигнина и гемицеллюлоз и за счет сохранения гемицеллюлоз уменьшается негативное влияние на физико-механические свойства волокна [14].

К недостаткам обесцвечивания в сравнении с делигнификацией можно отнести нестабильную белизну за счет того, что некоторые виды хромофоров после отбелки реагентами могут снова окисляться и восстанавливать свою окраску, что приводит к пожелтению по истечении некоторого времени [10].

Для обесцвечивания вторичных волокон при переработке макулатуры из белых видов бумаги используют химикаты, обеспечивающие сохранение лигнина: пероксид водорода, дитионит натрия, формамидин сульфоновой кислоты [4].

В данной работе использовали пероксид водорода разной концентрации и исследовали влияние продолжительности (табл. 1) и температуры процесса отбелки на оптические и физико-механические свойства, морфологию вторичного волокна.

Таблица 1

Влияние продолжительности отбелки на свойства вторичного волокна при концентрации пероксида водорода 37 % и температуре 90 °C
Effect of bleaching duration on properties of secondary fiber, hydrogen peroxide concentration – 37 %, temperature – 90 °C

Свойства	Продолжительность отбелки, мин			
	0	50	60	80
<i>Оптические и печатные свойства</i>				
Белизна ISO, %	23	42	50	52
Цветовые координаты:				
<i>L</i> , %	64	79	83	83
<i>a</i>	4,7	1,4	0,4	0,3
<i>b</i>	15,8	15,4	11,7	11,0
Шероховатость, мл/мин	880	530	1031	1971
Воздухопроницаемость, мл/мин	1263	1587	4374	4520
<i>Физико-механические свойства</i>				
Разрывная длина, км	4,0	3,8	2,5	1,7
Соппротивление разрыву, Н/м	2726	2573	1690	1154
Соппротивление раздиранию, мН	366	196	273	318
Соппротивление продавливанию, кПа	184	170	99	73
<i>Морфологические свойства</i>				
Средневзвешенная длина, мм	1,14	1,06	1,05	1,05
Ширина, мкм	24,9	24,1	24,0	23,9
Грубость, мг/м	0,12	0,35	0,24	0,24
Изогнутые волокна, %	21	49	46	48
Скручиваемость, %	6,8	11,6	11,2	12,0
Степень фибрилляции, %	0,8	0,6	0,6	0,6
Содержание мелочи, %	14	13	12	12

Примечание: *L*, *a*, *b* – цветовые координаты: переход от черного к белому, от красного к зеленому и от желтого к синему соответственно.

Показано, что при повышении продолжительности отбелки до 60 мин белизна увеличивается с 23 до 50 % (понижается значение цветовой координаты – перехода от желтого к синему), шероховатость и воздухопроницаемость также становятся больше. При дальнейшем росте продолжительности процесса до 80 мин оптические свойства, шероховатость и воздухопроницаемость изменяются незначительно. При увеличении продолжительности отбелки ощутимо снижаются показатели, которые в большей степени зависят от сил межволоконных связей (разрывная длина, сопротивление разрыву и продавливанию), чем от длины волокна (сопротивление раздиранию). Это связано с тем, что длина и ширина волокна почти не изменяются, а степень фибрилляции и содержание мелочи, в большой степени определяющие связеобразование, снижаются при увеличении грубости, скручиваемости и изогнутости волокон.

Результаты исследования влияния концентрации пероксида водорода на оптические и физико-механические свойства и морфологию вторичного волокна представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние концентрации пероксида водорода на свойства вторичного волокна при продолжительности отбелки 60 мин и температуре 90 °С
Effect of hydrogen peroxide concentration on the properties of secondary fiber, bleaching duration – 60 min, temperature – 90 °C

