



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра геоэкологии, природопользования и экологической без-
опасности

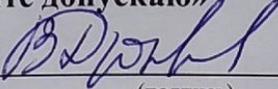
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Система обращения с отходами на предприятиях целлюлозно-бумаж-
ной промышленности

Исполнитель _____ Фомичева Екатерина Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ доктор биологических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)
Витковская Светлана Евгеньевна
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____ 
(подпись)

_____ кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Дроздов Владимир Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« 13 » 06 2023 г.

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Список основных сокращений.....	3
Введение.....	4
Глава 1 Особенности и динамика развития целлюлозно-бумажной промышленности	6
1.1 Целлюлозно-бумажная промышленность в мире.....	6
1.2 Целлюлозно-бумажная промышленность в России.....	9
Глава 2 Структура целлюлозно-бумажной промышленности в России.....	15
2.1 Виды целлюлозно-бумажной продукции.....	15
2.2 Технология производства целлюлозы.....	16
2.3 Технология производств механических видов древесной массы	25
2.4 Технология производства бумаги и картона.....	30
Глава 3 Отходы целлюлозно-бумажной промышленности.....	36
3.1 Виды и объемы образования отходов.....	36
3.2 Негативное влияние отходов ЦБП на окружающую среду.....	38
3.3 Система обращения с отходами (на примере Целлюлозно-картонного комбината АО «Группа «ИЛИМ» в г. Усть-Илимске).....	40
3.4 Система обращения с отходами (на примере корпорации «GraphicPackagingHoldingCompany», США).....	45
Глава 4 Использование отходов целлюлозно-бумажной промышленности.....	49
Заключение.....	57
Список использованных источников.....	59

Список основных сокращений

- БДМ – бумагоделательная машина
- БОС – биологические очистные сооружения
- БФ–бумажная фабрика
- БХТММ –бисульфитная химико-термомеханическая масса
- ВК ДПГ–высококонцентрированный дурнопахнущий газ
- ВНД–валовый национальный доход
- ДДМ–дефибрерная древесная масса
- ДДМД–дефибрерная древесная масса под давлением
- ДПГ –дурнопахнущий газ
- КДМ –картоноделательная машина
- ЛПК –лесопромышленный комплекс
- ММ –макулатурная масса
- НК ДПГ –низкоконцентрированный дурнопахнущий газ
- ПДВ –предельно допустимый выброс
- СРК –содорегенерационный котельный агрегат
- ТММ –термомеханическая масса
- ХММ – химико-механическая масса высокой степени сульфирования
- ХТММ – химико-термомеханическая масса

Введение

Актуальность темы. В настоящее время как в России, так и во многих других странах Мира происходит рост производства целлюлозно-бумажной продукции, что увеличивает нагрузку на компоненты окружающей среды, в том числе, вследствие образования значительного количества твердых, жидких и газообразных отходов.

Целлюлозно-бумажная промышленность – одна из ведущих отраслей обрабатывающей промышленности в России, насчитывающая 212-ть предприятий и образующая в среднем более 240 млн. т отходов в год. Количество отходов неуклонно возрастает. В 2021 году в России данной отраслью было образовано 345 млн. т отходов, что значительно превышает объемы за предыдущие четыре года. При этом утилизировано и обезврежено было только 141 млн. т (О состоянии..., 2022).

Со сбросами технологических вод в водные объекты поступают взвешенные вещества, неорганические компоненты, органические компоненты (лигнины, фенолы и их производные, углеводы, смоляные и жирные кислоты, серо- и хлорсодержащие соединения, метанол, скипидар, формальдегид и пр.), а также шлам-лигнин – желеобразный продукт с высоким содержанием воды (до 95%). Соединения серы и хлора поступают также в атмосферный воздух (Колокольчикова, 2021). Другими опасными соединениями, поступающими в атмосферу от целлюлозно-бумажных предприятий, являются формальдегид, оксид железа и углекислый газ. Твердые отходы образуются преимущественно на начальных этапах подготовки древесного сырья и представлены корой, опилками и щепой. Они направляются на короотвалы, которые занимают огромные площади и могут возгораться без надлежащей системы орошения отходов. Помимо этого, при эксплуатации предприятий образуется еще более 20 видов твердых отходов, большинство из которых относится к 4 классу опасности и требует обезвреживания и утилизации.

При этом значительная часть образующихся отходов пригодна для переработки и повторного использования или получения тепловой и электрической энергии, в связи с чем проработанная и стабильная система обращения с отходами производств позволит значительно снизить оказываемую нагрузку и увеличить комплексность использования лесных ресурсов.

Цель работы: Анализ системы обращения с отходами целлюлозно-бумажных предприятий

Для достижения данной цели были решены следующие задачи:

- рассмотреть особенности и динамику развития целлюлозно-бумажной промышленности;
- изучить структуру целлюлозно-бумажной промышленности в России, виды и технологии производимой продукции;
- обобщить имеющуюся информацию о видах и объемах отходов целлюлозно-бумажной промышленности;
- проанализировать способы обращения с отходами на целлюлозно-бумажных предприятиях;
- сравнить систему обращения с отходами на Целлюлозно-картонном комбинате АО «Группа «ИЛИМ» в России и корпорации «Graphic Packaging Holding Company», США
- рассмотреть существующие в мировой практике методы рециклинга отходов целлюлозно-бумажной промышленности;
- сформулировать рекомендации для целлюлозно-бумажных предприятий России по оптимизации системы обращения с отходами.

Работа изложена на 62 страницах компьютерного текста, состоит из 4 глав, содержит 8 рисунков и 13 таблиц, список литературы включает 38 источников.

Глава 1 Особенности и динамика развития целлюлозно-бумажной промышленности

1.1 Целлюлозно-бумажная промышленность в мире

Целлюлозно-бумажное производство – это высокотехнологичная и динамично развивающаяся отрасль мировой экономики, являющаяся завершающим звеном в процессе переработки древесины. Основными продуктами ее производства являются целлюлоза, древесная масса, бумага и картон. Важной отличительной чертой данной отрасли выступает высокая материалоемкость (на 1 т целлюлозы расход древесины составляет 5-7 м²), большая водоемкость (350-380 м² воды на 1 т целлюлозы) и энергоемкость (2000-2200 кВт-ч электроэнергии на 1 т продукции)(Иванов, Кузнецов и др., 2019).

В производстве целлюлозно-бумажной продукции разных видов, в том числе различных видов бумаги (газетная, упаковочная, офисная, санитарно-гигиенического назначения) и картона, а также древесной массы и целлюлозы, лидирует Китай и США, значительно превышающие объемы данного производства других стран (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Страны-лидеры по производству целлюлозно-бумажной продукции в мире за 2021г. (Производство..., 2023)

	Страна	Производство, тыс. т	Доля в мировом производстве, %
1	Китай	275350	6,46
2	США	229170	5,37
3	Япония	67366	1,58
4	Бразилия	65574	1,54
5	Германия	55644	1,30
6	Индонезия	39403	0,94
7	Финляндия	39403	0,92
8	Италия	36065	0,85
9	Индия	33865	0,79
10	Швеция	33459	0,78
11	Республика Корея	30915	0,72
12	Канада	23196	0,54
13	Российская Федерация	22405	0,53
14	Франция	19912	0,47
15	Мексика	13217	0,31
16	Всего в мире	4264652	100,00

Для визуализации данных таблицы 1.1 были составлены диаграммы (рис. 1.1-1.2).

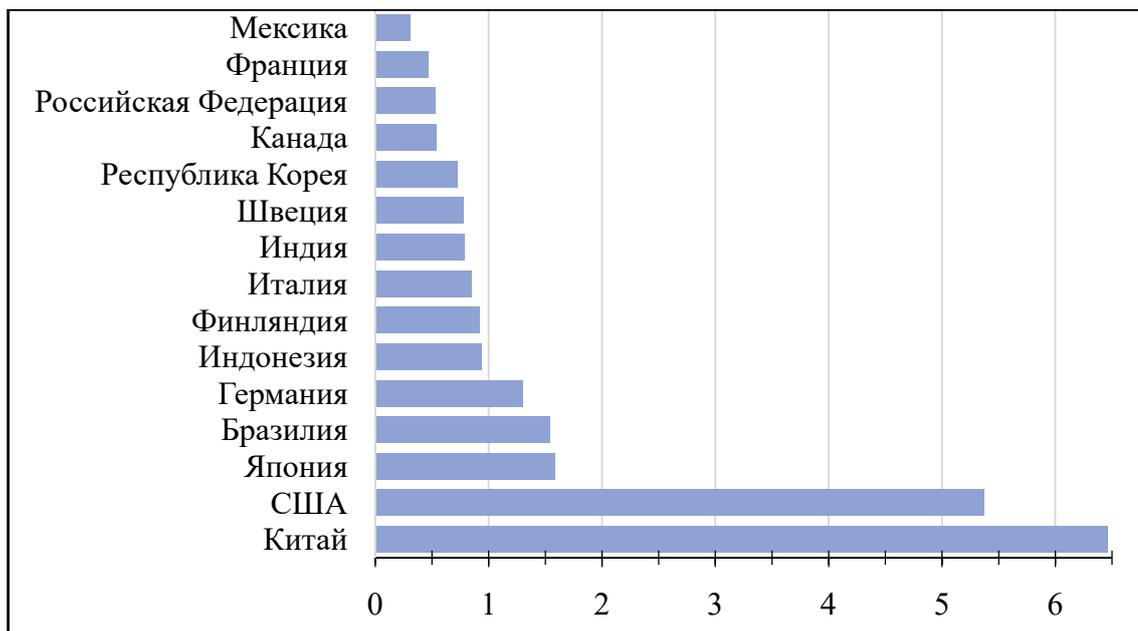


Рисунок 1.1 – Доля стран-лидеров в мировом производстве ЦБП, %

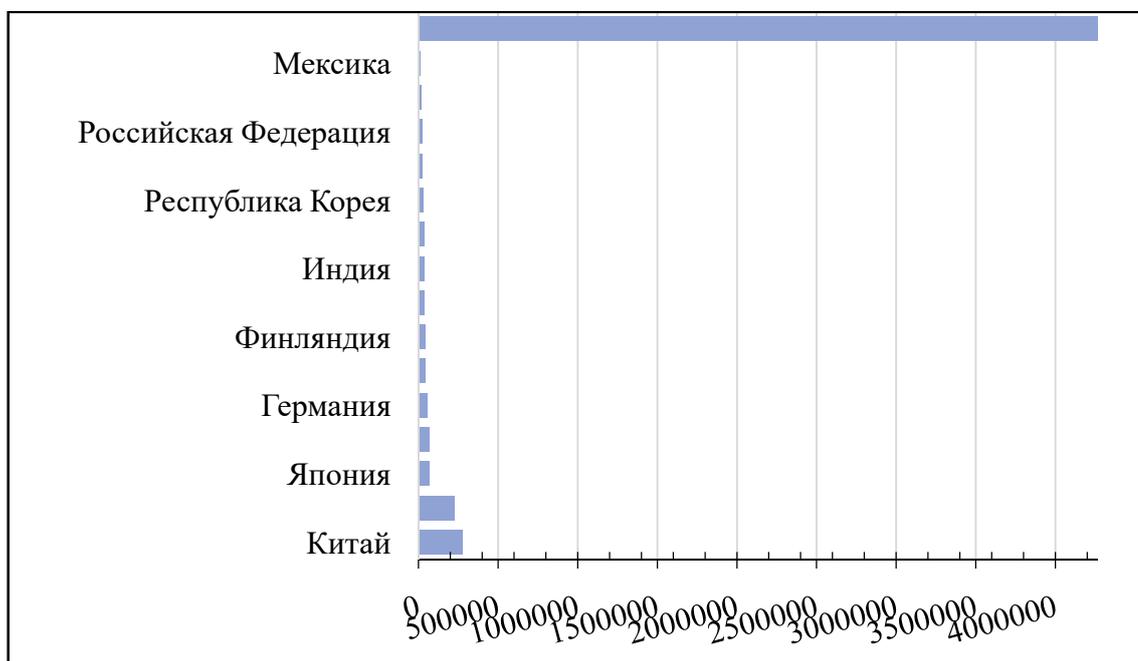


Рисунок 1.2 – Объем производства ЦБП стран-лидеров в мировом производстве, тыс. т

Сырьевой фактор – потенциал лесных запасов России реализуется не в полной мере (доля страны на мировом рынке составляет менее 1%), что связано с высокими тарифами на железнодорожные перевозки, большим объемом нелегальной вырубке леса, недостаточным уровнем сертификации продукции, ее невысоким ассортиментом и качеством (Богданова, 2010).

При этом главными экспортёрами целлюлозно-бумажной продукции являются США и Бразилия, таким образом, можно сделать вывод о том, что Китай, Япония, Индия, Республика Корея большую часть продукции поставляют на внутренний рынок, о чем говорят данные, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Страны-лидеры по экспорту целлюлозно-бумажной продукции в мире за 2021г. (Производство..., 2023)

	Страна	Объем экспорта, тыс. т	Доля в мировом экспорте, %
1	США	46096	30,8
2	Бразилия	35584	16,6
3	Германия	27782	5,5
4	Канада	25333	5,4
5	Финляндия	24001	4,0
6	Швеция	23826	2,9
7	Индонезия	20856	2,6
8	Китай	12072	2,5
9	Франция	10718	2,5
10	Российская Федерация	9972	2,1
11	Чили	8920	2,1
12	Австрия	7339	2,0
13	Великобритания	5412	1,8
14	Уругвай	5201	1,7
15	Индия	5092	1,6
16	Всего в мире	376639	100,0

Лидирующей страной по производству бумаги и картона, как основного вида целлюлозно-бумажной продукции, в последнее время, несомненно, является Китай, превышая объемы производства США практически в два раза. При этом только в Китае наблюдается заметный рост объемов производства бумаги и картона, в то время как другие страны волнообразно развивают данное производство (в рассматриваемый период с 2019 по 2021гг.).

Таблица 1.3 – Мировое производство бумаги и картона (Производство..., 2023)

	Страна	Производство, тыс. т			Доля в мировом производстве, %		
		2019	2020	2021	2019	2020	2021
1	Китай	110173	116023	124223	28,6	30,1	30,8
2	США	67317	65799	67105	17,4	17,1	16,6
3	Германия	20989	20439	22072	5,4	5,3	5,5
4	Япония	22954	20641	21773	6,0	5,4	5,4
5	Индия	16084	16084	16084	4,1	4,2	4,0
6	Индонезия	11639	11639	11639	3,0	3,0	2,9
7	Бразилия	10451	10104	10589	2,7	2,6	2,6
8	Республика Корея	9927	10248	10248	2,6	2,7	2,5
9	Италия	8 909	8514	9889	2,3	2,2	2,5
10	Швеция	8 727	8610	8578	2,3	2,2	2,1
11	Финляндия	9451	8002	8481	2,5	2,1	2,1
12	Российская Федерация	7634	8213	8213	2,0	2,1	2,0
13	Канада	6903	6705	7201	1,8	1,7	1,8
14	Франция	6798	6522	6972	1,8	1,7	1,7
15	Испания	6282	6238	6480	1,6	1,6	1,6
16	Всего в мире	385893	385678	403235	100,0	100,0	100,0

Также в число лидеров по производству бумаги и картона входят Германия, Япония и Индонезия, однако их доля в мировом производстве бумажной продукции колеблется в районе всего 5%. Россия же занимает 12 место (на 2021г.) в данном рейтинге, производя около 2% бумаги и картона в мире (табл. 1.3) (Производство..., 2023).

