

## ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ OPTICAL ENGINEERING

doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-6-1048-1054

УДК 543.421.424

### Применение методов инфракрасной спектроскопии в исследовании составов для проклейки бумаги

Халима Абишевна Бабаханова<sup>1✉</sup>, Акмал Абдулло ўгли Садриддинов<sup>2</sup>,  
Мансур Мехриддинович Абдуназаров<sup>3</sup>, Мадина Авазовна Бабаханова<sup>4</sup>,  
Ирина Григорьевна Громыко<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Республика Узбекистан

<sup>4</sup> Ташкентский государственный технический университет ГУП «Фан ва тараккият», Ташкент, 100174, Республика Узбекистан

<sup>5</sup> Белорусский государственный технологический университет, Минск, 220006, Республика Беларусь

<sup>1</sup> [halima300@inbox.ru](mailto:halima300@inbox.ru)✉, <https://orcid.org/0000-0002-6956-2824>

<sup>2</sup> [akmalsadriddin0777@gmail.com](mailto:akmalsadriddin0777@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-0742-2439>

<sup>3</sup> [Abdunazarov.1977@mail.ru](mailto:Abdunazarov.1977@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0099-8312>

<sup>4</sup> [madina89@mail.ru](mailto:madina89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6832-3373>

<sup>5</sup> [gromyko@belstu.by](mailto:gromyko@belstu.by), <https://orcid.org/0000-0002-0896-7262>

#### Аннотация

**Предмет исследования.** В работе предложен метод инфракрасной спектроскопии для объективного контроля клеящего состава при производстве бумаги. Для проклейки бумаги с целью повышения механической прочности и снижения водопоглощения используются гидрофобизирующие материалы. Один из наиболее эффективных и используемых гидрофобизирующих материалов — канифоль из сосновой живицы. В работе исследованы свойства нового клея на основе канифоли из живицы черешневого дерева для использования его при проклейке в бумажной массе, с целью расширения номенклатуры проклеиваемых веществ и снижения доли импортной составляющей в структуре местного бумажного производства. **Метод.** Для идентификации клея на канифольной основе из живицы черешневого дерева использован метод инфракрасной спектроскопии. Встроенное устройство с алмазным кристаллом универсального и компактного ИК-Фурье спектрометра Nicolet iS50 от Thermo Scientific позволило зарегистрировать спектры в среднем и дальнем инфракрасных диапазонах вплоть до 100 см<sup>-1</sup>. Эффективность проклейки образцов бумаги исследована по стандартным методикам и оценена по следующим свойствам: плотность, прочность на разрыв при растяжении на разрывной машине, поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании. **Основные результаты.** По инфракрасным спектрам на основании близости химического состава выявлена идентичность проклеиваемого вещества из живицы черешневого дерева клею из сосновой живицы, используемого для сравнения. Сравнительный анализ механических и поверхностных свойств образцов бумаги подтвердил возможность использования исследуемого проклеиваемого вещества, так как получены значения свойств, близкие к клею, примененному для сравнения. При этом целесообразным является добавление в предлагаемое вещество сухого целлюлозного сырья в пределах от 1 до 1,5 г на 100 г. **Практическая значимость.** Применение метода инфракрасной спектроскопии для экспресс-анализа состава проклеиваемого вещества является перспективным, так как появляется возможность управления технологическим процессом и создание проклеенных видов бумажной продукции с заданными свойствами, обеспечивающими качество печати без потерь мелких деталей изображения.

#### Ключевые слова

проклейка бумаги, живица черешневого дерева, канифоль из сосновой живицы, ИК спектроскопия, механические и поверхностные свойства бумаги

**Ссылка для цитирования:** Бабаханова Х.А., Садриддинов А.А., Абдуназаров М.М., Бабаханова М.А., Громыко И.Г. Применение методов инфракрасной спектроскопии в исследовании составов для проклейки бумаги // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. Т. 22, № 6. С. 1048–1054. doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-6-1048-1054

## Application of infrared spectroscopy methods in studying compositions for paper sizing

Khalima A. Babakhanova<sup>1</sup>✉, Akmal A. Sadridinov<sup>2</sup>, Mansur M. Abdunazarov<sup>3</sup>,  
Madina A. Babakhanova<sup>4</sup>, Irina G. Gromyko<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Republic of Uzbekistan

<sup>4</sup> Tashkent State Technical University SUE “Fan va taraqqiyot”, Tashkent, 100174, Republic of Uzbekistan

<sup>5</sup> Belarusian State Technological University, Minsk, 220006, Republic of Belarus

<sup>1</sup> halima300@inbox.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-6956-2824>

<sup>2</sup> akmalasadridinov0777@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0742-2439>

<sup>3</sup> Abdunazarov.1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0099-8312>

<sup>4</sup> madina89@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6832-3373>

