

Валидация методики измерения цвета окрашенных волокон на микроскопе-спектрофотометре МСФУ-К

Г.И. Бебешко¹, И.П. Любецкая¹, Л.П. Брунова¹, М.А. Ханукаева¹, Г.Г. Омелянюк^{1,2}

¹ Федеральное бюджетное учреждение Российский федеральный центр судебной экспертизы при Министерстве юстиции Российской Федерации, Москва 109028, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва 117198, Россия

Аннотация. Статья из серии разработок по валидации методик, применяемых при производстве криминалистической экспертизы волокнистых материалов.

Сущность качественной методики тестирования заключается в получении с помощью спектрофотометра МСФУ-К спектра поглощения и сопоставлении спектральных характеристик цвета сравниваемых волокон. На основании сопоставления спектров эксперт решает вопрос, совпадает/не совпадает цвет сравниваемых волокон, представленных на экспертизу.

Предложена схема эксперимента валидации, задачами которого являлись оценка неопределенности измерения оптической плотности и уровня компетентности экспертов.

В рассматриваемом случае неопределенность совпадает со среднеквадратичным отклонением (СКО) воспроизводимости. Для оценки неопределенности два оператора снимали независимо в течение трех дней спектры поглощения образцов окрашенных волокон и измеряли оптическую плотность в точках максимума и минимума. Повторяемость оценивали, снимая в каждый из трех дней по пять спектров подряд.

Для исследования были выбраны три образца окрашенных полиакрилонитрильных волокон (нитрон). Основные характеристические точки спектров поглощения образцов охватывают широкую область длин волн видимого спектра. Измерения выполняли на микроспектрофотометре МСФУ-К, который представляет собой микроскоп со спектрофотометрической насадкой.

В результате статистической обработки измерений оптической плотности установлено, что неопределенность варьирует от 7,1 до 22,1 %. Значения неопределенности <30 % указывают на количественный характер измерений, несущественный разброс значений оптической плотности, что соответствует высокой воспроизводимости спектра и позволяет эксперту делать достоверные выводы о совпадении/несовпадении цвета сравниваемых волокон.

Компетентность экспертов оценивали по результатам «слепых» испытаний. Эксперты должны были установить, какие из трех образцов волокон окрашены одним красителем. Двум экспертам были предоставлены по три образца, которые по цвету визуально практически не различались, но были окрашены разными красителями. Перед экспертами ставилась задача дифференцировать волокна, окрашенные одним красителем. При анализе полученных спектров каждым экспертом были сделаны правильные выводы об одноцветных волокнах, совпадающих по спектральным характеристикам цвета.

На основании положительных результатов валидационного эксперимента сделан вывод о пригодности методики измерения цвета окрашенных волокон на микроскопе-спектрофотометре МСФУ-К для применения в криминалистической экспертизе волокнистых материалов.

Ключевые слова: *волокна, цвет, микроспектрофотометрия, валидация*

Для цитирования: Бебешко Г.И., Любецкая И.П., Брунова Л.П., Ханукаева М.А., Омелянюк Г.Г. Валидация методики измерения цвета окрашенных волокон на микроскопе-спектрофотометре МСФУ-К // Теория и практика судебной экспертизы. 2018. Том 13. № 2. С. 71–80. DOI: 10.30764/1819-2785-2018-13-2-71-80

Measuring Dyed Fiber Color with MSFU-K Microscope Spectrophotometer: Methodology Validation

Galina I. Bebeshko¹, Irina P. Lyubetskaya¹, Lidiya P. Brunova¹, Marina A. Khanukaeva¹, Georgii G. Omel'yanyuk^{1,2}

¹ The Russian Federal Centre of Forensic Science of the Ministry of Justice of the Russian Federation, Moscow 109028, Russia

² Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow 117198, Russia

Abstract: This work is part of a series of efforts towards validation of methods used in forensic fiber analysis. These efforts address current needs for accreditation of forensic laboratories and quality control in operations.

The qualitative testing methodology consists of obtaining absorption spectra with the microscope spectrophotometer MSFU-K and comparing the spectral characteristics of color in fiber samples. The expert determines whether the textile fibers submitted for analysis match in color or not, depending on the results of spectral comparison.

The proposed validation experiment algorithm is designed for evaluating uncertainty in optical density measurements and the level of expert competence.