1.2 Целлюлозно-бумажная промышленность в России

Целлюлозно-бумажная промышленность является одной из основных отраслей народного хозяйства в Российской Федерации. Ее развитие в России началось в советский период, когда создалась материально-техническая база, включающая предприятия, каждое из которых в настоящее время производит более миллиона тонн целлюлозно-бумажной продукции, таких как Архангельский ЦБК, Сыктывкарский ЛПК, Котласский ЦБК, Братский ЛПК, Усть-Илимский ЛПК.

Но, не смотря на общую положительную динамику в развитии технологий и увеличении объемов производства, для целлюлозно-бумажной промышленности того периода были характерны существенные недостатки, выражающиеся в неэкологичности производства: отсутствие переработки вторичного сырья – макулатуры, которая могла бы составлять 30-80 % композитной смеси для бумажного и картонного производств, и использование простых и дешевых технологий переработки древесины, не способных освоить ресурсы в полном масштабе (Сиваков, Мехренцев и др., 2019).

В период перехода от плановой экономики к рыночной произошел значительный спад производства, составляющий 40 % от производимой ранее продукции. Удалось сохранить все крупные и средние предприятия промышленности, и лишь 18 малых предприятий были закрыты из-за низкой рентабельности и модернизационной способности. Россия потеряла свое место в тройке мировых лидеров по целлюлозно-бумажному производству.

В апреле 2012г. была утверждена программа, целью которой являлось развитие биотехнологической отрасли производства, в том числе целлюлозно-бумажного производства как комплекса по глубокой переработке древесной массы(Комплексная программа..., 2012).

В настоящее время действует другая стратегия, которая предусматривает меры по государственной поддержке развития и конкурентоспособности ЦБП, поскольку природные ресурсы и технические возможности страны позволяют обеспечить комплексное использование лесного сырья(Стратегия развития..., 2018).

В России сосредоточено около 25% мировых запасов лесных ресурсов, из которых 70% представлено ценными хвойными породами. Наиболее освоенными лесными территориями страны являются Республика Карелия, Республика Коми, Иркутская и Архангельская области, Пермский край, именно там находятся основные предприятия по производству целлюлозы. Крупные предприятия ЦБП также расположены в Ленинградской, Нижегородской, Тверской областях, Республике Марий Эл, Республике Татарстан, Республике Башкортостан,

стан – вблизи крупных населенных пунктов, где сформирован высокий потребительский спрос и необходимая инфраструктура(Сивалков, Мехренцев и др., 2019).Перечень ведущих российских целлюлозно-бумажных предприятий представлен в таблице 1.4.

Таблица 1.4– Ведущие предприятия целлюлозно-бумажного производства в России (Кряжев, Голуб и др., 2022)

Субъект Российской Федерации	Наименование предприятия	Производственная мощность, тыс. т/год
Ленинградская область	ЗАО «Интернешнл Пейпер»	200
	ОАО «Сясьский ЦБК»	220
	АО «Кнауф Петроборд»	240
Республика Татарстан	ЗАОР «Набережночелнинский КБК»	250
Республика Марий Эл	АО «Марийский ЦБК»	270
Тверская область	ОАО «Каменская БКФ»	300
Нижегородская область	АО «Волга»	330
Пермский край	ЗАО «Пермская ЦБК»	330
	АО «Соликамскбумпром»	465
Республика Карелия	АО «Сегежский ЦБК»	384
	ОАО «Кондопога»	679
Иркутская область	Филиал Группы «Илим» в Усть-Илимске	900
	Филиал Группы «Илим» в Братске	1300
Архангельская область	АО «Архангельский ЦБК»	1000
	Филиал Группы «Илим» в Коряжме	1300
Республика Коми	АО «Монди Сыктывкарский ЛПК»	1200

В настоящее время на территории России действует 212 предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, основные из которых представлены на рисунке 1.3(Производство целлюлозы..., 2016).

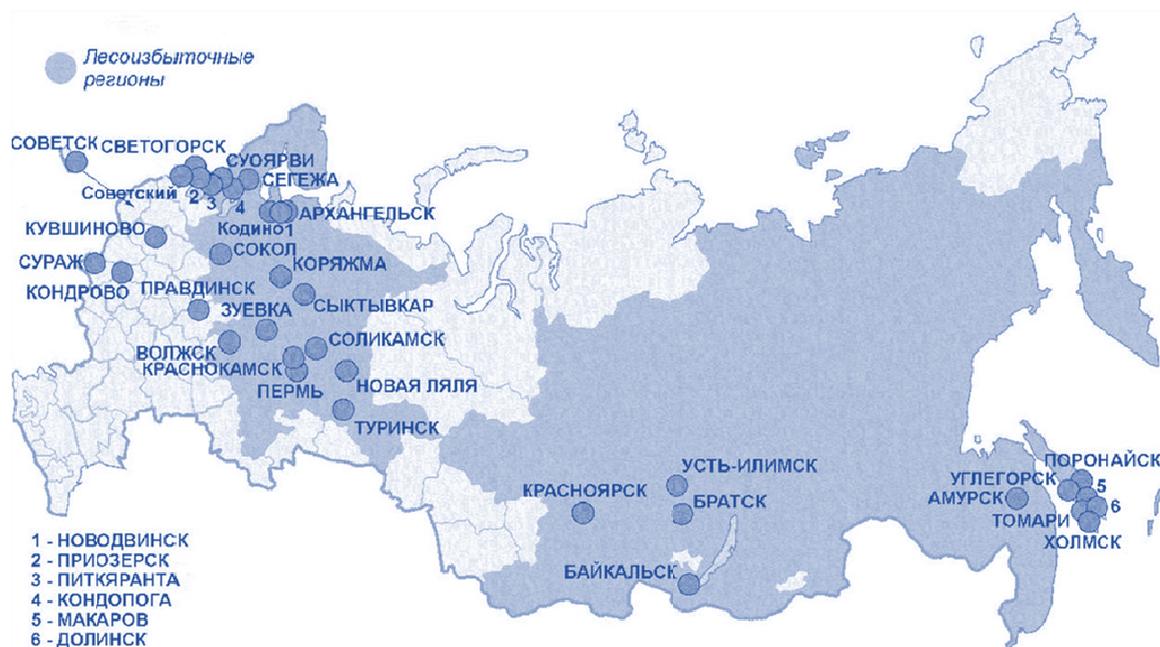


Рисунок 1.3 – Карта центров целлюлозно-бумажной продукции

Основными видами производимой целлюлозно-бумажной продукции в России в 2021г. являются древесная сульфатная неотбеленная целлюлоза, рекуперированная бумага, древесная масса и полуцеллюлоза (рис.1.4).

Лидирующими импортируемыми товарами являются картон, древесная сульфатная отбеленная целлюлоза и бумага для печати и писчая, мелованная, при этом доля импорта данных товаров незначительна, что говорит о самодостаточности целлюлозно-бумажного производства в России.

В значительной степени развит экспорт волокнистых полуфабрикатов (целлюлозы, древесной массы и полуцеллюлозы), а также товаров низких ценовых категорий: газетной и оберточной бумаги для упаковки, картона (в том числе тарного картона)(Производство..., 2023).

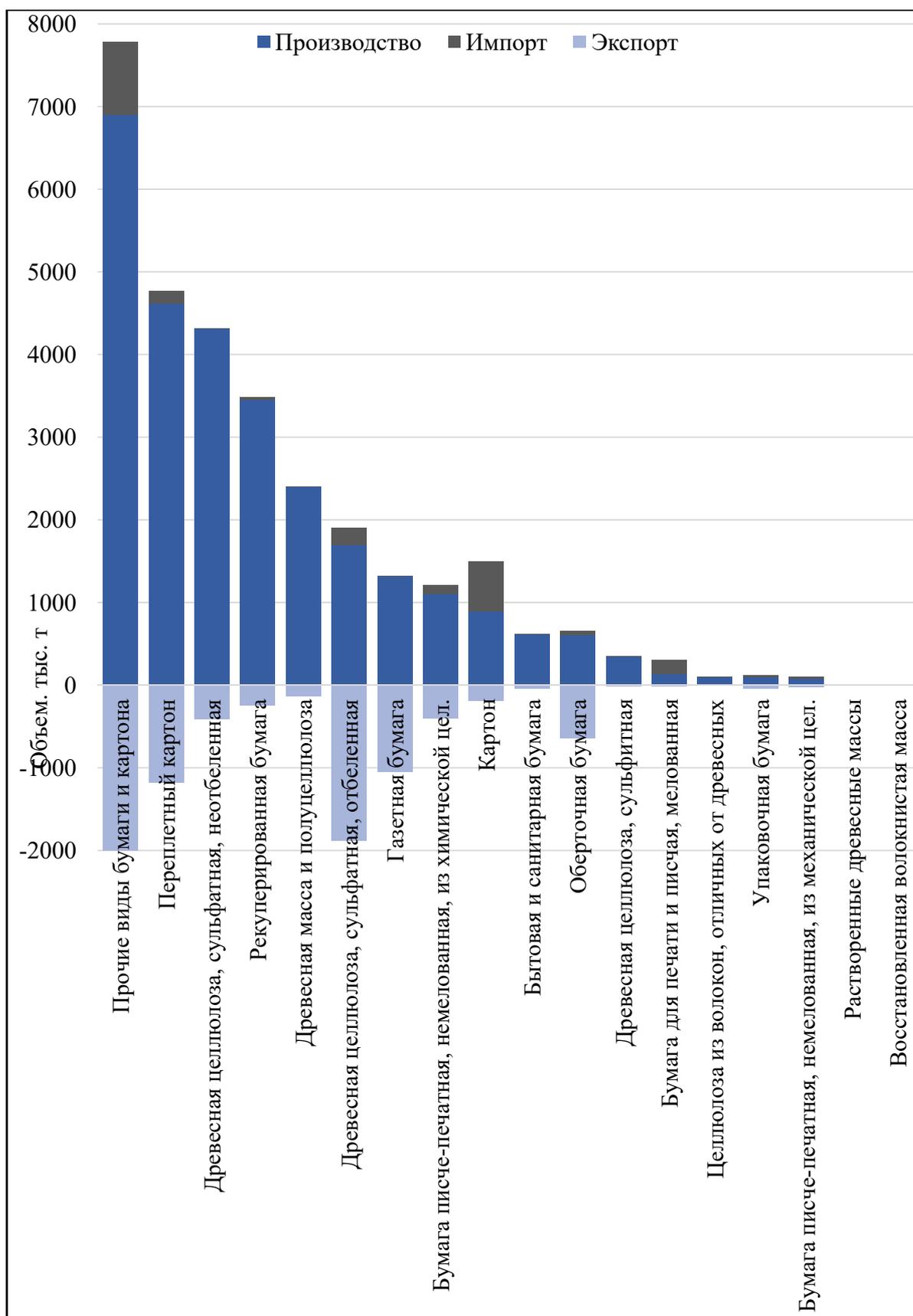


Рисунок 1.4—Распределение объемов производства, импорта и экспорта основных видов целлюлозно-бумажной продукции в России в 2021г.

(Производство..., 2023)

По данным таблицы 1.5 видно, что в 2019-2021 гг. в России произошел рост производства таких видов продукции как древесная, сульфатная неотбеленная целлюлоза, древесная масса и полуцеллюлоза, бумага для печати и писчая немелованная и немелованная из химической и механической целлюлозы, бытовая и санитарная бумага, оберточная и упаковочная бумага, картон, при этом также наблюдается спад производства газетной бумаги, древесной, сульфитной целлюлозы, именно эти виды целлюлозно-бумажной продукции экспортируются в наибольших объемах. При этом также видно, что Российская Федерация по большей части производит именно целлюлозу и другие виды переработанного сырья (древесная масса), доля производства конечного продукта, такого как бумага и картон, невысока (Производство..., 2023).

Однако объем производства писче-печатных видов бумаг остается достаточно невысоким, что обуславливается ростом использования электронных носителей (Кряжев, 2022).

Таблица 1.5– Объемы производства основных видов целлюлозно-бумажной продукции в России за 2019 – 2021 г. (Производство..., 2023)

Виды целлюлозно-бумажной продукции	Объем производства, тыс. т		
	2019	2020	2021
Древесная целлюлоза, сульфатная, неотбеленная	3817	4316	4316
Рекуперированная бумага	3450	3450	3450
Древесная масса и полуцеллюлоза	2351	2399	2399
Древесная целлюлоза, сульфатная, отбеленная	1700	1700	1700
Газетная бумага	1516	1314	1314
Бумага писче-печатная, немелованная, из химической целлюлозы	848	1106	1106
Картон	852	887	887
Бытовая и санитарная бумага	587	611	611
Оберточная бумага	584	608	608
Древесная целлюлоза, сульфитная	359	350	350
Бумага писче-печатная, мелованная	100	130	130
Целлюлоза из волокон, отличных от древесных	100	100	100
Упаковочная бумага	91	95	95
Бумага писче-печатная, немелованная, из механической целлюлозы	56	73	73

Технология в целлюлозно-бумажной промышленности заключается в последовательности операций от заготовки древесного сырья, макулатуры до конечной бумажно-картонной продукции (рис. 2.1).