<sup>5</sup> gromyko@belstu.by, <https://orcid.org/0000-0002-0896-7262>

### Abstract

The paper proposes a method of infrared spectroscopy for objective control of the adhesive composition in the production of paper. For sizing paper, in order to increase mechanical strength and reduce water absorption, water-repellent materials are used. One of the most effective and used water-repellent material is ordinary pine resin rosin which is in short supply for the Republic of Uzbekistan. The paper investigates the properties of a new adhesive based on rosin from cherry resin for use in mass sizing in order to expand the range of sizing agents and reduce the share of imported components in the structure of local paper production. Infrared spectroscopy was used to identify the rosin-based glue from the resin of the cherry tree. The built-in device with a diamond crystal of the universal and compact Thermo Scientific Nicolet iS50 IR Fourier spectrometer made it possible to register spectra in the mid and far IR ranges up to 100 cm<sup>-1</sup>. The efficiency of sizing paper samples was studied by standard methods and evaluated by the following properties: density, tensile strength at stretching on a tensile machine, surface absorbency with one-sided wetting. Infrared spectra revealed the identity of the sizing agent from the resin of the cherry tree to the glue from the pine resin, taken for comparison, because their chemical composition is the same. A comparative analysis of the mechanical and surface properties of paper samples confirmed the possibility of using the studied sizing agent, since the obtained values are close to each other, while it is advisable to add in the range from 1 to 1.5 g per 100 g of dry cellulose raw materials. The use of infrared spectroscopy for express analysis of the composition of the sizing agent is promising, since it becomes possible to control the technological process and create glued types of paper products with desired properties that ensure print quality without loss of fine image details.

### Keywords

paper sizing, cherry tree resin, pine resin rosin, IR spectroscopy, mechanical and surface properties of paper

**For citation:** Babakhanova Kh.A., Sadridinov A.A., Abdunazarov M.M., Babakhanova M.A., Gromyko I.G. Application of infrared spectroscopy methods in studying compositions for paper sizing. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2022, vol. 22, no. 6, pp. 1048–1054 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2022-22-6-1048-1054

### Введение

Для динамического развития целлюлозно-бумажной промышленности из-за дефицита и дороговизны используемых основных и вспомогательных компонентов бумажной массы остро встает вопрос создания новых композиций и материалов из вторичных ресурсов. Проблеме переработки вторичных ресурсов для дальнейшего использования в качестве компонентов бумажной массы посвящены многочисленные работы ученых и специалистов этой отрасли. Заметим, что внедрение новых материалов в целлюлозно-бумажной промышленности требует расширения объективных методов контроля. Один из наиболее информативных методов идентификации материалов — метод инфракрасной (ИК) спектроскопии.

В работах [1–3] для снижения потребления дефицитного древесного сырья в качестве основного использованы вторичные волокна, получаемые в результате процесса переработки макулатуры или из отходов производства. Разработаны технологии производства бумаги из ежегодно возобновляющихся и имеющихся в большом количестве растительных материалов — сельскохозяйственных отходов [4–8], отходов текстильной [9–11] и фармацевтической отраслей [12, 13].

В работах [14–16] для подтверждения возможности использования целлюлозной массы из внутреннего слоя коры ветвей тутового дерева исследованы физико-механические, поверхностные и оптические свойства. Денситометрическое и микроскопическое исследования печатно-технических свойств бумаги выявили возможность их использования при печати маловязкими печатными красками [17, 18].

Для печати вязкими красками поверхность бумаги должна быть стойкой к воде и органическим соединениям, поэтому применяют гидрофобизирующие проклеивающие вещества [19, 20].

В зависимости от вида целлюлозы, качества производственной воды и других факторов используются различные проклеивающие вещества. Отсюда следует, что не существует универсального клея, пригодного для различных условий работы бумажной фабрики. Наиболее классическим проклеивающим материалом является белый клей (содержание свободной смолы 15–25 %) из живичной канифоли, который пригоден для широкого ассортимента бумаг. Канифольный клей осаждается на волокнах бумажной массы и в процессе сушки бумаги плавится, растекается по поверхности волокон, образуя сплошную пленку и, тем самым, обеспечивает чернило- и водонепроницаемость бумаги.

Цель настоящей работы — изучение возможности применения ИК спектроскопии для идентификации клея на канифольной основе из живицы черешневого дерева, используемого при проклейке в бумажной массе вместо канифоли из сосновой живицы, который является дефицитом для Республики Узбекистан.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить идентификацию клея, полученного из живицы черешневого дерева, а также провести сравнительный анализ его спектра со спектром используемого образца методом ИК спектроскопии;
- для оценки эффективности действия проклеивающего вещества склеить образцы бумаги из целлюлозной массы веток тутового дерева канифольным клеем из живицы черешневого дерева и клеем из сосновой живицы и выполнить их сравнение;
- исследовать степень влияния проклеивающего вещества на механические и поверхностные свойства бумаги;
- изучить свойства бумаги и предложить рекомендации по применению.

