

УДК 343.9

Дікевич Кристина Геннадіївна

головний судовий експерт сектору почеркознавчих досліджень,
технічного дослідження документів та обліку
відділу криміналістичних видів досліджень
Харківський НДЕКЦ МВС

Dikevych Krystyna

the Main Forensic Expert of the Handwriting Research Sector,
Technical Study of Documents and Accounting of the
Department Forensic Types of Research
Kharkiv Scientific Research Forensic Center of the
Ministry of Internal Affairs of Ukraine
ORCID: 0000-0002-8458-8053

DOI: 10.25313/2520-2308-2024-4-9820

КРИМІНАЛЬНИЙ ПРОЦЕС ТА КРИМІНАЛІСТИКА; СУДОВА
ЕКСПЕРТИЗА; ОПЕРАТИВНО-РОЗШУКОВА ДІЯЛЬНІСТЬ

ЗАСОБИ ТА МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ ЧОРНИЛ, ЩО ЗНЕБАРВЛЮЮТЬСЯ, У СУДОВІЙ ТЕХНІЧНІЙ ЕКСПЕРТИЗІ ДОКУМЕНТІВ

MEANS AND METHODS FOR IDENTIFYING INK THAT DISCOLORS IN FORENSIC TECHNICAL EXAMINATION OF DOCUMENTS

Анотація. В даній статті надано загальну характеристику чорнилам, що знебарвлюються та найбільш поширеним індикаторам рН, що використовуються при виготовленні такого чорнила. Охарактеризовано класифікацію даного типу чорнил в залежності від компонентного складу та властивостей. Сьогодні доступні різні склади чорнила, що складаються з комбінацій органічних, не органічних та синтетичних матеріалів з різними характеристиками та властивостями (наприклад, чорнило на термохромній основі, стирається при нагріванні). Властивості таких чорнил змінюються залежно від спектру освітлення. В якості прикладу наведено термочутливе чорнило на гелевій основі Pilot Pen, яке складається з пігментованих мікрочастинок, зв'язаних у напівпрозорому полімерному носії. Перераховано деякі методи, як руйнуючі, та і не руйнуючі, для виявлення та дослідження чорнил, що знебарвлюються. Відмічено, що чорнила, які знебарвлюються, є кислотно-основними індикаторами, що змінюють колір під впливом атмосферного CO₂ у присутності повітря. Окремо виділено неруйнуючий метод дослідження за допомогою приладу Video Spectral Comparator. Даний прилад є одним із найбільш універсальних інструментів, яке можна використовувати з використанням різних інструментальних параметрів та залишити документ після дослідження в його початковому стані, не завдавши ушкоджень. VSC дозволяє експерту виявляти підробку в документах за рахунок спеціальної вбудованої функції точкового підсвічування інфрачервоної, видимої або УФ частин спектру, завдяки якій «зниклі» чорнила можуть флуоресцювати або проявлятися іншим чином. Наведено приклад експертного експерименту, проведеного зарубіжними фахівцями з Департаменту досліджень підробок та контрафакції Управління судово-медичної експертизи. Співробітниками вивчалася ефективність впливу деяких факторів на вицвітання розчинів чорнил, що зникають, таких як основна речовина, концентрація або рН барвник. Зроблені висновки, які підкреслюють необхідність розроблення практичного і неруйнівного методу для легкого розшифрування рукописних записів, виконаних такими чорнилами.

Ключові слова: чорнила що знебарвлюються, компонентний склад, термохромні чорнила, методи досліджень, технічна експертиза документів.

Summary. This article provides an overview of decolorizing inks and the most common pH indicators used in the production of such inks. The classification of this type of ink is characterized depending on the component composition and properties. Different ink formulations are available today, consisting of combinations of organic, inorganic and synthetic materials with different characteristics and properties (for example, thermochromic-based ink that erases when heated). The properties of such inks change depending on the light spectrum. An example is the Pilot Pen heat-sensitive gel-based ink, which consists of

pigmented microparticles suspended in a translucent polymer carrier. Some methods, both destructive and non-destructive, are listed for the detection and investigation of discoloring inks. It has been noted that decolorizing inks are acid-base indicators that change color under the influence of atmospheric CO_2 in the presence of air. A non-destructive research method using the Video Spectral Comparator device is separately highlighted. This device is one of the most versatile tools, which can be used using various instrumental parameters and leave the document after examination in its original state without causing damage. VSC allows an expert to detect forgery in documents due to a special built-in function of point illumination of the infrared, visible or UV parts of the spectrum, thanks to which the “disappeared” ink can fluoresce or manifest itself in another way. An example of an expert experiment conducted by foreign specialists from the Department of Forgery and Counterfeit Research of the Forensic Medical Examination Office is presented. The collaborators studied the effectiveness of certain factors on the fading of vanishing ink solutions, such as the basic substance, concentration or pH of the dye. Conclusions are made that emphasize the need to develop a practical and non-destructive method for easy deciphering of handwritten notes made with such inks.

Key words: decolorizing inks, component composition, thermochromic inks, research methods, technical examination of documents.

Постановка проблеми. З початку повномасштабного вторгнення та збройної агресії РФ проти України значну кількість кримінальних проваджень, за якими призначають експертизи до науково-дослідних експертних установ, стали складати злочини за ст. 111-1 Кримінального кодексу України, тобто злочини, пов’язані із колабораційною діяльністю (особливо ця тенденція спостерігається у прифронтових містах). Колабораціоніст — це особа, яка усвідомлено співпрацює із окупаційною військовою чи цивільною владою на шкоду власній країні. Потрібно зауважити, що такі люди, йдучи на співпрацю з окупантами нашої держави, укладали трудові договори з Тимчасовою цивільною адміністрацією та підписували інші документи, які надходять як об’єкти досліджень на технічну експертизу документів та на судову почеркознавчу експертизу (наприклад, якщо ініціатору проведення експертизи потрібно визначити, чи тією особою, зразки якої надані на дослідження, виконані підписи у вилучених як речові докази паперах). Слід враховувати, що колабораціоністи, щоб уберегти себе від відповідальності та покарання за скоєні злочини, могли використовувати спеціальні пишучі прилади, а саме, ручки зі знебарвлюючимися чорнилами, які за певних умов дозволяють штрихам рукописних записів ставати «невидимими». Саме тому судовим експертам з технічної експертизи документів важливо вміти розпізнавати такі чорнила та знати різні методи для їх виявлення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Про види чорнил, що знебарвлюються, згадували в своїх працях такі науковці, як Calcerrada M, Garcia-Ruiz C. [2]. Результати експертного експерименту для вивчення вивчалася ефективності впливу деяких факторів на вицвітання розчинів чорнил, що зникають, охарактеризували вчені Nora M. Hilal, Rania H. Загальну характеристику деяким неруйнівним методам також надавали Chayal V. M., Handa D. R., Singh J., Menon S. K. [5]. Однак все ще недостатньо висвітленим залишається питання розробки практичного і неруйнівного методу

для легкого розшифрування рукописних записів, виконаних чорнилами, що знебарвлюються, який допоміг би ефективніше вирішувати поставлені перед судовим експертом завдання.

Постановка завдання. Головною метою даної статті є надання характеристики компонентному складу чорнил що знебарвлюються, та підбору відповідних методів для їх виявлення в залежності від хіміко-фізичних властивостей того чи іншого типу чорнил.

Викладення основного матеріалу. Чорнило, що знебарвлюється — це барвник, що складається з суміші хімічних речовин, які роблять чорнило видимим тільки на короткий час. Це незворотна реакція, заснована на принципі кислотно-лужної хімії. Таке чорнило представляє собою водорозчинний індикатор pH (кислотно-лужний), який при впливі повітря перетворюється з кольорового в безбарвну речовину. Хімічний процес, що стоїть за цією реакцією, полягає в тому, що вода, яка присутня в чорнилі, вступає в реакцію з CO_2 , присутнім у повітрі, з утворенням вугільної кислоти. Вугільна кислота в свою чергу реагує з гідроксидом натрію з утворенням карбонату натрію. В результаті цієї реакції відбувається нейтралізація основи, змінюється pH і знебарвлюється індикатор, отже, чорнило зникає. Найбільш поширеними індикаторами pH, що використовуються при виготовленні такого чорнила є тимолфталейн, фенолфталейн та крезолфталейн. У твердій формі перші два зустрічаються у вигляді білого порошку. Тимолфталейн в кінцевому результаті дає синій колір, тому його використовують для приготування синіх чорнил, а фенолфталейн дає рожевий колір, тому його використовують для приготування червоного чорнила. Суміш тимолфталейну та фенолфталейну використовується для отримання пурпурного розчину відповідно до їх значення pH. Кількість гідроксиду натрію і тимолфталейну/фенолфталейну в розчині визначає час знебарвлення чорнил, який коливається від декількох годин до декількох днів. У міру збільшення концентрації гідроксиду натрію в розчині стабільність чорнила

також збільшується, низька або знижена концентрація натрію гідроксиду і призводить до безбарвного тексту [1, с. 119].

Сьогодні доступні різні складі чорнила, що складаються з комбінацій органічних, не органічних та синтетичних матеріалів з різними характеристиками та властивостями (наприклад, чорнило на термохромній основі, стирається при нагріванні). Також властивості таких чорнил змінюються залежно від спектру освітлення. Наприклад, інфрачервоно-активні невидимі чорнила мають високе поглинання в ІЧ-області спектру, але прозорі у видимій області спектру. Існує два типи ІЧ-активного чорнила: чорнило, що поглинає ІЧ-випромінювання, і чорнило, яке його відштовхує. Інфрачервоно-активне «невидиме» чорнило демонструє сильне поглинання при 790 нм і високі характеристики пропускання у видимому спектрі. Інфрачервоне чорнило, що задовольняє цим вимогам, додатково змішуються з відповідними сполуками та пігментами. Прикладами пігментів, що найбільш часто використовуються, є BASF Lumogen IR 765, 729nm SiNc і Lumogen IR 788, а також сполучний компотент, такий як поліетилентерефталатна смола.

УФ-активне невидиме чорнило Ultra Violet — так зване «активне невидиме чорнило» — флуоресціює завдяки наявності барвників при впливі джерела УФ-випромінювання. При збудженні УФ світлом частина енергії поглинається матеріалом і випромінюється флуоресценція у видимому діапазоні. Оптичні відбілювачі, що містять пральні порошки, біологічні рідини та мило — ось деякі приклади УФ-активних фарб [2, с. 145].

Термохромне або термочутливе чорнило — це продукт на основі пігментів, які змінюють свої властивості під впливом температур. Існує кілька різновидів термохромних фарб (чорнило на термохромній основі, що використовуються в пишучих приладах, якраз є одним з підвидів). Термохромні рідкокристалічні фарби, які забарвлюються в різні кольори за різних температур, при досягненні продуктом +30 °C стають червоними, при +32 °C — жовтими, при +34 °C — зеленими, при +38 °C — синіми, при +39 °C — фіолетовими, а після перевищення +40 °C знову чорніють. Дводіапазонне чорнило працює таким чином, що при досягненні продуктом однієї температури (наприклад, +30 °C) воно постійно знебарвлюється до тих пір, поки не буде різко охолоджене, наприклад до -10 °C. Інтервальні термохромні фарби — це фарби, які зберігають свій колір у заданому діапазоні температур (наприклад, +30 °C – +50 °C), вони знебарвлюються, якщо температура опускається нижче або вище встановленого діапазону. Зміна кольору термохромних інтервальних фарб та чорнил оборотна, а це означає, що вони можуть багаторазово знебарвлюватися та проявлятися

знову при збереженні або перевищенні заданого температурного інтервалу. Зміна циклу знебарвлення барвника відбувається в кілька етапів [3]. Під час комбінації різних термохромних пігментів колір суміші може змінюватися кілька разів за різних температур, створюючи колірний ефект термометра. Термохромний пігмент витримує температури до +240 °C. Розмір пофарбованих частинок безпосередньо впливає на характеристики чорнила, їх консистенцію, стійкість та функцію термічного знебарвлення. Також так звані реверсивні термохромні фарби для трафаретного друку мають хорошу здатність до друку, чіткий малюнок, однорідний колір, міцну адгезію до паперової основи, що відповідає вимогам технології захисту від підробок. У цьому столітті корпорація Pilot Pen випустила новий продукт з формулою термочутливого гелевого чорнила під торговою маркою Frixion Ball Gel Pen. Термочутливе чорнило на гелевій основі Pilot Pen складається з пігментованих мікрочастинок, зважених у напівпрозорому полімерному носії. Тому, коли вони знаходяться в безбарвному стані на білому папері, здається, що чорнило теж стало безбарвним; якби той же текст був виконаний на папері темнішого кольору, то виглядав би як слабовидимий, злегка білого кольору. Виявлення в безбарвному стані було досягнуто за допомогою помаранчевого або червоного бар'єрного фільтра на додаток до дослідження в ультрафіолетовому світлі (УФ) [4, с. 12]. Рукописні записи, виконані цією ручкою, можна легко стерти, провівши кінцем ручки з гумкою за позначкою, щоб виділити тепло. В одному з проведених експериментів рукописний текст було відновлено після 20 окремих стирань з використанням тертя гумки, що входить в комплект ручки, і рідкого азоту як каталізатору, що відновлює. Нагрів до +60 °C або вище потрібен для хімічної зміни чорнила і знебарвлення їх неозброєним оком. Якщо безбарвна фарба піддається впливу температури -10 °C або нижче, її колір відновлюється [5, с. 135; 6, с. 120–121].

У термохромних/термічно стираємих чорнилах використовується система розчинників-проявників барвників під назвою «Leuco». На кінці ручки встановлена невелика гумка, яка допомагає стерти написане механічним шляхом. Такий спосіб видалення записів призводить до виділення тепла за рахунок тертя та знебарвлення чорнильної лінії, але не стирає її повністю. Мікрокапсули, що утворюють пігмент, складаються в основному з трьох речовин: по-перше, лейкофарбника, який може «перемикатися» між кольоровою та безбарвною формами, по-друге, кольорового проявника, який хімічно зв'язується з лейкобарвником для отримання кольору, і по-третє, це регулятор температури, що змінює колір залежно від тепла чи холоду.

Система «лейкобарвник-проявник-розчинник» є термохромним пігментом, присутнім у полімерній

оболонці. За рахунок розчинника взаємодія кольороутворювача (лейкобарвника) та проявника призводить до утворення трьох компонентів, завдяки яким відбувається зміна кольору. Утворювачем кольору може бути молекула спіролактону. Зазвичай як проявники використовують феноли. Система розчинників, що використовується в термофарбах, є проявною системою лейкобарвника. Лейкобарвник — це той пігмент, який фактично визначає колір, але при цьому він може давати колір лише тоді, коли він хімічно пов'язаний із проявником кольору. «Зв'язування» лейкофарбника та проявника кольору запобігається інгібітором (регулятор температури зміни кольору), який і змушує колір чорнила зникати [7, с. 610].

Стосовно методів дослідження такого виду чорнил, слід відмітити, що чорнила, які знебарвлюються, є кислотно-основними індикаторами, що змінюють колір під впливом атмосферного CO_2 у присутності повітря. Як було зазначено вище, для приготування чорнила такого типу використовуються найбільш поширені індикатори, такі як тимолфталейновий синій та фенолфталейн. Чорнило темно-синього кольору можна отримати, розчинивши тимолфталейн в етанолі та воді. рН розчину можна відрегулювати за допомогою розчину натрію гідроксиду для отримання темно-синього кольору (діапазон рН від 9,3 до 10,5). Вуглекислий газ, присутній у повітрі, реагує з гідроксидом натрію з утворенням карбонату натрію, який менш лужний, ніж гідроксид натрію. Карбонат натрію, що утворюється, змінює синій колір на безбарвний, спирт випаровується і залишає на документах безбарвні залишки чорнила. В результаті зазначеної нейтралізації змінюється рН, індикатор стає безбарвним, а чорнило зникає. При дії пари йоду йод адсорбується на поверхні карбонату натрію і з'являється напис. Після вилучення документа зі спеціальної камери йод сублімується, а потім повільно зникає коричневе забарвлення. Розпилення водного розчину гідроксиду натрію та аміаку є ефективним методом розшифрування «зниклого» чорнила. Однак це може зашкодити важливому документу. Вицвітання кольору залежить від часу дії парів йоду. Було виявлено, що розчини гідроксиду натрію при розпиленні на папір можуть також пошкодити папір документа. Також встановлено, що фенолфталейн втрачає забарвлення швидше, ніж тимолфталейн.

Ще одним руйнуючим методом, який може призвести до незворотних наслідків для документа є метод обробки рідким азотом. На використання такого методу експерту потрібен дозвіл ініціатора проведення експертизи або експертного дослідження.

Ватний тампон занурюється в рідкий азот, потім розміщується на потрібній ділянці зі знебарвленими рукописними записами на секунду або дві. Якщо колір проявляється, можна припустити, що

ви маєте справу з термочутливим чорнилом. Документ може обприскувати нінгідрином, якщо експерт хоче обробити та виявити приховані відбитки та/або сліди пальців рук. Прояв нінгідрину може зайняти до 72 годин, залежно від факторів навколишнього середовища. Потім виявлені нінгідринові сліди фіксуються за допомогою цифрової апаратури і далі дають документу висохнути. Вже сухий документ занурюють в рідкий азот приблизно на три секунди. Чорнило проявляється протягом десяти секунд після видалення з рідкого азоту. Таким чином, шлях охолодження чорнила змінюється, коли високотемпературна або безбарвна форма чорнила швидко охолоджується до низької температури, це кінетично утримує чорнило в безбарвному стані. Коли це чорнило знову нагрівається від цих низьких температур, воно перетворюється з безбарвного на кольорове. При прийнятному результаті слід застосувати кінцеву цифрову обробку зображень для поліпшення зовнішнього вигляду відтворених записів. Якщо описаний метод не спрацював, то експерту можна вдаватися до кріообробки документа шляхом його «заморожування». Це продиктовано тим, що деякі симпатичні барвники, як було встановлено в ході експерименту, є термохромними та оборотними: при нагріванні вони зникають, а при охолодженні за дуже низької температури (наприклад, у морозильній камері) відновлюють свій первісний вигляд, у тому числі і колірні характеристики [8, с. 11].

Також щодо застосування різних методів для виявлення даного виду чорнила було проведено наступний експеримент фахівцями з Департаменту досліджень підробок та контрафакції Управління судово-медичної експертизи (Міністерство юстиції, Каїр, Єгипет) [9, с. 653–660]. Співробітниками вивчалася ефективність впливу деяких факторів на вицвітання розчинів чорнил, що зникають, таких як основна речовина, концентрація або рН барвник. Різні концентрації тимолфталейну та крезолфталейну розчиняли у 60 мл абсолютного етилового спирту до повної розчинності. Потім до розчину додавали 6 мл гліцерину, перемішували, а потім доливали 100 мл дистильованої води. Безбарвне чорнило виявлялось додаванням заздалегідь приготовленого розчину до розрахункової кількості лугів різної концентрації (гідроксиду калію та карбонату натрію). Далі чорнило використовували для письма шляхом наповнення сухого фломастера. Текст був синього кольору у разі використання тимолфталейну, фіолетового — у разі використання крезолфталейну. Також вивчався час вицвітання. Поглинання чорнила вимірювалося в ультрафіолетово-видимій ділянці між 190 і 900 нм за допомогою спектрофотометра. Ділянка з рукописними записами також досліджувалась за допомогою скануючого електронного мікроскопа. Перед дослідженням зразки були вкриті

напиленням золота, щоб зробити їх придатними для проводимості електронів. В ході зазначеного експерименту також було відмічено, що рівень pH відіграє важливу роль при приготуванні зникаючого чорнила. Одне з таких чорнил можна отримати розчиненням твердих індикаторних барвників в етанолі та воді. Після додавання основного розчину стає очевидним колір індикаторного барвника. Причиною більшого забарвлення чорнила в присутності основного розчину була наявність у барвниках чорнила фенольних груп, які вступали в реакцію з лугом. Самі ж молекули чорнила безбарвні в нейтральних умовах. Коли основний розчин нейтралізується, кислотність спирту перетворює кольорові чорнила на безбарвні. Коли розчин чорнила піддається впливу вуглекислого газу повітря, рівень pH падає, що призводить до зникнення кольору. При цьому молекули чорнила в своїй базовій формі (кольорові), а їх колір — блідний (проміжний між безбарвним та кольоровим). Як підсумок — низька концентрація лугу призводила до знебарвлення тексту. Сам документ було досліджено з використанням різних джерел світла та світлофільтрів, при цьому рукописні записи не проявлялися. Не були виявлені вони і при термічному впливі на поверхні документів у термопечі, при температурі 100 °C, а потім при температурі 150 °C протягом 30 хвилин. Але при цьому «невидимі» записи стало видно при розпиленні лужного розчину.

Існують і не руйнівні, але не завжди ефективні методи дослідження. Дослідження за допомогою оптичної мікроскопії виявляє зернисту структуру чорнила, яка може бути результатом мікрокапсулювання чорнила. Розмір більшості гранул становить 1–2 мкм, а розмір деяких досягає 8 мкм. Оптичне дослідження рукописних записів проводять за допомогою ручних луп і стереомікроскопів (зі збільшенням 20–60X) у прямому та косопадаючому світлі. Весь документ ретельно вивчається за допомогою різних інструментів, щоб виявити сліди стирання (наприклад, розволокнення поверхневого шару паперу, його стоншення), різні залишки штрихів, залишки гумки, якою видаляли текст і т.д.

Дослідження за допомогою приладів марки Video Spectral Comparator (VSC), що використовуються для технічної експертизи документів, є одним із найбільш універсальних інструментів, яке можна використовувати з використанням різних інструментальних параметрів та залишити документ після дослідження в його початковому стані, не завдавши ушкоджень. VSC складається з пристрою обробки зображень, який допомагає досліднику аналізувати різні чорнила, досліджувати зміни та вивчати приховані елементи захисту. VSC дозволяє експерту виявляти підробку в документах за рахунок спеціальної вбудованої функції точкового підсвічування інфрачервоної, видимої або УФ частин спектру, завдяки якій «зниклі» чорнила можуть флуоресцювати або проявлятися іншим чином. Колір барвників, як твердої форми, так і у розчині, визначається місцем їх переважного поглинання світла у видимому спектрі. Їхній колір доповнює колір світла, який вони поглинають. Наприклад, розчин чорнила, приготований з крезолфталеїну (O-Cph), здається фіолетовим через переважне поглинання зелено-жовтого світла [10, с. 160]. Розчин чорнила, приготований з тимолфталеїну/фенолфталеїну, має темно-синій колір, оскільки його іони сильно поглинають жовто-жовтогарячі фотони світла.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Пишучі прилади з чорнилом, яке знебарвлюється, наразі є у відкритому доступі та розповсюджені як в зарубіжних державах, так і в нашій країні. Специфіка даного виду чорнил полягає в тому, що як тільки вони стають «невидимими», тобто їх колір зникає, стає складно виявити їх неозброєним оком. В експертній практиці використовуються різні методи дослідження для розшифрування знебарвлюючихся чорнил, такі як мікроскопічні, фізико-хімічні, хімічні тощо. Однак важливим завданням є розроблення практичного і неруйнівного методу для легкого розшифрування рукописних записів, виконаних такими чорнилами. Це допоможе більш швидко і якісно визначати первинний зміст документа та підвищить ефективність проведення технічної експертизи документів в цілому.

Література

1. Kula A., Wietecha-Posuszny R., Pasionek K., Krol M., Wozniakiewicz M., Koscielniak P. Application of laser induced breakdown spectroscopy to examination of writing inks for forensic purposes. *Science & Justice*. 2014. 54(2). P. 118–125.
2. Calcerrada M, Garcia-Ruiz C. Analysis of questioned documents: a review. *Analytica Chimica Acta*. 2015. Vol. 853. P. 143–166.
3. Odmiany farb termochromowych i ich zastosowanie. *SPLinx*. URL: <https://splinx.pl/odmiany-farb-termochromowych-i-ich-zastosowanie-2/> (дата звернення: 20.04.2024).
4. Abd-ElZaher MA-E. Different types of inks having certain medicolegal importance: deciphering the faded and physically erased handwriting. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*. 2014. 4(2). P 39–44.

5. Sang, J.L., Mohammed, L.A., McClary, C.R. The future of forensic document examination, 1st ed.; John Wiley & Sons Ltd, 2019. P. 121–157.
6. Дікевич К.Г., Гапченко К.О. Аналіз компонентного складу чорнил на термохромній основі під час експертного дослідження документів. Актуальні питання досудового розслідування: збірник матеріалів круглого столу (в авторській редакції) (м. Кривий Ріг, 28 квітня 2023 р.). Кривий Ріг : КННІ ДонДУВС, 2023. 152 с.
7. Chayal V., Handa D., Singh J., Menon S. A sensitive non-destructive method for detection of documents frauds using thermal ink. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2016. 48(5). P. 601–612.
8. Magdy A.W., Farg R.S., Hassan A.S., Amal M.A., Hussein A. Investigate the Adsorption Mechanism of Heavy Metals as Chromium Ions (Cr+3) from Different Solutions Using Modified Chitosan. *Egyptian Journal of Chemistry*. The 8th. Int. Conf. Text. Res. Div., Nat. Res. Centre. Cairo, 2017. P. 1–14.
9. Hilal N.M., Twfiq R.H. Study of Disappearing Ink Writings on Different Types of Documents. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 63, No. 2. P. 653–668.
10. Deshpande H., Mulani Kh. Decipherment of Disappeared Ink: A Case Study. *Brazilian Journal of Forensic Science Medical Law and Bioethics*. 2018. 7(3). P. 156–161.

References

1. Kula A., Wietecha-Posuszny R., Pasione K., Krol M., Wozniakiewicz M., Koscielniak P. Application of laser induced breakdown spectroscopy to examination of writing inks for forensic purposes. *Sci Justice*. 2014. 54(2). P. 118–125.
2. Calcerrada M, Garcia-Ruiz C. Analysis of questioned documents: a review. *Chim Acta*. 2015. 853. P. 143–166.
3. Odmiany farb termochromowych i ich zastosowanie. *SPLinx*. URL: <https://splinx.pl/odmiany-farb-termochromowych-i-ich-zastosowanie-2/>.
4. Abd-ElZaher MA-E. Different types of inks having certain medicolegal importance: deciphering the faded and physically erased handwriting. *Egypt J Forensic Sci*. 2014. 4(2). P 39–44.
5. Sang J.L., Mohammed L.A., McClary C.R. The future of forensic document examination, 1st ed.; John Wiley & Sons Ltd, 2019. P. 121–157.
6. Дікевич К.Г., Гапченко К.О. Аналіз компонентного складу чорнил на термохромній основі під час експертного дослідження документів. *Актуальні питання досудового розслідування: збірник матеріалів круглого столу (в авторській редакції)*. Кривий Ріг: КННІ ДонДУВС, 2023. 152 с.
7. Chayal V., Handa D., Singh J., Menon S. A sensitive non-destructive method for detection of documents frauds using thermal ink. *Australian J Foren. Sci*. 2016. 48(5). P. 601–612.
8. Magdy A.W., Farg R.S., Hassan A.S., Amal M.A., Hussein A. Investigate the Adsorption Mechanism of Heavy Metals as Chromium Ions (Cr+3) from Different Solutions Using Modified Chitosan. *Egypt. J. Chem*. The 8th. Int. Conf. Text. Res. Div., Nat. Res. Centre. Cairo, 2017. P. 1–14.
9. Hilal N.M., Twfiq R.H. Study of Disappearing Ink Writings on Different Types of Documents. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2020. Vol. 63, No. 2. P. 653–668.
10. Deshpande H., Mulani Kh. Decipherment of Disappeared Ink: A Case Study. *Brazilian Journal of Forensic Science Medical Law and Bioethics*. 2018. 7(3). P. 156–161.