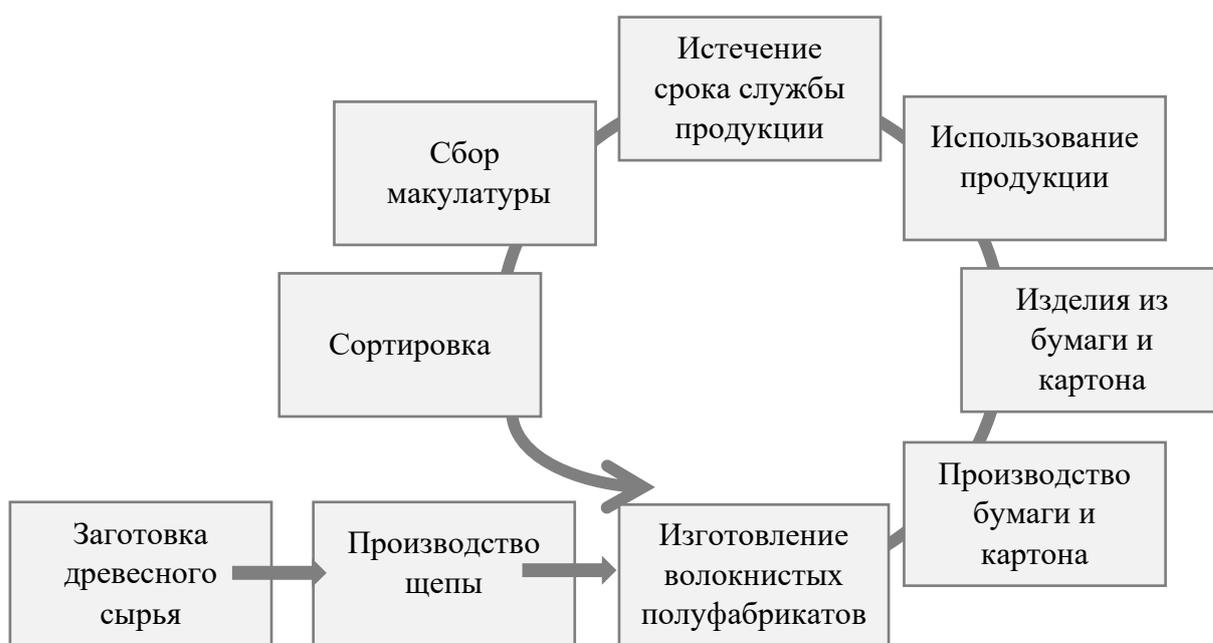


Рисунок 2.1 – Схема жизненного цикла бумаги и картона(Кряжев, 2022)

2.1 Виды целлюлозно-бумажной продукции

Основными видами продукции целлюлозно-бумажных предприятий в России являются(Производство целлюлозы..., 2016):

- целлюлоза древесная и целлюлоза из прочих волокнистых материалов (в том числе сульфатная, сульфитная и натронная, а также древесная масса (термомеханическая и прочая, а также полуцеллюлоза));
- бумага (в том числе газетная, офисная, для гофрирования, писчая, тетрадная, типографская, мелованная, крафт-бумага мешочная, для изготовления гигиенических и косметических салфеток, полотенец или скатертей, вата целлюлозная, полотно из целлюлозных волокон);

- картон (в том числе тарный немелованный, тест-лайнер, переплетный, технический, строительный, облицовочный, мелованный для потребительской тары).

Процессы производства данных видов продукции имеют свои особенности, которые характеризуют степень использования технологий, как в случае варки целлюлозы или древесной массы, так и в случае производства различных видов бумаги и картона.

2.2 Технология производства целлюлозы

Процесс заготовки древесного сырья начинается с рубки и распиловки древесины на короткомерные балансы. Уже на данном этапе образуются отходы коры, опилки и другие лесосечные отходы, которые составляют 40% древесной биомассы, включая 25% неиспользуемого сырья. На последующих этапах подготовки древесины и производства щепы также существуют потери ресурса из-за выбора методов и технологий обработки (Кряжев, 2022).

Далее осуществляется окорка древесного сырья, которая может осуществляться несколькими способами: групповым – в окорочных барабанах, индивидуальным – окорка на роторных станках.

Барабаны могут производить окорку мокрым, полусухим и сухим способом. В последние годы на многих предприятиях стала применяться сухая окорка в барабанах с целью сокращения сбросов, вода используется только для промывки бревен и их размораживания с помощью подачи пара. При этом используемая в процессе вода рециркулирует с образованием минимального объема сточных вод и количества загрязняющих веществ, незначительны также твердые отходы, представленные камнями и песком (Производство целлюлозы..., 2016).

Кора после окорочного барабана подается на измельчитель, а затем сжигается в специализированных котлах, что позволяет получить тепловую энергию для дальнейших этапов производства.

Для получения целлюлозы окоренные круглые лесоматериалы измельчаются в щепу на рубительной машине, куда поступает баланс до 4-6 м в длину. Из-за типа рубильной машины (с наклонным и горизонтальным питающим патроном) объем потерь древесины отличается и минимизирован в случае горизонтальной подачи.

Сортировка щепы осуществляется для повышения эффективности процесса варки и обеспечения высокого качества целлюлозы. Мелкую фракцию щепы варят в специальном варочном котле или сжигают вместе с опилками и корой. Крупная щепа измельчается и возвращается на повторное сортирование (Производство целлюлозы..., 2016).

В таблице 2.1 представлены отходы, образующиеся на первоначальных этапах производственного цикла.

Таблица 2.1 – Виды твердых отходов на этапах заготовки древесины и производства щепы (Лобовинков, Шкляева, 2015)

Этап производства	Отходы производства	Состав отходов	Класс опасности отходов
Окорка древесины	Кора	вода – 45,13 %, азот – 0,86 %, углерод – 50,01 %, зольность – 4 %	4
Распиловка древесины	Опил	вода – 65 %, азот – 0,72 %, углерод – 29,28 %, зольность – 5 %	5
Очистка производственных сточных вод	Скоп	органические вещества – 26,5 %, минеральные вещества (зола) – 7,8 %, вода – 65,7 %	5
Измельчение щепы	Чистые несортированные древесные отходы	органические вещества – 100%	5

В качестве основного способа утилизации кородревесных отходов ранее применяли захоронение на специализированных объектах – короотвалах. В настоящее время наиболее широкое распространение получил термический способ их утилизации с получением тепловой энергии и древесной и соломенной

пылеобразной золы, на 90 % состоящей из карбоната и оксида натрия, кальция, магния, железа. Образующаяся зола в настоящее время размещается в окружающей среде на специализированном объекте (Курило, Куликова и др., 2013).

Подготовленная щепка отправляется на варку целлюлозы различными способами (Обзор состояния..., 2023):

1) Кислые способы:

- сульфитный;
- бисульфитный;

2) Щелочные способы:

- сульфатный;
- натронный.

Более 90 % целлюлозы в мире производится сульфатным способом, так как возможность регенерации химикатов и восполнения потерь щелочи и серы недорогим природным сульфатом натрия позволяет снизить экономические затраты производства. Также такой метод производства позволяет использовать как хвойную, так и лиственную древесину в качестве сырья, а регенерация варочного щелока дает тепловую и электрическую энергию для технологического процесса и белый щелок для варки.

По окончании сульфатной варки около половины древесного вещества растворяется, и сваренная целлюлоза отделяется при промывке от растворенных веществ и остаточных варочных химикатов, которые вместе образуют поток жидкости – слабого черного щелока. Далее он поступает в систему регенерации, состоящую из двух сопряженных циклов: регенерации щелока и регенерации извести (Курило, Куликова и др., 2013).

Регенерация щелока проводится в следующей последовательности (Кряжев, Голуб и др., 2022):

- удаление из щелока сульфатного мыла и мелкого волокна;
- выпаривание слабого черного щелока с получением концентрированного щелока;

- сжигание крепкого черного щелока в СРК;
- растворение полученного шлама минеральных солей слабым белым щелоком с образованием зеленого щелока;
- каустизация зеленого щелока известью с получением крепкого белого щелока, поступающего снова на варку щепы.

После варки целлюлозы технологические этапы цикла регенерации щелочи повторяются.

В цикл регенерации извести поступает образованный в процессе каустизации шлам (CaCO_3), он промывается жидкостью, которая после промывки становится белым щелоком и снова поступает на растворение в содорегенерационные котельные агрегаты (СРК), а промытый шлам – на обжиг в известерегенерационную печь с получением оксида кальция (CaO), который непрерывно направляют на каустизацию зеленого щелока.

За счет сжигания в содорегенерационных котельных агрегатах органической части черного щелока и кородревесных отходов осуществляется энергообеспечение крупных предприятий посредством выработки тепловой, в виде пара, а, впоследствии, – и электрической энергии.

В мировом масштабе в год перерабатывается более 1,3 млрд. т слабого черного щелока, содержащего около 200 млн. т сухих веществ, которые сжигаются в СРК, где регенерируется 50 млн. т химических веществ, необходимых для варки целлюлозы (в пересчете на Na_2O) и производится 700 млн. т пара высокого давления. Это делает черный щелок отварки целлюлозы пятым по значимости топливом в мире после угля, нефти, природного газа и моторного топлива, и позволяет утилизировать отходы производства с пользой как для самого предприятия, так и для его дочерних структур (Кряжев, Голуби др., 2022).

Общий технологический процесс производства товарной блененной сульфатной целлюлозы подразделяется на несколько этапов (Андреев, Доспехова и др., 2012) (рис. 2.2):

- 1) Подготовка технологической щепы для варки целлюлозы производится в древесно-подготовительном цехе и включает окорку круглого леса, рубку его на щепу, сортировку щепы.
- 2) Варка целлюлозы осуществляется в варочном котле, где растворяются вещества древесины, такие как лигнин, в щелочном варочном растворе, состоящем из гидроксида и сульфата натрия, но при этом сохраняются целлюлоза и гемицеллюлозы для получения волокнистой массы оптимальной прочности.
- 3) Грубое и тонкое сортирование сваренной целлюлозы производится тремя-четырьмя ступенями в центробежной установке, состоящей из герметично закрытого корпуса, сортирующего сита, ротора с лопастями, создающими давление на щеповую массу для просеивания ее через сито. При грубой сортировке удаляются сучки и не проваренные частицы целлюлозы. Более мелкие узелки волокон удаляются на стадии тонкого сортирования.
- 4) Промывка сваренной целлюлозы помогает наиболее полно извлечь растворенные вещества из целлюлозной массы при минимально возможном расходе промывной жидкости и максимальным отбором более концентрированного раствора щелока для последующего выпаривания.
- 5) Кислородно-щелочная делигнификация позволяет снизить содержание остаточного лигнина в целлюлозе перед ее отбелкой, она производится в реакторе молекулярным кислородом и щелочью (окисленный белый щелок) при повышенной температуре и избыточном давлении.
- 6) Отбелка целлюлозы осуществляется в отбельном цеху с чередованием кислых и щелочных ступеней посредством удаления из волокна остатков окрашенных веществ без ухудшения физико-механических свойств материала. На кислородной ступени диоксида хлора происходит окисление остаточного лигнина, и растворение продуктов реакции – на щелочной стадии.
- 7) Очистка целлюлозы производится в установке, состоящей из рядов вихревых конических очистителей закрытого типа, в нижней части которых

расположены выходные патрубки для выпуска отходов и очищенной массы.

- 8) Сушка на пресспате осуществляется в два этапа: на мокрой части пресспата, где целлюлозная суспензия отливается и обезвоживается на сетчатом столе до 50-55% сухости полотна, и на сушильной части, где на сушильных цилиндрах или в сушильном шкафу полотно обезвоживается до 10-15%. Далее полотно охлаждается на холодильных цилиндрах, подается на резку различных форматов (рулоны или листы) и упаковывается в бумагу.

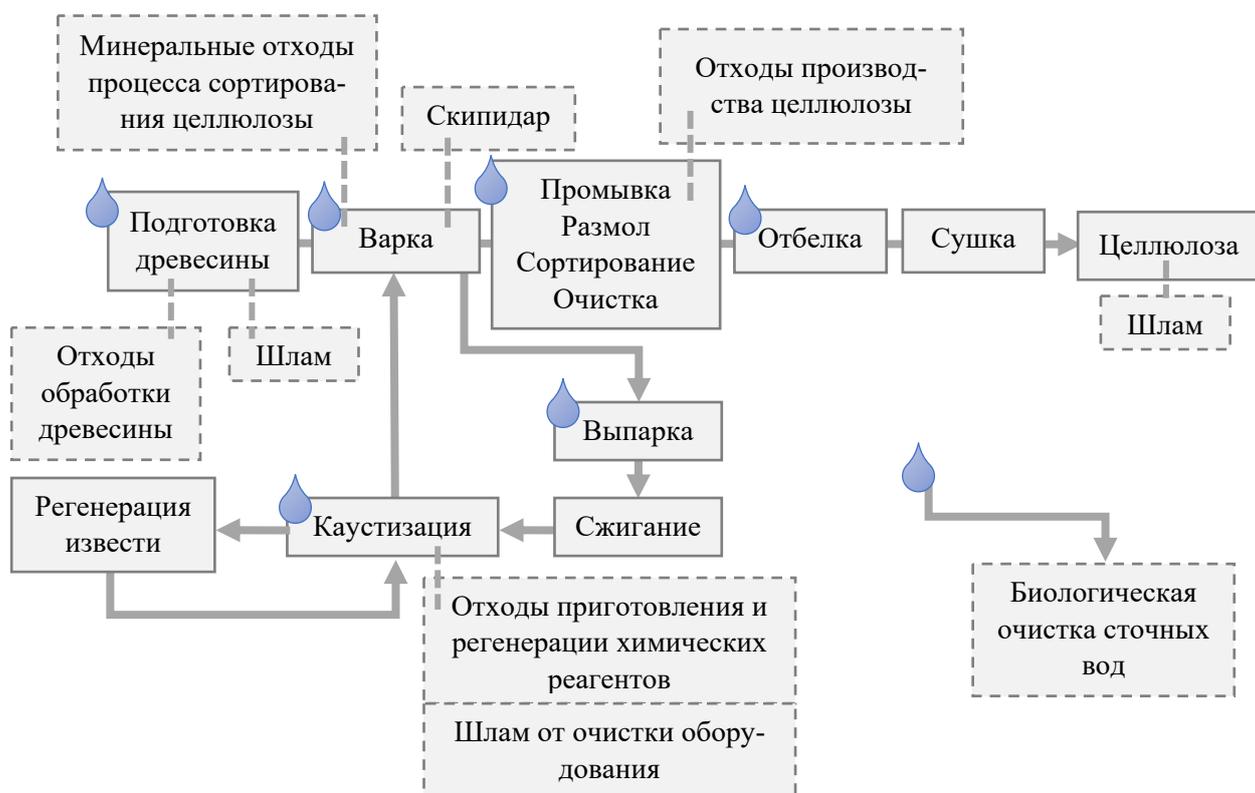


Рисунок 2.2 – Общая схема технологического процесса производства целлюлозы и образования отходов

Таким образом, из таблицы 2.2 видно, что лишь на некоторых этапах производства целлюлозы сульфатным способом образуются твердые отходы, большинство из которых подлежат вторичному использованию на предприятии.

Помимо этого, на всех производственных этапах происходит образование сточных вод, которые отправляются на биологические очистные сооружения

(БОС) для избавления от взвешенных веществ и щелочи и, в зависимости от типа предприятия, возвращаются в производственный цикл, либо отправляются в производственную канализацию. Наибольшее количество сбросов образуется на заключительном этапе – сушке целлюлозы на пресстате – 2,5 м³ (Производство целлюлозы..., 2016).