In this case uncertainty corresponds to reproducibility standard deviation. To evaluate uncertainty, two operators took readings of absorption spectra of dyed fibers independently in the course of three days, and measured optical density at maximum and minimum absorption wavelengths. To evaluate repeatability, 5 spectra were obtained in a row on each of the three days.

The testing was conducted using three samples of polyacrylonitrile (PAN) fibers. Key characteristic points in the samples' absorption spectra covered a wide range of wavelengths in the visible spectrum. Measurements were taken using the MSFU-K microspectrophotometer, which consists of a microscope with a spectrophotometric add-on unit.

Statistical analysis of measurement data demonstrated uncertainty levels between 7,1 % and 22,1 %. Uncertainty values below 30 % are indicative of quantitative measurements and insignificant variance of optical density values, which corresponds to high reproducibility of spectra and allows the expert to make statistically reliable match/non-match conclusions on the color of compared fibers.

Expert competence was assessed based on «blind» test results. The experts had to determine which of the three samples were colored with the same dye. Each of the two experts was provided with 3 visually identical samples that were colored with different dyes. The experts were asked to distinguish between fibers treated with the same dye. When analyzing obtained spectra, both experts correctly identified same-color fibers based on matching color spectral characteristics.

Positive validation results suggest that the MSFU-K microscope spectrophotometer can be successfully used in forensic fiber analysis for measuring the color of dyed fibers.

Keywords: *fibers, color, microspectrophotometry, validation*

For citation: Bebeshko G.I., Lyubetskaya I.P., Brunova L.P., Khanukaeva M.A., Omel'yanyuk G.G. Measuring Dyed Fiber Color with MSFU-K Microscope Spectrophotometer: Methodology Validation. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2018. Vol 13. No 2. P. 71–80. (In Russ.) DOI: 10.30764/1819-2785-2018-13-2-71-80

Валидация методики измерения цвета окрашенных волокон проводилась в связи с необходимостью аккредитации судебно-экспертных лабораторий и контроля качества экспертиз [1].

Рассматриваемая судебно-экспертная методика в метрологическом плане является качественной методикой тестирования; контролируемый показатель – цвет окра-

шенного волокна – выступает в качестве бинарного отклика (совпадение/несовпадение). В результате эксперт решает вопрос по дифференциации окрашенных волокон: совпадает/не совпадает цвет сравниваемых волокон, представленных на экспертизу.

Суть валидации заключается в оценке неопределенности результатов тестирова-

ния (оценке риска неправильной дифференциации). В соответствии с рекомендациями по качественному тестированию¹, неопределенность оценивают в долях ложного отклика при выполнении серии тестов. Число ложных результатов для эффективных методик, как правило, мало, и для оценки неопределенности тестирования требуется чрезвычайно длительный промежуток времени. Поэтому в работе оценивали неопределенность, связанную с наиболее критическими моментами методики, что допускается руководством. В рассматриваемом случае такими моментами являются неопределенность измерения оптической плотности (объективность измерений) и уровень компетентности эксперта. С учетом этих обстоятельств был построен эксперимент валидации.

Сущность методики и аппаратура

Методика микроспектрофотометрического исследования [2] применяется при сравнительном исследовании микрочастиц визуально одинаковых по цвету текстильных волокон с целью их дифференциации.

При визуальной оценке одного и того же объекта эксперты достаточно часто по-разному описывают его цвет. Это связано с индивидуальными особенностями цветового восприятия человека и в большой степени зависит от влияния психофизиологических факторов. Объективная оценка цвета необходима для решения всех типовых идентификационных задач криминалистической экспертизы волокнистых материалов.

Микроспектрофотометрический анализ окрашенных текстильных волокон – это современный инструментальный метод исследования, не разрушающий волокна и их красители. Он проводится после сравнительного микроскопического исследования.

Сущность валидируемой методики заключается в получении с помощью спектрофотометра распределения по длинам волн значений молярного коэффициента поглощения, или спектра поглощения, и сопоставлении спектральных характеристик цвета сравниваемых волокон:

- числа максимумов, минимумов и перегибов полос поглощения, их положения по шкале длин волн, характеризующих цветовой тон;

- высоты максимума, характеризующей светлоту цвета;

- формы полос поглощения (узкие, широкие), характеризующей насыщенность цвета.