Свойства	Небеленое вторичное волокно	Концентрация H ₂ O ₂ , %	
		30	37
Оптические и печатные свойства			
Белизна ISO, %	23	38	50
Цветовые координаты:			
<i>L</i> , %	64,0	76,6	83,0
<i>a</i>	4,7	2,0	0,4
<i>b</i>	15,8	15,8	11,7
Шероховатость, мл/мин	880	1071	1031
Воздухопроницаемость, мл/мин	1263	2393	4374
Физико-механические свойства			
Разрывная длина, км	4,0	3,2	2,5
Сопротивление разрыву, Н/м	2726	2193	1690
Сопротивление раздиранию, мН	366	375	273
Сопротивление продавливанию, кПа	184	148	99
Морфологические свойства			
Средневзвешенная длина, мм	1,14	1,13	1,11
Ширина, мкм	24,9	24,5	24,1
Грубость, мг/м	0,12	0,26	0,24
Изогнутые волокна, %	2	29	46
Скручиваемость, %	6,8	7,7	11,2
Степень фибрилляции, %	0,8	0,6	0,6
Содержание мелочи, %	14	15	12

Использование пероксида водорода с концентрацией 30 % в меньшей степени приводит к снижению физико-механических свойств вторичного волокна,

т. к. практически не оказывает влияние на морфологию, однако белизна увеличивается только с 23 до 38 %.

Зависимость свойств вторичного волокна от температуры отбелки при использовании пероксида водорода с концентрацией 30 % и продолжительности процесса 60 мин показана в табл. 3.

Таблица 3

Влияние температуры процесса на свойства вторичного волокна при продолжительности отбелки 60 мин и концентрации пероксида водорода 30 %
Effect of bleaching temperature on the properties of secondary fiber, bleaching duration – 60 min, hydrogen peroxide concentration – 30 %

Свойства	Небеленое вто- ричное волокно	Температура, °С	
		70	90
Оптические и печатные свойства			
Цветовые координаты:			
<i>L</i> , %	64	76	77
<i>a</i>	4,7	2,7	2,0
<i>b</i>	15,8	16,8	15,8
Белизна ISO, %	23	36	38
Шероховатость, мл/мин	880	1051	1071
Воздухопроницаемость, мл/мин	1263	1814	2393
Физико-механические свойства			
Разрывная длина, км	4,0	3,7	3,2
Сопротивление разрыву, Н/м	2726	2556	2193
Сопротивление раздиранию, мН	366	377	375
Сопротивление продавливанию, кПа	184	166	148
Морфологические свойства			
Средневзвешенная длина, мм	1,14	1,10	1,11
Ширина, мкм	24,9	24,0	24,1
Грубость, мг/м	0,12	0,24	0,26
Изогнутые волокна, %	21	25	29
Скручиваемость, %	6,8	7,1	7,7
Степень фибрилляции, %	0,8	0,7	0,6
Содержание мелочи, %	14	13	15

Проведение отбелки при более «мягких» условиях при концентрации пероксида водорода 30 % и температуре процесса 70 °С в меньшей степени способствует снижению сопротивления разрыву и продавливанию, чем при температуре 90 °С, поскольку морфологические показатели, определяющие прочность бумагообразующих связей, практически не изменяются. Однако белизна повышается лишь с 23 до 36 %. В случае роста температуры с 70 до 90 °С увеличение белизны составляет только 2 %.

Проведение процесса отбелки в «жестких» условиях приводит к тому, что длина и ширина волокна изменяются незначительно, что оказывает благоприятное влияние на сопротивление раздиранию. Однако термоокислительная деструкция фибрилл, находящихся на поверхности волокон (снижение степени фибрилляции), и мелкого волокна (снижение содержания мелочи) приводит к ухудшению связеобразования между волокнами и повышению воздухопроницаемости. Потеря гемицеллюлоз уменьшает способ-

ность к адгезии в точках контакта и приводит к появлению дополнительных водородных связей. Все это обуславливает ухудшение бумагообразующих свойств и снижение прочности волокон при одновременном повышении белизны с 23 до 50 %.

Отбелка химико-термомеханической массы при использовании пероксида водорода осуществляется в основном за счет удаления только хромофорных групп с сохранением лигнина [4, 5].

Определение содержания лигнина гидролизом волокна смесью серной и фосфорной кислот, предварительно подвергнутого экстракции хлористым метиленом (по ГОСТ 11960–79), показало, что содержание лигнина в небеленом волокне составляет 26 %, после отбелки в жестких условиях – 6 %.