Таблица 2.2 – Виды твердых отходов на этапах производства целлюлозы (Кряжев, Голуби др., 2022)

Этап производства	Отходы производства и способ использования	Количество отходов	Класс опасности отходов
Подготовка технологической щепы для варки целлюлозы	Кордревесные отходы (на сжигание в энергетических котлах)	0,55 – 0,82 пл. м ³ (в зависимости от типа древесины)	4
	Камни, песок, металлические включения, зола (складирование)	0,01 т/т в.с.ц.	4
Каустизация в процессе регенерации щелока	Черный шлам зеленого щелока (складирование)	0,005 т/т в.с.ц.	3
Варка целлюлозы	Сухие вещества черного щелока (на сжигание в СРК)	0,896 - 1,210 т (в зависимости от типа древесины)	4
Грубое и тонкое сортирование сваренной целлюлозы	Масса сучков и коры (на повторную варку или производство картона)	0,01 - 0,02 т (в зависимости от типа древесины)	4
Промывка сваренной целлюлозы	Сухие вещества черного щелока (на выпарную станцию)	0,896 - 1,210 т (в зависимости от типа древесины)	4
Примечание: в. с. ц. – воздушно-сухая целлюлоза; пл. м ³ - плотный метр кубический, единица объема древесины без учета воздушных промежутков между бревнами, пиломатериалами, щепой и т. д.			

Выбросы в атмосферу также происходят на всех этапах производства целлюлозы, они представлены дурнопахнущими газами (ДПГ) высокой и низкой концентрации (на этапах варки, промывки, сортировки целлюлозы), СО и СО₂(углерода оксид, углерода диоксид) (на этапе кислородной делигнификации) или Сl (хлор) (на этапе отбеливания целлюлозы).

ДПГ характеризуются высоким содержанием сернистых соединений: диметилсульфид (ДМС), сероводород (H₂S), скипидар, являются взрывоопасными, при этом высококонцентрированные дурнопахнущие газы (ВК ДПГ) содержат

загрязняющие вещества в объеме, выше верхнего концентрационного предела воспламенения, и транспортируются с водяным паром паровым эжектором после образования в процессе варки целлюлозы, низкоконцентрированные дурнопахнущие газы (НК ДПГ) охлаждаются и транспортируются с воздухом при помощи вентилятора, поскольку объем загрязняющих веществ в них ниже верхнего концентрационного предела воспламенения.

ВК ДПГ сжигаются в отдельной топке, или, чаще всего, в содорегенерационных котлоагрегатах (СРК) с окислением до диоксида серы.

Дымовые газы от процессов сжигания в СРК направляются на очистку на электрофильтры. При концентрации сухих веществ в черном щелоке, подаваемом на сжигание в СРК, превышающей 72 %, диоксид серы обычно сорбируется щелочными пылевыми частицами в СРК и не требует дополнительной химической очистки. Степень обезвреживания ДПГ как низкой, так и высокой концентрации достигает 99,5% (Производство целлюлозы..., 2016).

Объем производства сульфитной целлюлозы меньше, чем объем производства сульфатной целлюлозы, что объясняется непригодностью сульфитной целлюлозы в качестве товарного продукта на рынке целлюлозы, она преимущественно используется для производства бумаги.

По сравнению с сульфатной сульфитная целлюлоза имеет ряд преимуществ: более высокий выход из древесины, повышенную способность к отбелке и размолу, а также высокую изначальную белизну, лучшие оптические и деформационные свойства; в атмосферу не поступают ДПГ. Однако в сульфитном процессе производства целлюлозы присутствуют существенные недостатки, объясняющие наименьшее его распространение, среди них: длительное время варки, высокие требования к используемому древесному сырью (возможно использование только малосмолистых пород деревьев: ели, пихты), дорогостоящее оборудование для очистки стоков, получаемая из нее бумага больше подвержена деформации, менее плотная и термостойкая (Гринь, Питак и др., 2016).

При производстве сульфитной целлюлозы технологическая щепка варится в растворе сернистой кислоты и гидросульфита кальция. Щепу после сортировки от механических примесей (опилки, крупные включения) направляют в варочный котел, в который закачиваются реагенты и подается пар. После завершения варки образующийся щелок направляют на переработку, полученную целлюлозу очищают от сучков, непроваренных включений и минеральных примесей, обезвоживают и направляют на бумажное производство. Отходы сортирования обезвоживаются и сжигаются в корьевом котле или могут использоваться для получения оберточной бумаги или картона.

Сульфитная варка целлюлозы дает отходы следующего состава: лигносульфонаты с ароматическими элементами, сахара (манноза, галактоза, глюкоза, ксилоза, арабиноза, уксусная кислота, метанол и фурфураль) (Гринь, Питак и др., 2016).

Также существуют другие способы получения целлюлозы, не получившие широкого распространения. Среди них бисульфитный и натронный.

Для бисульфитного способа варки, реагентом служит водный раствор бисульфита натрия или магния, которым обрабатывается хвойное сырье. Бисульфитная целлюлоза, по своим свойствам очень близка к сульфитной, однако обладает большей механической прочностью. Используется бисульфитная целлюлоза для производства писчих бумаг, бумаги для печати, газетной, упаковочной, мешочной, обойной и других видов бумаги.

Натронным способом получают целлюлозу из лиственных пород древесины и однолетних растений. Преимуществом данного метода является отсутствие неприятного запаха соединений серы. Вследствие высокой стоимости получаемой целлюлозы, метод практически не используется (Обзор состояния..., 2023).

Таким образом, наибольшее количество разных видов отходов образуется на подготовительных этапах обработки древесного сырья (от окорки древесины, до измельчения щепы), они представлены такими отходами, как: кора, опил, щепка, относящимся к 4 и 5 классам опасности. На этапе варки целлюлозы обра-

зуются сходные виды отходов, в независимости от типа используемого технологического процесса (сульфатный, сульфитный, бисульфитный, натронный), они включают кородревесные отходы, минеральные включения (камни, песок), черный шлам зеленого щелока, сухие вещества черного щелока, сучки и кору, относящиеся к 3 и 4 классам опасности.

Помимо этого, на всех этапах производства образуются сточные воды, подвергающиеся биологической очистке от взвешенных веществ и щелочи, очищенные воды могут как направляться обратно в производственный цикл, так и производственную канализацию. Другим отходом, образующимся во всем производственном процессе, являются ДПГ разной степени концентрации, также проходящие очистку на специализированных очистных сооружениях перед направлением выбросов в атмосферу. Исключением является сульфитный процесс варки целлюлозы, в ходе которого не образуются ДПГ, однако данный вид технологического процесса не получил широкого распространения.

2.3 Технология производства механических видов древесной массы

В производстве основных сортов бумаги и картона механические виды древесной массы являются преобладающими волокнистыми полуфабрикатами, обеспечивающими необходимые физико-технические свойства готовой продукции, ее высокую рентабельность и высокий выход с единицы используемого древесного сырья.

Механическая масса подразделяется на два типа (Производство целлюлозы..., 2016):

- 1) Чисто механическая масса, получаемая без использования химических реагентов:
 - традиционная дефибрерная древесная масса (ДДМ), получаемая истиранием древесины на дефибрерных камнях дефибреров различных типов: цепных, прессовых, винтовых и т. д.;

- дефибридная механическая масса (ДМД) — механическая масса, полученная истиранием древесины на дефибрерных камнях под давлением на двухпрессовом дефибрере;
 - рафинерная механическая или рафинерная древесная масса (РММ или РДМ), получаемая в результате механической обработки щепы в дисковых мельницах при атмосферном давлении;
 - термомеханическая масса (ТММ), получаемая в результате термогидролитической обработки (пропарки) и размола щепы в 1–3 ступени на дисковых мельницах под давлением.
- 2) Химико-механическая древесная масса, получаемая с использованием химикатов:
- химико-термомеханическая масса (ХТММ), получаемая путем совместной химической и термогидролитической обработки и размола щепы в две ступени под давлением;
 - термомеханохимическая масса (ТМХМ), при получении которой химические реагенты добавляются после 1-й ступени размола под давлением, в процессе размола или после размола;
 - химико-механическая масса из отходов сортирования или для длинноволокнистой фракции всех видов механической массы (ХММО), получаемая при отделении отходов сортировки длинноволокнистой фракции щепы и обработки ее при температуре 80-180 °С сульфатом натрия;
 - виды химико-механической массы высокой степени сульфирования (ХММ), получаемая путем интенсивной обработки щепы разными химическими реагентами, среди них: сульфированная химико-механическая масса (СХММ), бисульфитный полуфабрикат очень высокого выхода (БПОВВ), бисульфитная химико-термомеханическая масса (БХТММ), сульфитная масса высокого выхода (СВВ), сульфит-

ная масса сверхвысокого выхода (ССВВ), сульфитная масса очень высокого выхода (ОВВС);

- щелочная пероксидная механическая масса (ЩПММ), получаемая путем несколько ступенчатой (1-3 ступени) обработки щепы щелочным раствором пероксида водорода и размола; в качестве древесного сырья может быть использована щепа древесины лиственных и хвойных пород, а также их смесь;
- холодно-щелочной полуфабрикат (ХЩ), который в основном применяется при переработке древесины лиственных пород пропиткой их щепы содой при температуре ниже 100 °С и размывкой при атмосферном давлении.

Волокнистая масса используется в производстве бумаги и картона в качестве замены части целлюлозы, это позволяет существенно снизить себестоимость бумаги, а также улучшить ее печатные свойства.

Основными видами производимых механических масс являются ДДМ и ДДМД, ТММ, ХТММ и БХТММ, ХММ (Производство целлюлозы..., 2016).

Процессы получения механических масс сходны с процессами производства целлюлозы (рис. 2.3).

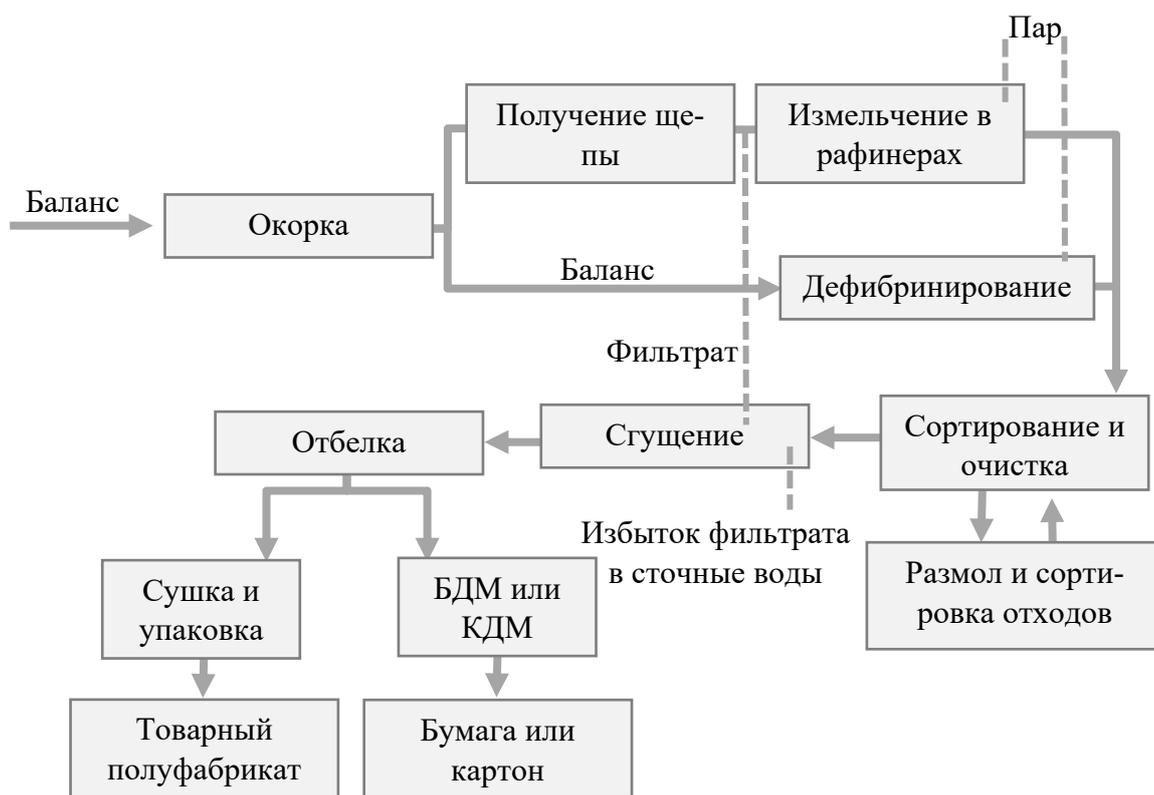


Рисунок 2.3 – Схема технологического процесса производства механических масс(Производство целлюлозы..., 2016)

Первичное измельчение древесины на волокна (дефибринование) происходит в рафинерах, в которых бревна прижимаются к вращающимся абразивным камням. Древесина разогревается, лигнин размягчается в большом объеме воды, и волокна высвобождаются в месте контакта древесины с камнем. Абразивные камни охлаждаются и очищаются от волоконводой, которую затем используют в процессе размола и перекачки массы на следующие стадии обработки, исключая ее сброс. Большое количество пара, образующегося в процессе размола, обычно улавливается для дальнейшего использования(Производство целлюлозы..., 2016).

Для повышения прочности получаемых механических масс дефибринование может производиться под давлением (продукт – ДДМД), однако это технически усложняет процесс производства и повышает себестоимость продукции.

В массе, полученной механическим способом, обычно содержатся нежелательные плохо измельченные фрагменты древесины и пучки волокон, которые удаляются для повышения прочности и качества печатной бумаги.

Сортирование включает несколько ступеней для более комплексного выделения из массы крупных фрагменты и пучков волокон, которые после дополнительного сортирования возвращаются в основной поток отсортированной массы, снижая количество окончательных отходов (Производство целлюлозы..., 2016).

Крупные включения удаляются из потока древесной массы на вибрационных сортировках. Отделенные крупные фрагменты измельчаются в дезинтеграторах и вместе с массой основного потока направляются на первую ступень сортирования. Основной поток массы после сортирования сгущается и аккумулируется в бассейне, откуда подается на бумажное или картонное производство, отходы сортирования перенаправляются на повторное измельчение, очистку в центриклинерах и сортировку (Производство целлюлозы..., 2016).

Окончательными отходами при такой схеме сортирования и очистки являются только очень небольшое количество отходов со ступени центриклинеров, представляющих собой неволоконистые включения, наличие которой крайне нежелательно в композиции бумажной массы, поскольку они препятствуют связеобразованию волокон в бумажном листе, что приводит к дефектам на стадии прессования. В зависимости от вида древесного сырья, технологии дефибрирования и схемы сортирования, содержание отходов, отделяемых от основного потока для переработки, может составлять от 5 % до 30 %.

В термомеханическом процессе (ТММ) промытая и отсортированная древесная щепка подвергается термической обработке, а затем процессу размола с применением дисковых мельниц, работающих при повышенном давлении (Производство целлюлозы..., 2016).

Данный вид производства механических масс позволяет использовать щепу, являющуюся отходом лесопильных и лесоперерабатывающих производств. Древесина для ТММ не должна содержать твердые включения, такие

как камни и песок, которые могут привести к повышенному износу или повреждению дисков рафинера. Посторонние включения в таком производстве предварительно удаляются, а щепа промывается в специальном аппарате, в результате чего получается загрязненная вода, направляемая на очистные сооружения.

Затем щепа пропаривается, после чего размалывается в 1-2 ступени при повышенной температуре и давлении. Отходы сортировки также размалываются, но на отдельном рафинере. Часть органических веществ, содержащихся в древесине, растворяется в воде и направляется на очистные сооружения предприятия.

Отбелка древесной массы реализуется путем перевода хромофорных групп лигнина в бесцветную форму. Эффект от такой отбелки сохраняется на время: бумага со временем желтеет (происходит реверсия белизны), поэтому механическая масса используется для производства газетной и журнальной бумаги. Процессы отбелки бумаги из механической массы отличаются в зависимости от используемых реагентов (Производство целлюлозы..., 2016):

- 1) Восстановительная отбелка с использованием дитионита натрия ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) позволяет сохранить всю органическую часть древесины, что минимизирует потери выхода продукции и нагрузку на очистные сооружения.
- 2) Окислительная отбелка с использованием пероксида водорода (H_2O_2) снижает выход продукции приблизительно на 2 % из-за сохранения щелочной среды, что приводит к увеличению нагрузки на очистные сооружения. Для повышения эффективности отбелки и снижения влияния ионов тяжелых металлов на процесс до отбелки добавляют хелаты, чтобы образовать стабильные комплексы с тяжелыми металлами (Fe, Mn, Cu, Cr). Однако используемые хелаты содержат азот, попадаемый в сточные воды.

В ходе производства механических древесных масс образуются твердые отходы, представляющие собой неволокнистые твердые включения, такие как камни и песок, удаляемые на этапе сортировки и промывки щепы. Помимо этого, также образуются сточные воды, которые отправляются на очистку и могут

возвращаться в производственный цикл или канализацию, в зависимости от типа получаемой продукции.

2.4 Технология производства бумаги и картона

Бумага и картон представляют собой упруго-пластичный, композитный материал, состоящий из обработанных волокон растительного происхождения, соединенных в листовую форму. Принципиальных отличий в технологическом процессе производства бумаги и картона нет, различия существуют лишь в свойствах и использовании материала.

Производство бумаги и картона осуществляется, главным образом, на крупных предприятиях, основой которых являются бумаго- и картоноделательные машины (БДМ и КДМ). При этом существуют целлюлозно-бумажные комбинаты (ЦБК), где организовано интегрированное производство целлюлозы до бумаги и картона, и бумажные фабрики (БФ), где бумага и картон производятся из готовых сухих волокнистых материалов, поступающих из ЦБК. В настоящее время значительное количество БФ в качестве сырья используют вторичные волокна (макулатуру), поступающую на производство в виде бывших в употреблении изделий на основе бумаги и картона (Иванов, 2006).

В условиях ЦБК волокно на производство бумаги и картона поступает по трубопроводам жидким потоком, на БФ необходим роспуск сухих волокнистых полуфабрикатов, в том числе макулатуры в специальных аппаратах – гидроразбивателях.

Свежие волокнистые материалы, поступающие на производство бумаги и картона в условиях ЦБК жидким потоком, либо на БФ как готовые волокнистые полуфабрикаты, подвергают размолу в присутствии воды. При этом различные волокнистые полуфабрикаты, размалываются отдельно, а затем смешиваются в композиционном бассейне в пропорциях, позволяющих получать необходимые свойства готовой продукции. В композиционный бассейн также поступает оборотный брак, образующийся при работе БДМ и КДМ, дозируемый в

количествах, не ухудшающих качество производимой бумаги и картона соответственно.

В случае использования вторичного волокна технологическая схема имеет несколько другую структуру, так как требуется предварительное грубое сортирование для удаления крупных неволокнистых включений на стадии роспуска. Далее макулатурная масса (ММ) проходит стадию фракционирования для разделения длинных и коротких волокон, а затем размол для измельчения длинноволокнистой фракции (Дубовый, Смолин и др., 2022).

В волокнистую массу после размолла при необходимости вводят наполнители (белые пигменты), проклеивающие, отбеливающие, окрашивающие вещества, также способные контролировать свойства готовой продукции и ее характеристики.

Готовая бумажная масса с регулируемой концентрацией аккумулируется в машинном (расходном) бассейне и направляется на разбавление оборотной водой, сортирование для удаления мелких тяжелых включений (песок) и нераспущенных волокон (узелков), деаэрацию. Далее бумажная масса через потоко-распределитель направляется в напускное устройство (напорный ящик) и поступает в сеточную часть БДМ либо КДМ, в зависимости от типа получаемой продукции (Дубовый, Смолин и др., 2022).

В сеточных частях различной конструкции из разбавленной волокнистой суспензии осаждаются волокна, масса практически полностью обезвоживается. Влажное полотно поступает в прессовую часть, далее в сушильную часть. При необходимости сухая бумага или картон (90–92 % сухого вещества) подвергается поверхностной обработке (поверхностная проклейка, специальное нанесение, пигментация, легкое мелование), затем досушивается до остаточной влажности 5–8 %, охлаждается и поступает на накат. Полученное полотно после машинной отделки может подвергаться суперкаландрированию для повышения плотности и гладкости. Также бумага и картон после наката при необходимости поступает на специальное оборудование для нанесения различных пропиток и покрытий, для среднего или полного мелования, для соединения с другими ви-

дами бумаги и картона либо полимерными материалами, что позволяет получить различные виды бумажной продукции. Готовую бумагу или картон разрезают на рулоны или листы требуемых форматов на резательных станках, сортируют и упаковывают(Дубовый, Смолин и др., 2022).

Отходящую на БДМ и КДМ воду (оборотную), содержащую мелкие волокна, наполнители и проклеивающие вещества, химические реагенты, используют для разбавления в смесительных устройствах и для роспуска сухих волокнистых полуфабрикатов (свежих и вторичных). Избыточная оборотная вода поступает на массаулавливающую аппаратуру. Уловленные взвешенные вещества (скоп) используются в производстве. Осветленная вода также может частично использоваться для технологических нужд, большая часть осветленной воды при достижении требуемых параметров по содержанию оставшихся взвешенных веществ передается на очистные сооружения предприятия.

Товарная бумага и картон подвергается дальнейшей переработке в различные изделия. Наиболее массовым из них является производство гофрокартона и ящичной тары, изготавливаемой из картона для плоских слоев (картон-лайнер) и бумаги для гофрирования (флютинг)(Дубовый, Смолин и др., 2022).

Санитарно-гигиеническая бумага перерабатывается на рулончики туалетной бумаги, салфетки, полотенца и т. д. (конвертинг)(Дубовый, Смолин и др., 2022).

Шлам, образующийся в процессе производства картона или бумаги – это остаток, удаляемый при очистке сточных вод. На единицу бумажного производства образуется 23,4% шлама. Основными компонентами шлама бумажного производства являются неорганические остатки и мелкие органические частицы – целлюлозные волокна(Касимов, Семенов и др., 2008).

Шлам, образующийся при производстве различных бумажных изделий, составляет от 20 до 40% в сухой массе, что определяется сортом бумаги и конкретным типом процесса, используемого для производства бумажного изделия. Обычный процесс обработки осадка включает в себя сгущение шламовых отходов, которые обезвоживаются механическим способом с образованием

твердого осадка – скопа, и сжигание полученной массы, которое является широко практикуемым внутренним маршрутом производства биотоплива на целлюлозно-бумажных производствах (Касимов, Семенов и др., 2008).

В Российской Федерации разработана технология остекловки шламов сточных вод промышленных предприятий замкнутого цикла, которая позволяет превратить шламы в неактивные стеклопродукты, пригодные к вторичному употреблению. Остеклование твердой фазы шлама – это процесс плавления и отверждения минеральных включений (глины и песка), содержащихся в шламе сточных вод предприятий, в частности, занимающихся целлюлозно-бумажным производством (Касимов, Семенов и др., 2008).

На рисунке 2.4 представлена технологическая схема производства бумаги и картона.

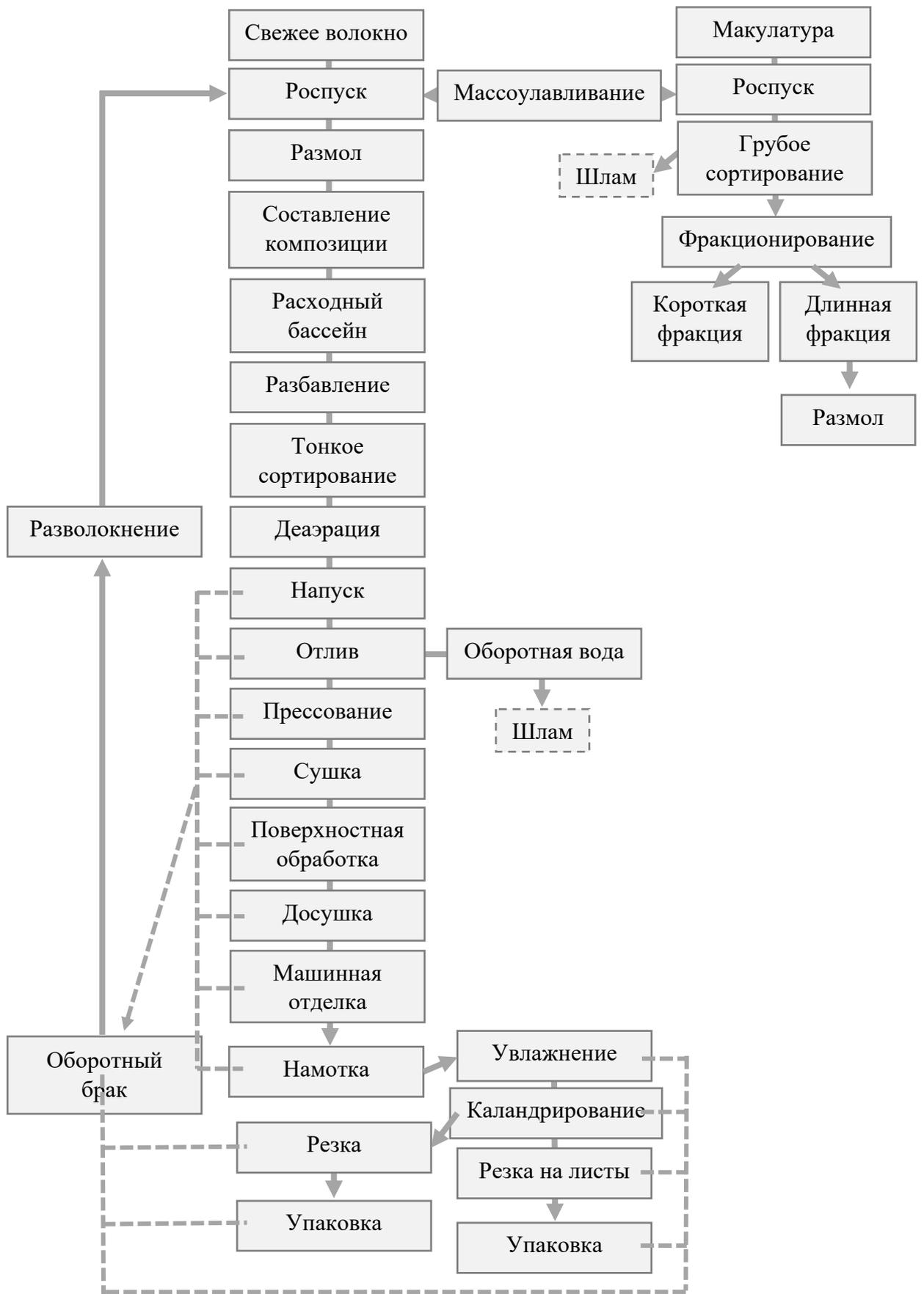


Рисунок 2.4 – Технологическая схема производства бумаги и картона
(Дубовый, Смолин и др., 2022)

Существуют производства, где бумага-основа претерпевает активное физико-химическое воздействие (растительный пергамент, фибра). В целом переработка бумаги и картона весьма разнообразна, что значительно расширяет ассортимент товаров на их основе (Дубовый, Смолин и др., 2022).

Таким образом, при производстве бумаги и картона образуется большое количество сточных вод, которые подвергаются очистке от органических и неорганических включений, представляющих собой шлам. Шламовые отходы сгущаются и обезвоживаются механическим способом с образованием твердого осадка – скопа, направляемого на сжигание в качестве биотоплива. Другим методом обезвреживания шлама является его остекловка, которая позволяет превратить шлам в неактивные, пригодные к вторичному употреблению стеклопродукты, а очищенные сточные воды направить обратно в цикл производства.

3.1 Виды и объемы образования отходов

Обзор глобальных потоков отходов показал, что отходы целлюлозно-бумажной промышленности составляют 17 % отходов в мире ежегодно (Hoornweg, Bhada-Tata, 2012).

В России на долю отходов из бумаги и картона приходится 14% всех образующихся отходов в год. При этом данный показатель растет с ростом благосостояния страны, например, страны с низким доходом (<26000 руб.ВНД/чел.) образуют лишь 5% отходов бумажной продукции, в то время как страны с высоким доходом (<3200000 руб.ВНД/чел.) – 31% (ВНД – валовый национальный доход) (Отходы в России..., 2023).

Целлюлозно-бумажное производство – источник образования различных типов твердых, жидких и газообразных отходов на различных этапах как заготовки древесины, так и производства конечной продукции.

Так, например, количество коры древесных отходов, образующихся на первоначальном этапе подготовки древесины к направлению в дальнейший производственный цикл, зависит от породы используемого сырья, диаметра и возраста дерева, а также от региона его произрастания (кора деревьев, произрастающих в суровом климате более толстая, что необходимо для защиты дерева от воздействия низких температур) (табл. 3.1) (Альберг, 2016).

Таблица 3.1 – Содержание коры по основным породам древесины (Альберг, 2016)

Порода	Содержание коры в объеме ствола, %	Содержание коры по массе, отнесенное к 1 м ³ древесины ствола в кг/м ³ (при влажности 55 %)
Ель	7-10	55-61
Сосна	10-12	75-80
Береза	13-15	130-140
Осина	14-15	135-140
Лиственница	18-25	160-180

Второе место по объему образования занимает такой отход, как отсев щепы, представляющий собой щепу, недопустимых для переработки на целлюлозно-бумажном производстве размеров, его на крупном предприятии в среднем образуется порядка 10 тыс. м³ (Кочанов, 2004).

На дальнейших этапах производства образуется незначительное количество твердых отходов, преобладающий объем приходится на сбросы и выбросы от сложных технологических процессов, к которым в частности относится варка целлюлозы или производство механических древесных масс.

Сточные воды подвергаются очистке от органических (древесные волокна) и неорганических (камни, песок) включений, представляющих собой шлам, который сгущается и обезвоживается механическим способом с образованием твердого осадка – скопа, используемого впоследствии как биотопливо.

Выбросы целлюлозно-бумажных предприятий представляют собой дурнопахнущие газы, которые сжигаются и окисляются до диоксида серы. Дымовые газы от процессов сжигания направляются на очистку на электрофильтры до 99,5% (Производство целлюлозы..., 2016).

При этом объемы образующихся отходов зависят от типа производства, сорта производимой продукции (вида бумаги или картона) и, в некоторой мере, от способа производства.

На этапе варки целлюлозы или переработки сырья в механические древесные массы образуются сходные виды отходов, в независимости от типа используемого технологического процесса (сульфатный, сульфитный, бисульфитный, натронный), они включают кородревесные отходы, минеральные включения (камни, песок), черный шлам зеленого щелока, сухие вещества черного щелока, сучки и кору, относящиеся к 3 и 4 классам опасности. Однако при сульфитной варке целлюлозы не образуются дурнопахнущие газы (Гринь, Питак и др., 2016).

Для сравнения, количество отходов, образующихся в отраслях, использующих переработанную бумагу, приводит к образованию большего количества шлама, чем при традиционном подходе с использованием пер-

вичного древесного сырья. Из каждой тонны переработанной бумаги образуется в общей сложности 300 кг шлама (Хайле, Гелебо и др., 2021).

Таким образом, в целях экологизации производства, а также снижения себестоимости продукции необходимо в полной мере использовать сырье, учитывая различность объемов образующихся отходов в зависимости от пород древесины или перерабатываемой макулатуры, типа технологии, как в случае варки целлюлозы или производства механических древесных масс, а также вида, требуемых свойств и потребительских характеристик производимой продукции.

3.2 Негативное влияние отходов ЦБП на окружающую среду

Отходы, образующиеся на целлюлозно-бумажных предприятиях, отрицательно влияют на окружающую среду с разных точек зрения. Выбросы целлюлозно-бумажных предприятий оказывают значительное негативное воздействие на атмосферный воздух. Образующиеся твердые и жидкие отходы целлюлозно-бумажной промышленности наносят серьезный вред водной флоре и фауне, нарушают пищевую цепочку, а также вызывают различные последствия для здоровья населения (Загрязняющие вещества..., 2023).

В таблицах 3.2 и 3.3 содержится перечень основных загрязняющих веществ, поступающих в окружающую среду через выбросы и стоки предприятий ЦБП (на примере ЦКК в г. Усть-Илимск в 2019г.), содержание значительно превышает их нормативно допустимое (ПДВ и $C_{ндс}$).

Помимо веществ, представленных в таблице 3.2, выбрасывается еще 43 твердых и газообразных вещества, превышение содержания которых над ПДВ не столь критично. Общая масса выбросов целлюлозно-картонного комбината составляет 563,2 г/с (14079,8 т/с) (Экологическая политика..., 2019).

Таблица 3.2 – Перечень основных загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу предприятиями ЦБП (на примере ЦКК в г. Усть-Илимск в 2019г.)(Экологическая политика..., 2019)

Загрязняющее вещество	Класс опасности	ПДВ		Суммарный выброс веществ	
		г/с	т/Г	г/с	т/Г
Углерод оксид	4	11,4	399,2	151,26	3896,09
Пыль, образующаяся при сжигании щелоков сульфатного производства	-	4,0	121,6	113,1	3401,8
Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	3	6,1	229,4	24,36	645,2
Углерод (Сажа)	3	0,1	4,9	11,4	292
Азот (II) оксид (Азота оксид)	3	1,0	38,0	4,0	104,8
Метантиол (Метил-меркаптан)	4	0,0008	0,02	3,2	31,9
Дигидросульфид (Сероводород)	2	0,9	13,4	1,8	39,3
Мазутная зола теплоэлектростанций (в пересчете на ванадий)	2	0,1	0,002	0,3	2,2
Железа оксид	3	0,01	0,02	0,5	1,0
Формальдегид	2	0,02	0,4	0,02	0,5
Метилбензол (Толуол)	3	0,00002	0,000001	0,6	0,1
Гидроксibenзол (Фенол)	2	0,01	0,3	0,01	0,35
Пыль неорганическая: 70-20% SiO ₂	3	0,00008	0,00005	0,16	0,06
Углеводороды предельные C ₁₂ - C ₁₉	4	0,03	0,03	5,7	9,7

Сточные воды целлюлозно-бумажных предприятий также содержат загрязняющие вещества, даже после прохождения ими биологических очистных сооружений (БОС), степень очистки которых индивидуальна для каждого предприятия.

В соответствии с законодательством РФ (№219–ФЗ), предприятия получают индивидуальные разрешения, устанавливающие нормативы допустимых сбросов, при соблюдении которых обеспечиваются требования в области охраны окружающей среды(О внесении изменений..., 2022).

Таблица 3.3 – Основные загрязняющие вещества сточных вод (на примере ЦКК в г. Усть-Илимск в 2019г.)(Экологическая политика..., 2019)

Наименование вещества	Сндс, мг/л	Среднее значение сброса веществ после очистки, мг/л
Хлорид-анион	348	441
ХПК	359	398
БПК _{полн}	7,5	9,6
Сульфат-анион	48	49,5
Лигносульфаты (лигнин сульфатный)	4,8	4,9
Нитрат-анион	1,1	1,2
Масло легкое таловое	0,31	0,36
Хлороформ (трихлорметан)	0,13	0,18
Метанол (метиловый спирт)	0,5	0,55

Уровень негативного воздействия на окружающую среду предприятий целлюлозно-бумажной промышленности зависит от производственных возможностей очистных сооружений, установленных на предприятии, что справедливо как для очистки производственных сточных вод, так и выбросов предприятия в атмосферу. Кроме того, отследить уровень загрязнения атмосферного воздуха и водных объектов, на которые оказывается наибольшее воздействие в процессе эксплуатации ЦБП, позволяет сравнение содержания загрязняющих веществ с критериями нормирования, такими как ПДВ и Сндс.

3.3 Система обращения с отходами (на примере Целлюлозно-картонного комбината АО «Группа «ИЛИМ» в г. Усть-Илимске)

Целлюлозно-картонный комбинат АО «Группа «ИЛИМ» в г. Усть-Илимске в настоящее время производит беленую и небеленую хвойную целлюлозу, лесохимическую продукцию, в том числе таловую канифоль, жирные таловые кислоты, таловое дистиллированное и легкое масло, очищенный сульфатный скипидар, в октябре 2022 года начались пусконаладочные работы на

ключевых объектах комбината, а весной 2023 начался пуск производства на массе(Усть-Илимский ЦКК..., 2023).

Для оценки воздействия на окружающую среду в пределах деятельности Филиала АО «Группа «ИЛИМ» в г. Усть-Илимске ООО «Пеуру Рус» в 2019 году был создан проекта ОВОС целлюлозно-картонного комбината.

В процессе производства на ЦКК образуются следующие основные виды отходов(Экологическая политика..., 2019):

- отходы коры– 4 класс опасности;
- щепа натуральной чистой древесины– 5 класс опасности;
- отходы минеральные процесса сортирования целлюлозы при ее производстве(шламы от зачистки оборудования целлюлозного производства)– 4 класс опасности;
- отходы зачистки оборудования производства целлюлозы – 4 класс опасности;
- брак полиэфирного волокна и нитей– 5 класс опасности;
- мусор с защитных решеток хозяйственно-бытовой и смешанной канализации малоопасный– 4 класс опасности;
- ил избыточный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод – 4 класс опасности;
- осадок с песколовок при очистке хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод малоопасный – 4 класс опасности.

Помимо этого, также образуются отходы, связанные с обеспечением как правильного функционирования отдельных технологических установок, так и всего предприятия в целом(Экологическая политика..., 2019):

- светильники со светодиодными элементами в сборе, утратившие потребительские свойства– 4 класс опасности;
- мусор от офисных и бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный)– 4 класс опасности;

- мусор и смет производственных помещений малоопасный– 4 класс опасности;
- смет с территории предприятия малоопасный – 4 класс опасности;
- отходы коры– 4 класс опасности;
- обтирочный материал, загрязненный нефтью или нефтепродуктами (содержание нефти или нефтепродуктов менее 15%)– 4 класс опасности;
- ленты конвейерные, приводные ремни, утратившие потребительские свойства, незагрязненные– 5 класс опасности;
- стружка стальная незагрязненная – 5 класс опасности;
- пыль (порошок) абразивные от шлифования черных металлов с содержанием металла менее 50% – 4 класс опасности;
- абразивные круги отработанные, лом отработанных абразивных кругов – 5 класс опасности;
- отходы синтетических масел компрессорных – 3 класс опасности;
- фильтры воздушные компрессорных установок в стальном корпусе отработанные – 4 класс опасности;
- фильтры очистки масла компрессорных установок отработанные (содержание нефтепродуктов менее 15%)– 4 класс опасности;
- аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные, с электролитом– 2 класс опасности;
- отходы минеральных масел гидравлических, не содержащих галогены– 3 класс опасности;
- отходы минеральных масел промышленных – 3 класс опасности;
- отходы минеральных масел моторных – 3 класс опасности;
- отходы минеральных масел трансмиссионных– 3 класс опасности;
- фильтры очистки масла автотранспортных средств отработанные – 3 класс опасности;
- фильтры очистки топлива автотранспортных средств отработанные – 3 класс опасности;

- фильтры воздушные автотранспортных средств отработанные– 4 класс опасности;
- шины пневматические автомобильные отработанные – 4 класс опасности;
- остатки и огарки стальных сварочных электродов– 5 класс опасности;
- отходы упаковочного картона незагрязненные– 5 класс опасности;
- отходы полиэтиленовой тары незагрязненной – 5 класс опасности;
- тара деревянная, утратившая потребительские свойства, незагрязнённая– 5 класс опасности.

Основные отходы, образующиеся в процессе эксплуатации ЦКК, относятся к IV (малоопасные) и V (практически неопасные) классам опасности.

В зависимости от класса опасности и технических возможностей предприятия, образующиеся отходы утилизируются и обезвреживаются на предприятии-отходообразователе или на сторонних предприятиях, с которыми заключен договор, или размещаются на собственном полигоне отходов целлюлозно-бумажного предприятия (табл. 3.4).

Таблица 3.4 – Пример методов обращения с отходами, образующимися при эксплуатации ЦКК(Экологическая политика..., 2019)

Наименование образующихся отходов	Класс опасности	Место временного накопления отхода (МВНО)	Периодичность вывоза	Объект планируемого размещения, переработки или утилизации
Аккумуляторы свинцовые отработанные неповрежденные, с электролитом	2	В закрытом помещении в закрытой таре, которая должна стоять на специальном поддоне, исключаящем пролитие электролита (края поддона не меньше 5 см). Пол должен быть сделан из материала устойчивого в отношении химического воздействия, и не допускать сорбцию вредных веществ.	По мере накопления, не реже 1 раза в 11 месяцев	Лицензированное предприятие по обезвреживанию аккумуляторов (ООО «Сибвторцветмет»)

Продолжение таблицы 3.4

Наименование образующихся отходов	Класс опасности	Место временного накопления отхода (МВНО)	Периодичность вывоза	Объект планируемого размещения, переработки или утилизации
Отходы минеральных масел	3	Герметичные металлические емкости, расположенных на бетонированном основании	По мере накопления, не реже 1 раза в 11 месяцев	Лицензированное предприятие по обезвреживанию отходов III класса опасности (ООО «Гидротехнологии Сибири» и ООО «Экозащита Сибири»)
Ил избыточный биологических очистных сооружений хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод	4	Навалом или в металлических бункерах отдельно с другими отходами на бетонированном основании	По мере накопления, не реже 1 раза в 11 месяцев	Собственный лицензированный полигон промышленных отходов (АО «Группа «Илим» Усть-Илимский район – карьер № 83)
Осадок с песколовков при очистке хозяйственно-бытовых и смешанных сточных вод малоопасный	4			
Мусор с защитных решеток хозяйственно-бытовой и смешанной канализации малоопасный	4			
Отходы коры	4	Кучевое хранение на бетонной площадке, отдельно с другими отходами	По мере накопления (ежедневно)	Использование на проектируемом объекте в качестве топлива
Щепа натуральной чистой древесины	5	Кучевое хранение на бетонной площадке, отдельно с другими отходами	По мере накопления (ежедневно)	Использование на проектируемом объекте в качестве топлива
Ленты конвейерные, приводные ремни, утратившие потребительские свойства, незагрязненные	5	Селективно	По мере накопления, не реже 1 раза в 11 месяцев	Лицензированное предприятие по утилизации данного вида отходов (ООО «Инновация»)

Для снижения вероятности возникновения возможных аварийных ситуаций при обращении с отходами, а также отрицательного влияния на окружающую среду рассматриваемого объекта предусматриваются следующие мероприятия (Экологическая политика..., 2019):

- обеспечение надлежащего накопления отходов с соблюдением экологических, санитарно-гигиенических, противопожарных и других требований;
- заключение договоров с лицензированными организациями на вывоз, прием и переработку, а также обезвреживание и размещение отходов с территории производственной площадки;
- обеспечение селективного сбора и своевременного вывоза отходов с территории производственной площадки в соответствии с санитарными нормами и требованиями экологической безопасности;
- контроль над состоянием мест накопления отходов.

Соблюдение периодичности вывоза, сохранение герметичности контейнеров и целостности покрытия площадок для временного накопления отходов, позволит исключить загрязняющее воздействие отходов на атмосферный воздух, почву и подземные воды.

Таким образом, на предприятии действует отработанная схема обращения с отходами производства, позволяющая снизить уровень негативного воздействия на окружающую среду и преобразовывать часть отходов во вторсырье для переработки или получения энергии.

3.4 Система обращения с отходами (на примере корпорации «Graphic Packaging Holding Company», США)

Корпорация «Graphic Packaging Holding Company» базируется в штате Джорджия США, в городе Сэнди-Спрингс. Это ведущая компания в разработке и производстве упаковки для коммерческих продуктов. GPI производит картоны складные картонные коробки для широкого спектра популярных потреби-

тельских товаров, в частности напитков и продуктов питания (A history..., 2023).

Компания придерживается подхода к минимизации отходов и управлению ими в соответствии с принципами замкнутого цикла. В основе этого лежит переход к использованию возобновляемых материалов и возобновляемой энергии с акцентом на восстановление природы, эффективно отделяя экономическую деятельность от потребления ограниченных природных ресурсов.

«GraphicPackagingHoldingCompany» соответствует классической иерархии управления отходами: сокращение, повторное использование, вторичная переработка. Так, например (ESG Reporting Resources..., 2023):

- установки первичной деревообработки максимально эффективно используют древесный материал, извлекая кору, ветви и биомассу черного щелока для сжигания его в качестве топлива;
- получение побочных продуктов из скипидара и талового масла/ мыла для продажи, а также оптимизация производства картона для максимального получения древесных волокон для производства бумаги сокращают объем отходов, зароняемых на полигонах;
- установки для химической варки целлюлозы извлекают до 94% негашеной извести и регенерируют ее, используя в дальнейшем процессе варки древесной щепы, что сводит к минимуму количество новой извести, которую необходимо закупать;
- разработчики продукции оптимизируют схемы раскроя картона, подбирая схемы высечки с учетом ширины произведенных рулонов, чтобы свести к минимуму количество отходов, образующихся при переработке. При этом полученные обрезки материала направляются обратно в производственный цикл упаковочного картона.

Когда нет альтернативы утилизации, «GraphicPackagingHoldingCompany» классифицирует, обрабатывает и утилизирует опасные и неопасные отходы в соответствии с нормативными актами местных органов власти, направляя отходы на места их захоронения по договору с соответствующими организациями.

Для сокращения объем сбросов в отношении использования водных ресурсов на корпорации проводятся следующие мероприятия(ESG Reporting Resources..., 2023):

- после промывки целлюлозы промывочная вода превращается в слабый черный щелок и нагревается для концентрирования черного щелока и рекуперации энергии, при этом, вода, выпаренная на этом этапе, извлекается и повторно используется для промывки новых партий целлюлозы;
- вода, используемая для транспортировки и распределения древесных волокон, сливается и извлекается из сформированного листа картона, затем возвращается обратно в напорный ящик для переносанового волокна на стол для раскатки картонного листа;
- отработанный пар, улавливаемый в виде конденсата в сушилках, испарителях черного щелока, турбогенераторах и других технологических установках, возвращается обратно в котлы для выработки нового пара. Регенерированный конденсат пара, возвращаемый в котлы, обычно обеспечивает 65-75% воды котла, а недостающий объем воды поступает за счет свежей приточной воды;
- охлаждение оборудования: управление водой, используемой для охлаждения технологического оборудования и энергетических турбин, осуществляется в системах замкнутого цикла с использованием градирен для отвода избыточного тепла и рециркуляции охлажденной воды обратно для получения дополнительной охлаждения оборудования.

В дополнение к управлению количеством используемой воды, заводы также сосредоточены на управлении качеством воды, сбрасываемой в окружающую среду. Подход к управлению качеством воды начинается с соблюдения местных законов, нормативно-правовых актов и требований к разрешениям на сброс, регулирующих конкретные сточные воды критерии качества, установленные для защиты местных водных ресурсов. На корпорации используется система очистки сточных вод для минимизации негативного воздействия на водные объекты, куда производится сброс.

В таблице 3.5 представлена система обращения с отходами на предприятиях корпорации «Graphic Packaging Holding Company».

Таблица 3.5 – Пример методов обращения с отходами, образующимися при эксплуатации корпорации (ESG Reporting Resources..., 2023)

Наименование образующихся отходов	Уровень воздействия на ОС	Метод утилизации
<p>Отходы производства:</p> <ul style="list-style-type: none"> • невозстановливаемые волокнистые отходы, твердые частицы отфильтрованных сточных вод, зола котлов на биомассе; • нестандартный продукт обрезки рулонов и образцы контроля качества. 	Минимальный	Направляются на переработку для изготовления нового картона.
<p>Отходы переработки:</p> <ul style="list-style-type: none"> • пластиковые и металлические отходы. <p>Опасные и неопасные химические отходы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • отработанные чистящие средства; • смазки для оборудования; • отработанное масло. <p>Универсальные отходы</p>	Минимальный	<p>Надлежащим образом характеризуются в соответствии с местными правилами и направляются на утилизацию.</p> <p>Алюминиевые печатные формы могут быть переработаны по истечении срока службы.</p>
<p>Отходы бизнеса:</p> <ul style="list-style-type: none"> • офисный мусор; • пищевые отходы; • упаковочные отходы от приобретенных материалов; • отработанная электроника (осветительные приборы, компьютерная техника и т.п.) 	Минимальный	Там, где это применимо, некоторые материалы извлекаются для вторичной переработки (например, офисная бумага), остальные обычно отправляются на полигон отходов для захоронения и на мусоросжигающие предприятия для получения тепловой энергии.

Таким образом, можно сделать вывод, что Корпорация «Graphic Packaging Holding Company» использует действующую схему обращения с отходами производства, которая дает возможность использовать все ресурсы в наиболее полном объеме, что, несомненно, снижает как уровень негативного воздействия на окружающую среду, так и себестоимость выпускаемой продукции по средствам использования вторсырья.

В условиях роста объемов производства целлюлозно-бумажной продукции необходимо комплексное использование древесины, предполагающее переработку всей биомассы дерева, в том числе древесной зелени, для получения целевых продуктов.

Основную массу древесной зелени составляют нерастворимые полисахариды и лигнин, однако наибольшую ценность представляют экстрактивные вещества, многие из которых обладают биологически активными свойствами, в их число входят арабиногалактан, пектин, аскорбиновая кислота и др. (Современная..., 2022).

Например, по методу Ф. Т. Солодкого, основателя лесобиохимии, из древесной зелени, типично не использующейся в цикле целлюлозно-бумажного производства и образующейся в объеме 32-74 кг/м³ срубленной древесины, можно получить такие продукты, как (Сборник..., 2019):

- 1) Хлорофилло-каротиновая паста, используемая в парфюмерно-косметической промышленности как биологически активная добавка, как основа парфюмерно-косметической эко-продукции или в качестве кормовой добавки сельскохозяйственным животным и птицам. Полученная в ходе переработки сосновой и еловой хвои паста соответствует ГОСТ 21802-84: в 100 г сухой пасты не менее 1000 мг производных хлорофилла и 45 мг каротина. Выход пасты из 1 т сосновой лапки – 75 кг, из еловой – 35 кг.
- 2) Путем экстракции бензином измельченной еловой лапки производят вещества для парфюмерно-косметических изделий:
 - Провитаминный концентрат, который содержит каротиноиды, фитол, витамин Е, стерины и др. вещества. Выход составляет 5 кг из 1 т еловой лапки.
 - Бальзамическая паста, содержащая значительное количество хлорофилла. Выход составляет 5 кг из 1 т еловой лапки (Кряжев, 2022).

– Хлорофиллин натрия представляет собой высокоценный препарат, содержащий 30 % производных хлорофилла. Выход составляет 0,2 кг из 1 т еловой лапки.

При этом процесс переработки еловой лапки безотходный. Прокстрагированную бензином лапку обрабатывают горячей водой и из водного раствора вырабатывают лечебный хвойный экстракт, а из отработанной лапки – кормовую муку. Подобным методом можно перерабатывать древесную зелень ольхи(Гордон, Скворцов и др., 1988).

3) Хвойно-витаминная мука может быть получена путем измельчения и сушки древесной зелени, сходной по химическому составу с травой. Витаминную муку используют только как добавку к основному корму скота и птиц, поскольку она содержит алкалоиды, смолистые и дубильные вещества, не содержащиеся в траве. Производительность передвижных установок по хвойно-витаминной муке – 0,1 т/час, на стационарной установке – более 1000 т/год(Кряжев, 2022).

Другим отходом целлюлозно-бумажного производства является кора. Она характеризуется высоким разнообразием содержащихся в ней химических элементов, поэтому существуют следующие основные направления переработки кородревесных отходов:

1. Окислительный аммонолиз сосновой коры (оксиаммонолиз) – это процесс получения азотсодержащих удобрений из коры путем обработки сырья кислородом в водном растворе аммиака. Данный метод позволяет получать азотсодержащие продукты, характеризующиеся достаточно высокой эффективностью при применении в качестве удобрений(Варфоломеев, 1992).
2. Введение цеолитовых добавок для минерализации разных видов коры. Заключается в использовании широко распространенных природных цеолитов в качестве минеральных добавок к коре, так обеспечивается возврат органических и минеральных веществ в биологический круговорот (Курило, Куликова и др., 2013).

3. Получение углекислотного, водного и спиртового экстрактов из древесных отходов. Заключается в экстрагировании ценных компонентов из сырья в системе твердое тело–жидкость, данный метод имеет недостаток в получении остатка, нуждающегося в последующей утилизации(Дейнеко, Дейнеко и др., 2002).
4. Термическая переработка с получением тепловой и электрической энергии, что целесообразно и эффективно при влажности отходов не более 60%(Варфоломеев, 1992).
5. Производство рекультивационных материалов и удобрений методом рекультивации. Метод компостирования отходов с предварительным добавлением к нему питательных веществ позволяет наиболее эффективно утилизировать коры длительного срока хранения высокой влажности, так как они находятся на разных стадиях разложения и содержат большое количество биогенных элементов (Варфоломеев, 1992).

Кора, являющаяся отходом предварительной обработки древесного сырья в объеме 4-10% от объема срубленной древесины, обладает высоким содержанием лигнина, органических соединений и гумусовым потенциалом, характеризуется высокой пористостью и влагоемкостью, что делает ее пригодной для использования в качестве удобрения.(Сборник..., 2019). Органический связанный азот, содержащийся в коре, постепенно высвобождается и служит источником питания для растений. В свою очередь содержащиеся в коре смолы при попадании в пахотный слой почвы разрушаются достаточно быстро и не оказывают токсического действия.

В таблице 4.1 представлены показатели характеристик кородревесных отходов разного срока хранения и необходимые нормы данных характеристик для почв сельскохозяйственного назначения, их сравнение подтверждает пригодность использования данных отходов в качестве органических удобрений.

Таблица 4.1 – Характеристика свойств кородревесных отходов(Курило, Куликова и др., 2013)

Наименование показателей	Значение показателей для отходов различного срока хранения				Нормы для почв сельскохозяйственных земель
	3-5 лет	5-10 лет	> 10 лет	скоп	
Массовая доля влаги, %, не более	73,2	74,4	74,6	74,3	65-80
Органическое вещество, %, не менее	93,3	86,7	84,2	76,6	80
Зольность, %, не более	6,7	13,3	15,8	23,4	20
Кислотность солевой суспензии (рН)	5,9	7,2	6,9	7,6	6,0-6,5
Массовая доля макроэлементов в сухом веществе, %, не менее:					
- азота общего	0,08	0,40	0,14	0,12	1,0-1,2
- фосфора общего	0,03	0,05	0,05	0,10	0,1
- калия общего	0,00	0,01	0,01	0,08	0,2
Массовая доля токсичных элементов на сухое вещество, мг/кг, не более:					
- меди	0,5	1,3	1,0	10,0	132
- цинка	27,0	57,0	42,0	84,0	220
- кадмия	0,4	0,6	0,6	0,7	2,0
- свинца	8,0	8,0	8,0	12,0	130

Зола, образующаяся при сжигании свежесформованных отходов коры, в настоящий момент размещается в окружающей среде на специализированных объектах, однако данный вид отхода может быть использован в качестве добавки к древесным отходам длительного срока хранения при компостировании, что повышает рН среды до требуемых значений, поскольку отходы обладают кислой реакцией среды. Также отходы золы могут успешно использоваться в дорожном строительстве при устройстве слоев основания, в производстве низкомарочного бетона и кирпича, в производстве грунтоблоков(Курило, Куликова и др., 2013).

Помимо этого, щепы и опилки, выпавшие из производственного цикла, могут быть использованы для производства кормовых дрожжей путем проведения гидролиза древесного сырья и использования полученного гидролизата в качестве питательной среды для культивирования дрожжей.

В данном процессе осуществляется разделение гидролизата и лигнина, сушка сгущенной биомассы и получение сушильного агента для дрожжей путем сушки лигнина и сжигания (Короткевич, Белявский и др., 2003).

Наиболее экологически опасным объектом на целлюлозно-бумажных предприятиях является производство целлюлозы, сопровождающееся образованием жидких отходов – отработанных варочных щёлоков, шлама и скопа.

Как было упомянуто ранее (Раздел 2.4), существует технология остекловки шламов сточных вод, способная как обезвредить данный отход, так и направить его на вторичное употребление в качестве стеклопродуктов. Область использования полученных таким методом стеклопродуктов довольно широка, они используются для производства пуццоланового цемента, абразивов, кровельной щебенки, керамической напольной плитки, дорожного покрытия и других строительных материалов (Касимов, Семенов и др., 2008).

Шлам, предварительно высушенный на 90 или более процентов, вводится вместе с воздухом в камеру печи, где происходит полное сгорание содержащихся в нем органических веществ, сопровождаемое высвобождением значительного количества тепла. Такое нагревание превращает золу в расплавленную стекломассу. Под действием силы тяжести стекломасса стекает во вторую зону – охлажденный сборник, где превращается в твердый стеклопродукт. Через огнеупорную трубу разогретые газы отводят в теплообменник для рекуперации тепла.

Данную технологию разработала компания «Майнерджи» (США), ее завод в г. Фокс Велли ежедневно обрабатывает 1300 т шлама (450000 т/год) при относительной влажности 60%. Технологии остекловки Майнерджи позволяют целлюлозно-бумажным комбинатам добиться снижения количества сбрасываемого шлама. Мощности завода позволяют перерабатывать весь целлюлозный шлам графства Виннибаго, то есть две трети производимого в стране. Технология компании «Майнерджи» успешно реализуется на четырех промышленных предприятиях США в шт. Висконсин: завод по производству твердого стеклопродукта в Фокс Велли, завод в г. Нинах, опытная остекловочная установка в г.

Виннесон, завод по утилизации песка плавлением на базе электродвигателей в г. Милуоки. Еще 4 завода находятся в стадии строительства (Касимов, Семенов и др., 2008).

Данный технологический процесс соответствует стандартам экологической безопасности. Органическое содержимое шлама распадается под действием высоких температур, а металлы, содержание которых в шламе невелико, стабилизируются в конечном продукте. Тесты на щелочь показали, что отработанная вода отвечает всем первичным и вторичным требованиям, предъявляемым к питьевой воде. Также преобразование отхода во вторсырье позволяет сократить площадь свалок: ежегодно сохраняется до 40000 м² зеленых насаждений (Касимов, Семенов и др., 2008).

Другой областью использования осадков сточных вод на целлюлозно-бумажном предприятии является применение скопа в качестве компонента при производстве древесноволокнистых, древесно-стружечных, теплоизоляционных плит, черепицы, ограждающих конструкций, настилов, бетона и кирпича. Допустимо использование 4-10 % осадка в смеси для производства вышеупомянутых материалов. При этом минеральные наполнители в композитных материалах на основе полипропилена могут быть успешно заменены осадками сточных вод ЦБП, если полученные композиты предполагается использовать в качестве материала для производства изделий, испытывающих небольшие механические нагрузки: панели, мебель, ограждающие конструкции (Ширинкина, 2018).

Осадок сточных вод ЦБП может быть использован как аналог древесного волокна (допустимо использование 10 % от массы) в смеси для изготовления перевозочных поддонов, отвечающих требованиям европейских стандартов для продукции данного типа.

Обезвоженные, нагретые и измельченные скоп и активный ил (20-40% массы) используются в производстве древесных пластиков. Добавление в композит скопа и активного ила позволят увеличить температуру плавления полученного стройматериала.

Также осадок может использоваться в качестве легкого заполнителя для резиновых композитов и бетона. В случае резиновых композитов, скоп заменяет до 18% диоксида кремния и повышает прочность материала на его растяжение. Увеличение пучности бетона, в производстве которого использован осадок сточных вод ЦБП, не наблюдается, однако материал соответствует требованиям по прочности и влагопоглощению(Ширинкина, 2018).

Теплоизоляционные материалы на основе скопа, который играет роль связующего или волокнистого армирующего компонента, имеют более низкую себестоимость до 20% по сравнению со стандартной технологией производства.

Помимо этого, для повышения прочности материала скоп может добавляться в керамическую смесь для производства кирпича в объеме 6-9% от массы шихты, что также увеличивает стойкость получаемого кирпича к усадке(Ширинкина, 2018).

Отработанный щелок, также образующийся в процессе производства целлюлозы, содержит лигносульфаты, утилизация которых является сложной проблемой, образующийся лигнин составляет 35-38% от перерабатываемой в производственном процессе древесной массы(Сборник..., 2019).

Несмотря на возможность применения жидких лигносульфонатов в качестве поверхностно-активных веществ, реагентов для приготовления буровых растворов, связующего в производстве древесно-стружечных, древесноволокнистых плит, масштабы их использования ограничены, что связано с непостоянством состава и структуры отходов.

Лигносульфонаты обладают свойствами поверхностно-активных веществ и могут применяться в качестве связующего материала для формовочных и стержневых смесей в литейном производстве, пенообразователей при кислотном травлении металлов, реагентов для приготовления буровых растворов, связующего компонента в производстве древесно-стружечных, древесноволокнистых плит и фанеры.

Также одним из направлений переработки и утилизации лигнина и лигносульфонатов является их термическая деструкция с получением углеродных

сорбентов – активных углей (АУ), которые, благодаря специфической пористой структуре и сорбирующим свойствам, находят широкое применение в процессах защиты окружающей среды от промышленных загрязнений (установлена способность сорбентов к извлечению из водных растворов красителей, ионов тяжёлых металлов, фенолов)(Вайсман, Глушанкова и др., 2018).

Таким образом, большинство образующихся в целлюлозно-бумажном производстве отходов могут быть использованы в дальнейшем для оптимизации использования древесных ресурсов.

Так, например, из древесной зелени, типично не используемой на производствах, могут быть получены вещества для парфюмерно-косметических изделий, хлорофилло-каротиновая паста и хвойно-витаминная мука.

Другим отходом, который может быть успешно переработан для нескольких продуктов, является кора. Она может быть, как переработана для получения азотосодержащих удобрений и экстрактов, углекислотного, водного и спиртового, так и сожжена с получением тепловой и эклектической энергии. Зола, получаемая при сжигании коры, может быть использована как добавка для производства кирпича, грунтоблоков и дорожных покрытий.

Похожие продукты получают при переработке скопа – он может выступать в качестве добавки при производстве древесноволокнистых, древесностружечных, теплоизоляционных плит, черепицы, ограждающих конструкций, настилов, бетона и кирпича.

Щепа и опилки, отсеянные в процессе сортировки, после гидролиза могут использоваться в качестве питательной среды для культивирования дрожжей.

Наиболее сложными в переработке отходами являются шлам и отработанный щелок, однако и они могут стать полезным сырьем: после остекловки шлама возможно его использование в качестве стеклопродуктов, а отработанный щелок обладает свойствами поверхностно-активных веществ и может широко применяться в литейном производстве и деревообработке.

Заключение

Предприятия целлюлозно-бумажной промышленности – крупные потребители древесного и химического сырья, а также энергетических ресурсов: пресной воды, тепловой и электрической энергии. В процессе подготовки древесины и ее обработки образуется довольно большое количество отходов, которые необходимо утилизировать и обезвреживать наиболее экологичными методами.

В настоящее время на территории России действует 212-ть предприятий целлюлозно-бумажной промышленности, однако в мировом масштабе они производят лишь 0,5% мирового объема целлюлозно-бумажной продукции (Производство целлюлозы..., 2016).

Каждое из предприятий образует твердые, жидкие и газообразные отходы, объемы которых зависят от типа используемого сырья, технологий производства целлюлозы, механической древесной массы или бумаги и картона, и типа продукции. Уровень негативного воздействия образующихся отходов на компоненты окружающей среды можно снизить увеличением эффективности очистных сооружений и экономическим стимулированием предприятий посредством наложения штрафов за несоблюдение нормативов или же наоборот, дополнительным сертифицированием предприятий с эффективной экологической политикой.

Данная работа позволяет сделать следующие выводы:

1. Наибольшее количество отходов образуется на подготовительных этапах обработки древесного сырья (от окорки древесины, до измельчения щепы), они представлены такими отходами, как: кора, опил, щепа, относящиеся к 4 и 5 классам опасности. На этапе варки целлюлозы образуются кородревесные отходы, а также минеральные включения (камни, песок), черный шлак зеленого щелока, сухие вещества черного щелока, сучки и кору, относящиеся к 3 и 4 классам опасности. Система обращения с данными отходами включает использование их в качестве топлива на пред-

приятии-отходообразователе или утилизацию и обезвреживание на стороннем лицензированном предприятии.

2. На всех этапах целлюлозно-бумажного производства образуются сточные воды и ДПГ, подвергающиеся очистке на очистных сооружениях: стоки очищаются от взвешенных веществ и щелочи и могут направляться обратно в производственный цикл или в канализацию. Выбросы также проходят очистку на специализированных очистных сооружениях.
3. Большинство образующихся на ЦБК отходов могут быть использованы вторично.
4. Стандартная система обращения с отходами российских целлюлозно-бумажных предприятий предполагает направление отходов на лицензированные предприятия по обезвреживанию или захоронению на собственном полигоне предприятия, в то время как за рубежом большинство отходов направляются на переработку, которая дает возможность использовать все ресурсы в наиболее полном объеме, что, несомненно, снижает как уровень негативного воздействия на окружающую среду, так и себестоимость выпускаемой продукции посредством использования вторсырья.
5. Для предприятий целлюлозно-бумажной промышленности РФ рекомендуется снижать количество отходов, направляемых на захоронение, увеличивая долю рециклинга в системе управления отходами и эффективность их использования.

Список использованных источников

- 1 Акт правительства Российской Федерации "Комплексной программы развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года" от 24.04.2012 № 1853п-П8
- 2 Альберг Н.И. Комплексное устойчивое управление отходами. Деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность. - СПб: Издательский дом Академии Естествознания, 2016. - 308 с.
- 3 Андреев А.А., Доспехова Н. А., Копарев В. С. Анализ технологических операций получения древесной щепы // Научный журнал КубГАУ. - 2012. - №81 (07). - С. 1-16.
- 4 Богданова А.А. Функционирование и развитие целлюлозно-бумажного производства в условиях Северного региона с учетом экологического фактора (на примере Архангельской области): автореф. дис. канд. экон. наук: 08.00.05. - СПб., 2010. - 23 с.
- 5 Вайсман Я.И., Глушанкова И.С., Ширинкина Е.С., Давлетова С.Ф. Способ переработки лигнинсодержащих отходов целлюлозно-бумажной промышленности с получением сорбентов для очистки сточных вод // Теоретическая и прикладная экология. - 2018. - №3. - С. 93-99.
- 6 Варфоломеев Л.А. Приготовление промышленных компостов на основе твердых отходов деревообработки. – М., 1992. – 52 с.
- 7 Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств. 5 изд. М.: Лесная промышленность, 1988. 360 с.
- 8 Гринь С. А., Питак И. В., Кошовец Н. В., Пономарев В. А.: Биотехнологические процессы при переработке отходов. Харьков, 2016. 156 с.
- 9 Дейнеко И.П., Дейнеко И.В., Корнилова Л.И. Окислительный аммонолиз древесной коры // Прикладная химия. – 2002. – Т. 75, вып. 3. – 502–505 с.
- 10 Дубовый В.К., Смолин А.С., Смирнова Е.Г., Кейзер П.М. Технологические процессы и оборудование ЦБП.-СПб: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022.- 91с.

- 11 Загрязняющие вещества целлюлозно-бумажной промышленности, их опасность для здоровья и экологические риски // Информационно-аналитический бизнес URL: www.elsevier.com (дата обращения: 10.05.2023).
- 12 Закон Российской Федерации "О внесении изменений в Федеральный закон «Об охране окружающей среды» и отдельные акты Российской Федерации" от 21.07.2014 № 219 // Официальный интернет-портал правовой информации. - 2014 г. - Ст. 11 с изм. и допол. в ред. от 26.03.2022.
- 13 Иванов С.Н. Технология бумаги.- 3-е изд.- М.: Школа бумаги, 2006.- 696с.
- 14 Иванов Ю.С., Кузнецов А.Г., Новожилов В.В. Технология целлюлозы. Промывка и отбелка целлюлозы. Регенерация химикатов. Технологические расчёты/ ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2019. Ч. II. - 86 с.
- 15 Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям "Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона" от 01.07.2016 № 1-2015
- 16 Касимов А.М., Семенов В.Т., Щербань Н.Г., Мясоедов В.В. Современные проблемы и решения в системе управления опасными отходами. - Харьков: ХНАГХ, 2008. - 510 с.
- 17 Колокольчикова Р.С. Антропогенное воздействие целлюлозно-бумажных предприятий на окружающую природную среду как фактор формирования экологического кризиса на Европейском севере России в позднесоветский период // Вестник Московского государственного областного университета. - 2021. - №4. - С. 123-133.
- 18 Кочанов В.В. Учет потерь и отходов древесины при производстве технологической щепы // ЛесПромИнформ. - 2004. - №5 (18)
- 19 Кряжев А.М. Наилучшие доступные технологии – основа развития целлюлозно-бумажной промышленности и лесопромышленного комплекса России в XXI веке. - СПб.: 2022. - 90 с.
- 20 Кряжев А.М., Голуб О. В., Санжаровский А.Ю. Энциклопедия технологий 2.0. - М., СПб: Реноме, 2022. - 463 с.

- 21 Курило О.Н., Куликова Ю.В., Ширинкина Е.С., Вайсман Я.И. Анализ технологических аспектов образования отходов на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. Управление бытовыми и промышленными отходами. - 2013. - №4. - С. 97-108.
- 22 Лобовинков А.О., Шкляева К.А. Пути снижения воздействия отходов целлюлозно-бумажного производства на окружающую среду // Актуальные проблемы экономики и управления на предприятиях машиностроения, нефтяной и газовой промышленности в условиях инновационно-ориентированной экономики. - г. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015. - С. 420-425.
- 23 Материалы III Международной научно-технической конференции молодых учёных и специалистов ЦБП «Современная целлюлозно-бумажная промышленность. Актуальные задачи и перспективные решения» (Санкт-Петербург, 08.11.2021) / Ред. О. В. Фёдорова, А. Г. Кузнецов. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. — Том I. — 90 с.
- 24 Обзор состояния конкурентной среды на рынке целлюлозы (товарной) // Федеральная антимонопольная служба URL: <https://fas.gov.ru> (дата обращения: 04.05.2023).
- 25 О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. – М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2022. – 684 с.
- 26 Отходы в России: мусор или ценный ресурс? Итоговый отчет // Международная финансовая корпорация URL: www.ifc.org/rcrp (дата обращения: 10.05.2023).
- 27 Патент № 2219237 Российская Федерация, МПК С12N1/16 (2006.01), С12M1/02, В02С 17/00 (2006.01). Способ производства кормовых дрожжей и установка для его осуществления: № 2017105030: заявл. 10.10.2001: опубл. 20.12.2003/ Короткевич В.А., Белявский К.М., Ваакс В.Р., Клименков В.С., Бурко А.В.; заявитель МБИ. 8 с.: ил. – Текст: непосредственный.

- 28 Производство и торговля лесной продукцией // ФАОСТАТ URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/FO> (дата обращения: 02.03.2023).
- 29 Распоряжение Правительства Российской Федерации "Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года" от 20.09.2018 № 1989-р.
- 30 Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления // Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды url: <https://waste.ru> (дата обращения: 29.04.2023).
- 31 Сиваков В.П., Мехренцев А.В., Вураско А.В. История и современное состояние целлюлозно-бумажной промышленности России // Леса России и хозяйство в них. - 2019. - №1 (68). - С. 75-82.
- 32 Усть-Илимский целлюлозно-картонный комбинат — драйвер индустриализации региона // Иркутский информационный сайт URL: <https://www.irk.ru> (дата обращения: 02.05.2023).
- 33 Хайле А., Гелебо Г., Тесфайе Т. Отходы целлюлозно-бумажного комбината: способы использования и перспективы получения биоматериалов с высокой добавленной стоимостью//Биоресурсы и биопереработка.-2021- №35
- 34 Ширинкина Е.С. Получение экологически безопасных строительных материалов с использованием осадков сточных вод целлюлозно-бумажного производства// Теоретическая и прикладная экология.- 2018.- №4. с.85-92.
- 35 Экологическая политика // Официальный сайт "Группы "ИЛИМ" URL: <https://www.ilimgroup.ru> (дата обращения: 06.05.2023).
- 36 A history of creating packaging that delivers results // Graphic Packaging International URL: <http://www.graphicpkg.com> (дата обращения: 02.05.2023).
- 37 ESG Reporting Resources // Graphic Packaging international URL: <https://www.graphicpkg.com> (дата обращения: 02.05.2023).
- 38 Hoornweg. D., Bhada-Tata P. What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management // Urban Development & Local Government Unit. - Washington, DC.: World Bank, 2012. - С. 116.