Спектры поглощения представляются на дисплее спектрофотометра в виде графической зависимости оптической плотности A (ось ординат) от длины волны λ (ось абсцисс). Воспроизводимость спектра в целом оценивали по основным характеристическим точкам: максимуму и минимуму.

Использовали автоматизированный, снабженный микропроцессором микроспектрофотометр МСФУ-К, в комплектацию которого входят: микроскоп со спектрофотометрической насадкой, источник питания (галогенная лампа), блок управления, системный блок, система визуализации, монитор и принтер. Прибор предназначен для фотометрических исследований в проходящем и отраженном свете в режимах поглощения и пропускания. Спектры регистрируются в области видимых световых излучений (400–800 нм) при 400-кратном увеличении с шагом дискретизации 1 нм.

Измерения на МСФУ-К производят относительным методом: прибор калибруется установлением шкалы на ноль по прилагаемой кварцевой пластине. Это позволяет проводить корректировку спектров и исключать искажения, вызванные дифракционной решеткой монохроматора микроскопа, селективной чувствительностью фотоэлектронного усилителя, излучением галогенной лампы и поглощением среды, в которой происходит регистрация (стекло предметное, стекло покровное, водно-глицериновая среда). Без предварительной калибровки регистрация спектров исследуемых волокон не производится. Оптическую плотность измеряют в поле зрения микроскопа на одном из волокон микропрепарата в произвольно выбранной точке.

В связи с использованием относительно метода измерений микроспектрофотометр МСФУ-К не внесен в Государственный реестр средств измерения и не поверяется.

Экспериментальная часть

Задачами валидации, проведенной в лаборатории криминалистической экспертизы волокнистых материалов ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России, являлись:

- оценка неопределенности измерения оптической плотности;

¹ EURACHEM/CITAC GUIDE: The Expression of Uncertainty in Qualitative Testing // Committee Draft September 2003, LGC/VAM/2003/048.

– оценка компетентности экспертов по результатам «слепого» испытания.

Неопределенность собственно измерений оптической плотности, исключая другие источники неопределенности, совпадает с характеристикой прецизионности – средним квадратическим отклонением (СКО) воспроизводимости. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725-1-6-2002, прецизионность статистически устанавливает степень близости друг к другу результатов единичных измерений, полученных в условиях повторяемости и воспроизводимости.

В валидационном эксперименте использовали три образца из коллекции Научно-исследовательского института органических полупродуктов и красителей (НИОПИК)² с известными устойчивыми свойствами (природой, химическим классом и маркой красителя). Образцы – полиакрилонитрильные волокна (нитрон); каждый образец окрашен одним из указанных ниже красителей, имеющих характеристические точки в широкой области длин волн видимого спектра. Для приготовления микропрепаратов и проведения измерений от образцов были отобраны пробы:

- проба m_I (краситель катионный красно-фиолетовый),
- проба m_{II} (краситель катионный синий К),
- проба m_{III} (краситель катионный красный 4Ж).

Микропрепараты готовили в водно-глицериновой смеси (1 : 1) в соответствии с лабораторной инструкцией.

Для оценки воспроизводимости два эксперта независимо друг от друга в течение трех дней снимали спектры поглощения трех проб и измеряли оптическую плотность в точках максимума и минимума полученных спектров. Для оценки повторяемости снимали по пять спектров подряд в течение короткого промежутка времени. Схема эксперимента представлена на рисунке 1.

Для каждой пробы было получено по 30 результатов единичных измерений в характеристических точках спектра. Ниже (табл. 1) в качестве примера представлены результаты для пробы m_I .

Статистическую обработку данных проводили по известным формулам [3, 4] с использованием программы Excel по следующей схеме.

1. Исключили выбросы и для условий повторяемости рассчитали среднее значение (x_{mI}) и СКО – среднеквадратичное отклонение единичного результата от среднего (S_{mI}).

2. Оценили однородность дисперсий S_{mI}^2 по критерию Кохрена (G) и исключили (вычеркнуты из табл. 1) результаты, для которых $G_{max} > G_{табл}$. при доверительной вероятности 0,95.

3. Из оставшихся значений x_{mI} и S_{mI} рассчитали:

– общее среднее результатов измерений оптической плотности

$$x_m = \sum x_{mI} / 6;$$

– СКО повторяемости результатов каждого эксперта

$$S_{r,m} = \sqrt{\frac{\sum_{I=1}^L S_{mI}^2}{L}}$$

4. Используя значения величин S_m и $S_{r,m}$, рассчитали СКО воспроизводимости

$$S_{R,m} = \sqrt{S_m^2 + \left(1 - \frac{1}{N}\right) S_{r,m}^2}$$

где S_m – разброс средних результатов (x_{mI}) относительно общего среднего значения (x_m).

Результаты расчетов характеристик прецизионности приведены в таблице 2.

Как видно, СКО повторяемости в точках максимума и минимума спектров исследованных образцов не превышает 1,3 %, а СКО воспроизводимости, или неопределенность измерения оптической плотности, варьирует от 7,1 до 22,1 %.

Поскольку СКО воспроизводимости в нашем случае совпадает с неопределенностью, можно сделать следующие выводы.

Установленная неопределенность <30 % указывает на количественный характер измерений, что соответствует несущественному разбросу значений оптической плотности (при доверительной вероятности 95 %). Низкое значение неопределенности измерения оптической плотности в основных характеристических точках (минимум и максимум) свидетельствует о низкой неопределенности спектра в целом.

Таким образом, в валидируемой методике качественного тестирования проводятся количественные измерения, которые обеспечивают надежность тестирования и позволяют эксперту делать достоверные выводы о совпадении/несовпадении цвета окрашенных волокон.

² Проспект по катионным красителям. НИОПИК, М.: Химия, 1971.



Рис. 1. Схема эксперимента
Fig. 1. Flowchart of the experiment

Полученные статистические данные позволяют также объективно ответить на вопрос, какова разница между средними значениями оптической плотности, полученными разными экспертами в идентичных условиях. Для этого проверяется статистическая нулевая гипотеза об отсутствии расхождений, то есть о принадлежности результатов к одной генеральной совокупности. Значимость различия двух средних оценивали по t -критерию [4]. Расчетное

значение t сравнивали с табличным $t_{табл}$ при доверительной вероятности 0,95 и соответствующем числе степеней свободы. В условиях эксперимента $t_{табл}=2,78$. Если рассчитанный критерий меньше табличного, средние значения различаются незначительно, и наоборот (табл. 3).

Из таблицы 3 видно, что для всех образцов при длинах волн, соответствующих максимуму и минимуму спектров, расчетные величины критерия Стьюдента не

Таблица 1. Результаты измерения оптической плотности в максимуме и минимуме спектра пробы m ,
Table 1. Measurements of optical density at maximum and minimum absorption wavelengths for sample m ,

Оптическая плотность, условные единицы						
Оператор	Эксперт А			Эксперт Б		
Дни	1	2	3	1	2	3
Длина волны 543 нм (максимум)						
	0,3672	0,3874	0,4336	0,2835	0,5174	0,4250
	0,3673	0,3874	0,4335	0,2830	0,5175	0,4255
	0,3672	0,3874	0,4329	0,2834	0,5153	0,4253
	0,3680	0,3875	0,4329	0,2834	0,5148	0,4253
	0,3674	0,3878	0,4328	0,2836	0,5149	0,4261
Среднее (x_{mi})	0,3674	0,3875	0,4331	0,2834	0,5160	0,4254
СКО (S_{mi})	0,0003	0,0002	0,0004	0,0002	0,0014	0,0004
					$G_{max}=0,880$ $G_{табл}=0,480$	
Длина волны 644 нм (минимум)						
	0,0523	0,0539	0,0494	0,0489	0,0435	0,0514
	0,0530	0,0539	0,0492	0,0491	0,0441	0,0516
	0,0528	0,0548	0,0492	0,0500	0,0444	0,0512
	0,0533	0,0544	0,0494	0,0500	0,0442	0,0518
	0,0545	0,0551	0,0497	0,0497	0,0446	0,0523
Среднее (x_{mi})	0,0532	0,0544	0,0494	0,0495	0,0442	0,0517
СКО (S_{mi})	0,0008	0,0005	0,0002	0,0005	0,0004	0,0004
	$G_{max}=0,427$ $G_{табл}=0,480$					

Таблица 2. Характеристики прецизионности измерения оптической плотности
Table 2. Precision characteristics of optical density measurement

Характеристика	Оптическая плотность, условные единицы					
	Проба m_I		Проба m_{II}		Проба m_{III}	
	Max 543 нм	Min 644 нм	Max 630 нм	Min 743 нм	Max 477 нм	Min 633 нм
Общее среднее x_m	0,4033	0,0504	0,4227	0,0476	0,5636	0,0447
СКО повторяемости $S_{r,m}$	0,0002 (0,05)*	0,0005 (1,0)	0,0005 (0,12)	0,0006 (1,3)	0,0009 (0,16)	0,0004 (0,9)
СКО воспроизводимости $S_{R,m}$	0,0657 (16,3)	0,0036 (7,1)	0,0504 (11,9)	0,0071 (14,9)	0,1243 (22,1)	0,0041 (9,2)

* – в скобках указаны относительные проценты

превышают табличного значения. Следовательно, средние значения, полученные каждым экспертом, различаются незначительно, что указывает на объективность измерений.

Одним из общих подходов к оценке компетентности является сравнение результа-

тов, полученных экспертами в «слепых» испытаниях.

В качестве объектов исследования в данном случае были выбраны три образца полиэфирных равномерно окрашенных волокон из коллекции Научно-исследовательского института органических полупродук-

Таблица 3. Значения критерия Стьюдента, рассчитанные по данным табл. 2
Table 3. Values of *t* statistic calculated using data from Table 2

Проба	m _I		m _{II}		m _{III}	
Длина волны	410 нм	644 нм	620 нм	743 нм	477 нм	633 нм
Критерий Стьюдента, <i>t</i>	0,943	1,410	0,033	1,248	1,849	0,457

тов и красителей (НИОПиК)³. Образцы были фиолетово-розового цвета и визуально практически не различались между собой. При этом два из них были окрашены одним и тем же красителем, третий же – другим.

Образцы зашифровали: номерами 1 и 2 обозначили образцы, окрашенные красителем дисперсным ярко-розовым (1,5 %-ной концентрации), а номером 3 – образец, окрашенный красителем дисперсным красным 2С (3 %-ной концентрации).

Перед экспертами ставилась задача дифференцировать одноцветные текстиль-

ные волокна по спектральным характеристикам цвета.

Два эксперта на одном приборе МСФУ-К снимали в условиях повторяемости по пять спектров поглощения каждого из образцов. Эти спектры автоматически усреднялись и сохранялись в памяти прибора. При вызове из памяти усредненных спектров трех образцов эксперты наблюдали на дисплее картину совмещения спектров (рис. 2, 3).

Как видно на рисунке 2, спектры поглощения образцов 1 и 2 совпадают по форме кривой, значениям λ , соответствующим максимумам и минимумам, форме и ширине полос поглощения и практически совпа-

³ Дисперсные красители для полиэфиного волокна: Проспект / Науч.-исслед. ин-т орган. полупродуктов и красителей (НИОПиК). Информтехбюро. М.: Химия, 1973. 86 с.

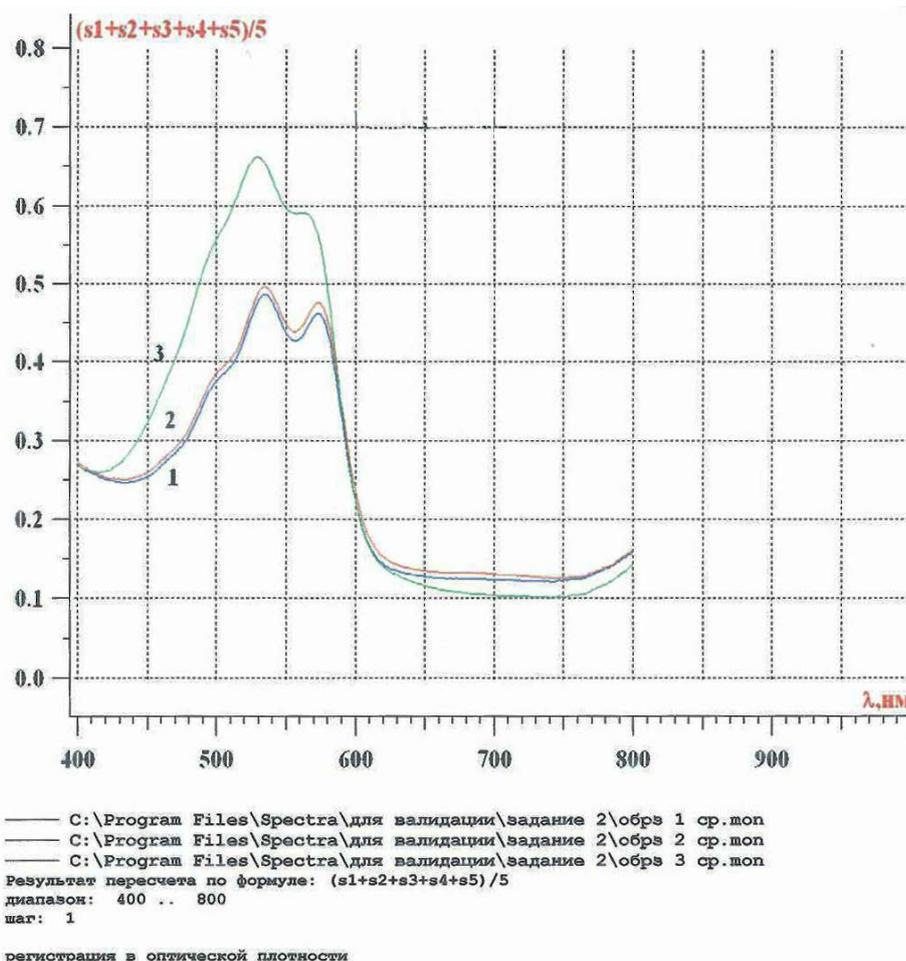


Рис. 2. Спектры поглощения сравниваемых образцов, зарегистрированные экспертом А
Fig. 2. Comparison of the samples' absorption spectra obtained by expert A

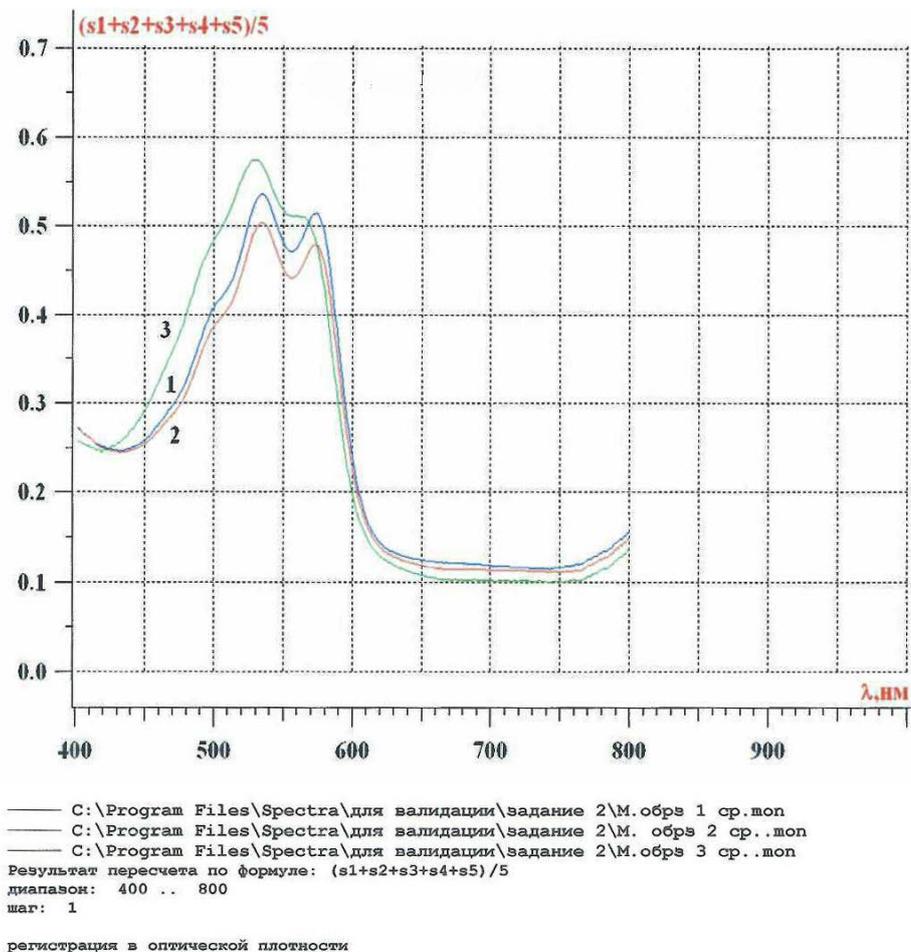


Рис. 3. Спектры поглощения сравниваемых образцов, зарегистрированные экспертом Б
Fig. 3. Comparison of the samples' absorption spectra obtained by expert B

дают по величине оптической плотности в характеристических точках. Спектр поглощения образца 3 по всем перечисленным параметрам отличается от спектров образцов 1 и 2.

Как видно на рис.3, спектры поглощения образцов 1 и 2 также совпадают по форме кривой, значениям λ , соответствующим максимумам и минимумам, форме и ширине полос поглощения, но несколько различаются по величине оптической плотности в характеристических точках. Спектр поглощения образца 3 по всем параметрам отличается от спектров образцов 1 и 2.

На значение оптической плотности при длине волны, соответствующей максимуму поглощения, влияет светлота цвета. Однако при этом цветовой тон остается неизменным. Поэтому эксперт Б так же, как эксперт А, делает правильные выводы об одноцветных текстильных волокнах, совпадающих по спектральным характеристикам цвета.

Положительные результаты «слепых» испытаний свидетельствуют о компетентности обоих экспертов в оценке спектральных характеристик цвета окрашенных текстильных волокон, а также в использовании современного компьютеризированного микроскопа-спектрофотометра.

Подтверждением компетентности могут служить также совпадающие значения оптической плотности, полученные разными экспертами на одних и тех же окрашенных образцах (эксперимент по оценке прецизионности).

По результатам выполненного эксперимента составлен протокол валидации, рекомендуемая форма которого представлена в таблице 4.

По результатам валидационного эксперимента можно сделать вывод, что методика микроспектрофотометрического исследования единичных окрашенных волокон позволяет получать наглядную, объективную и воспроизводимую информацию. Она пригодна для дифференциации окрашен-

Таблица 4. Протокол валидации
Table 4. Validation protocol

Судебно-экспертная методика тестирования	«Методика измерения цвета окрашенных волокон на микроскопеспектрофотометре МСФУ-К»
Контролируемые показатели	Спектральные характеристики цвета волокон
Разработчик	ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России и ФБУ Северо-Западный РЦСЭ Минюста России
Спецификация требований судебной экспертизы к методике	Дифференциация текстильных волокон по спектральным характеристикам их цвета
Матрица	Волокнообразующий полимер текстильных волокон
Сущность методики и используемая аппаратура	Получение спектров поглощения окрашенных волокон на микроспектрофотометре МСФУ-К и сопоставление спектров в характеристических точках
Калибровка прибора	Измерения проводятся относительным методом: шкалу прибора устанавливают на ноль по кварцевой пластине
Рабочий диапазон	400–800 нм (область видимых световых излучений) при 400-кратном увеличении с шагом дискретизации 1 нм
Чувствительность измерения оптической плотности	При использовании объектива 400x и измерительной диафрагмы 0,3 мм возможно достоверное измерение оптической плотности самого тонкого текстильного волокна
Прослеживаемость	Для эксперимента использовали образцы с известными устойчивыми свойствами из коллекции института НИОПик
Надежность тестирования	Высокая надежность подтверждается низкой неопределенностью измерений оптической плотности и положительным результатом «слепых» испытаний при оценке компетентности экспертов
Вывод	«Методика измерения цвета окрашенных волокон на микроскопеспектрофотометре МСФУ-К» пригодна для дифференциации волокон с высокой надежностью: неопределенность измерения оптической плотности $\leq 22,1$ % при $P=95$ %.

ных волокон по спектральным характеристикам цвета при производстве криминалистической экспертизы волокнистых материалов.

Использование методики способствует снижению влияния субъективной оценки цвета сравниваемых волокон и повышению эффективности экспертного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнова С.А., Усов А.И., Бебешко Г.И., Король С.Г. Опыт аккредитации судебно-экспертных лабораторий Минюста России на соответствие ИСО/МЭК 17025 // Теория и практика судебной экспертизы. 2011. № 2 (22). С. 40–56.

REFERENCES

1. Smirnova S.A., Usov A.I., Omeljanuk G.G., Bebeshko G.I., Korol S.G. Practice of Accreditation of Forensic Laboratories of the Ministry of Justice of Russia on Compliance with ISO/MEK 17025. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2012. No 2 (22). С. 40–56. (In Russ.).

2. Федянина Н.В., Брунова Л.П., Лизаева М.В., Кононец В.А., Николаева Е.И. Методические рекомендации по применению метода микроспектрофотометрического исследования единичных окрашенных волокон на микроспектрофотометре МСФУ-К. М.: РФЦСЭ, 2012. 43 с.
3. Смирнова С.А., Омелянюк Г.Г., Бебешко Г.И., Юдин Н.В. Опыт валидации методики измерений «Определение концентрации бенз(а)пирена в объектах почвенно-геологического происхождения методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием» для производства судебных эколого-почвоведческих экспертиз // Теория и практика судебной экспертизы. 2012. № 3 (27). С. 78–91.
4. Дёрфель К. Статистика в аналитической химии. М.: Мир, 1994. 268 с.
2. Fedyanina N.V., Brunova L.P., Lizaeva M.V., Kononets V.A., Nikolaeva E.I. *Methodological guidelines for microspectrophotometric analysis of single dyed fibers using the MSFU-K microspectrophotometer*. Moscow: RFCFS, 2012. 43 p. (In Russ.).
3. Smirnova S., Omelyanyuk G., Bebeshko G., Yudin N. The experience of validation measurement method “The definition of benzo(a)pyrene concentration in the objects of soil and geological origin by means of HPLC fluorimetry detecting” method conducting soil forensic expert examination. *Theory and Practice of Forensic Science*. 2012. No 3 (27). P. 78–91. (In Russ.).
4. Doerffel K. *Statistics in analytical chemistry*. Moscow: Mir, 1994. 268 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бибешко Галина Ивановна – д. т. н., главный научный сотрудник отдела инноваций судебно-экспертной деятельности ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России; e-mail: 109382@mail.ru.

Любetskaya Ирина Петровна – ведущий научный сотрудник отдела инноваций судебно-экспертной деятельности ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России; e-mail: lubetsira@mail.ru.

Брунова Лидия Павловна – ведущий государственный судебный эксперт лаборатории криминалистической экспертизы волокнистых материалов ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России; e-mail: labkevm@mail.ru.

Ханукаева Марина Александровна – старший государственный судебный эксперт лаборатории криминалистической экспертизы волокнистых материалов ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России; e-mail: labkevm@mail.ru.

Омелянюк Георгий Георгиевич – д. ю. н., доцент, заместитель директора ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России, профессор кафедры судебно-экспертной деятельности юридического института ФГАОУ ВО РУДН; e-mail: g.omelyanyuk@sudexpert.ru.

ABOUT THE AUTHORS

Bebeshko Galina Ivanovna – Doctor of Engineering, Principal Researcher at the Department of Innovations in the Practice of Forensic Science of the Russian Federal Centre of Forensic Science of the Russian Ministry of Justice; e-mail: 109382@mail.ru.

Lyubetskaya Irina Petrovna – Leading Researcher at the Department of Innovations in the Practice of Forensic Science of the Russian Federal Centre of Forensic Science of the Russian Ministry of Justice; e-mail: lubetsira@mail.ru.

Brunova Lidiya Pavlovna – Lead State Forensic Examiner at the Laboratory of Forensic Fiber Analysis of the Russian Federal Centre of Forensic Science of the Russian Ministry of Justice; e-mail: labkevm@mail.ru.

Khanukaeva Marina Aleksandrovna – Senior State Forensic Examiner at the Laboratory of Forensic Fiber Analysis of the Russian Federal Centre of Forensic Science of the Russian Ministry of Justice; e-mail: labkevm@mail.ru.

Omel'yanyuk Georgii Georgievich – Doctor of Law, Associate Professor, Deputy Director of the Russian Federal Centre of Forensic Science of the Russian Ministry of Justice, Professor of the Department of Forensic Operations, Institute of Law, RUDN University; e-mail: g.omelyanyuk@sudexpert.ru.