Вероятно, во вторичном волокне, особенно после термодисперсионной обработки, помимо удаления хромофорных групп пероксид водорода также окисляет карбоксильные и бензильные спиртовые группы в лигнине и частично их деструктурирует, особенно при высокой температуре отбелки и большой продолжительности процесса.

Заключение

Показана возможность отбелки вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б. На основании анализа научной литературы установлено, что наиболее перспективным является отбелка по методу Total Chlorine Free – с полным исключением из процесса хлорсодержащих реагентов.

Определены технологические параметры отбелки пероксидом водорода, при которых сохраняются высокие физико-механические свойства волокна: концентрация H_2O_2 – 30 %, продолжительность процесса – 60 мин, его температура – 70 °С. При данных технологических параметрах удалось повысить белизну ISO только с 23 до 36 %.

Далее будет исследована возможность повышения белизны вторичного волокна из макулатуры марки МС-5Б за счет использования стабилизаторов, комплексообразователей, предотвращающих разложение пероксида водорода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Анализ современных стратегий переработки макулатуры // Объединенные бумажные фабрики. Режим доступа: <https://ukobf.com/expertise/analytics/Analiz-sovremennykh-strategiy-pererabotki-makulatury.html> (дата обращения: 14.11.25).
Analysis of Modern Waste Paper Recycling Strategies. *Obyedinennye bumazhnye fabрики* = The Consolidated Paper Mills Company. (In Russ.).
2. Ванчаков М.В. Технология и оборудование переработки макулатуры: в 3 ч. Ч. 1. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. 107 с.
Vanchakov M.V. *Waste Paper Processing Technology and Equipment*: in 3 parts. Part 1. St. Petersburg, HSTE SPbSUITD Publ., 2019. 107 p. (In Russ.).
3. Ванчаков М.В. Технология и оборудование переработки макулатуры: в 3 ч. Ч. 3. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2019. 139 с.
Vanchakov M.V. *Waste Paper Processing Technology and Equipment*. Part 3. St. Petersburg, HSTE SPbSUITD Publ., 2019. 139 p. (In Russ.).
4. Ишкватова А.Р., Ивановский С.К., Трифонова К.В. Влияние процесса отбелки на прочностные свойства бумаги // Междунар. журн. прикладн. и фундамент. исслед. 2014. № 12. С. 22–24.

Ishkuvatova A.R., Ivanovsky S.K., Trifonova K.V. Influence of Process of the Bleaching on Strength Properties of Paper. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied and Fundamental Research, 2014, no. 12, pp. 22–24. (In Russ.).

5. Ковалева О.П. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры. Ч. 12. Отбелка макулатурной массы: основные положения // Леспроминформ. 2008. № 3(52). С. 126–132.

Kovaleva O.P. Resource-Saving Waste Paper Recycling Technology. Part 12. Bleaching of Waste Paper: the Main Provisions. *Lesprominform*, 2008, no. 3, pp. 126–132. (In Russ.).

6. Мидуков Н.П. Ресурсосберегающая технология тест-лайнера с белым покровным слоем: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2020. 304 с.

Midukov N.P. *Resource-Saving Technology of Test Liner with White Cover Layer*: Doct. Techn. Sci. Diss. Saint Petersburg, 2020. 304 p. (In Russ.).

7. Мидукова М.А., Смирнова Е.Г., Смолин А.С. Совершенствование технологии флотации макулатуры из офисной бумаги // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2022. Вып. 238. С. 267–275.

Midukova M.A., Smirnova E.G., Smolin A.S. Improving the Technology of Flotation of Waste Paper from Office Paper. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* = News of the St. Petersburg Forestry Academy, 2022, no. 238, pp. 267–275. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21266/2079-4304.2022.238.267-275>

8. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Нigmatуллина Л.И., Ишкuvatова А.Р. К вопросу облагораживания макулатурной массы при производстве упаковочных материалов // Междунар. журн. прикладн. и фундамент. исслед. 2015. № 3-3. С. 316–318.

Mullina E.R., Mishurina O.A., Nigmatullina L.I., Ishkuvatova A.R. To the Question of Refining Waste Paper in the Production of Packaging Materials. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied and Fundamental Research, 2015, no. 3, pp. 316–318. (In Russ.).

9. Муллина Э.Р., Чупрова Л.В., Ершова О.В., Лыгина Е.Г., Корниенко Н.Д., Пинчукова К.В. Влияние химической природы отбеливающих реагентов на свойства целлюлозного волокна // Успехи соврем. естествознания. 2015. № 11. С. 74–77.

Mullina E.R., Chuprova L.V., Ershova O.V., Lygina E.G., Kornienko N.D., Pinchukova K.V. Influence of the Chemical Nature of the Bleaching Reagents on Properties of Cellulose Fibre. *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya* = Advances in Current Natural Sciences, 2015, no. 11, pp. 74–77. (In Russ.).

10. Пузырев С.С., Ковалева О.П., Цветкова Г.Н. Переработка макулатуры. СПб: СПбГЛТА, 2003. 43 с.

Puzirev S.S., Kovaliva O.P., Tsvetkova G.N. *Waste paper recycling*. St. Petersburg. SPbGLTA Publ., 2003. 43 p. (In Russ.).

11. Рынок макулатуры марки МС-5Б, тарных картонов и гофропродукции в России // ООО «Центр Системных Решений». Режим доступа: <https://www.liga-pm.ru/upload/iblock/bcc/05v08y3ys591cp77hxayqogf5b5cipydp.pdf> (дата обращения: 16.02.25).

MS-5B brand waste paper, containerboards and corrugated products market in Russia. ООО *Centr Sistemnikh Rescheniy* = System Solutions Center LLC. (In Russ.).

12. Ситуация в мировой отрасли по производству бумаги и картона возвращается в нормальное русло. Euler Hermes, 2021. Режим доступа: <https://proderevo.net/industries/pulp-and-paper-industry/situatsiya-v-mirovoj-otrasli-po-proizvodstvu-bumagi-i-kartona-vozvraschaetsya-v-normalnoe-ruslo.html?ysclid=m784kv8zo5119217437> (дата обращения: 17.02.25).

The Situation in the Global Paper and Cardboard Industry is Returning to Normal. Euler Hermes, 2021. (In Russ.).

13. Смолин А.С. О развитии технологии бумаги и картона // Изв. вузов. Лесн. журн. 2013. № 2. С. 163–171.

Smolin A.S. *On the development of paper and cardboard technology*. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2013, no. 2, pp. 163–171. (In Russ.).

14. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. Т. 1, ч. 3. Сырье и производство полуфабрикатов / гл. ред. П.С. Осипов. СПб.: Политехника, 2004. 316 с.

Technology of Pulp and Paper Production. In 3 vol. Vol. 1. Part 3. Production of Semi-Finished Products. Part 3. Raw materials and Semi-Finished Products. St. Petersburg, Politekhnik Publ., 2004. 316 p. (In Russ.).

15. Danielewicz D., Surma-Ślusarska B. Pulping and Bleaching OCC. Part II. Oxygen Delignification and Bleaching, *Appita Journal*, 2011, no. 64(1), pp. 66–72.

16. Dollie L., Mortha G. Bleached Pulp Production from Old Corrugated Cardboards – Kraft Cooking of Fiber Mixtures Modeling Cardboards. *Cellulose Materials Doctoral Students Conference 2017*. 2017, pp. 7–10.

17. Forest Products Annual Market Review 2023–2024, United Nations and the Food and Agriculture Organization of the United Nations https://unccc.org/sites/default/files/2024-11/2413966E_FPAMR24_WEB.pdf

18. Key Statistics, 2023, European Pulp & Paper Industry. Available at: <https://www.cepi.org/wp-content/uploads/2024/09/Key-Statistics-2023-FINAL-2.pdf> (accessed 02.02.25).

19. Production Volume of Paper and Paperboard Worldwide from 1961 to 2023. Available at: <https://www.statista.com/statistics/270314/global-paper-and-cardboard-production/> (accessed 02.02.25).

20. Ventorim G., Colodette J.L., Costa M.M. da, ECF and TCF Bleaching of Secondary Fiber Pulp. *Ciência Florestal*, 2009, vol. 9, pp. 41–54. <https://doi.org/10.5902/19805098383>

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest