

УДК 676.038.2

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА ОТХОДОВ МАКУЛАТУРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТАРНОГО КАРТОНА

© А.В. Зайцев, В.К. Дубовыи\*, И.Н. Ковернинский, Е.И. Симонова, Е.Ю. Демьянцева

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, 198095, Россия, dubovy2004@mail.ru

Переработка макулатуры марок МС-5Б и МС-6Б в тест-лайнер и флютинг в ОАО «Караваево» сопровождается накоплением отходов. Это сложная смесь веществ различных видов с переменным массовым составом. Удельное содержание а.с. отходов на 1 т продукции составляет 38 кг. При производительности 60 т в сутки бумаги и картона сдается на полигон около 800 т в год отходов макулатуры.

Неизбежность образования отходов и необходимость утилизации на полигоне требует значительных финансовых издержек, поэтому переработка отходов является актуальной проблемой переработки макулатуры. Смесь отходов была фракционирована на пластики, волокно, дерево, минералы, металлы, резину, ткань. Установлено, что общее содержание пластика и волокна составляет более 71% и может быть использовано в полном объеме в качестве связующего в термопрессовочной технологии. Для определения элементного состава отходов макулатуры было проведено исследование сканирующей электронной микроскопией. Таким образом, подтверждена стабильность химического состава минеральной части отходов, которая может обеспечить ожидаемое качество изделий в термопрессовочной технологии. В результате поискового исследования термопрессовочной композиции (смесь измельченных отходов и песка) получена композиция и изготовлены плитные изделия. Опыты дали положительные результаты и определили перспективное направление переработки отходов макулатуры – это получение высоконаполненных композитов с полимерной матрицей и минеральным наполнителем.

**Ключевые слова:** макулатура, отходы макулатуры, фракционирование, спектр элементного состава, связующее, наполнитель, полимерная матрица, высоконаполненный композит.

**Для цитирования:** Зайцев А.В., Дубовыи В.К., Ковернинский И.Н., Симонова Е.И., Демьянцева Е.Ю. Исследование количества и качества отходов макулатуры в производстве тарного картона // Химия растительного сырья. 2025. №2. С. 383–390. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250216777>.

### **Введение**

Собираемая ежегодно в мире макулатура перерабатывается преимущественно в бумагу и картон [1, 2]. Ценность вторичного волокна из макулатуры состоит в его хороших бумагообразующих свойствах, однако заметно уступающего первичному целлюлозному волокну, особенно по показателям механической прочности [3, 4]. Уровень показателей прочности, как в целом качество вторичного волокна, зависит от марки макулатуры, технологии и оборудования переработки макулатуры в волокно, технологии и технической оснащенности бумаго- или картоноделательной машины для переработки волокна в бумагу (картон) [5–7]. Превалирующим потребителем вторичного волокна было и остается производство тарного (до 30%) и коробочного картона (до 20%) [8, 9]. Конструкционные элементы тарного картона – тест-лайнер и флютинг – перерабатываются в гофропродукцию – гофроящики и упаковочные гофролисты. Выполнив свою функцию, гофропродукция пополняет ресурсы макулатуры [10–12].

ОАО «Караваево» является одним из старейших предприятий в России по производству гофропродукции из макулатуры. В соответствии с ГОСТ 107000-97 сырьем для гофропродукции служит макулатура группы «Б», марок МС-5Б и МС-6Б. Волокно из них обеспечивает получение гофропродукции с требуемыми механическими и барьерными свойствами [13–17].

\* Автор, с которым следует вести переписку.

Цель работы – исследование количества и качества отходов макулатуры марок МС-5Б и МС-6Б, образующихся в производстве флютинга и тест-лайнера в ОАО «КАРАВАЕВО», с обоснованием перспективы переработки отходов в полимернеспаные материалы.

### **Объекты исследования и методики**

Объекты исследования – отходы макулатуры марки МС-5Б из гидроразбивателя и сортировок волокна.

