

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТИ БУМАГИ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ КОРЫ ВЕТОК ТУТОВОГО ДЕРЕВА

Х.А. Бабаханова<sup>1✉</sup>, А.А. Садриддинов<sup>1</sup>, З.К. Галимова<sup>1</sup>, И.И. Исмаилов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, 100100, Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Шохжахон, д. 5

<sup>2</sup>Наманганский технологический институт, 160115, Республика Узбекистан; г. Наманган, ул. Касансай, д. 7

halima300@inbox.ru

Представлены результаты исследования микрогеометрии поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, и бумаги, полученной из хлопковой целлюлозы, взятой для сравнения. Установлена связь между параметрами технологического процесса отливок бумаги, в частности каландрирования, и поверхностных свойств бумаги. Исследованы поверхностные свойства образцов бумаги при использовании прямого метода атомно-силовой микроскопии, являющегося универсальным при изучении топографии поверхности в наноразмерном масштабе. На сканирующем зондовом микроскопе Solver HV исследована микрогеометрия поверхности бумаги в наноразмерном масштабе и получены прямое изображение профиля перепадов рельефа на топографических изображениях. Выявлено, что параметры шероховатости  $Ra$  поверхности образца бумаги из целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, после каландрирования по трем кадрам составили от 4,86 до 26,34 нм. Установлено, что прямой метод атомно-силовой микроскопии позволил оперативно и объективно оценить микрогеометрию поверхности по параметрам шероховатости в наноразмерном масштабе и по прямому изображению профиля перепадов рельефа на топографических изображениях.

**Ключевые слова:** целлюлозная масса, кора веток тутового дерева, структура бумаги, шероховатость, атомно-силовая микроскопия, профиль перепадов рельефа

**Ссылка для цитирования:** Бабаханова Х.А., Садриддинов А.А., Галимова З.К., Исмаилов 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. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-1-84-90

Микрогеометрия поверхности — одно из важнейших свойств структуры бумаги, от которого зависит степень контакта ее с печатной формой и возможность воспроизведения печатных элементов без потерь и искажений.

Фундаментальные работы в области целлюлозно-бумажной промышленности посвящены исследованию структуры волокнистых материалов, способам производства бумаги и их влиянию на поверхностные свойства и качество печати [1–3]. В частности, Л.А. Козаровицкий отмечает, что при исследовании поверхностной микрогеометрии с практической точки зрения, в зависимости от назначения бумаги, целесообразно рассматривать такие ее свойства, как шероховатость или гладкость [3].

Как известно, шероховатость поверхности бумаги способствует получению на печатном оттиске различной толщины красочного слоя, что отражается на значениях оптической плотности [4, 5]. Объясняется это накоплением печатной краски в местах с большей шероховатостью, в результате чего размер растровой точки изображения искажается, и, как следствие, приводит к растискиванию, т. е. информация передается неточно и не в полном объеме.

Для воспроизведения печатной продукции с высокой графической точностью следует использовать бумагу, шероховатость которой известна или определена известными методами.

Для контроля шероховатости поверхности бумаги используются стандартные методы, позволяющие отобразить и измерить рельеф ее поверхности с различной точностью и широким диапазоном измеряемых размеров [6–10].

Используемые для определения гладкости косвенные «воздушные» методы, характеризующие структурную гладкость по времени прохождения воздуха над поверхностью листа, позволяют оценить две принципиально различные категории неровности: 1) неоднородность макроструктуры бумажного листа; 2) микрошероховатость поверхности листа [11]. Косвенные методы, такие как метод по Бекку (ГОСТ 12795–89 (ISO 5627)), методы Бендтсена (ГОСТ 30022.2–93 (ISO 8791-2-2013), Шеффилда (ISO 8791-3.2005), Паркера (PPS) (DINISO 8791-4.2008-05) определяют состояние поверхности, обусловленное механической отделкой, однако не позволяют изучить рельеф поверхности с высоким разрешением.

Изучение рельефа поверхности количественными методами основано на измерении шероховатости поверхности бумаги специальными приборами, которые по принципу работы подразделяются

на бесконтактные и контактные [12, 13]. Контактный механический метод предназначен для анализа шероховатости поверхности бумаги с помощью щуповых приборов. Принцип их работы заключается в перемещении алмазной иглы, которая сканирует исследуемую поверхность бумаги, а ее колебания преобразуются оптическим или электрическим способом в сигналы. Контакт иглы с поверхностью бумаги вызывает выдергивание волокон, в связи с чем данный метод не информативен для получения числовых значений шероховатости поверхности бумаги. В отличие от щуповых приборов профилометры фиксируют числовое значение шероховатости, изображая профиль шероховатой поверхности листа бумаги [14, 15].

Бесконтактные оптические приборы позволяют одновременно исследовать профиль поверхности бумаги и измерить параметры ее шероховатости по ГОСТ 2789–73 [6].

В 1986 г. был изобретен атомно-силовой микроскоп (АСМ), к одним из основных достоинств которого можно отнести высокое (до 0,1 нм) разрешение [17].

В настоящей работе использован сканирующий зондовый микроскоп (СЗМ) Solver HV (ЗАО NT-MDT, Зеленоград, Россия) для получения профиля рельефа поверхности листа бумаги и параметров шероховатости в наноразмерном масштабе на примере образцов бумаги из целлюлозы, полученной из коры веток тутового дерева, что невозможно при использовании косвенных «воздушных» методов диагностики поверхности бумаги. При сканировании кантилевер (зонд) только касается поверхности, не повреждая образец бумаги волокнистого состава. Простота и несложность обслуживания СЗМ не требует для работы на нем подготовленных в области методов силовой зондовой микроскопии специалистов [5, 18].

## Цель работы

В данной работе исследована микрогеометрия поверхности бумаги из целлюлозы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева.

## Объекты и методы исследования

Для изучения микрогеометрии поверхности бумаги для печати были решены следующие задачи:

– получены бумажные отливки на основе целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева;

– с помощью АСМ Solver HV проведено профилирование рельефа поверхности образцов бумаги и с помощью специального программного обеспечения выполнен расчет параметров шероховатости поверхности бумаги в наноразмерном масштабе;

Т а б л и ц а 1

### Показатели физико-механических свойств образцов бумаги

#### Indicators of physical and mechanical properties of paper samples

Показатель	ГОСТ, ИСО	Композиционный состав бумаги ХЦ:ТЦ, %		
		100:0	0:100	0:100 (после каландрирования)
Масса 1 м <sup>2</sup> , г	ГОСТ 13199–88	84 ± 0,02	80 ± 0,02	90 ± 0,02
Белизна, %	ГОСТ 30113–94, ИСО 2470–77	77	65	65
Толщина, мкм	ГОСТ 27015–86	101	106	94
Разрывная длина, м	ГОСТ ИСО 1924-1–96	4170	5110	4830
Гладкость (по верхней/сеточной сторонам), с	ГОСТ 12795–89 ИСО 5627	45/36	90,2/70,6	100/72

– разработаны рекомендации по применению прямого метода для экспресс-анализа поверхности бумаги, что позволило объективно оценить микрогеометрию ее поверхности по полученным параметрам шероховатости и профилю перепадов рельефа на топографических изображениях.

В качестве объектов исследования были использованы образцы бумажных отливок на основе целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева (тутовой целлюлозы — ТЦ), и образцы бумаги, полученной из хлопковой целлюлозы (ХЦ), взятой для сравнения.

Авторами в ранее опубликованных работах [19–21] приведены результаты исследований свойств целлюлозной массы и бумаги из целлюлозы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева и шероховатости поверхности бумаги, полученной из хлопковой целлюлозы с добавлением 10, 20 и 30 % целлюлозной массы, полученной из веток тутового дерева [22].

