Forensic Science, 4'2026
ISSN: 3083-6085 (print), 3083-6093 (online)

УДК 343.98
DOI https://doi.org/10.32782/forensic.science.2026.4.9



Дарія Калюжна
старший судовий експерт лабораторії дослідження матеріалів речовин та виробів,
Львівський науково-дослідний інститут судових експертиз
Міністерства юстиції України
https://orcid.org/0009-0000-5229-2373

МОЖЛИВОСТІ ДИФЕРЕНЦІАЦІЇ ОФІСНОГО ПАПЕРУ ЗА ВОЛОКНИСТИМ СКЛАДОМ У СУДОВО-ЕКСПЕРТНОМУ ДОСЛІДЖЕННІ

У статті досліджено можливість диференціації офісного паперу за волокнистим складом у судово-експертному дослідженні. Метою роботи було встановлення можливості розмежування зразків паперу за якісним і кількісним складом волокон, належністю до целюлози з деревини листяних і хвойних порід, характеристиками хімічної обробки та відбілювання. Досліджено три зразки офісного паперу з поверхневою масою 80 г/м²: Business (Словаччина), Double A Premium (Таїланд) та «Світанок» (Україна). Застосовано світлову мікроскопію, реактив Херцберга, реакцію Александера (Alexander's stain), реакцію для визначення ознак способу хімічної обробки целюлози та реакцію Брайта (Bright's stain). Ідентифікацію волокон здійснювали за сукупністю морфологічних і мікрохімічних ознак. У всіх зразках встановлено волокна целюлози з деревини листяних і хвойних порід. Масова частка волокон листяних порід становила 86 % у Business, 94 % у Double A Premium та 78 % у зразку «Світанок», хвойних – відповідно 14 %, 6 % та 22 %. Виявлено відмінності за характеристиками хімічної обробки целюлози. У Business встановлено поєднання листяної біленої сульфатної та хвойної біленої сульфітної целюлози; у Double A Premium – листяної та хвойної біленої сульфатної целюлози; у папері «Світанок» – змішані ознаки сульфатного та сульфітного способів обробки. За результатами реакції Брайта у зразках Business і Double A Premium встановлено лише білені волокна, тоді як у зразку «Світанок» переважали білені волокна, а додатково виявлено окремі волокна з ознаками небіленої целюлози. Результати свідчать, що морфологічні характеристики, належність волокон до листяної або хвойної целюлози, ознаки хімічної обробки, відбілювання та кількісне співвідношення волокон можуть формувати комплекс диференційних ознак для порівняльного судово-експертного дослідження офісного паперу. Ці характеристики не є самостійною підставою для встановлення конкретного виробника.

***Ключові слова**: офісний папір, волокнистий склад, целюлоза, мікроскопічне дослідження, селективне забарвлення, судово-експертне дослідження.*

Постановка проблеми. Сучасна судово-експертна практика характеризується зростанням потреби в дослідженні матеріалів документів із метою встановлення їх походження, способу виготовлення та спільної групової належності. Незважаючи на розвиток електронного документообігу, папір залишається поширеним матеріальним носієм інформації, тому його дослідження не втрачає актуальності.

Одним із перспективних напрямів криміналістичного дослідження паперу є встановлення його волокнистого складу, який належить до відносно стабільних характеристик паперової продукції. Якісний і кількісний склад волокон у поєднанні з їх морфологіч-

ними та фізико-хімічними ознаками може використовуватися для диференціації паперових матеріалів, встановлення їх спільної групової належності й отримання додаткової інформації щодо технології виготовлення.

На відміну від випробувань паперу, спрямованих переважно на встановлення відповідності нормативним вимогам за фізико-механічними показниками, судово-експертне дослідження часто проводять за умов обмеженої кількості матеріалу, його пошкодження або наявності слідів експлуатації. Це зумовлює необхідність використання неруйнівних або мінімально руйнівних методів. За таких умов аналіз волокнистого складу, морфологічних характеристик волокон, їх технологічної належності та кількісного співвідношення може мати важливе диференційне значення.

У зв'язку із цим актуальним є дослідження можливостей диференціації сучасного офісного паперу за волокнистим складом із використанням комплексу мікроскопічних та мікрохімічних методів, зокрема реакцій селективного забарвлення волокон.

Мета дослідження. Метою дослідження є встановлення можливості диференціації офісного паперу формату А4 з поверхневою масою 80 г/м² різних виробників за якісним та кількісним волокнистим складом із застосуванням мікроскопічних методів дослідження та реакцій селективного забарвлення волокон.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі завдання:

– провести попереднє мікроскопічне дослідження поверхні досліджуваних зразків паперу та встановити особливості формування їх паперового полотна;

– встановити групову належність волокон із застосуванням реактиву Херцберга;

– дослідити морфологічні характеристики волокон і встановити їх видову належність;

– визначити належність волокон до целюлози з деревини листяних і хвойних порід із застосуванням реакції Александера (Alexander's stain);

– встановити ознаки способу хімічної обробки целюлози, зокрема диференціювати сульфатну та сульфітну целюлозу;

– встановити наявність біленої та небіленої целюлози із застосуванням реакції Брайта (Bright's stain);

– визначити кількісне співвідношення окремих видів волокон у досліджуваних зразках паперу;

– оцінити можливість використання комплексу якісних і кількісних характеристик волокнистого складу як додаткових криміналістичних ознак для диференціації офісного паперу та встановлення його спільної групової належності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження волокнистого складу паперу є одним із традиційних напрямів мікроскопічного аналізу паперових матеріалів. Визначення якісного та кількісного складу волокон ґрунтується на комплексній оцінці їх морфологічних характеристик і результатів реакцій селективного забарвлення, що дає змогу встановлювати належність волокон до певних груп рослинної та іншої волокнистої сировини.

Методичні підходи до аналізу паперу за волокнистим складом регламентовані стандартами серії ISO 9184 та їх національними ідентичними впровадженнями. Загальний метод аналізу складу за волокном наведено в ДСТУ ISO 9184-1:2010 «Напівфабрикати волокнисті, папір та картон. Аналіз складу за волокном. Частина 1. Загальний метод». Для ідентифікації волокон за характером їх забарвлення застосовують, зокрема, реактив Херцберга відповідно до ДСТУ ISO 9184-3:2010 «Напівфабрикати волокнисті, папір та картон. Аналіз складу за волокном. Частина 3. Тест на забарвлення реактивом Херцберга» [1, с. 1–8; 2, с. 1–3].

Важливе значення для ідентифікації волокон мають їх морфологічні ознаки, оцінювання яких є основою мікроскопічного аналізу паперових матеріалів. Для інтерпретації результатів такого дослідження використовують спеціалізовані атласи та довідкові видання з ідентифікації паперових волокон. Одним із фундаментальних видань у цій галузі є Fiber Atlas: Identification of Papermaking Fibers M.-S. Ilvessalo-Pfäffli [3, с. 1–400]. Атлас містить систематизовані відомості про будову деревини та морфологічні ознаки волокон, що використовуються у виробництві паперу, а також значну кількість мікроскопічних зображень і таблиць, призначених для диференціації волокон. Видання охоплює опис 117 видів волокон, зокрема 83 види деревних і 34 види недеревної рослинної сировини.

Окрім реактиву Херцберга, для дослідження волокнистого складу паперу застосовують інші реакції селективного забарвлення, призначені для отримання додаткової інформації щодо походження та технологічних характеристик волокон. До таких методів належать реакції, що дають змогу диференціювати волокна целюлози з деревини листяних і хвойних порід, а також окремі види целюлози за характером її хімічної обробки. Застосування таких реакцій у поєднанні з мікроскопічним дослідженням морфологічних ознак підвищує інформативність аналізу волокнистого складу.

Методи селективного забарвлення волокон використовувалися в дослідженнях паперу задовго до формування сучасної системи стандартизації. Зокрема, у праці T. M. Plitt Microscopic Methods Used in Identifying Commercial Fibers систематизовано методи мікроскопічної ідентифікації паперових волокон, у тому числі методи визначення деревної маси, сульфітної та сульфатної целюлози, а також волокон хвойних і листяних порід. Окремий розділ цієї роботи присвячено Alexander's stain для диференціації хвойних і листяних деревних волокон [4, с. 9–10].

Окремий напрям дослідження становить визначення технологічних характеристик целюлози, зокрема способу її одержання та ступеня хімічної обробки. Морфологічні ознаки волокон у поєднанні з результатами гістохімічних реакцій можуть використовуватися для диференціації целюлози, отриманої різними способами. Така інформація може мати додаткове значення під час комплексного порівняльного дослідження паперових матеріалів.

Разом із тим питання використання комплексу ознак волокнистого складу саме для диференціації сучасного офісного паперу різних виробників потребує подальшого вивчення. Особливий інтерес становить оцінювання не лише якісного складу волокон, а й їх кількісного співвідношення, належності до целюлози з деревини листяних або хвойних порід та окремих технологічних характеристик целюлози.

Таким чином, аналіз нормативних і наукових джерел свідчить про доцільність комплексного дослідження волокнистого складу паперу із застосуванням мікроскопічних методів, реакцій селективного забарвлення та кількісного визначення співвідношення окремих видів волокон. Поєднання зазначених ознак може розширити можливості диференціації паперових матеріалів під час судово-експертного дослідження.

Теоретичні основи ідентифікації волокон паперу

Основною волокнистою сировиною для виробництва сучасного паперу є целюлоза, яку переважно одержують із деревини хвойних та листяних порід. Залежно від виду сировини та технології її перероблення волокна характеризуються певними морфологічними й фізико-хімічними ознаками, сукупність яких може використовуватися для їх ідентифікації та диференціації.

Під час мікроскопічного дослідження деревних волокон ураховують їх форму та розміри, характер кінцевих ділянок, співвідношення довжини й ширини, товщину клітинних стінок, ширину просвіту, характер і розміщення пор, а також супутні анатомічні елементи. Комплексна оцінка цих характеристик дає змогу встановлювати належність волокон до певних груп рослинної сировини [3, с. 1–400].

Для целюлози з деревини хвойних порід характерними анатомічними елементами є трахеїди, тоді як для деревини листяних порід – лібриформні волокна та членики судин. Форма, будова клітинних стінок, характер порування, наявність перфорацій та співвідношення основних морфологічних параметрів використовують як додаткові діагностичні ознаки під час диференціації волокон.

Розмежування волокон лише за однією морфологічною ознакою може призводити до помилкової ідентифікації, тому в судово-експертному дослідженні доцільно враховувати їх сукупність та доповнювати морфологічний аналіз результатами селективного забарвлення.

Під час мікроскопічного дослідження досліджуваних зразків виявляли трахеїди, лібриформні волокна та членики судин. Основні морфологічні ознаки зазначених анатомічних елементів та їх діагностичне значення наведено в таблиці 1.

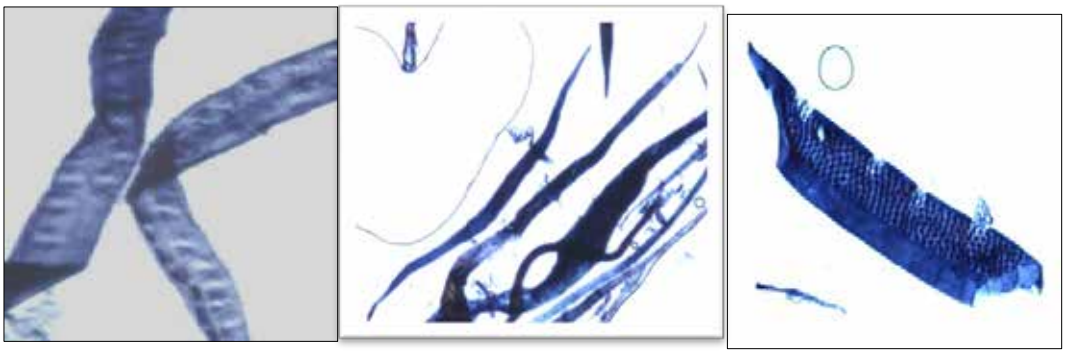
Морфологічні особливості виявлених анатомічних елементів наведено на власних мікрофотографіях (рис. 1).

Таблиця 1

Основні морфологічні ознаки волокон деревної целюлози

Група волокон / анатомічний елемент	Основні морфологічні ознаки	Діагностичне значення
Трахеїди хвойних порід	Видовжена форма; звужені кінцеві ділянки; характерна будова клітинних стінок і порування; співвідношення ширини просвіту та товщини стінок	Ознака наявності целюлози з деревини хвойних порід у комплексі з іншими морфологічними ознаками
Лібриформні волокна листяних порід	Видовжена форма; загострені кінці; характерне співвідношення товщини клітинної стінки та ширини просвіту	Ознака наявності целюлози з деревини листяних порід у комплексі з іншими ознаками
Членики судин листяних порід	Наявність перфорацій; характерне порування клітинних стінок; специфічна форма та будова судинних елементів	Додаткова морфологічна ознака целюлози з деревини листяних порід

Примітка. Ідентифікацію волокон здійснюють за сукупністю морфологічних ознак; наведені характеристики не розглядаються як самостійні абсолютні критерії видової належності.



а **б** **в**

Рис. 1. Морфологічні ознаки волокон деревної целюлози: а – трахеїда хвойної породи; б – лібриформне волокно листяної породи; в – членик судини листяної породи. Власні мікрофотографії. Загальне збільшення: а – ×500; б – ×100, в – ×200

Матеріали та методи дослідження. Об'єкти дослідження. Об'єктами дослідження були три зразки офісного паперу формату А4 із поверхневою масою 80 г/м², виготовлені різними виробниками: Business (Словаччина), Double A Premium (Таїланд) та «Світанок» (Україна).

Дослідження проводили з метою встановлення особливостей волокнистого складу зазначених зразків та оцінювання можливості їх диференціації за комплексом морфологічних, якісних і кількісних характеристик.

Попереднє мікроскопічне дослідження

На першому етапі проводили попереднє мікроскопічне дослідження поверхні зразків паперу із застосуванням стереомікроскопа Stemi 2000-C (ZEISS) за збільшення ×16 у відбитому штучному освітленні.

Під час дослідження оцінювали характер поверхні, однорідність розподілу волокон, особливості формування паперового полотна та наявність відмінностей між зразками. Встановлено відмінності за характером поверхні, структурою паперового полотна та розподілом волокнистої маси. Результати наведено на рис. 2.

Підготовка зразків для дослідження волокнистого складу

Для дослідження волокнистого складу з кожного зразка паперу відбирали невеликі фрагменти з п'яти аркушів. Загальна маса відібраного матеріалу становила 0,25 г.

Відібраний матеріал поміщали у склянку з водою та кип'ятили протягом кількох хвилин із періодичним перемішуванням. Після розм'якшення паперового матеріалу волокнисту масу переносили до диспергатора для розділення волокон.

Отриману волокнисту суспензію використовували для подальшого мікроскопічного та мікрохімічного дослідження. Дослідження проводили у двох повторностях на невеликій кількості волокнистого матеріалу.



а б в

Рис. 2. Мікрофотографії поверхні досліджуваних зразків офісного паперу за збільшення ×16: а – Business; б – Double A Premium; в – «Світанок»

Для мікроскопічного дослідження використовували стереомікроскоп Stemi 2000-C та мікроскоп Axioscope 5 Pol (ZEISS).

Якісний аналіз волокнистого складу здійснювали за результатами реакцій селективного забарвлення у поєднанні з оцінюванням морфологічних ознак волокон.

Визначення групової належності волокон

На першому етапі встановлювали групову належність волокон із використанням реактиву Херцберга відповідно до ДСТУ ISO 9184-3:2010 [2, с. 1–3]. Зазначений стандарт встановлює вимоги до підготовки, використання й оцінювання кольорових реакцій реактиву Херцберга та застосовується у взаємозв'язку з ДСТУ ISO 9184-1:2010 [1, с. 1–8; 2, с. 1–3].

Після забарвлення препаратів проводили мікроскопічне дослідження й оцінювали характер забарвлення волокон у поєднанні з їх морфологічними ознаками.

У досліджуваних зразках волокна після оброблення реактивом Херцберга набували синього або синьо-фіолетового забарвлення, що відповідало волокнам целюлозного походження.

Під час морфологічного дослідження в препаратах виявляли трахеїди, лібриформні волокна та членики судин, які використовували як додаткові діагностичні ознаки для диференціації волокон деревної целюлози.

Диференціація волокон целюлози з деревини хвойних та листяних порід

Для диференціації волокон целюлози з деревини хвойних та листяних порід застосовували реакцію Александера (Alexander's stain) [4, с. 9–10] на основі кальцію нітрату та хлорцинкйоду (реактиву Херцберга). Використаний склад розчину кальцію нітрату – 100 г кальцію нітрату на 50 мл дистильованої води – відповідає складу, наведеному T. M. Plitt для Alexander's stain [4, с. 10].

Для проведення реакції готували два розчини.

Розчин I: кальцію нітрат – 100 г; вода дистильована – 50 мл.

Розчин II: хлорцинкйод (реактив Херцберга).

За результатами реакції волокна целюлози з деревини листяних порід характеризувалися синім або синьо-фіолетовим, а волокна з деревини хвойних порід – рожевим або рожево-фіолетовим забарвленням. В усіх трьох досліджуваних зразках переважали волокна целюлози з деревини листяних порід, поряд із якими виявляли волокна целюлози з деревини хвойних порід.

Визначення ознак способу хімічної обробки целюлози

Наступним етапом дослідження було визначення ознак, що характеризують спосіб хімічної обробки целюлози, зокрема диференціація сульфатної та сульфітної целюлози, а також оцінювання ознак її відбілювання.

Для визначення ознак способу хімічної обробки целюлози застосовували комплекс реактивів, які використовували послідовно.

Розчин I: соляна кислота – 0,4 %, 50 мл.

Розчин II: основний фуксин – 1 г; вода дистильована – 100 мл.

Розчин III: соляна кислота – 0,02 %, 50 мл; вода дистильована – 50 мл.

Розчин IV: хлорцинкйод (реактив Херцберга).

Розчин V: цинку хлорид – 50 г; кальцію хлорид – 15 г; вода дистильована – 100 мл.

Після послідовного оброблення волокон зазначеними реактивами проводили

їх мікроскопічне дослідження й оцінювали характер забарвлення.

Склад розчину V на основі цинку хлориду та кальцію хлориду відповідає складу, наведеному в літературі для Du Pont general stain, який використовують, зокрема, для диференціації сульфітної та сульфатної целюлози [5, с. 7459].

За результатами реакції білена сульфітна целюлоза характеризувалася рожевим забарвленням, тоді як білена сульфатна целюлоза – синім.

Для досліджуваних зразків отримано такі результати:

– у зразку Business виявлено волокна листяної сульфатної целюлози та хвойної сульфітної целюлози;

– у зразку Double A Premium виявлено волокна листяної та хвойної сульфатної целюлози;

– у зразку «Світанок» виявлено волокна листяної та хвойної целюлози з ознаками як сульфатного, так і сульфітного способу хімічної обробки.

Встановлення наявності відбілювання волокон целюлози

Для встановлення наявності біленої та небіленої целюлози застосовували реакцію Брайта (Bright's stain), призначену для диференціації білених і небілених волокон [4, с. 9; 5, с. 7421, 7459].

Для проведення реакції використовували три розчини.

Розчин I: калію гексаціаноферат(III) – 3,3 г; вода дистильована – 100 мл.

Розчин II: заліза(III) хлорид – 2,7 г; вода дистильована – 100 мл.

Розчин III: бензопурпурин 4B – 0,5 г; спирт етиловий 50 % – 100 мл.

За результатами реакції білені волокна целюлози набувають червоного або світло-червоного забарвлення, тоді як небілені та лігноцелюлозовмісні волокна – синього.

За результатами дослідження встановлено, що в препаратах зразків Business та Double A Premium волокна після проведення реакції набували світло-червоного забарвлення. У препаратах зразка «Світанок» основна маса волокон також забарвлювалася у світло-червоний колір, однак поряд із ними виявляли волокна із синім забарвленням.

З урахуванням результатів попереднього дослідження волокнистого складу, за якими ознак наявності деревної маси та напівцелюлози не встановлено, синє забарвлення окремих волокон зразка «Світанок» інтерпретували як ознаку наявності небіленої целюлози. Отримані результати свідчать про переважання у зразку «Світанок» біленої целюлози та наявність домішки волокон небіленої целюлози.

Кількісне визначення волокнистого складу

Кількісне співвідношення волокон визначали методом підрахунку їх кількості з подальшим перерахунком отриманих значень у масові частки. Підрахунок проводили за допомогою лічильної лінійки. Для перерахунку кількісного співвідношення волокон у масові частки застосовували вагові коефіцієнти, наведені в ДСТУ ISO 9184-1:2010 [1, с. 7–8].

Результати якісного та кількісного дослідження волокнистого складу зразків офісного паперу наведено в таблиці 2.

Результати та обговорення. Проведеним комплексом мікроскопічних і мікрохімічних досліджень у всіх трьох зразках офісного паперу встановлено наявність волокон целюлози з деревини листяних і хвойних порід.

Таблиця 2

Результати якісного та кількісного дослідження волокнистого складу офісного паперу

Зразок	Листяні породи	Хвойні породи	Масова частка листяних волокон, %	Масова частка хвойних волокон, %
Business	Біла́на сульфатна целюлоза	Біла́на сульфітна целюлоза	**86**	14
Double A Premium	Біла́на сульфатна целюлоза	Біла́на сульфатна целюлоза	94	6
«Світанок»	Біла́на целюлоза з ознаками сульфатної та домішкою сульфітної; наявні ознаки небіленої целюлози	Біла́на целюлоза з ознаками сульфатної та домішкою сульфітної; наявні ознаки небіленої целюлози	78	22

Примітка. Масові частки визначено з урахуванням вагових коефіцієнтів згідно з ДСТУ ISO 9184-1:2010; сума часток для кожного зразка становить 100 %.

Ідентифікацію волокон здійснювали за сукупністю їх морфологічних ознак, характером забарвлення в селективних реакціях та ознаками, що характеризують спосіб хімічної обробки целюлози.

За результатами диференціації волокон встановлено, що у всіх досліджених зразках переважали волокна целюлози з деревини листяних порід. Волокна хвойних порід були представлені в меншій кількості. Морфологічні ознаки виявлених волокон узгоджувалися з результатами їх диференціації за характером забарвлення.

Дослідження ознак способу хімічної обробки целюлози виявило відмінності між зразками. У зразку Business виявлено волокна листяної біленої сульфатної целюлози та хвойної біленої сульфітної целюлози. Таким чином, волокнистий склад цього зразка характеризувався поєднанням волокон різного походження й ознак різного способу хімічної обробки.

У зразку Double A Premium виявлено волокна листяної та хвойної біленої сульфатної целюлози. Отже, на відміну від зразка Business, для обох груп деревних волокон встановлено ознаки, характерні для сульфатної целюлози.

У зразку «Світанок» виявлено волокна листяної та хвойної целюлози зі змішаними ознаками, що відповідали поєднанню біленої та небіленої целюлози, а також сульфатного та сульфітного способів хімічної обробки. Такий характер результатів свідчить про більшу неоднорідність цього зразка за досліджуваними ознаками порівняно з двома іншими зразками.

Кількісне визначення волокнистого складу показало, що масова частка волокон целюлози з деревини листяних порід у зразку Business становила 86 %, а хвойних – 14 %. У зразку Double A Premium відповідні показники становили 94 % і 6 %, тоді як у зразку «Світанок» – 78 % і 22 %. Таким чином, найвищу частку волокон листяної целюлози встановлено у зразку Double A Premium, а найвищу частку волокон хвойної целюлози – у зразку «Світанок».

Порівняння отриманих результатів показує, що досліджені зразки відрізняються не лише за кількісним співвідношенням волокон листяних і хвойних порід, а й за характером ознак, пов'язаних зі способом хімічної обробки целюлози. Зокрема, для Business характерним є поєднання листяної сульфатної та хвойної сульфітної целюлози, для Double A Premium – переважання листяної сульфатної целюлози з наявністю хвойної сульфатної целюлози, а для «Світанок» – змішані ознаки відбілювання та способу хімічної обробки.

Отже, отримані результати свідчать, що волокнистий склад офісного паперу може бути охарактеризований комплексом взаємодоповнювальних ознак, до яких належать морфологічні характеристики волокон, їх групова належність до деревини листяних або хвойних порід, ознаки способу хімічної обробки та кількісне співвідношення компонентів. Сукупне врахування зазначених ознак створює можливості для диференціації досліджуваних зразків офісного паперу та може бути використане під час проведення судово-експертних досліджень.

При цьому встановлені характеристики доцільно розглядати як сукупність диференційних ознак матеріалу, а не як самостійну підставу для встановлення конкретного виробника паперу. Це особливо важливо з огляду на те, що подібний волокнистий склад може використовуватися в продукції різних виробників.

Для наочного підтвердження результатів мікроскопічного дослідження проведено мікрофотографування волокон усіх трьох досліджуваних зразків після оброблення реактивом Херцберга. На мікрофотографіях відображено характер забарвлення та морфологічні особливості волокон, виявлених у досліджуваних зразках. По два мікрофотографічні зображення для кожного зразка наведено на рис. 3.

Для наочного підтвердження результатів визначення ознак способу хімічної обробки целюлози проведено мікрофотографування препаратів після відповідної послідовної обробки реактивами. На отриманих мікрофотографіях чітко простежуються відмінності в характері забарвлення волокон, що використовували для диференціації сульфітної та сульфатної целюлози. Мікрофотографії наведено на рис. 4.

Висновки

1. Проведеними мікроскопічними та мікрохімічними дослідженнями встановлено, що досліджені зразки офісного паперу формату А4 з поверхневою масою 80 г/м² містять волокна целюлози з деревини листяних

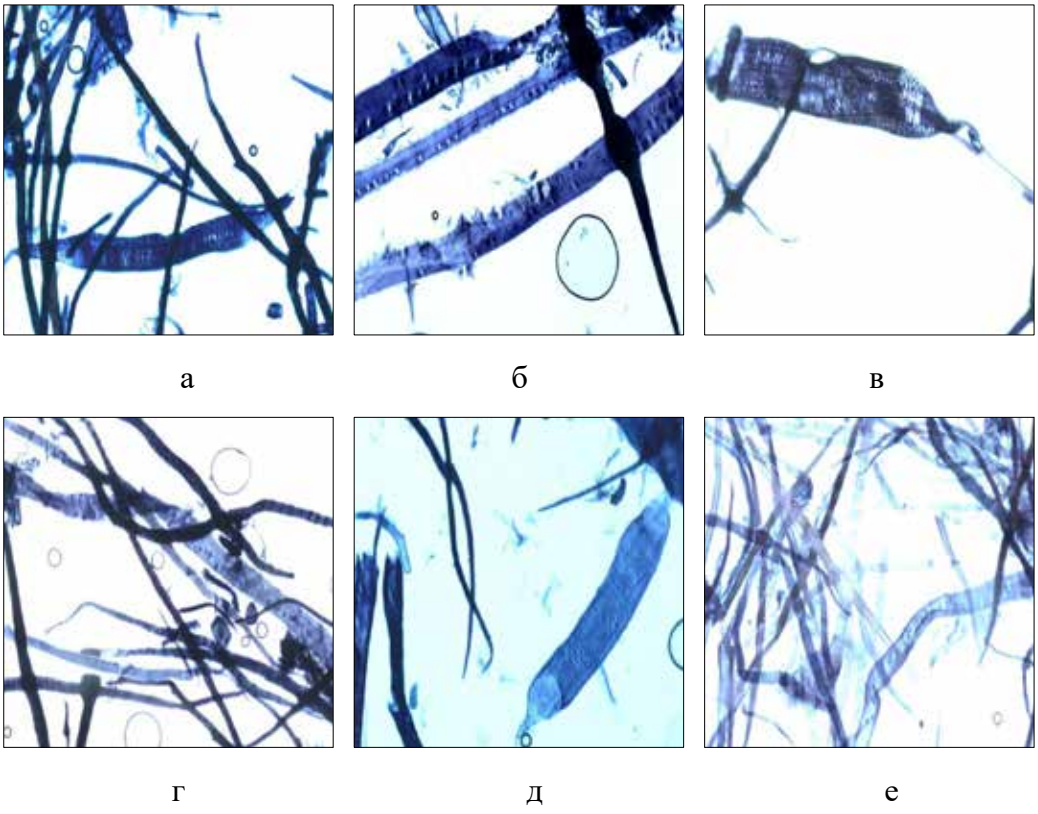


Рис. 3. Мікрофотографії волокон досліджуваних зразків офісного паперу після оброблення реактивом Херцберга: а, б – Business; в, г – Double A Premium; д, е – «Світанок». Власні мікрофотографії

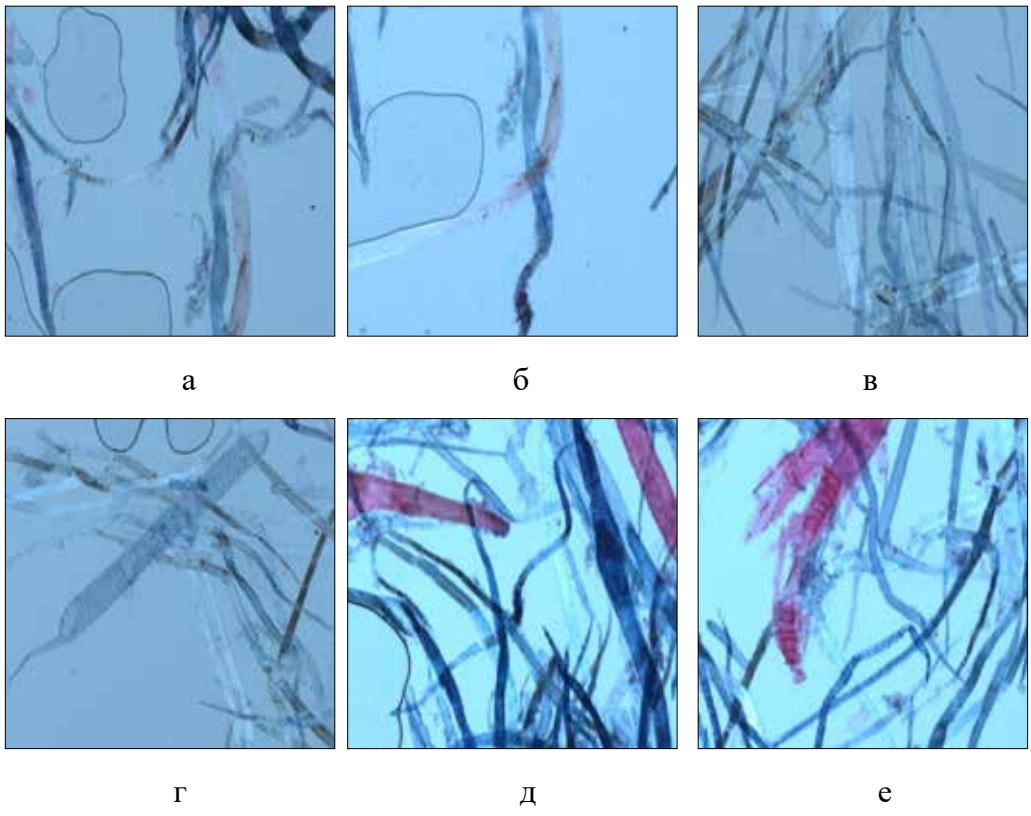


Рис. 4. Мікрофотографії волокон досліджуваних зразків офісного паперу після проведення реакцій для визначення ознак способу хімічної обробки целюлози: а, б – Business; в, г – Double A Premium; д, е – «Світанок». Власні мікрофотографії

і хвойних порід. Диференціацію волокон здійснювали за сукупністю морфологічних ознак і характером їх забарвлення в селективних реакціях.

2. В усіх досліджених зразках переважали волокна целюлози з деревини листяних порід. Їх масова частка становила від 78 до 94 %, тоді як частка волокон целюлози з деревини хвойних порід – від 6 до 22 %. У зразку Business співвідношення листяних і хвойних волокон становило 86 % і 14 %, у Double A Premium – 94 % і 6 %, у зразку «Світанок» – 78 % і 22 % відповідно.

3. Застосування реакції Александера на основі кальцію нітрату та реактиву Херцберга дало змогу диференціювати волокна целюлози з деревини листяних і хвойних порід у досліджуваних зразках. Отримані результати доповнювали дані морфологічного дослідження волокон.

4. Дослідження ознак способу хімічної обробки целюлози виявило відмінності між досліджуваними зразками. Для зразка Business встановлено поєднання листяної біленої сульфатної та хвойної біленої сульфітної целюлози; для Double A Premium – листяної та хвойної біленої сульфатної целюлози; для зразка «Світанок» – змішані ознаки, що відповідали поєднанню біленої та небіленої целюлози, а також сульфатного та сульфітного способів хімічної обробки.

5. Отримані результати свідчать про можливість використання комплексу морфологічних, якісних та кількісних ознак волокнистого складу для диференціації зразків офісного паперу під час судово-експертного дослідження. Сукупне врахування зазначених ознак дає змогу отримати більш повну характеристику досліджуваного паперу, водночас встановлені ознаки слід розглядати як характеристики матеріалу, а не як самостійну підставу для встановлення конкретного виробника.

Список використаної літератури:

1. ДСТУ ISO 9184-1:2010. Напівфабрикати волокнисті, папір та картон. Аналіз складу за волокном. Частина 1. Загальний метод (ISO 9184-1:1990, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2013.
2. ДСТУ ISO 9184-3:2010. Напівфабрикати волокнисті, папір та картон. Аналіз складу за волокном. Частина 3. Тест на забарвлення реактивом Херцберга (ISO 9184-3:1990, IDT). Київ : Держспоживстандарт України, 2013.
3. Ilvessalo-Pfäffli M.-S. Fiber Atlas: Identification of Papermaking Fibers. Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer-Verlag, 1995. XI, 400 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-662-07212-7.
4. Plitt T. M. Microscopic Methods Used in Identifying Commercial Fibers. Circular of the National Bureau of Standards C423. Washington : U.S. Government Printing Office, 1939. 30 p. DOI: https://doi.org/10.6028/NBS.CIRC.423.
5. Hubbe M. A., Chandra R. P., Dogu D., van Velzen S. T. J. Analytical Staining of Cellulosic Materials: A Review. BioResources. 2019. Vol. 14, No. 3. P. 7387–7464. DOI: https://doi.org/10.15376/biores.14.3.7387-7464.

References:

1. Derzhstandart Ukrainy (2013). Napivfabrykaty voloknysti, papir ta karton. Analiz skladu za voloknom. Chastyna 1. Zahalnyi metod (ISO 9184-1:1990, IDT) [Pulp, paper and board. Fiber furnish analysis. Part 1: General method]. DSTU ISO 9184-1:2010 [in Ukrainian].
2. Derzhstandart Ukrainy (2013). Napivfabrykaty voloknysti, papir ta karton. Analiz skladu za voloknom. Chastyna 3. Test na zabarvlennia reaktyvom Khertsberha (ISO 9184-3:1990, IDT) [Pulp, paper and board. Fiber furnish analysis. Part 3: Herzberg staining test]. DSTU ISO 9184-3:2010 [in Ukrainian].
3. Ilvessalo-Pfäffli, M.-S. (1995). Fiber atlas: Identification of papermaking fibers. Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-662-07212-7.
4. Plitt, T. M. (1939). Microscopic methods used in identifying commercial fibers (Circular of the National Bureau of Standards C423). U.S. Government Printing Office. https://doi.org/10.6028/NBS.CIRC.423.
5. Hubbe, M. A., Chandra, R. P., Dogu, D., & van Velzen, S. T. J. (2019). Analytical staining of cellulosic materials: A review. *BioResources,* 14(3), 7387–7464. https://doi.org/10.15376/biores.14.3.7387-7464.

Dariya Kalyuzhna. Possibilities for differentiating office paper by fiber composition in forensic examination

The article examines the possibility of differentiating office paper by fiber composition in forensic examination. The study aimed to determine the possibility of distinguishing paper samples based on the qualitative and quantitative composition of fibers, their attribution to hardwood and softwood cellulose, characteristics of chemical processing, and bleaching. Three office paper samples with a basis weight of 80 g/m² were examined: "Business" (Slovakia), "Double A Premium" (Thailand), and "Svitanok" (Ukraine). Light microscopy, Herzberg stain, Alexander's stain, a reagent sequence for determining characteristics of the chemical processing of cellulose, and Bright's stain were applied. Fiber identification was based on a combination of morphological and microchemical characteristics. All samples contained cellulose fibers originating from both hardwood and softwood. The mass fraction of hardwood fibers was 86% in "Business", 94% in "Double A Premium", and 78% in "Svitanok", while the corresponding proportions of softwood fibers were 14%, 6%, and 22%. Differences were established in the characteristics of the chemical processing of cellulose. "Business" contained a combination of hardwood bleached sulfate cellulose and softwood bleached sulfite cellulose; "Double A Premium" contained hardwood and softwood bleached sulfate cellulose; and "Svitanok" demonstrated mixed characteristics of sulfate and sulfite processing. Bright's stain showed only bleached fibers in "Business" and "Double A Premium", whereas bleached fibers predominated in "Svitanok", where individual fibers exhibiting characteristics of unbleached cellulose were additionally detected. The results demonstrate that morphological characte ristics, attribution of fibers to hardwood or softwood cellulose, characteristics of chemical processing and bleaching, and the quantitative ratio of fibers may form a set of differential characteristics for the comparative forensic examination of office paper. These characteristics are not, however, an independent basis for determining a specific manufacturer.

***Keywords**: office paper, fiber composition, cellulose, microscopic examination, selective staining, forensic examination.*

Дата першого надходження статті до видання: 09.10.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 03.11.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 18.11.2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)