#### Объекты и методы исследования

Для идентификации клея целесообразно использовать ИК спектроскопию с фурье-преобразованием, превосходящую оптические приборы по информативности и обеспечивающую высокое разрешение.

Фурье-спектрометр построен по принципу интерферометра Майкельсона, в котором исследуемое излучение служит источником освещения, а одно из зеркал имеет определенную постоянную скорость движения (рис. 1, *b*). Полученная кривая, описывающая зависимость отсчета приемника от разности хода лучей, после фурье-анализа имеет вид распределения интенсивности излучения по длинам волн (частотам) [21].

В данной работе использован универсальный и компактный ИК-Фурье спектрометр Nicolet iS50<sup>1</sup> от Thermo Scientific лаборатории физико-химических методов исследований<sup>2</sup> (рис. 1). По функциональным возможностям, техническим параметрам и простоте эксплуатации спектрометру Nicolet iS50 аналогов нет [22].

Встроенное устройство с алмазным кристаллом, имеющее собственный детектор, позволяет регистрировать спектры в среднем и дальнем ИК диапазонах вплоть до 100 см<sup>-1</sup>. Способность прибора работать в широком спектральном диапазоне (от дальнего ИК до видимой области) легко идентифицирует неорганические компоненты в полимерах. При совместном применении встроенного устройства в режиме нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) и устройства автоматической смены светоделителя спектры в среднем и дальнем ИК диапазонах могут быть автоматиче-

чески зарегистрированы и «сшиты» с использованием программы на Visual Basic для получения единого спектра в диапазоне от 4000 до 100 см<sup>-1</sup> [23].

Метод ИК спектроскопии применен для идентификации клея из живицы черешневого дерева, предназначенного для проклейки волокнистой массы из целлюлозы веток тутового дерева, с целью расширения номенклатуры проклеивающих веществ и снижения доли импортной составляющей в структуре местного бумажного производства.

В качестве объектов исследования использованы клей из сырой смолы (живицы) черешневого дерева и образцы бумаги из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева.

Полученный клей из сырой смолы (живицы) черешневого дерева при температуре 85–95 °С был выпарен для очистки от скипидара и других летучих веществ, содержание которых в сырой смоле составляет 25 %. В полученном без использования химических средств натуральном продукте содержание воды составило не более 0,5 % при остаточной кислотности не более 0,3 %.

Для оценки эффективности действия проклеивающего вещества на листоотливном аппарате получены бумажные отливки массой 80 ± 2 г/м<sup>2</sup>, проклеенные в массе канифольным клеем из живицы черешневого дерева и клеем из сосновой живицы. Механические и поверхностные свойства бумаги исследованы по методикам на основании: ГОСТ 27015-86<sup>3</sup> — определена плотность; ГОСТ 13525.1-79<sup>4</sup> — прочность на разрыв при растяжении на разрывной машине; ГОСТ 12605-97 (ISO 535-91)<sup>5</sup> — поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В результате анализа получены спектры образцов, которые представлены на рис. 2. ИК спектры скорректированы с использованием алгоритма коррекции приставки НВПО, входящего в программный пакет OMNIC. Сравнение ИК спектров проклеивающего вещества из живицы черешневого дерева (рис. 2, *a*) и клея из сосновой живицы, взятого для сравнения (рис. 2, *b*) показывает, что химический состав их близок.

В сравниваемых спектрах присутствуют характеристические полосы поглощения С=О-связи циклической ангидридной группы с максимумом при 1636 и 2123 см<sup>-1</sup>. Кроме того, в обоих спектрах имеются полосы 2848 и 3343 см<sup>-1</sup>, отвечающие за симметричные и асимметричные валентные колебания С–Н-связей ме-

<sup>1</sup> [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bvr.by/oborudovanie/molekulyarnyi-analiz/ik-fure-spektrometry-1/ik-fure-spektrometr-nicolet-is50> (дата обращения: 10.02.2022).

<sup>2</sup> [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://biochem.uz> (дата обращения: 10.02.2022).

<sup>3</sup> ГОСТ 27015-86 Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. Введен 01.01.88. М.: Издательство стандартов, 1986. 4 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 13525.1-79 Полуфабрикаты волокнистые. Бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении. Введен 01.07.80. М.: Издательство стандартов, 2007. 5 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 12605-97 (ИСО 535-91) Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (Метод Кобба). Введен 01.07.2001. М.: Издательство стандартов, 2001. 8 с.

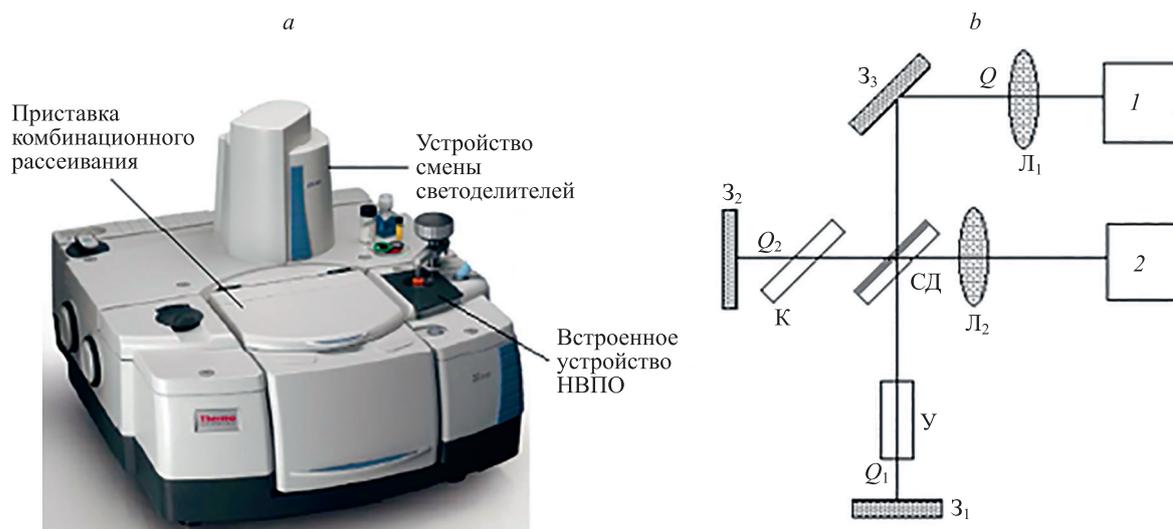


Рис. 1. ИК-Фурье спектрометр Nicolet iS50: общий вид (а) и оптическая система (б).

1 — источник света; 2 — фотоприемник; 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub> — зеркала; СД — светоделитель; К — компенсатор; У — устройство, измеряющее разность хода; Л<sub>1</sub>, Л<sub>2</sub> — линзы; Q, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> — интенсивность волны в плече интерферометра

Fig. 1. FTIR spectrometer Nicolet iS50: general view (a) and optical system (b).

1 — light source; 2 — photodetector; 3<sub>1</sub>, 3<sub>2</sub>, 3<sub>3</sub> — mirrors; СД — beam splitter; К — compensator; У — a device that measures the path difference; Л<sub>1</sub>, Л<sub>2</sub> — lenses; Q, Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub> — wave intensity in the interferometer arm

тиленовых и метильных групп фенантренового скелета смоляных кислот канифоли; 1636 см<sup>-1</sup> — характеристическая полоса валентных колебаний С=О-группы в карбоксильной группе СООН для ненасыщенных кислот; 1463, 1400, 1382, 1360 см<sup>-1</sup> — группа полос поглощения, характеризующая деформационные (плоские ножничные) колебания С–Н-связи метиленовых и метильных групп фенантренового скелета смоляных кислот канифоли; 1261 см<sup>-1</sup> — валентные колебания С–О-связи в карбоксильной группе. В связи с тем, что в клее присутствует мочевины, для которой характерно в области 3345 см<sup>-1</sup> поглощение N–H-группы, то данная полоса также была найдена в исследуемых спектрах. Как следует из анализа результатов обработки спектров по поисковой базе, качественный и частично количественный состав совпадают в обоих образцах. На основании рассмотренных экспериментальных данных, которые включают ИК спектры клеев из живицы черешневого дерева (образцы AAS-atr-TITLP-SadriddinovA-1) и из живицы сосны (образцы AAS-atr-TITLP-SadriddinovA-2) можно утверждать, что их состав идентичен.

Для оценки эффективности действия проклеивающего вещества определена прочность на разрыв при растяжении на разрывной машине по ГОСТ 13525.1-79<sup>1</sup>. В соответствии с методом, образец был закреплен в зажимах разрывной машины, не касаясь его испытуемой части, с силой натяжения не более 0,3 Н. В результате определено усилие, вызывающее разрушение образца и его удлинение до момента разрыва.

<sup>1</sup> ГОСТ 13525.1-79 Полуфабрикаты волокнистые. Бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении. Введен 01.07.80. М.: Издательство стандартов, 2007. 5 с.

Разрывная длина  $L$  вычислена по формуле:

$$L = \frac{l_0 F}{m},$$

где  $F$  — разрушающее усилие;  $l_0$  — номинальное расстояние между зажимами;  $m$  — масса 1 м<sup>2</sup> образца.

Значение предела прочности при растяжении  $\sigma$  рассчитано по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{bh},$$

где  $h$  — толщина образца бумаги;  $b$  — ширина образца бумаги.

Относительная погрешность определения предела прочности при растяжении не превышает  $\pm 10\%$  при доверительной вероятности 0,95.

Сравнительный анализ механических свойств образцов бумаги подтвердил возможность использования исследуемого проклеивающего вещества, так как получены значения, близкие друг к другу, при этом целесообразно добавление проклеивающего вещества в пределах от 1 до 1,5 г на 100 г сухого целлюлозного сырья, так как увеличение добавки до 2 г способствует уменьшению межволоконных сил связи на 21 %.

Для выявления степени влияния проклеивающего вещества на гидрофобность бумаги определена поверхностная впитываемость при одностороннем смачивании (ГОСТ 12605-97 (ISO 535-91)<sup>2</sup>) по методу

<sup>2</sup> ГОСТ 12605-97 (ISO 535-91) Бумага и картон. Метод определения поверхностной впитываемости воды при одностороннем смачивании (Метод Кобба). Введен 01.07.2001. М.: Издательство стандартов, 2001. 8 с.

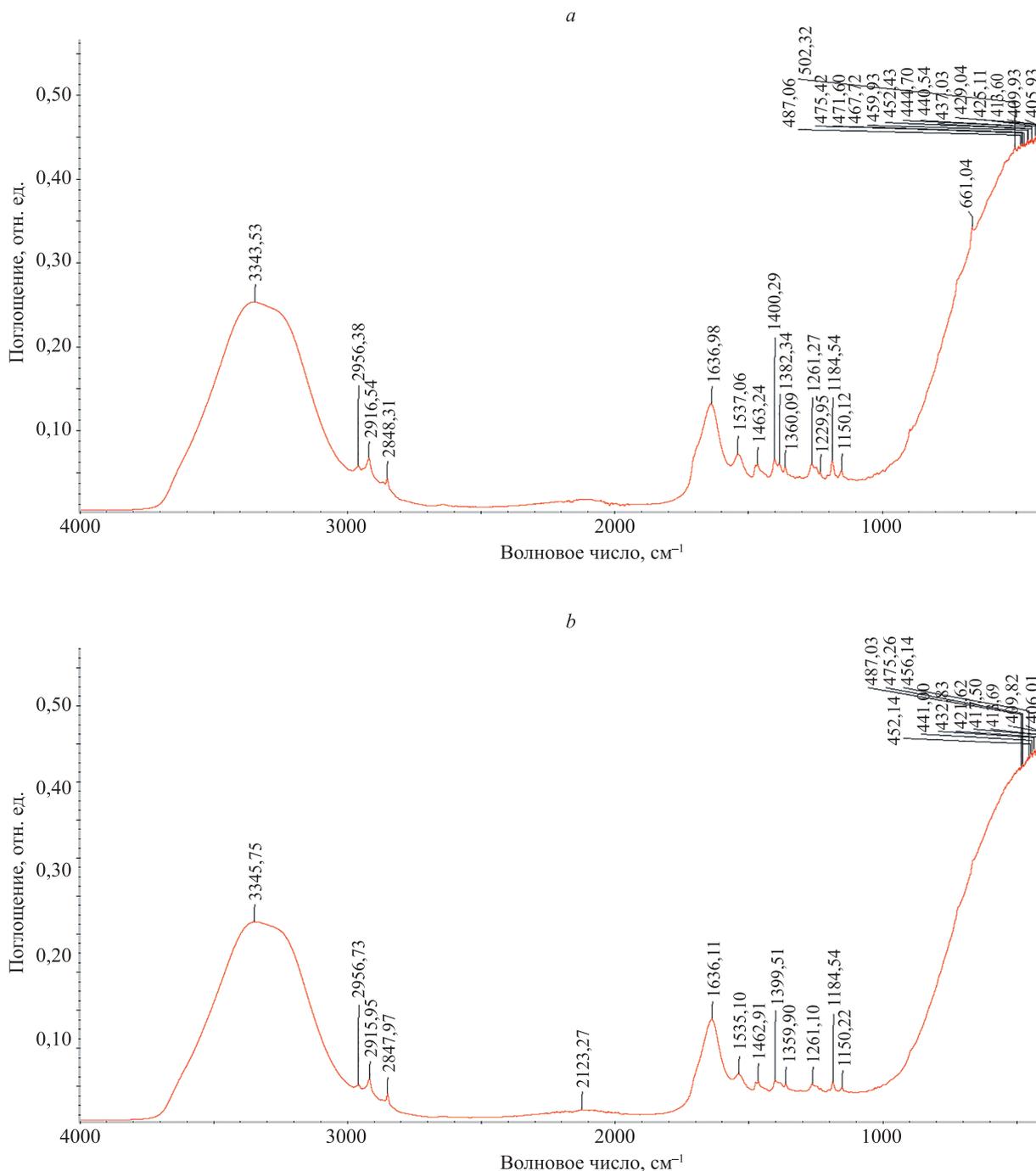


Рис. 2. Инфракрасные спектры проклеивающего вещества из живицы черешневого дерева (а) и клея из сосновой живицы, используемого для сравнения (b)

Fig. 2. Infrared spectra sizing agent from cherry tree resin (a) and glue from pine resin taken for comparison (b)

Кобб(30), путем определения массы воды, поглощенной поверхностью бумаги при смачивании одной стороны испытуемого образца

$$\text{Кобб}_{(30)} = 100(m_2 - m_1),$$

где  $m_1$  и  $m_2$  — массы образца до и после испытаний.

Результаты исследований зависимости свойств бумаги от вида проклеивающего вещества и содержания наполнителя приведены в таблице.

В ходе анализа поверхностных свойств образцов бумаги (таблица) выявлена эффективность проклейки от 22,5 до 30 % с увеличением добавления проклеивающего клея, что можно объяснить уплотнением структуры, которая препятствует проникновению водных растворов.

Таблица. Механические и поверхностные свойства бумаги из целлюлозной массы внутренней коры веток тутового дерева  
Table. Mechanical and surface properties of paper from the cellulose pulp of the inner bark of mulberry branches

Номер образца	Масса вводимого связующего на 100 г сухого целлюлозного сырья, г		Свойства бумаги					
	из живицы черешневого дерева	из живицы сосны	механические				поверхностные	
			плотность, г/см <sup>3</sup>	разрушающее усилие, Н	прочность на изгиб, число двойных перегибов	предел прочности, МПа	поверхностная впитываемость, г/м <sup>2</sup>	влажность, %
1	1,0	—	0,65	69,0	1395	55,7	40	9,3
2	1,5	—	0,67	65,1	1203	52,2	31	8,8
3	2,0	—	0,68	55,1	1180	44,3	28	8,2
4	—	1,0	0,65	71,0	1394	56,0	41	9,2
5	—	1,5	0,66	66,2	1205	51,8	30	8,8
6	—	2,0	0,68	54,0	1164	43,8	25	8,1

### Заклучение

Сравнение инфракрасных спектров проклеивающего вещества из живицы черешневого дерева и клея из сосновой живицы, используемого для сравнения, показало близкие значения химического состава. Сравнительный анализ механических свойств также подтвердил возможность использования исследуемого проклеивающего вещества наравне с клеем из сосновой живицы. При этом целесообразным является добавление клея из живицы черешневого дерева в пределах от 1 до 1,5 г на 100 г сухого целлюлозного сырья, так как увеличение добавки до 2 г способствует уменьшению

межволоконных сил связи на 21 %. Выявлена эффективность проклейки от 22,5 до 30 % с увеличением добавления проклеивающего клея, что можно объяснить уплотнением структуры, которая препятствует проникновению водных растворов. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности используемого метода инфракрасной спектроскопии для экспресс-анализа состава проклеивающего вещества, так как появляется возможность управления технологическим процессом и создания проклеенных видов бумажной продукции с заданными свойствами, обеспечивающими качество печати без потерь мелких деталей изображения.

### Литература

- Махотина Л.Г. Современные тенденции в технологии бумаги для печати // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. № 3. С. 52–55.
- CEPI Sustainability Report. Brussels, CEPI, 2005. 36 p.
- Пузырев С.С. Ресурсосберегающая технология переработки макулатуры // ЛесПромИнформ. 2006. № 3(34). С. 104–109.
- Барбаш В.А., Трембус И.В. Органосольвентный способ получения волокнистых полуфабрикатов из отходов сельского хозяйства // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2002. № 6. С. 29–32.
- Рю Х., Ким Ч.К., Вон Ж.-М. Способ получения целлюлозной массы из стеблей кукурузы. Патент RU 2249636C2. Бюл. 2005. № 10.
- Siegl S. Производство целлюлозы из соломы, тростника и багассы // Natural pulping update and progress. 2002. С. 237–249.
- Huang G., Chen Z., Zhang C. Aqueous ammonia-caustic potash pulping of rice straw // Chemistry and Industry of Forest Products. 2002. V. 22. N 4. P. 31–36.
- Lee K.-H., Won J.-M. Process for producing pulp utilizing bamboo and pulp and papers produced using the same. Patent WO2007/004757A1. 2007.
- Бабаханова Х.А., Алимова Х.А. К оценке эффекта применения в бумажных изделиях отходов натурального шелка и кенафа // Шелк. 2000. № 2. С. 20–21.
- Мухамадрасулов Ш.Х. Повышение эффективности технологии производства натурального шелка // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTKX). 2015. № 1. С. 216–220.
- Babahanova H.A. Papier mit Faserabfaellen aus der Textilindustrie // Textile Problems. 2003. N 4. P. 34–35. (in German)
- Набиев Д.С., Набиева И.А., Бабаханова Х.А., Шахидова Ф.Н. Способ получения целлюлозы. Патент РУз IAP04879. 2014.
- Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М. Использование фармоотходов в бумажной отрасли Республики

### References

- Mahotina L.G. The modern trends in the technology of the printing paper production. *Celluloza. Bumaga. Karton*, 2008, no. 3, pp. 52–55. (in Russian)
- CEPI Sustainability Report. Brussels, CEPI, 2005, 36 p.
- Puzyrev S.S. Resource saving wastepaper recycling technology. *LesPromInform*, 2006, no. 3(34), pp. 104–109. (in Russian)
- Barbash V.A., Trembus I.V. Organosolv method of obtaining fibrous semi-finished products from agricultural waste. *Jekotehnologii i resursosberezhenie*, 2002, no. 6, pp. 29–32. (in Russian)
- Rju Kh., Kim Ch.K., Von Z.-M. Method of preparing pulp from corn stems. *Patent RU 2249636C2*, 2005. (in Russian)
- Siegl S. Pulp production from straw, reed and bagasse. *Natural pulping update and progress*, 2002, pp. 237–249.
- Huang G., Chen Z., Zhang C. Aqueous ammonia-caustic potash pulping of rice straw. *Chemistry and Industry of Forest Products*, 2002, vol. 22, no. 4, pp. 31–36.
- Lee K.-H., Won J.-M. Process for producing pulp utilizing bamboo and pulp and papers produced using the same. *Patent WO2007/004757A1*, 2007.
- Babakanova Kh.A., Alimova Kh.A. To the assessment of the effect of using natural silk and kenaf waste in paper products. *Shelk*, 2000, no. 2, pp. 20–21. (in Russian)
- Muxamadrasulov Sh.X. Improving the efficiency of Manufacturing Natural Silk. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva. naukoemykiye tekhnologii i materialy (SMARTKX)*, 2015, no. 1, pp. 216–220. (in Russian)
- Babakanova H.A. Papier mit Faserabfaellen aus der Textilindustrie. *Textile Problems*, 2003, no. 4, pp. 34–35. (in German)
- Nabiev O.S., Nabieva I.A., Babahanova H.A., Shahidova F.N. The Method of Cellulose Production. *Patent UZ IAP04879*, 2014. (in Russian)

- Узбекистан // Химия растительного сырья. 2020. № 3. С. 285–290. <https://doi.org/10.14258/Jcrpm.2020037298>
14. Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исmoilov И.И. Свойства бумаги, в составе которой целлюлозная масса из веток тута // Высшая школа: научные исследования: Материалы межвузовского научного конгресса, Москва, 30 апреля 2020 г. Уфа: Инфинити, 2020. С. 118–122.
  15. Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исmoilov И.И. Структура бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева // Химия растительного сырья. 2020. № 4. С. 261–266. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2020047761>
  16. Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исmoilov И.И. Целлюлозная масса из коры веток тутовника для бумажной отрасли // Известия вузов. Лесной журнал. 2020. № 5. С. 193–200. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-193-200>
  17. Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исmoilov И.И. Исследование красковосприятости бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2021. Т. 25. № 5. С. 97–105. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-5-97-105>
  18. Бабаханова Х.А., Садриддинов А.А., Галимова З.К., Исmoilov И.И. Исследование микрогеометрии поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из коры веток тутового дерева // Лесной вестник / Forestry Bulletin. 2022. Т. 26. № 1. С. 84–90. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-1-84-90>
  19. Муллина Э.Р., Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Ершова О.В. Влияние химической природы проклеивающих компонентов на гидрофильные и гидрофобные свойства целлюлозных материалов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 250.
  20. Остапенко А.А., Мороз В.Н., Барбаш В.А., Кожевников С.Ю., Дубовый В.К., Ковернинский И.Н. Повышение качества бумаги из макулатурных химических функциональными веществами // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 187–190.
  21. Ефимова А.И., Зайцев В.Б., Болдырев Н.Ю., Кошкарёв П.К. Инфракрасная Фурье-спектроскопия: учебное пособие. М., 2008. 123 с.
  22. Стюард И.Г. Введение в фурье-оптику. М.: Мир, 1985. 182 с.
  23. Jansen J. Определение причин возникновения брака полимерных изделий // Пластические массы. 2018. № 9–10. С. 26–29.
  13. Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M. Use of pharmaceutical waste in paper industry of the Republic of Uzbekistan. *Khimiya Rastitel' nogo Syr 'ya*, 2020, no. 3, pp. 285–290. <https://doi.org/10.14258/Jcrpm.2020037298>. (in Russian)
  14. Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismoilov I.I. Properties of paper containing pulp from mulberry branches. *Inter-University Scientific Congress. Higher school: Scientific research*. Moscow. 30.04.2020. Ufa, Infiniti, 2020, pp. 118–122 c. (in Russian)
  15. Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismoilov I.I. Texture of paper with the addition of cellulose pulp from the bark of mulberry branches. *Khimiya Rastitel' nogo Syr 'ya*, 2020, no. 4, pp. 261–266. <https://doi.org/10.14258/jcrpm.2020047761>. (in Russian)
  16. Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. Cellulose pulp from mulberry branch bark for the paper industry. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2020, no. 5, pp. 193–200. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-193-200>. (in Russian)
  17. Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. Paper trapping research after adding mulberry tree branches bark cellulose pulp. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 97–105. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2021-5-97-105>. (in Russian)
  18. Babakhanova KH.A., Sadriddinov A.A., Galimova Z.K., Ismailov I.I. Microgeometry of cellulose paper top made of mulberry tree bark branches. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, no. 1, pp. 84–90. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-1-84-90>. (in Russian)
  19. Mullina E.R., Mishurina O.A., Chuprova L.V., Ershova O.V. Influens of sizing compound chemistry on hydrophilic and hydrophobic properties of cellulosic materials. *Modern problems of science and education*, 2014, no. 6, pp. 250. (in Russian)
  20. Ostapenko A.A., Moroz V.N., Barbash V.A., Kozhevnikov S.Iu., Duboviy V.K., Kovertinskii I.N. Improving the quality of paper from waste paper from paper with chemical functional substances. *Khimiya Rastitel' nogo Syr 'ya*, 2012, no. 1, pp. 187–190. (in Russian)
  21. Efimova A.I., Zaitcev V.B., Boldyrev N.Iu., Koshkarev P.K. *Infrared Fourier Spectrometry*. Tutorial. Moscow, 2008, 123 p. (in Russian)
  22. Steward E.G. *Fourier Optics: An Introduction*. NY, E. Horwood Publ., 1983, 185 p.
  23. Jansen J. Root cause analysis of a failed plastic cover. *Plasticheskie massy*, 2018, no. 9-10, pp. 26-29. (in Russian)

#### Авторы

**Бабаханова Халима Абишевна** — доктор технических наук, профессор, профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Республика Узбекистан, <https://orcid.org/0000-0002-6956-2824>, [halima300@inbox.ru](mailto:halima300@inbox.ru)

**Садриддинов Акмал Абдулло ўгли** — докторант, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Республика Узбекистан, <https://orcid.org/0000-0002-0742-2439>, [akmalsadriddin0777@gmail.com](mailto:akmalsadriddin0777@gmail.com)

**Абдуназаров Мансур Мехриддинович** — старший преподаватель, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, 100100, Республика Узбекистан, <https://orcid.org/0000-0002-0099-8312>, [Abdunazarov.1977@mail.ru](mailto:Abdunazarov.1977@mail.ru)

**Бабаханова Мадина Авазовна** — PhD, докторант, Государственное унитарное предприятие «Фан ва тараққийот» Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, 100174, Республика Узбекистан, <https://orcid.org/0000-0001-6832-3373>, [madina89@mail.ru](mailto:madina89@mail.ru)

**Громько Ирина Григорьевна** — кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой, Белорусский государственный технологический университет, Минск, 220006, Республика Беларусь, <https://orcid.org/0000-0002-0896-7262>, [gromyko@belstu.by](mailto:gromyko@belstu.by)

#### Authors

**Khalima A. Babakhanova** — D. Sc., Full Professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Republic of Uzbekistan, <https://orcid.org/0000-0002-6956-2824>, [halima300@inbox.ru](mailto:halima300@inbox.ru)

**Akmal A. Sadriddinov** — Doctoral Student, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Republic of Uzbekistan, <https://orcid.org/0000-0002-0742-2439>, [akmalsadriddin0777@gmail.com](mailto:akmalsadriddin0777@gmail.com)

**Mansur M. Abdunazarov** — Senior Lecturer, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Tashkent, 100100, Republic of Uzbekistan, <https://orcid.org/0000-0002-0099-8312>, [Abdunazarov.1977@mail.ru](mailto:Abdunazarov.1977@mail.ru)

**Madina A. Babakhanova** — PhD, Doctoral Student, SUE «Fan va taraqqiyot» of the Tashkent State Technical University, Tashkent, 100174, Republic of Uzbekistan, <https://orcid.org/0000-0001-6832-3373>, [madina89@mail.ru](mailto:madina89@mail.ru)

**Irina G. Gromyko** — PhD, Associate Professor, Head of Department, Belarusian State Technological University, Minsk, 220006, Republic of Belarus, <https://orcid.org/0000-0002-0896-7262>, [gromyko@belstu.by](mailto:gromyko@belstu.by)

Статья поступила в редакцию 10.06.2022  
Одобрена после рецензирования 29.09.2022  
Принята к печати 12.11.2022

Received 10.06.2022  
Approved after reviewing 29.09.2022  
Accepted 12.11.2022