На листоотливном аппарате получены бумажные отливки из целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, со степенью помола 10 °ШР. Свойства образцов бумаги приведены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1 показал, что прочность образцов бумаги с добавлением целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, на разрыв, охарактеризованная разрывной длиной в метрах, обеспечена в первую очередь прочностью и гетерогенностью растительных волокон

Т а б л и ц а 2  
**Параметры шероховатости поверхности образцов бумаги по данным АСМ**  
 Surface raggedness parameters of paper samples according to AFM data

Номер образца бумаги	Состав бумаги ХЦ:ТЦ, %	Шероховатость $R_a$ образцов для кадров, нм		
		750	1500	3500
1	100:0	26,95	32,61	67,54
2	0:100	23,28	44,75	96,33
3	0:100 (после каландрирования)	4,86	7,47	26,34

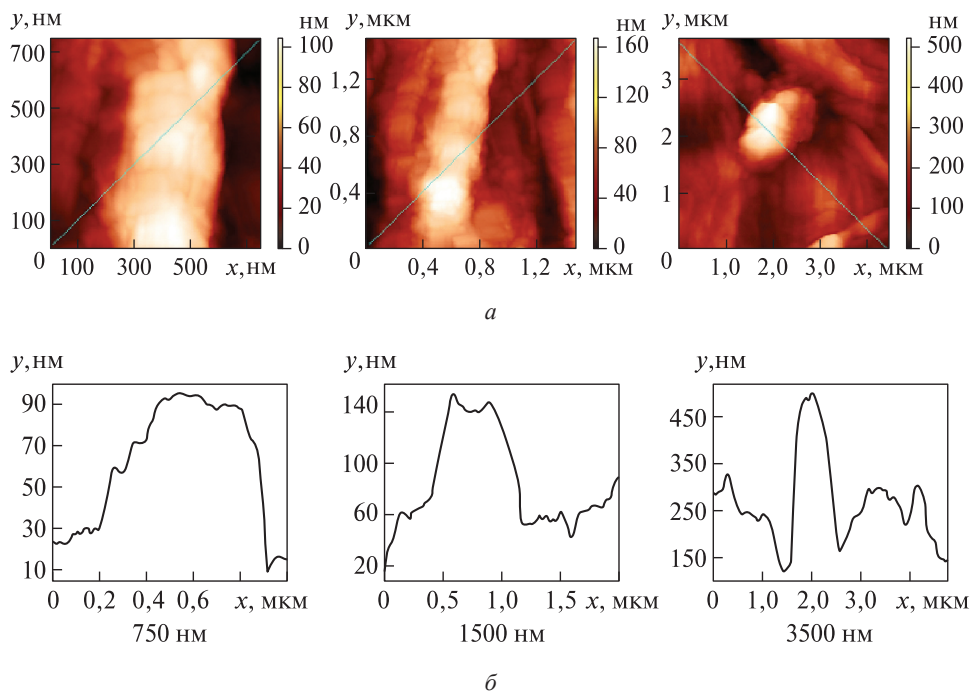
и структурой бумаги, которая в процессе производства при прохождении между валами подвергалась давлению, способствовавшему сближению волокон, уменьшению толщины и повышению гладкости. Разрывная длина исследуемых образцов бумаги превысила значения прочности для типографских видов бумаги — не менее 2500 м и для офсетных — до 3500 м и выше.

В настоящей работе приведены результаты исследования степени влияния параметров технологического процесса отливок бумаги, а именно каландрирования, на ее поверхностные свойства. При комнатной температуре образцы бумаги без подготовки, т. е. без кондиционирования, помещали на поверхность пластины из кремния и затем устанавливали в АСМ. Рельеф поверхности образца

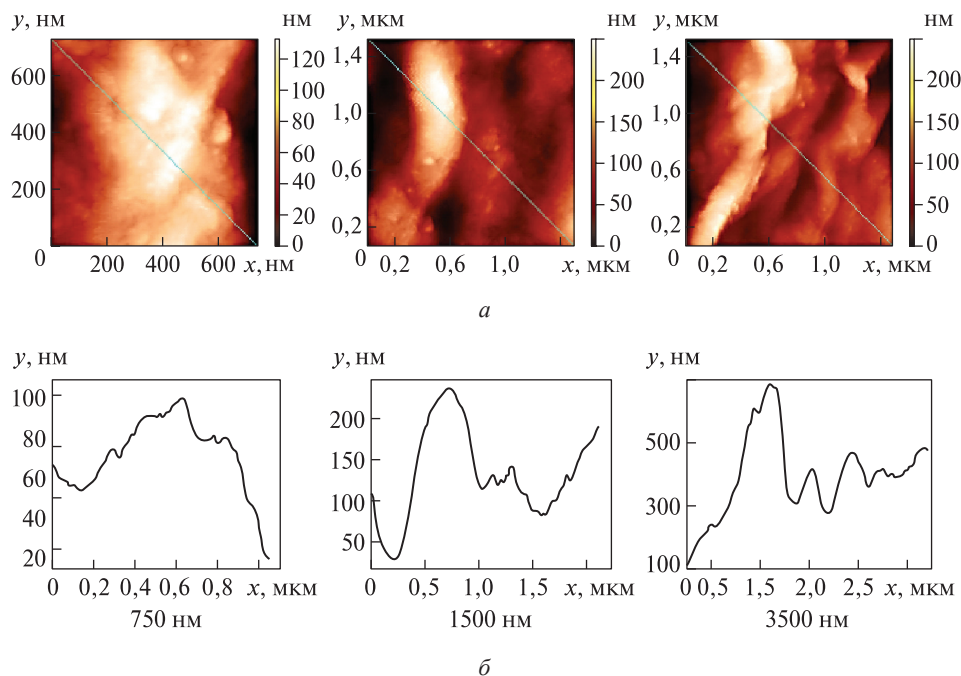
измеряли при размере диаметра 450 мкм и диапазоне от 10 000 до 4 мкм<sup>2</sup>. При взаимодействии кантилевера производства ЗАО NT-MDT (Зеленоград, Россия) с поверхностью бумаги действует сила, которая изменяется в зависимости от различия высот рельефа. Изменение силы, действующей на кантилевер, влияет на величину изгиба, который фиксируется с помощью лазера. В результате профилируется прямое изображение микрогеометрии поверхности в масштабе 3D. Прямое изображение профиля поверхности на топографических изображениях получено в режиме постоянной амплитуды, где высота профиля передана цветом: чем выше находится деталь рельефа, тем она светлее. Для расчета параметров шероховатости по диагонали кадра проводился разрез.

Полученные с помощью АСМ данные обработаны на специальной встроенной программе и параметры шероховатости  $R_a$  рассчитаны, согласно требованиям ГОСТ 2789–73 (табл. 2). Образец 1 (см. табл. 2) — это бумага из ХЦ, взятая для сравнения, и ее шероховатость приведена авторами в ранее опубликованной работе [22].

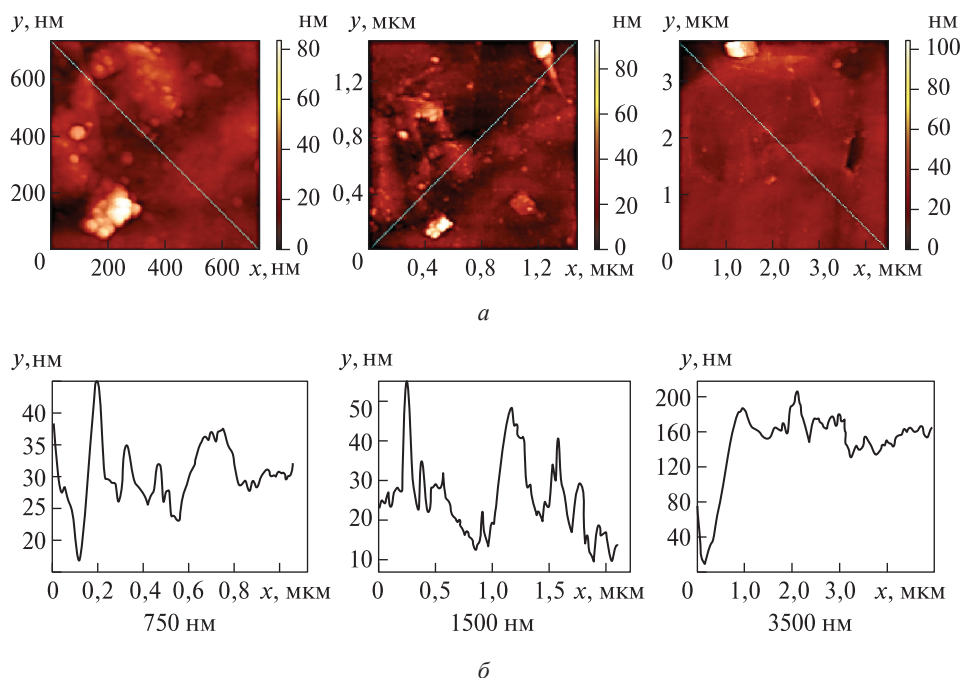
Прямое изображение профиля поверхности на топографических изображениях взяты при использовании трех кадров — 750, 1500 и 3500 нм. Как видно из табл. 2, на разных кадрах значения шероховатости различаются. Объяснением этому является то, что если кадр попал на одно волокно, то значения низкие, если он попал на сплетение



**Рис. 1.** Поверхность образца бумаги 1: а — топографическое АСМ-изображение; б — профиль рельефа выделенной линии поверхности  
**Fig. 1.** Surface of paper sample 1: а — topographic AFM image; б — profile of the relief of the selected surface line



**Рис. 2.** Поверхность образца бумаги 2: *a* — топографическое АСМ-изображение; *б* — профиль рельефа выделенной линии поверхности  
**Fig. 2.** Surface of paper sample 2: *a* — topographic AFM image; *б* — profile of the relief of the selected surface line



**Рис. 3.** Поверхность образца бумаги 3: *a* — топографическое АСМ-изображение; *б* — профиль рельефа выделенной линии поверхности  
**Fig. 3.** Surface of paper sample 3: *a* — topographic AFM image; *б* — profile of the relief of the selected surface line

нескольких волокон, то параметр шероховатости выше. Расхождения между параметрами будут меньше при условии, если кадр попадает на фибрированное волокно с большей удельной поверхностью.

### Результаты и обсуждение

Использование прямого метода на АСМ позволило получить параметры шероховатости поверхности бумаги и прямое изображение профиля

ее поверхности на топографических изображениях. После каландрирования профиль рельефа поверхности образца бумаги 3, в составе которого 100%-я целлюлозная масса, полученная из внутреннего слоя коры веток тутового дерева (ТЦ), имеет наименьшие перепады и шероховатость по сравнению с образцами 2 и 1, где 100%-я ХЦ.

Шероховатость поверхности бумаги анализировали по выделенному профилю рельефа через наивысшие и наименьшие точки. Профиль поверхности оценивали по отрезку прямой, длина которой не превышала базовую, согласно ГОСТ 2789–73.

На рис. 1–3 линия разреза, по которой определяли шероховатость поверхности бумаги, выражена зеленым цветом. Небольшие углубления, выраженные затемнением на топографических АСМ-изображениях, характеризуют достаточную однородность и плотность структуры.

## Выводы


Выявлено, что параметры шероховатости  $Ra$  поверхности образца бумаги из целлюлозной массы, полученной из внутреннего слоя коры веток тутового дерева после каландрирования по трем кадрам составили от 4,86 до 26,34 нм.

Метод прямого экспресс-анализа поверхности бумаги позволил объективно оценить микрогеометрию поверхности по параметрам шероховатости в наноразмерном масштабе и по прямому изображению профиля перепадов рельефа на топографических изображениях.

## Список литературы

- [1] Флягте Д.М. Свойства бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1970. С. 186–230.
- [2] Nissan A. Lectures on Fiber Science in Paper // The Joint Textbook Committee of Paper Industry, 1977, 149 p.
- [3] Козаровицкий Л.А. Бумага и краска в процессе печатания. М.: Книга, 1965. 368 с.
- [4] Леонтьев В.Н. Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на показатели качества печати // ИВУЗ Лесной журнал, 2009. № 4. С. 111–116.
- [5] Maattanen A., Fors D., Wand S., Valtakari D., Ihlainen P. Paper—lased planar reaction arrays for printed diagnostics // Sensors and Actuators B., 2011, v. 160, no. 1, pp. 1404–1412.

## Сведения об авторах

**Бабаханова Халима Абишевна**  — д-р техн. наук, профессор кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, halima300@inbox.ru

**Садриддинов Акмал Абдулло угли** — докторант Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, sadriddinovakmal0777@mail.ru

**Галимова Зулфия Камилловна** — ассистент кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов Ташкентского института текстильной и легкой промышленности, z.galimova8282@mail.ru

**Исмаилов Икромжон Иброхим угли** — докторант кафедры химической технологии Наманганского инженерно-технологического института, ikromzhon.ismailov@bk.ru

- [6] ГОСТ 2789–73. Шероховатость поверхности: параметры и характеристики. М.: Изд-во стандартов, 1974. 5 с.
- [7] Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. 2. Производство бумаги и картона. Ч. I. Технология производства и обработки бумаги и картона. СПб.: Политехника, 2005. С. 20.
- [8] Кулак М.И. Фрактальная механика материалов. Минск: Высшая школа, 2002. 304 с.
- [9] Карташов А.И. Шероховатость поверхности и методы ее измерения. М.: Стандартгиз, 1964. 163 с.
- [10] Топорев А.С. Оптика шероховатой поверхности. Л.: Машиностроение, 1988. 191 с.
- [11] Riedl R. Zusammenhang von Rauigkeit und Glatte // Papier und Druck, 1975, v. 24, no. 2, pp. 19–21.
- [12] Рудзит Я.А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей. Рига: Зинатне, 1975. 210 с.
- [13] Григорьев А.Я., Мышкин Н.К., Холодилов О.В. Методы анализа микрогеометрии поверхности // Трение и износ, 1989. № 1. Т. 10. С. 138–155.
- [14] Лукьянов В.С., Рудзит Я.А. Параметры шероховатости поверхности. М.: Изд-во стандартов, 1979. 162 с.
- [15] Миронченко В.И. Приборы бесконтактного контроля шероховатости // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика, 2004. № 5. С. 58–61.
- [16] Ким К.Ю. Исследование и разработка оптического метода бесконтактного контроля шероховатости поверхности : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 22 с.
- [17] Кирсанкин А.А., Михалева М.Г., Никольский С.Н., Мухоморова А.В., Стовбун С.В. Прямой метод контроля качества поверхности мелованных видов бумаги // Химия растительного сырья, 2016. № 4. С. 157–161.
- [18] Жуков М.В. Контроль структуры различных видов бумаги методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2014. № 1 (89). С. 44–49.
- [19] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Целлюлозная масса из коры веток тутовника для бумажной отрасли // ИВУЗ Лесной журнал, 2020. № 5. С. 193–200.
- [20] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Свойства бумаги, в составе которой целлюлозная масса из веток тутта // Высшая школа: научные исследования. Материалы Межвузовского научного конгресса. Москва. 30.04.2020. М.: Инфинити, 2021. С. 118–122.
- [21] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Структура бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутовника // Химия растительного сырья, 2020. № 4. С. 261–266. DOI: 10.14258/jcprgm.2020047761.
- [22] Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмаилов И.И. Исследование шероховатости бумаги из вторичного сырья методом атомно-силовой микроскопии // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, 2020. Т. 20. № 5. С. 661–666. DOI: 10.17586/2226-1494-2020-20-5-661-666.

Поступила в редакцию 13.05.2021.

Одобрено после рецензирования 21.09.2021.

Принята к публикации 03.12.2021.

## MICROGEOMETRY OF CELLULOSE PAPER TOP MADE OF MULBERRY TREE BARK BRANCHES

Kh.A. Babakhanova<sup>1✉</sup>, A.A. Sadriddinov<sup>1</sup>, Z.K. Galimova<sup>1</sup>, I.I. Ismailov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 5, Shokhzakhon st., 100100, Tashkent, Uzbekistan

<sup>2</sup>Namangan Technology Institute, 7, Kasansay st., 160115, Namangan, Uzbekistan

halima300@inbox.ru

The paper presents the study results of a microgeometry of the paper top made of cellulose obtained from the bark of mulberry tree branches and paper obtained from cotton pulp for comparison. A relationship has been established between the parameters of the technological process of pulp handsheets, in particular calendering, and the surface properties of paper. A study of the surface properties of paper samples was carried out using the direct method of atomic force microscopy, which is universal in the study of surface topography on a nanoscale. Using a Solver HV scanning probe microscope, the microgeometry of the paper top on a nanoscale and a direct image of the profile of the relief changes in topographic images have been examined. It was revealed that the roughness parameters  $R_a$  of the surface of a paper sample made of cellulose pulp obtained from the bark of mulberry tree branches after calendering in three frames ranged from 4,86 to 26,34 nm. It was found that the direct method of atomic force microscopy quickly made it possible to obtain surface raggedness parameters on a nanoscale and a direct image of the profile of relief differences in topographic images.

**Keywords:** pulp, mulberry bark, paper structure, roughness, atomic force microscopy, surface profile

**Suggested citation:** Babakhanova Kh.A., Sadriddinov A.A., Galimova Z.K., Ismailov I.I. *Issledovanie mikrogeometrii poverkhnosti bumagi iz tsellyulozy, poluchennoy iz kory vetok tutovogo dereva* [Microgeometry of cellulose paper top made of mulberry tree bark branches]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 26, no. 1, pp. 84–90. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-1-84-90

### References

- [1] Flyatte D.M. *Svoystva bumagi* [Properties of paper]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1970, pp. 186–230.
- [2] Nissan A. Lectures on Fiber Science in Paper. The Joint Textbook Committee of Paper Industry, 1977, 149 p.
- [3] Kozarovitskiy L.A. *Bumaga i kraska v protsesse pechataniya* [Paper and ink in the process of printing]. Moscow: Kniga, 1965, 368 p.
- [4] Leont'ev V.N. *Otsenka vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva bumagi na pokazateli kachestva pechati* [Assessment of the Influence of Technological Parameters of Paper Production on Printing Quality Indicators]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2009, no. 4, pp. 111–116.
- [5] Maattanen A., Fors D., Wand S., Valtakari D., Ihlainen P. Paper — lased planar reaction arrays for printed diagnostics. *Sensors and Actuators B*, 2011, v. 160, no. 1, pp. 1404–1412.
- [6] GOST 2789–73 *Sherokhovatost' poverkhnosti: parametry i kharakteristiki* [Surface roughness: parameters and characteristics]. Moscow: Publishing house of standards, 1974, 5 p.
- [7] *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Technology of pulp and paper production]. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. I. Tekhnologiya proizvodstva i obrabotki bumagi i kartona [Manufacture of paper and cardboard. Part I. Technology of production and processing of paper and cardboard] In 3 volumes. Vol. 2. St. Petersburg: Polytechnic, 2005, p. 20.
- [8] Kulak M.I. *Fraktal'naya mekhanika materialov* [Fractal mechanics of materials]. Minsk: Higher School, 2002, 304 p.
- [9] Kartashov A.I. *Sherokhovatost' poverkhnosti i metody ee izmereniya* [Surface roughness and methods of its measurement]. Moscow: Standartgiz, 1964, 163 p.
- [10] Toporets A.S. *Optika sherokhovatoy poverkhnosti* [Rough surface optics]. Leningrad: Mashinostroenie, 1988, 191 p.
- [11] Riedl R. Zusammenhang von Rauigkeit und Glatte. *Papier und Druck*, 1975, v. 24, no. 2, pp. 19–21.
- [12] Rudzit Ya.A. *Mikrogeometriya i kontaktnoe vzaimodeystvie poverkhnostey* [Microgeometry and contact interaction of surfaces]. Riga: Zinatis, 1975, 210 p.
- [13] Grigor'ev A.Ya., Myshkin N.K., Kholodilov O.V. *Metody analiza mikrogeometrii poverkhnosti* [Methods for the analysis of surface microgeometry]. *Trenie i iznos* [Friction and wear], 1989, no. 1, v. 10, pp. 138–155.
- [14] Luk'yanov V.S., Rudzit Ya.A. *Parametry sherokhovatosti poverkhnosti* [Surface roughness parameters]. Moscow: Publishing house of standards, 1979, 162 p.
- [15] Mironchenko V.I. *Pribory beskontaktnogo kontrolya sherokhovatosti* [Devices for contactless roughness control]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Devices and systems. Management, control, diagnostics], 2004, no. 5, pp. 58–61.
- [16] Kim K.Yu. *Issledovanie i razrabotka opticheskogo metoda beskontaktnogo kontrolya sherokhovatosti poverkhnosti* [Research and development of an optical method for contactless control of surface roughness]. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.). Moscow: MG TU, 2009, 22 p.
- [17] Kirsankin A.A., Mikhaleva M.G., Nikol'skiy S.N., Musokhrapova A.V., Stovbun S.V. *Pryamoy metod kontrolya kachestva poverkhnosti melovannykh vidov bumagi* [Direct method of surface quality control of coated types of paper]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of vegetable raw materials], 2016, no. 4, pp. 157–161.
- [18] Zhukov M.V. *Kontrol' struktury razlichnykh vidov bumagi metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Control of the structure of various types of paper by atomic force microscopy]. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik informatsionnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki* [Scientific and technical bulletin of information technologies, mechanics and optics], 2014, no. 1 (89), pp. 44–49.
- [19] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Tsellyuloznaya massa iz kory vetok tutovnika dlya bumazhnoy otrasli* [Pulp from the bark of mulberry branches for the paper industry]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2020, no. 5, pp. 193–200.

