

УДК 343.982.4

**И. В. Прокопович**

заведующий НИЛ материалов, веществ и изделий  
научного отдела специальных исследований  
E-mail: [irina17.58@mail.ru](mailto:irina17.58@mail.ru)

**А. И. Гринь**

стажер младшего научного сотрудника НИЛ материалов,  
веществ и изделий научного отдела специальных исследований  
E-mail: [annagryn@tut.by](mailto:annagryn@tut.by)

**В. А. Будевич**

стажер младшего научного сотрудника НИЛ материалов,  
веществ и изделий научного отдела специальных исследований  
E-mail: [vl.budevich@gmail.com](mailto:vl.budevich@gmail.com)

НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь

## **ОБЗОР ОСНОВНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ТОНЕРОВ ЭЛЕКТРОГРАФИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ В КРИМИНАЛИСТИКЕ**

*В статье представлен обзор основных физико-химических методов анализа, применяемых для дифференциации тонеров электрографической печати в судебно-технической экспертизе документов.*

*Ключевые слова: фотокопировальные тонеры, физико-химические методы исследования, криминалистика.*

В настоящее время лазерные принтеры, в основе работы которых лежит электрографический способ формирования изображений, являются наиболее распространенными при изготовлении различного вида документов. Отпечаток, полученный с помощью лазерного принтера, характеризуется высокой устойчивостью к износу и внешнему воздействию (не размывается и не смывается водой) по сравнению с отпечатком, полученным на струйном принтере, где используются чернила, которые не обладают устойчивостью к воздействию воды. Общедоступность лазерных принтеров, их высокая разрешающая способность и простота применения обусловили их использование в том числе и в преступных целях для изготовления различного рода документов [1].

Экспертное исследование документов, созданных электрографическим путем, в настоящее время направлено на выявление признаков их различия на основании изучения макроморфологических свойств: специфики формирования знаков, характера распределения тонера как в целом по листу, так и в отдельно взятых штрихах и на свободных от текста участках листа. При этом также принимаются во внимание отображения, вызванные дефектами прижимного нагретого ролика и транспортировочных роликов.

Основным недостатком данного подхода является невозможность в отдельных случаях дифференцировать документы электрофотографической печати на основании только их макроморфологических свойств. В связи с чем, целесообразно использовать физико-химические методы анализа, позволяющие исследовать признаки тонеров штрихов текстов.

### Химический состав тонеров, применяемых в электрографической печати

Тонер, применяемый для создания электрографических изображений, представляет собой мелкодисперсный порошок сложного состава, главными компонентами которого являются органические смолы – синтетические полимеры и сополимеры. Полимерное связующее вещество является основным компонентом в рецептуре тонера и может составлять от 40 до 95% от его общей массы. Наиболее часто в качестве полимерных связующих веществ используются полистиролы, стирол-акриловые и стирол-метакриловые сополимеры, сложные полиэфиры, эпоксиды, полиакрилаты и полиуретаны. Они могут быть использованы либо по отдельности, либо в виде смесей, выполняя функцию матрицы для различных компонентов тонера. Поскольку используемые при производстве тонеров полимерные составляющие, как правило, бесцветны, для придания тонеру соответствующей окраски используют красители и пигменты как органической, так и неорганической природы [2; 3].

Так, магнетит используется в монохромных магнитных тонерах, обеспечивая тем самым не только их магнитные свойства, но и черное окрашивание. В немагнитных же тонерах для придания тонеру характерного цвета используется сажа.

При производстве цветных тонеров в полимеры включаются красители соответствующего цвета. При создании желтых тонеров, в подавляющем большинстве используются соединения изоиндолинона или антрахинона. Медные фталоцианины, как правило, используются для производства синих тонеров, в то время как наличие азокрасителей отмечено в составах пурпурных тонеров. Красители равномерно распределяются по поверхности каждой частицы тонера, и их масса составляет не более 10% от массы гранулы в цветных тонерах.

Содержание красителей и пигментов в черных немагнитных тонерах находится в пределах 1–30%, при этом содержание красящего вещества в магнитных тонерах может достигать 60% [4; 5].

Также в состав тонера могут быть включены зарядрегулирующие добавки, поверхностно-активные вещества, полирующие агенты, улучшители текучести, модификаторы и др. При этом модификаторы обеспечивают необходимую температуру размягчения тонера, придают изображению глянец. В качестве модификаторов могут быть использованы полипропилен, полиэтилен, воск или другие добавки [5].

Обобщенные данные химического состава тонеров электрографической печати приведены в таблице 1, которая отображает типичные компоненты тонеров и их процентное содержание по массе.

Таблица 1 – Химический состав тонеров электрографической печати

Компонент	Монохромный		Цветной
	Двухкомпонентный или монокомпонентный немагнитный тонер	Монокомпонентный магнитный тонер	Двухкомпонентный или монокомпонентный немагнитный тонер
Связующие полимеры	70–90%	40–65%	85–95%
Магнетит	0–15%	30–50%	0%
Краситель/пигмент	0–6%	0–6%	1–8%
Модификаторы	0–4%	0–6%	0–2%
Зарядрегулирующие добавки	0–4%	0–4%	0–2%
Поверхностно-активные вещества	0,1–3,0%	0,1–3,0%	0,1–4,0%

### Тонкослойная хроматография

Традиционная тонкослойная хроматография (ТСХ) является наиболее распространенным хроматографическим методом анализа, в котором разделение исследуемых компонентов проводится в тонком слое сорбента. Метод характеризуется простотой, экспрессностью и эффективностью, а также низкой стоимостью и не требует применения сложного обо-

рудования. Разделение нескольких проб происходит в абсолютно идентичных условиях, вследствие чего метод имеет хорошую воспроизводимость. К особенностям данного метода стоит отнести то, что процесс разделения исследуемых компонентов происходит в открытой системе и воспроизводимость результатов находится в строгой зависимости от условий проведения эксперимента [6].

В настоящее время имеется ряд статей, свидетельствующих о применении метода ТСХ для дифференциации и идентификации как цветных [7], так и черных тонеров [8–10]. Основное внимание уделяется тонкослойной хроматографии красителей, входящих в состав тонеров, поскольку применение ТСХ исключает необходимость использования сложных процедур детектирования. Немаловажным также является и тот факт, что метод ТСХ традиционно используется в судебной-технической экспертизе документов при анализе красителей чернил [11], что позволяет применять уже имеющиеся методики для исследования красителей, входящих в состав тонеров.

Пробоотбор тонеров для проведения ТСХ может осуществляться двумя основными способами: проведение экстракции непосредственно из самого документа или путем термического переноса тонера на инертную подложку. В качестве экстрагентов, как правило, используют хлороформ [9] и диметилформамид [10]. В качестве подложки при термическом переносе в большинстве случаев используют алюминиевую фольгу [7; 8; 12; 13], а также в ряде случаев отмечено использование стеклянных пластин [14] или тонких срезов слюды [9], после чего тонер смывают с используемой подложки при помощи хлороформа. При этом стоит отметить, что метод термического переноса является более предпочтительным, поскольку повреждение исследуемого документа ограничено и незаметно невооруженным глазом.

Как правило, элюентные системы, используемые для ТСХ тонеров, имеют многокомпонентный состав. Так, авторы обзорной статьи [15] считают наиболее эффективными для анализа красителей системы I и II (таблица 2). В работах *K. Saini с соавт.* в качестве систем для ТСХ красителей использовались системы I, III [8] и I и IV [16] (таблица 2), а *V. Thakur с соавт.* применяли систему V [17] (таблица 2).

Однако, зачастую разные производители используют одни и те же красители для производства тонеров, поэтому для улучшения дифференциации тонеров электрографической печати некоторыми авторами предложено проведение ТСХ полимерных составляющих: в системе VI [17] и в системе VII, в последней из которых отмечено разделение как красителей, так и полимерных смол [9] (таблица 2).

Таблица 2 – Элюентные системы для дифференциации красителей, входящих в состав тонеров электрографической печати

№	Компоненты системы	Соотношение компонентов
I	этилацетат : этанол : дистиллированная вода	70 : 35 : 30
II	этилацетат : этанол : хлорбензол	2 : 2 : 10
III	циклогексан : хлорбензол : этанол	10 : 2 : 1
IV	хлороформ : метанол : н-гексан : уксусная кислота	85 : 25 : 5 : 1
V	н-бутанол : этанол : дистиллированная вода	90 : 15 : 10
VI	тетрахлорметан : этилацетат	60 : 30
VII	1,2-дихлорэтан : ацетон	12 : 2,4

Но стоит отметить, что прежде всего ТСХ является физико-химическим методом разделения веществ, который не представляет конкретной информации о химическом составе разделяемых компонентов смеси [8; 17]. Следовательно, для увеличения степени дифференциации тонеров наиболее целесообразно использовать ТСХ в комбинации с другими методами исследования [6].

Кроме того, как отмечается в исследовании [15], для более успешной дифференциации желательным наличием базы данных результатов ТСХ различных тонеров.

### Инфракрасная спектроскопия

На основании анализа литературных данных можно утверждать, что именно инфракрасная (ИК) спектроскопия является наиболее часто используемым методом судебно-технической экспертизы документов, созданных электрографическим способом [7; 10; 12; 13; 18–21].

Так, одной из первых работ по данной тематике является исследование *S. Kemp* [18], где дифференциация тонеров электрографической печати проводилась путем сравнения полученных ИК-спектров тонеров, группируя их на основании наличия или отсутствия общих полос поглощения.

Но как утверждается в работе [19], разделение тонеров на десять групп предыдущими авторами на основании наличия или отсутствия конкретных полос поглощения является эмпирическим, что не дает информации о химическом составе тонера.

Так, *R. L. Williams* [19], продолжая исследование [18], дал более полную характеристику разных типов образцов тонеров, сделав попытку установить особенности химического состава каждой группы.

Отдельно стоит отметить работу [20], в которой опубликованы результаты анализа 807 образцов черных тонеров 72 производителей, отобранных с поверхности документов путем термического переноса образца на алюминиевую фольгу, исследованных методом ИК-спектроскопии внешнего отражения, с разрешением  $4 \text{ см}^{-1}$  и с возможностью поиска в созданной спектральной библиотеке тонеров.

На основе сравнения спектральных характеристик, относительно наличия или отсутствия определенных пиков, все образцы тонеров были разделены на 98 групп. Незначительные изменения в высоте пиков, представляющие собой разницу в концентрации компонентов, для дифференциации образцов не использовались.

По принадлежности тонера, о котором идет речь, к определенной группе можно установить какие устройства используют аналогичные тонеры. Идентификация группы тонера также может предоставить информацию о распространенности этого типа тонера на основании данных спектральной библиотеки и цифр продаж тонеров или фотокопировальных устройств.

Немаловажен также тот факт, что размеры групп значительно различаются: многие группы содержат только один образец, в то время как одна из групп включает 144 образца. Также отмечается, что в больших группах могут наблюдаться небольшие вариации в соответствующих формах пиков и интенсивностях.

В следующей работе этой серии статей [21], посвященных судебно-технической экспертизе тонеров, дискриминация тонеров электрографической печати, достигнутая в работе [20] путем визуального сравнения и компьютерного спектрального поиска, сопоставляется с результатом многомерного статистического анализа 430 спектров тонеров.

Постольку ИК-спектроскопия не всегда позволяет провести дифференциацию тонеров электрофотографической печати на основании только их ИК-спектров, в ряде работ отмечена необходимость использования других методов исследования в сочетании с ИК-спектроскопией: сканирующей электронной микроскопии с использованием энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализа (SEM/EDX), пиролитической газовой хроматографии (Py-GC) и рентгенофлуоресцентной спектроскопии (РФС).

### Спектроскопия комбинационного рассеяния

Стоит отметить, что научно-исследовательские работы по возможности применения метода комбинационной спектроскопии рассеивания (КР) в судебной экспертизе не столь многочисленны. Метод КР спектроскопии в последнее время нашел свое применение в судебно-технической экспертизе документов при установлении последовательности нанесения пересекающихся штрихов [22].

Основываясь на результатах такого рода исследований, некоторые авторы сделали попытку применить метод комбинационного рассеяния к исследованию химического состава тонеров с целью проведения судебно-технической экспертизы документов.

Неразрушающая природа метода комбинационного рассеяния и то, что данный метод не требует предварительной подготовки образца, что является несомненным преимуществом по сравнению с другими аналитическими методами, позволяет проводить анализ тонеров непосредственно на поверхности исследуемых документов [23]. К особенностям метода стоит отнести то, что анализу подвергается исключительно только самый верхний слой анализируемого штриха.

Как показывают результаты исследований, метод КР спектроскопии весьма чувствителен, в частности, к наличию ароматических структур и двойных связей, и позволяет обнаруживать даже незначительные количества тонера на поверхности исследуемых документов. При этом стоит отметить, что чувствительность к некоторым химическим структурам, например к хромофорам молекул красящего вещества, может быть селективно повышена с использованием соответствующей длины волны лазерного излучения [23]. Существенным недостатком метода КР спектроскопии является непригодность его применения для анализа черных тонеров, поскольку данные образцы сгорают во время получения спектра вне зависимости от мощности лазера, вследствие чего наиболее целесообразно применять данный метод при исследовании цветных тонеров электрографической печати.

Дифференциация цветных тонеров в большинстве случаев проводится путем сравнения полученных спектров комбинационного рассеивания. В этом случае тонеры группируют на основании наличия или отсутствия общих КР полос, не уделяя особого внимания интерпретации полученных спектров [24].

Особый интерес может представлять статья [25], авторы которой не ограничились исследованием общей различимости тонеров электрографической печати, а также предприняли попытку интерпретировать полученные результаты, с целью установления химического состава веществ, входящих в состав тонеров. Широкое изучение полученного экспериментального материала показало, что полосы в спектрах комбинационного рассеяния в основном соответствуют красителям, присутствующим в составе тонеров [25].

Очевидно, микроспектроскопия комбинационного рассеяния света может быть весьма успешно применена в качестве метода исследования красителей цветных тонеров при установлении подлинности как документов, созданных электрографическим путем, так и банкнот, а также для доказательства или опровержения общего происхождения визуально трудноразличимых образцов [24].

Стоит отметить, что КР и ИК спектроскопические методы могут дополнять друг друга [25], предоставляя информацию о химическом составе красителей и полимерных составляющих соответственно.

### **Спектроскопия в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях**

Спектроскопия в ультрафиолетовой (УФ), видимой и ближней инфракрасной (ИК) областях (UV-Vis-NIR спектроскопия) позволяет установить вид электронных переходов, происходящих при поглощении электромагнитного излучения в УФ (180–390 нм), видимой (390–780 нм) и ближней ИК (780–2500 нм) областях [26]. Энергии, ассоциированные с данными регионами, способны привести к переходу электронов, находящихся на внешних оболочках в молекуле, с одного уровня энергии на другой, более высокий. Часть молекулы, в которой вследствие поглощения энергии происходит электронный переход, называется хромофор. Типы переходов, которые приводят к поглощениям в УФ, видимой и ближней ИК областях, включают переход электрона, находящегося на высшей занятой молекулярной орбитали (обычно несвязывающая  $p$  или связывающая  $\pi$ -орбиталь), на следующую низшую незанятую молекулярную орбиталь ( $\pi^*$  и  $\sigma^*$  разрыхляющие орбитали).

Для анализа образцов тонеров схожих цветов используются спектры в ближней ИК, видимой и УФ областях [27]. Спектральные данные, полученные с помощью современных спектрофотометров, содержат намного больше информации, что делает интерпретацию полученных результатов еще более сложной, ввиду чего простое визуальное сравнение прак-

тически невозможно. Поэтому использование спектроскопии в УФ, видимой и ближней ИК областях неотъемлемо сопряжено с одним из наиболее распространенных многомерных статистических методов анализа – методом главных компонент, который позволяет провести дифференциацию.

### **Сканирующая электронная микроскопия**

Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) является методом исследования, в котором используется пучок электронов с целью получения увеличенных изображений образца [28]. СЭМ обладает хорошей разрешающей силой и глубиной резкости и поэтому позволяет визуализировать морфологические свойства объекта. Для создания изображения поверхности используется набор наблюдаемых процессов при зондировании поверхности образца пучком высокоэнергетических электронов. Эти процессы включают в себя выброс вторичных и обратно-рассеянных электронов, испускание характеристических рентгеновских лучей.

Сканирующая электронная микроскопия может быть применена для характеристики тонеров исследуемых документов [29]. Наблюдаемая морфология поверхности тонеров в месте плавления под действием электронного пучка дает информацию об используемом типе полимерной смолы, позволяя провести дифференциацию тонеров электрографической печати. Кроме того, СЭМ в комбинации с методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (SEM-EDX) дает информацию о качественном составе тонера [21; 30; 31]; могут быть идентифицированы компоненты тонера, обладающие магнитными свойствами, такие как феррит или магнетит, а также и минорные компоненты (Ca, Cl, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, S, Si, Sr и Zn), которые могут обеспечить проведение дальнейшей дискриминации. Также для более точного анализа необходимо проведение исследования компонентов бумаги, т. к. они могут содержать те же элементы, которые наблюдаются в тонерах.

### **Рентгенофлуоресцентная спектрометрия**

Одним из наиболее эффективных методов анализа, позволяющих за минимальный период времени получить наиболее полную и достоверную информацию об элементном составе сложных образцов независимо от их агрегатного состояния и происхождения, является рентгенофлуоресцентная спектрометрия (РФС). Этот метод позволяет одновременно определять более 80 элементов от бора до урана и может быть использован для контроля содержания, как элементов матрицы, так и микропримесей элементов в различных по составу материалах. Неоспоримым достоинством метода РФС, выгодно выделяющим его от большинства современных методов исследования, является возможность получения данных о составе сложного материала без его разрушения, с сохранением полного комплекса его физико-химических свойств, что особенно важно при работе с дорогостоящими и новыми экспериментальными образцами, а также с образцами, которые находятся в малом количестве и необходимы для дальнейших исследований. Также важным является возможность реализации в методе РФС безэталонного анализа, что исключает необходимость использования стандартных образцов [32].

Сочетание всех указанных выше достоинств метода РФС делает его незаменимым как в судебной экспертизе в целом, так и в технико-криминалистической экспертизе документов в частности.

Еще в 1992 г. [33] метод РФС был применен для элементного анализа порошкообразных тонеров и документов, созданных электрографическим путем при помощи соответствующих тонеров. В качестве основных элементов в исследуемых образцах были обнаружены четыре элемента: Fe, Cu, Cr и Ti; при этом отмечается, что каждый из этих тонеров можно было легко отличить от других путем сравнения соотношений этих элементов в данных образцах.

Однако наибольшего внимания заслуживает работа [34], в которой предложена аналитическая схема дифференциации тонеров. Схема предусматривает применение любых двух

методов, которые дают различную информацию об исследуемом образце тонера. Так, показано, что, если два образца имеют схожую полимерную композицию (например, на основании данных ИК-спектроскопии), дополнительный качественный элементный анализ методом РФС может установить различие в составе.

Таким образом, в статье рассмотрены основные физико-химические методы, используемые для анализа тонеров в криминалистике. К ним относятся: тонкослойная хроматография, инфракрасная спектроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния, спектроскопия в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях, сканирующая электронная микроскопия и рентгенофлуоресцентная спектрометрия. Они позволяют производить дифференциацию тонеров на основании химического состава красителей и полимерной основы, а также на основании содержания в образцах отдельных химических элементов.

Наиболее эффективно для этой цели использование комбинации трех методов исследования: тонкослойной хроматографии, инфракрасной спектроскопии и рентгенофлуоресцентного анализа. Для анализа цветных тонеров наиболее удачными можно назвать методы инфракрасной спектроскопии, спектроскопии комбинационного рассеяния, а также и рентгенофлуоресцентного анализа.

Результаты обзора основных физико-химических методов исследования тонеров электрографической печати, изложенные в этой статье, взяты за основу при исследовании документов, изготовленных на лазерных принтерах, с целью их дифференциации.

#### Список использованных источников

1. Маршалковская, С. В. Исследование красящего вещества штрихов текстов, выполненных на лазерных принтерах / С. В. Маршалковская, Т. И. Музыка, А. Ю. Погришак // Теорія та практика судової експеризи і криміналістики. – 2011. – Вип. 11. – С. 283–289.
2. Toner compositions : pat. US6680153, USA / S. M. Silence, E. J. Gutman, T. R. Hoffend; publ. date : 20.01.2004.
3. Reactive melt mixing processes : pat. US6114076, USA / B. P. Livengood, B. W. Baird, G. P. Marshall; publ. date : 05.09.2000.
4. Fink, J. K. Reactive polymers fundamentals and applications / J. K. Fink. – 2 ed. – Oxford : Elsevier, 2013. – 576 p.
5. Causin, V. Polymers in crime science. Forensic analysis of polymeric trace evidence / V. Causin. – Cham; Heidelberg; New York; Dordrecht; London : Springer, 2015. – 356 p.
6. Бёккер, Ю. Хроматография. Инструментальная аналитика: методы хроматографии и капиллярного электрофореза : пер. с нем. / Ю. Бёккер; под ред. А. А. Курганова. – М. : Техносфера, 2009. – 472 с.
7. Komal, S. Differentiation of color photocopy toners using TLC, UV, and FTIR techniques / S. Komal, S. S. Jagjeet // J. For. Ident. – 2011. – Vol. 61, № 6. – P. 561–580.
8. Saini, K. Thin-layer chromatography of refilled photocopy toners / K. Saini, S. S. Jagjeet // J. Forensic Identification. – 2008. – Vol. 58, № 3. – P. 315–326.
9. Tandon, G. Thin-layer chromatography analysis of photocopy toners / G. Tandon, O. P. Jasuja, V. N. Sehgal // For. Sci. Int. – 1995. – Vol. 73, № 2. – P. 149–154.
10. Aginsky, V. Examination of paper and toner in page insertion/substitution cases using TLC, GC-MS and FT-IR microspectroscopy / V. Aginsky // J. Am. Soc. Questioned Doc. Examiners. – 2012. – Vol. 15, № 2. – P. 3–15.
11. Brunelle, R. L. A systematic approach to ink identification / R. L. Brunelle, M. J. Pro // J. Assoc. Off. Anal. Chem. – 1972. – Vol. 55, № 4. – P. 823–826.
12. Merrill, R. A. Studies of techniques for analysis of photocopy toners by IR / R. A. Merrill, E. G. Bartick, W. D. Mazzella // J. Forensic Sci. – 1996. – Vol. 41. – P. 264–271.
13. Udristioiu, E. G. Infrared spectrometry in discriminat analysis of laser printers and toners / E. G. Udristioiu, A. A. Bunaciu, H. Y. Aboul-Enein // J. Instrumentation Sci. Technology. – 2009. – Vol. 37, № 2. – P. 230–240.

14. Munson, T. The classification of photocopies by pyrolysis gas chromatography-mass spectrometry / T. Munson // *J. Forensic Sci.* – 1989. – Vol. 34, № 2. – P. 352–365.
15. Pagano, L. W. Inks: forensic analysis by thin-layer (planar) chromatography / L. W. Pagano, M. J. Surrency, A. A. Cantu // *Encyclopedia of Separation Science* / ed. J. D. Wilson. – New York : Academic Press, 2000. – P. 3101–3109.
16. Saini, K. Forensic analysis of toners by thin layer chromatography and high performance thin layer chromatography / K. Saini, R. Rajshree, S. Amandeep // *Res. J. Forensic Sci.* – 2016. – Vol. 4, № 3. – P. 6–20.
17. Thakur, V. Thin-layer chromatography of photocopy toners / V. Thakur, O. P. Jasuja, A. K. Singla // *J. For. Ident.* – 2004. – Vol. 54, № 1. – P. 53–63.
18. Kemp, S. The differentiation of toners used in photocopy processes by infrared spectroscopy / S. Kemp, R. N. Totty // *Forensic Sci. Int.* – 1983. – Vol. 22, № 1. – P. 75–83.
19. Williams, R. L. Analysis of photocopying toners by infrared spectroscopy / R. L. Williams // *Forensic Sci. Int.* – 1983. – Vol. 22. – P. 85–95.
20. Merrill, R. A. Forensic discrimination of photocopy and printer toners I. The development of an infrared spectral library / R. A. Merrill, E. G. Bartick, J. H. Taylor // *Anal. Bioanal. Chem.* – 2003. – Vol. 376, № 8. – P. 1272–1278.
21. Forensic discrimination of photocopy and printer toners. III. Multivariate statistics applied to scanning electron microscopy and pyrolysis gas chromatography/mass spectrometry / W. J. Egan [et al.] // *Anal. Bioanal. Chem.* – 2003. – Vol. 376, № 8. – P. 1286–1297.
22. Brunelle, R. L. Forensic examination of ink and paper / R. W. Reed, R. L. Brunelle. – Springfield : Thomas Pub. Ltd., 1984. – 289 p.
23. Leaver, W. L. Introduction to forensic document examination / W. L. Leaver // *The forensic laboratory handbook : procedures and practice* / ed. A. Mozayani, C. Noziglia. – Totowa, NJ : Humana Press Inc., 2006. – P. 223–248.
24. Skenderovic Bozicevic, S. Identifying a common origin of toner printed counterfeit banknotes by micro-Raman spectroscopy / S. Skenderovic Bozicevic, A. Gajovic, I. Zjakic // *Forensic Sci. Int.* – 2012. – Vol. 223, № 1–3. – P. 314–320.
25. Forensic analysis of color toners by Raman spectroscopy / H. Y. Aboul-Enein [et al.] // *Instrum. Sci. Technol.* – 2009. – Vol. 37, № 1. – P. 23–29.
26. Worsfield, P. J. Spectrophotometry – overview / P. J. Worsfield // *Encyclopedia of Analytical Sciences* / ed. P. Worsfold, A. Townshend, C. Poole. – 2nd ed. – Amsterdam : Elsevier, 2005. – P. 318–321.
27. Spectral analysis of laser prints for forensic investigation / M. Belovičová [et al.] // *Czech Chem. Soc. Symp. Ser.* – 2015. – Vol. 13. – P. 45–162.
28. Henson, M.L. Scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectrometry (SEM/EDS) for the forensic examination of paints and coatings / M. L. Henson, T. A. Jergovich // *Forensic Examination of Glass and Paint* / ed. B. Caddy. – London : Taylor and Francis, 2001. – P. 243–272.
29. Neumann, C. N. Forensic sciences: questioned documents / C. N. Neumann, W. D. Mazzella // *Encyclopedia of Analytical Science* / ed. P. Worsfold, A. Townshend, C. Poole. – 2nd ed. – Amsterdam : Elsevier, 2005. – P. 465–471.
30. Gilmour, C. L. A comparison of laser printed and photocopied documents: can they be distinguished / C. L. Gilmour // *Can. Soc. Forensic Sci. J.* – 1994. – Vol. 4, № 27. – P. 245–259.
31. Brandi, J. Differentiation and classification of photocopier toners / J. Brandi, B. James, S. J. Gutowski // *Int. J. Forensic Doc. Exam.* – Vol. 4, № 3. – P. 324–343.
32. Черноруков, Н. Г. Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа : учеб.-метод. пособие / Н. Г. Черноруков, О. В. Нипрук. – Н. Новгород : Нижегород. ун-т, 2012. – 57 с.
33. Ninomiya, T. Application of total-reflection x-ray fluorescence spectrometry to elemental toner analysis / T. Ninomiya, S. Nomura, K. Taniguchi // *J. Jpn. Soc. Colour Mater.* – 1992. – Vol. 65, № 3. – P. 176–181.
34. Trzcińska, B. M. Classification of black powder toners on the basis of integrated analytical information provided by Fourier transform infrared spectrometry and X-ray fluorescence spectrometry / B. M. Trzcińska // *J. Forensic Sci.* – 2006. – Vol. 51, № 4. – P. 919–924.



***I. V. Prokopovich***

head of the RL of materials, substances and products  
of the scientific department of special investigations

***A. I. Gryn***

trainee of junior researcher of the RL of materials, substances and products  
of the scientific department of special investigations

***V. A. Budevich***

trainee of junior researcher of the RL of materials, substances and products  
of the scientific department of special investigations

SPC of the State forensic examination committee of the Republic of Belarus

**REVIEW OF THE BASIC PHYSIC-CHEMICAL RESEARCH METHODS  
USED FOR THE DIFFERENTIATION OF ELECTROPHOTOGRAPHIC TONERS  
IN FORENSIC EXAMINATION**

*In this article presents the overview of basic physic-chemical methods of analysis used for the differentiation of electrophotographic toners in forensic examination.*

*Keywords: photocopy toners, physic-chemical research methods, criminalistics.*