Методы исследования:

а) определение влажности; определение видов и массовой доли загрязнений – по ГОСТ 107000-97;

б) исследование элементного состава отходах макулатуры осуществлялось сканирующей электронной микроскопией в центре коллективного пользования при НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» [18–20]; визуализация микроструктуры подготовленных образцов производилась с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA3 LMH, производитель – TESCAN; характеристики сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA3 LMH: электронная колонна (FEG SEM) с источником электронов на основе катода Шоттки; ускоряющее напряжение 200 В – 30 кВ; ток зонда 2–200 нА; разрешение 1.0 нм (при 30 кВ), увеличение до 1000000; детекторы вторичных электронов (SE, In-Beam SE); детектор отраженных электронов (BSE). Элементный состав был определен энергодисперсионным рентгеноспектральным микроанализом (EDX).

### **Результаты и обсуждения**

Наряду с изменчивостью показателей качества вторичного волокна, особенностью макулатуры является наличие в ней определенной доли переменной по количеству и происхождению не распускаемых на волокно волокнистых и неволокнистых компонентов [21]. Эти компоненты в максимально возможной степени отделяются в виде отходов при переработке макулатуры в кондиционное вторичное волокно. В силу различного происхождения компонентов отходов переработка их проблематична и, как правило, они сдаются на специальные полигоны [17, 21].

Исследование отчетных данных работы цеха в течение 2023 года позволило определить количество отходов, сдаваемых на полигон. Усредненные результаты дали цифру – 3500 кг отходов в сутки влажностью 35%. В пересчете на сухие отходы – это 2275 кг/сут. Учитывая производительность цеха, в среднем, 60 т бумаги и картона в сутки, количество отходов – 38 кг/т продукции.

Что касается потери финансовых средств, то за счет увеличения расхода макулатуры на 1 т продукции по причине наличия отходов (примерно 418 руб./т) – это неизбежные издержки существующей технологии. Оплата вывоза и захоронения отходов на полигоне (примерно 88 руб./т) – это неоправданные потери, обусловленные отсутствием технологии переработки отходов.

Для оценки возможной, технически осуществимой и экономически целесообразной технологии переработки отходов, наряду с количеством, важна характеристика видового состава и удельного массового распределения компонентов в отходах. Эта задача решалась разделением сложной смеси отходов на 7 фракций по видам компонентов. Из подготовленных к прессованию частей отходов перед отгрузкой на полигон отбирались пробы в суммарном количестве 50 кг. На ровном столе отходы вручную сортировались на фракции по видам компонентов. Сортирование велось визуально. Затем весовым методом определялось их массовое содержание в отходах. Усредненные результаты исследования приведены в таблице 1.

Результаты исследования позволили установить основные виды и количественные значения фракций компонентов в отходах макулатуры. Наибольшие доли принадлежат пластикам (51%) и волокну (20%), суммарно составляющим 71%. Учитывая, что эти компоненты в условиях повышенной температуры проявляют связующие свойства, целесообразным способом переработки отходов представляется получение термопрессовочных материалов. Важно было исследовать возможность качественного измельчения всей массы компонентов отходов, не прибегая к предварительному сортированию. Был проведен поисковый эксперимент, в котором отходы измельчались в роторной дробилке. На рисунке 1а показана фотография образца отходов макулатуры, а на рисунке 1б показан этот образец в измельченном виде.

Размер измельченных частиц находятся в интервале 10–12 мм, которые позволяют применять этот материал в качестве исходного сырья для термопластической переработки.

Таблица 1. Результаты исследования фракционного состава отходов макулатуры по видам компонентов

№ п/п	Виды компонентов в отходах макулатуры	Содержание компонентов, %
1	Пластики (полимерные пленки, скотч, изолента)	51
2	Волокно (не распускаемые на волокна бумажно-картонные материалы, мелкое волокно)	20
3	Дерево (щепки, костра, опилки)	2
4	Минералы (гравий, цемент, гипс, песок, мел, земля)	4
5	Металлы (замки для папок, проволока, металлическая лента, скрепки, гвозди, болты, шурупы, гайки)	6
6	Резина	1
7	Ткань	1
8	Вода (влажность)	15

*a**b*Рис. 1. Исходный (*a*) и измельченный (*b*) образец отходов макулатуры

В продолжение исследования отходов макулатуры было целесообразно определить элементный состав. С целью установления элементного состава был проведен спектральный анализ исследуемых образцов отходов макулатуры. Исследование осуществлялось сканирующей электронной микроскопией в центре коллективного пользования при НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей» [19]; визуализация микроструктуры подготовленных образцов производилась с помощью электронного микроскопа TESCAN MIRA3 LMН, производитель – TESCAN; характеристики сканирующего электронного микроскопа TESCAN MIRA3 LMН: электронная колонна (FEG SEM) с источником электронов на основе катода Шоттки; ускоряющее напряжение 200 В – 30 кВ; ток зонда 2–200 нА; разрешение 1.0 нм (при 30 кВ), увеличение до 1000000; детекторы вторичных электронов (SE, In-Beam SE); детектор отраженных электронов (BSE). Анализ проб выполнен по площади и по точкам. На рисунке 2 представлены 4 микрофотографии фрагментов четырех различных образцов отходов. Один раз в неделю в течение 1 месяца из собранных отходов макулатуры отбирался образец. Таким образом, получено 4 образца (по количеству недель в месяце), ожидаемо отличающиеся элементным составом. На микрофотографиях были произвольно выбраны по 4 минеральные частицы, для которых сняты спектры химических элементов состава. Спектры элементного состава и массовые доли элементов представлены в таблице 2.

Как следует из таблицы 2, четыре исследуемых образца отличаются широтой элементного состава. Отсутствие повторения массовой доли элементов в спектрах является важной характеристикой отходов. Это аргументированное подтверждение, что массовая доля минеральных частиц, составляющих отходы макулатуры, меняется от партии к партии, но, в среднем, за период исследования 1 месяц минеральный состав частиц близок к постоянству присутствующих химических элементов. Таким образом, об экологической безопасности отходов можно судить по отсутствию основных загрязняющих ионов: Pb, Bi, Cd, Zn.

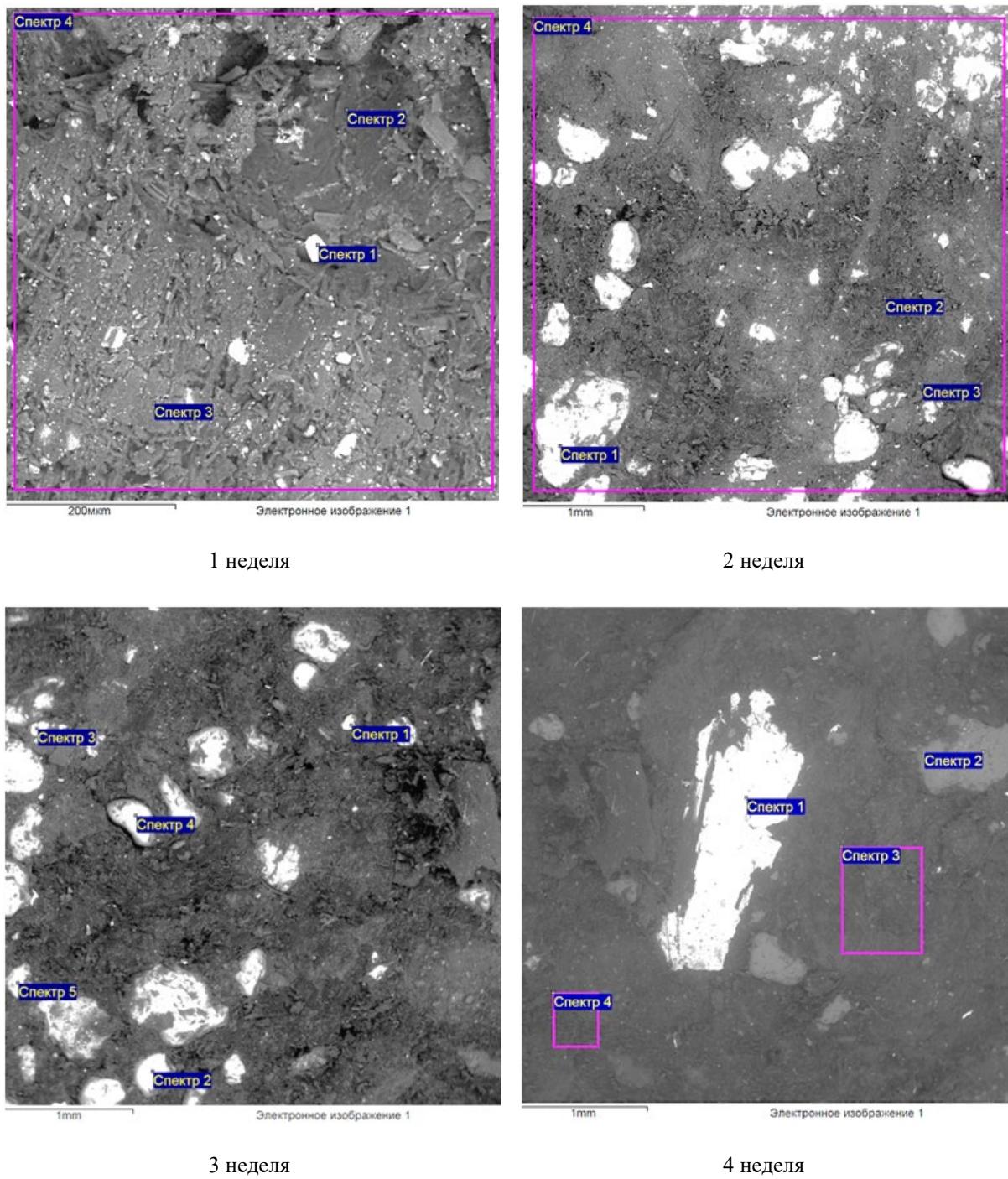


Рис. 2. Микрофотографии образцов отходов макулатуры отобранные еженедельно в течение 1 месяца: выделены области, для которых зарегистрированы спектры

Таким образом, подтверждается стабильность химического состава минеральной части отходов, а следовательно, может быть обеспечено ожидаемое качество изделий в термопрессовочной технологии.

Полимерпесчаные плиты относятся к строительным композиционным материалам, которым присущи положительные потребительские свойства, согласно ГОСТ Б.В. 2.7.-139:2007: плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , истираемость,  $\text{г}/\text{см}^2$ , водопоглощение, %, прочность при статическом изгибе, МПа, предел прочности при динамическом изгибе (ударная вязкость),  $\text{кДж}/\text{м}^2$ .

Учитывая, что отходы макулатуры как связующий материал значительно уступают традиционным связующим, достигаемой целью работы были параметры потребительских свойств полимерпесчаных плит при заявленных геометрических размерах. Необходимые потребительские свойства полимерпесчаных плит представлены в таблице 3.

Таблица 2. Данные элементного состава отходов макулатуры, соответственно, для фотографий 1, 2, 3, 4, (рис. 2)

Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Fe
1 неделя. Массовая доля, %														
Спектр 1	53.12	7.13	—	—	0.17	0.95	—	0.3	—	0.42	—	0.15	1.89	35.77
Спектр 2	70.28	20.89	—	—	0.27	2.52	—	1.19	0.2	1.73	0.25	—	—	2.67
Спектр 3	64.3	29.59	0.18	0.10	0.33	1.28	0.11	0.94	0.13	1.68	0.06	—	—	1.28
Спектр 4	71.08	21.49	0.19	0.07	0.32	1.58	0.09	1.13	0.15	1.45	0.11	—	—	2.33
Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Fe
2 неделя. Массовая доля, %														
Спектр 1	38.67	36.67	0.09	—	0.3	23.01	0.05	0.26	0.13	0.23	—	—	0.59	
Спектр 2	65.48	31.59	0.13	—	0.13	0.57	0.14	0.43	0.05	0.66	—	—	0.81	
Спектр 3	81.26	14.17	0.23	—	0.08	1.04	—	0.89	0.16	0.77	—	—	1.41	
Спектр 4	65.91	24.24	0.17	0.07	0.33	4.93	0.08	0.86	0.25	1.03	0.09	—	2.05	
Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Mn	—	Fe	
3 неделя. Массовая доля, %														
Спектр 1	58.28	4.03	—	0.46	35.55	0.49	0.19	—	0.31	0.24	—	—	0.43	
Спектр 2	35.58	40.94	—	—	—	23.12	0.14	—	—	—	—	—	0.22	
Спектр 3	36.12	19.22	0.11	—	0.28	1.87	3.31	0.26	0.28	—	—	—	38.55	
Спектр 4	40.08	37.38	0.09	0.06	0.43	20.84	0.25	0.09	0.25	—	—	—	0.54	
Спектр 5	47.17	31.47	—	—	—	20.16	0.31	—	0.25	—	—	—	0.64	
Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	—	Fe
4 неделя. Массовая доля, %														
Спектр 1	27.69	5.48	—	—	—	0.55	—	0.26	—	—	—	0.34	65.68	
Спектр 2	42.05	35.19	—	—	0.34	20.96	—	0.32	0.09	0.24	—	—	0.79	
Спектр 3	70.27	24.24	0.24	—	0.23	0.91	—	0.74	0.16	1.45	0.13	—	1.61	
Спектр 4	73.69	21.26	0.15	0.04	0.22	0.68	0.09	0.98	0.11	1.23	0.08	—	1.46	

Таблица 3. Необходимые потребительские свойства полимерпесчаных плит

№ п/п	Свойства	Значение
1	Плотность	1600–2600 кг/м <sup>3</sup>
2	Истираемость	Не более 0.1 г/см <sup>2</sup>
3	Водопоглощение	Не более 2.0%
4	Предел прочности при статическом изгибе	Не менее 7.5 МПа
5	Предел прочности при динамическом изгибе (ударная вязкость)	Не менее 3.3 кДж/м <sup>2</sup>
6	Размер плитки	330 × 330 × 15 мм

В результате исследования термопрессовой композиции (смесь измельченных отходов и песка) получена композиция и изготовлены плитные изделия. В исследуемых пределах достигаемой прочности были определены композиции «песок/отходы» – 50/50 и 40/60, соответствующие прочности при статическом изгибе 7.5 и 7.8 МПа, и динамическом изгибе 3.3 и 3.5 кДж/м<sup>2</sup>, при плотности соответственно 2150 и 2000 кг/м<sup>3</sup>.

### Выходы

- Получены новые данные о видах и количестве компонентов в отходах переработки макулатуры в технологии тест-лайнера и флютинга.
- Установлено, что преобладающими компонентами отходов макулатуры являются пластмассы и волокнистые частицы (71%), остальную долю составляют дерево, минералы, металлы, ткань, резина.
- Определен элементный состав макулатурных отходов, который свидетельствует об отсутствии в составе тяжелых металлов.
- Результаты исследования определили одно из возможных направлений переработки отходов макулатуры – это получение высоконаполненных композитных материалов с полимерной матричной системой на основе отходов макулатуры и минеральным наполнителем.

### Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

**Конфликт интересов**

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

**Открытый доступ**

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

**Список литературы**

1. Gottsching L. Pakarinen H. Papermaking Science and Technology. Book 7. Recycled Fiber and Deinking. Finland, 2000. 649 p.
2. Дулькин Д.А., Спиридов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск, 2007. 1118 с.
3. Дулькин Д.А., Панов А.Н., Ковернинский И.Н., Спиридов В.А. Ресурсы и качество макулатуры для производства бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. №5. С. 28–37.
4. Смолин А.С., Дубовый В.К. Современное состояние и проблемы использования вторичного волокна в производстве бумаги и картона // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: научные труды 7-й Международной научно-технической конференции. Караваево, 2006. С. 6–7.
5. Meadows D. Prospects for the development of technology for the production of fibrous semi-finished products in the 21st century // TAPPI. 1998. Vol. 12. pp. 51–54.
6. Payne M. The current state and prospects of using waste paper on a global scale // Pulp & Paper International. 1997. Vol. 8. Pp. 34–37.
7. Дулькин Д.А., Спиридов В.А., Миронова В.Г., Верещак В.В. Анализ эффективности технологических схем производства макулатурной массы // Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья: сборник научных трудов 4-й Международной научно-технической конференции. Караваево, 2003. С. 54–59.
8. Ковалева О.П. Переработка вторичного волокнистого сырья – макулатуры: проблемы настоящего и будущего // Технология переработки макулатуры: научные труды 6-й Международной научно-технической конференции. Караваево, 2005. С. 22–24.
9. Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н., Комаров В.И., Спиридов В.А. Мировые тенденции в развитии техники и технологии переработки макулатуры. Архангельск, 2002. 108 с.
10. Комаров В.И., Яблочкин Н.И., Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н. Формирование свойств тест-лайнера в процессе производства. Архангельск, 2005. 162 с.
11. Комаров В.И., Южанинова Л.А., Дулькин Д.А., Спиридов В.А. Особенности технологии бумаги-основы для гофрирования из макулатуры и требования к ее потребительским свойствам. Архангельск, 2007. 103 с.
12. Ковалева О.П. Особенности подготовки макулатурной массы для приготовления флютинга и тест-лайнера // Новое в технологии и оборудовании для производства гофрокартона и гофротары: Международная научно-техническая конференция. СПб, 2007. С. 62–64.
13. Дулькин Д.А., Спиридов В.А. Системный анализ – основа оптимизации процесса приготовления макулатурной массы // Развитие ресурсосберегающих технологий производства бумаги и картона из вторичного волокнистого сырья: научные труды 4-й Международной научно-технической конференции. Караваево, 2003. С. 49–54.
14. Пузырев С.С., Тюрин Е.Т., Ковалева О.П. Переработка вторичного волокнистого сырья. СПб, 2007. 467 с.
15. Чижов Г.И., Дубовый В.К., Хованский В.В. Бумагообразующие свойства волокон макулатуры из различных полупроцессоров // Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: научные труды 3-й Международной научно-технической конференции. Караваево-Правдинский, 2002. С. 97–103.
16. Яблочкин Н.И., Ковернинский И.Н., Овчинников М.Д., Дулькин Д.А. Улучшение качества приготовления бумажной массы из макулатуры с использованием фракционирования волокнистого материала // Технология переработки макулатуры: научные труды 6-й Международной научно-технической конференции. Караваево, 2005. С. 67–71.
17. Яблочкин Н.И., Комаров В.И., Ковернинский И.Н. Макулатура в технологии картона. Архангельск, 2004. 252 с.
18. Куров В.С., Костин В.А., Мидуков Н.П., Осипов П.В., Ушанова Э.А., Петров С.Н. Визуальный и элементный анализ неволокнистых включений в санитарно-гигиенической бумаге из макулатуры в условиях предприятия ОАО «Сыктывкар тиссью групп» // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 343–353. <https://doi.org/10.14258/jcrgm.2022019862>.
19. Патент №2723972 (РФ). Способ подготовки поперечного среза для контроля параметров целлюлозосодержащего материала / Н.П. Мидуков, В.С. Куров, А.С. Смолин, П.А. Сомов. – 18.06.2020.
20. Midukov N.P., Kazakov Ya.V., Heineman S., Kurov V.S., Smolin A.S. Investigation of transverse section of multi layered paperboard by ion cutting technique // Fiber Chemistry. 2020. Vol. 52. Pp. 51–57. <https://doi.org/10.1007/s10692-020-10150-5>.

21. Макаренко А.А., Яхно А.В. Улучшение бумагообразующих свойств вторичного волокна // Целлюлоза, бумага и картон. 1988. №3-4. С. 29–31.

*Поступила в редакцию 17 января 2025 г.*

*После переработки 5 мая 2025 г.*

*Принята к публикации 6 мая 2025 г.*

Zaitsev A.V., Dubovy V.K.\*, Koverninskiy I.N., Simonova E.I., Demyantseva E.Y. INVESTIGATION OF THE QUANTITY AND QUALITY OF WASTE PAPER IN THE PRODUCTION OF PACKAGING CARDBOARD

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Higher School of Technology and Energy, Ivana Chernykh st., 4, Saint Petersburg, Russia, 198095, dubovy2004@mail.ru

The recycling of MS-5B and MS-6B waste paper into a test liner and fluting at Karavaevo is accompanied by the accumulation of waste. It is a complex mixture of substances of various types with variable mass composition. The specific content of agricultural waste per 1 ton of products is 38 kg. With a capacity of 60 tons per day of paper and cardboard, about 800 tons per year of waste paper is put into landfill. The inevitability of waste generation and the need for disposal at the landfill requires significant financial costs, therefore waste recycling is an urgent problem of waste paper recycling. The waste mixture was fractionated into plastics, fiber, wood, minerals, metals, rubber, and fabric. It has been established that the total content of plastic and fiber is more than 71% and can be fully used as a binder in thermal pressing technology. Scanning electron microscopy was used to determine the elemental composition of waste paper. Thus, the stability of the chemical composition of the mineral part of the waste has been confirmed, which can ensure the expected quality of products in thermal pressing technology. As a result of the exploratory study of the thermal compression composition (a mixture of crushed waste and sand), a composition was obtained and plate products were manufactured. The experiments yielded positive results and identified a promising area for recycling waste paper – the production of highly filled composites with a polymer matrix and mineral filler.

**Keywords:** waste paper, waste paper waste, fractionation, spectrum of elemental composition, binder, filler, polymer, matrix, highly filled composite.

**For citing:** Zaitsev A.V., Dubovy V.K., Koverninskiy I.N., Simonova E.I., Demyantseva E.Y. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 2, pp. 383–390. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250216777>.

## References

1. Gottsching L. Pakarinen H. *Papermaking Science and Technology. Book 7. Recycled Fiber and Deinking*. Finland, 2000. 649 p.
2. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy ispol'zovaniya vtorichnogo volokna iz makulatury v mirovoy i otechestvennoy industriii bumagi*. [Current state and prospects for the use of secondary fiber from waste paper in the global and domestic paper industry]. Arkhangel'sk, 2007, 1118 p. (in Russ.).
3. Dul'kin D.A., Panov A.N., Koverninskiy I.N., Spiridonov V.A. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2006, no. 5, pp. 28–37. (in Russ.).
4. Smolin A.S., Dubovyy V.K. *Sovremennyye nauchnyye osnovy i innovatsionnyye tekhnologii bumazhno-kartonnnykh materialov s ispol'zovaniyem vtorichnogo volokna iz makulatury: nauchnyye trudy 7-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Modern scientific foundations and innovative technologies of paper and cardboard materials using secondary fiber from waste paper: scientific works of the 7th International scientific and technical conference]. Karavayev, 2006, pp. 6–7. (in Russ.).
5. Meadows D. *TAPPI*, 1998, vol. 12, pp. 51–54.
6. Payne M. *Pulp & Paper International*, 1997, vol. 8, pp. 34–37.
7. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Mironova V.G., Vereshchak V.V. *Razvitiye resursosberegayushchikh tekhnologiy proizvodstva bumagi i kartona iz vtorichnogo voloknistogo syr'ya: sbornik nauchnykh trudov 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Development of resource-saving technologies for the production of paper and cardboard from secondary fibrous raw materials: collection of scientific papers of the 4th International Scientific and Technical Conference]. Karavayev, 2003, pp. 54–59. (in Russ.).
8. Kovaleva O.P. *Tekhnologiya pererabotki makulatury: nauchnyye trudy 6-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Technology of waste paper processing: scientific works of the 6th International scientific and technical conference]. Karavayev, 2005, pp. 22–24. (in Russ.).

\* Corresponding author.

9. Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N., Komarov V.I., Spiridonov V.A. *Mirovyye tendentsii v razvitiu tekhniki i tekhnologii pererabotki makulatury*. [World trends in the development of equipment and technology for processing waste paper]. Arkhangel'sk, 2002, 108 p. (in Russ.).
10. Komarov V.I., Yablochkin N.I., Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N. *Formirovaniye svoystv test-laynera v protsesse proizvodstva*. [Formation of properties of a test liner during production]. Arkhangel'sk, 2005, 162 p. (in Russ.).
11. Komarov V.I., Yuzhaninova L.A., Dul'kin D.A., Spiridonov V.A. *Oсобенности технологии бумаги-основы для горячего формования из макулатуры и требований к ее потребительским свойствам*. [Features of the technology of base paper for corrugation from waste paper and requirements for its consumer properties]. Arkhangel'sk, 2007, 103 p. (in Russ.).
12. Kovaleva O.P. *Novoye v tekhnologii i oborudovanii dlya proizvodstva gofrokartona i gofrotryaty: Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya*. [New in technology and equipment for production of corrugated cardboard and corrugated packaging: International scientific and technical conference]. St. Petersburg, 2007, pp. 62–64. (in Russ.).
13. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A. *Razvitiye resursosberegayushchikh tekhnologiy proizvodstva bumagi i kartona iz vtorichnogo voloknistogo syr'ya: nauchnyye trudy 4-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Development of resource-saving technologies for the production of paper and cardboard from secondary fibrous raw materials: scientific works of the 4th International Scientific and Technical Conference]. Karavayev, 2003, pp. 49–54. (in Russ.).
14. Puzyrev S.S., Tyurin Ye.T., Kovaleva O.P. *Pererabotka vtorichnogo voloknistogo syr'ya*. [Processing of secondary fibrous raw materials]. St. Petersburg, 2007, 467 p. (in Russ.).
15. Chizhov G.I., Dubovyy V.K., Khovanskiy V.V. *Sozdaniye konkurentospособного оборудования и технологий для изготавления бумаги-картона из вторичного волокнистого сырья: научные труды 3-й Международной научно-технической конференции*. [Creation of competitive equipment and technologies for the manufacture of paper and cardboard products from secondary fibrous raw materials: scientific works of the 3rd International Scientific and Technical Conference]. Karavayev-Pravdinsk, 2002, pp. 97–103. (in Russ.).
16. Yablochkin N.I., Koverninskiy I.N., Ovchinnikov M.D., Dul'kin D.A. *Tekhnologiya pererabotki makulatury: nauchnyye trudy 6-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii*. [Waste paper processing technology: scientific works of the 6th International scientific and technical conference]. Karavayev, 2005, pp. 67–71. (in Russ.).
17. Yablochkin N.I., Komarov V.I., Koverninskiy I.N. *Makulatura v tekhnologii kartona*. [Waste paper in cardboard technology]. Arkhangel'sk, 2004, 252 p. (in Russ.).
18. Kurov V.S., Kostin V.A., Midukov N.P., Osipov P.V., Ushanova E.A., Petrov S.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 343–353. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2022019862>. (in Russ.).
19. Patent 2723972 (RU). 18.06.2020. (in Russ.).
20. Midukov N.P., Kazakov Ya.V., Heineman S., Kurov V.S., Smolin A.S. *Fiber Chemistry*, 2020, vol. 52, pp. 51–57. <https://doi.org/10.1007/s10692-020-10150-5>.
21. Makarenko A.A., Yakhno A.V. *Tsellyuloza, bumaga i karton*, 1988, no. 3-4, pp. 29–31. (in Russ.).

Received January 17, 2025

Revised May 5, 2025

Accepted May 6, 2025

#### Сведения об авторах

Зайцев Артем Валерьевич – аспирант,  
ani1997.10@mail.ru

Дубовый Владимир Климентьевич – доктор технических наук, профессор, dubovy2004@mail.ru

Ковернинский Иван Николаевич – доктор технических наук, профессор, kovern@list.ru

Симонова Елена Игоревна – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии бумаги и картона, bliznyakova1989@mail.ru

Демьянцева Елена Юрьевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры физической и коллоидной химии, demyantseva@mail.ru

#### Information about authors

Zaitsev Artem Valeriyevich – postgraduate student,  
ani1997.10@mail.ru

Dubovy Vladimir Klimentievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, dubovy2004@mail.ru

Koverninsky Ivan Nikolaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, kovern@list.ru

Simonova Elena Igorevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Paper and Cardboard Technology, bliznyakova1989@mail.ru

Demyantseva Elena Yuryevna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical and Colloid Chemistry, demyantseva@mail.ru