- [20] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Svoystva bumagi, v sostave kotoroy tsellyuloznaya massa iz vetok tuta* [Properties of paper containing pulp from mulberry branches]. Vysshaya shkola: nauchnye issledovaniya. Materialy Mezhvuzovskogo nauchnogo kongressa [Higher school: scientific research. Materials of the Interuniversity Scientific Congress]. Moscow. 30.04.2020. Moscow: Infiniti Publishing House, 2021, pp. 118–122.
- [21] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Struktura bumagi s dobavleniem tsellyuloznoy massy iz kory vetok tutovnika* [The structure of paper with the addition of cellulose mass from the bark of mulberry branches]. Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of vegetable raw materials], 2020, no. 4, pp. 261–266. DOI: 10.14258 / jcprm.2020047761
- [22] Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismailov I.I. *Issledovanie sherokhovatosti bumagi iz vtorichnogo syr'ya metodom atomno-silovoy mikroskopii* [Investigation of the roughness of recycled paper by atomic force microscopy]. Nauchno-tehnicheskii vestnik Informatsonnykh tekhnologiy, mekhaniki i optiki [Scientific and Technical Bulletin of Information Technologies, Mechanics and Optics], 2020, v. 20, no. 5, pp. 661–666. DOI: 10.17586 / 2226-1494-2020-20-5-661-666.

## Authors' information

**Babakhanova Khalima Abishevna** ✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, halima300@inbox.ru

**Sadriddinov Akmal Abdullo ugli** — Doctoral student, Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, sadriddinovakmal0777@mail.ru

**Galimova Zulfiya Kamilovna** — Assistant, Department of Technology of printing and packaging production of the Tashkent Institute of Textile and Light Industry, z.galimova8282@mail.ru

**Ismailov Ikromzhon Ikromzhon ugli** — Doctoral student, Department of Chemical technology of the Namangan Technology Institute, ikromzhon.ismailov@bk.ru

Received 13.05.2021.

Approved after review 21.09.2021.

Accepted for publication 03.12.2021.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest