

УДК 535.65.088.3+343.98

**ЦВЕТОВОЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЭКСПЕРТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
СЛЕДОВ ВЫСТРЕЛА****И.Г. Пальчикова<sup>1,2</sup>, И.В. Латышов<sup>3</sup>,  
В.А. Васильев<sup>3</sup>, А.В. Кондаков<sup>3</sup>, Е.С. Смирнов<sup>1</sup>**<sup>1</sup>*Конструкторско-технологический институт  
научного приборостроения СО РАН*<sup>2</sup>*Новосибирский национальный исследовательский  
государственный университет*<sup>3</sup>*Волгоградская академия Министерства внутренних дел  
Российской Федерации*

В работе предложен и рассмотрен способ выявления и характеристики дополнительных следов выстрела на мишени путем обработки ее цифровой фотографии, обеспечивающий получение карт численных значений доминирующей длины волны и насыщенности цвета и последующую сегментацию цифрового изображения по этим цветовым характеристикам. Обоснована необходимость проведения калибровки цифровых измерительных колориметрических систем. Разработана процедура корректировки алгоритма вычисления доминирующей длины волны, которая улучшает достоверность, воспроизводимость и повышает точность определения спектральных цветов до величины  $\pm 2,5$  нм. Экспериментально выявлено, что цветовое пространство признаков цифрового изображения адекватно отображает характеристики дополнительных следов выстрела, а величина доминирующей длины волны и насыщенности изменяется монотонно в зависимости от удаленности от центра входного отверстия. Они могут служить специфическими маркерами расстояния для нахождения размера общей зоны отложения копоти выстрела; размеров центральной и периферийной зон отложения копоти выстрела и соотношения их площадей. Предложенные алгоритмы и разработанная программа позволяют находить, выделять, визуализировать, проводить расчет области поражения, выполняя объективный количественный анализ базовых характеристик следов выстрела.

*Ключевые слова:* обработка цифровых изображений, измерение цвета, калибровка, доминирующая длина волны, насыщенность цвета, следы выстрела.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-88-101

**Введение**

За годы развития в рамках видов судебных экспертиз сложились определенные научные представления в области методики и инструментального сопровождения экспертных исследований. Так, изучение следов выстрела, образующихся на объекте поражения, позволяет решать диагностические экспертные задачи определения обстоятельств выстрела – их количества и очередности, направления и расстояния (дистанции) выстрела, положения потерпевшего к дульному срезу ствола оружия в момент выстрела и ряд других.

Кроме морфологии входного и выходного огнестрельных отверстий (основного следа выстрела) при экспертном исследовании принимают во внимание и характеристики дополнительных следов выстрела, возникающих при воздействии на преграду пламени выстрела, газопороховой струи и входящих в нее компонентов (копоти, зерен пороха, частиц металла оболочки пуль, элементов капсюльного состава, частиц влагозащитного лака, ружейного масла и осалки патронов). Среди

перечисленных наибольшее значение имеют следы копоти, зерна пороха, а также частицы металла с оболочки пули. Именно они в большей степени характеризуют следовую картину на поврежденном объекте в условиях выстрела с близкого расстояния. При этом установлено, что для большинства видов ручного стрелкового огнестрельного оружия зона преимущественного отложения копоти выстрела находится в интервале от 3 см до 30–40 см, а с расстояния от 40 до 150 см в силу большей массы зерен пороха и частиц металла на преграде осаждаются исключительно они. При стрельбе из оружия, канал ствола которого покрыт слоем ружейной смазки, капли масла летят до 200 см.

В выборе методов исследования образцов принимают во внимание действующее в криминалистической науке и практике правило, по которому приоритет отдается тем из них, использование которых не ведет к утрате объекта, не приводит к необратимому изменению их свойств. То есть в перечне неразрушающих методов экспертного исследования следов выстрела существенная роль должна принадлежать анализу видео- и фотоизображений, который является актуальным инструментом в ряде научно-технических задач, таких как сортировка объектов по цвету [1, 2], определение качества мясного сырья [3] и т. д.

В зарубежной [4] и отечественной [5] практике известны попытки адаптации отдельных моделей криминалистической техники (например, видеоспектральных компараторов) для исследования следов выстрела. При этом признают, что подобное оборудование изначально создавалось под решение задач технико-криминалистической экспертизы документов. Возможности этой техники заключаются лишь в визуализации и фотофиксации следов, которая к тому же нередко осложняется негативным влиянием цвета материала объекта, сходного с цветом копоти. Налетом мелкодисперсной копоти покрыты и вылетающие из ствола частицы металла оболочки пули. В числе прочих методов используется и наблюдение объекта в УФ- либо ИК-лучах. Источниками излучения света здесь служит, как правило, прибор ОЛД-41 и электронно-оптический преобразователь «Рельеф 2». Специализированной криминалистической техники для выявления и анализа следов выстрела на сегодня не существует.

Современная экспертная практика нуждается не только в выявлении и фиксации следов выстрела, но и в количественном подсчете и анализе базовых характеристик следов выстрела, определяемых закономерностями явления выстрела, внешней баллистики выстреленной пули, механизмом образования следов. Развитие методов компьютерного зрения [1] и разработка специальных методов обработки цифровых изображений для баллистической экспертизы и трасологии являются актуальной задачей.

Настоящая работа посвящена рассмотрению вопросов использования цветового анализа видеоизображений при производстве экспертных исследований следов выстрела. Изучаются возможности, которые предоставляют интегральные цветовые характеристики (доминирующая длина волны и насыщенность) для количественного описания дополнительных следов выстрела на цифровой фотографии мишени. Предлагается и рассматривается процедура корректировки алгоритма вычисления доминирующей длины волны, которая повышает достоверность и точность определения спектральных цветов в изображении и актуализирует количественный анализ базовых характеристик следов выстрела.

### **1. Определение цветовых характеристик цифрового изображения**

Первой задачей, решаемой при производстве анализа изображения, является определение пространства значимых признаков, в которое затем отображается набор входных данных и, при необходимости производится его сегментация.

Удобные и измеримые признаки – это яркость и цвет изображения. Наиболее простым является одномерное яркостное пространство. Для большинства изображений контрастная чувствительность постоянна во всем диапазоне яркостей, что позволяет численно анализировать модуль разности яркостей. Однако признаки цвета несут дополнительную информацию.

В пикселях полутоновых цифровых изображений сохраняется единственная величина – это интенсивность (или уровень серого), в то время как каждый пиксель цветного изображения [6] содержит три значения интенсивности в соответствии с трехкомпонентной теорией цвета. Разработаны и применяются различные виды цветовых пространств, включая аппаратно-ориентированные, пространства, ориентированные на визуальное восприятие человека, или ориентированные на инструментальное использование в полиграфии. *RGB*-цветовое пространство (*R* – красный, *G* – зеленый, *B* – голубой) хорошо согласуется со способом фиксации изображения цифровой камерой и конструкцией цветных дисплеев. Два наиболее распространенных цветовых пространства – это *HSL* (цветовой тон, насыщенность, светлота) и *HSV* (цветовой тон, насыщенность, яркость), в которых приняты цилиндрические координаты. Эти цветовые пространства были разработаны для приложений компьютерной графики, сканеров, принтеров и широко применяются в редакторах цифровых фотоизображений. Однако хотя координата *H* пространства *HSL(V)* отвечает за оттенок цвета, она плохо коррелирует с оценками, выполненными экспертами, которые, как правило, ориентируются на спектральные цвета. Это, вероятно, связано с особенностями цветопередачи компьютерными девайсами и их различиями с восприятием цвета экспертом при естественном освещении. Цветовым пространством, адаптированным для использования различными инструментами, такими как колориметры, является *CIE XYZ*.

Процесс определения цветовых характеристик включает подготовку образца, получение и регистрацию изображения образца в стандартных условиях, преобразование изображения в цифровой формат для дальнейшего использования в компьютере и последующую обработку файла по алгоритмам, выделяющим цветовые и специальные характеристики.

Для численного описания морфологии и характеристик дополнительных следов выстрела могут быть использованы как матрицы цветовых координат пикселей изображения, так и интегральные цветовые характеристики. Для сегментации изображений обычно используются специальные метрики [7] цветовых пространств. Однако экспертное описание содержит визуальную оценку цвета образца, которая основывается на применении специальных цветовых атласов или ориентирована на спектральные цвета. Поэтому мы предлагаем строить количественное описание с использованием интегральных характеристик (доминирующей длины волны и насыщенности), которые с одной стороны хорошо коррелируют с качественными визуальными экспертными оценками, а с другой – являются объективными количественными характеристиками.

Обработка цифрового изображения проводилась нами в программной среде *MathCAD*, разработанная программа вычисляет значения доминирующей длины волны и насыщенности для каждой точки цифрового изображения (пикселя) на основе значений ее цветовых координат (*R*, *G*, *B*). Программа позволяет получить усредненные оценки изображения как по всему кадру, так и по какой-либо выделенной части кадра. Предусмотрен вывод двумерных карт и трехмерных распределений вычисленных значений характеристик.

Доминирующая длина волны ( $\lambda_d$ ) и насыщенность (*s*) для каждой точки изображения (пикселя) вычисляются с использованием спектрального локуса [1, 6]. Цветности реальных излучений ограничены на диаграмме цветности кривой спек-

тральных цветов (локусом) и линией пурпурных тонов, замыкающей красный и синий концы локуса. Каждая точка линии локуса характеризуется собственной длиной волны ( $\lambda$ ). Точки внутри области, ограниченной локусом, представляют смесь спектральных цветов, которая характеризуется доминирующей длиной волны ( $\lambda_d$ ) и насыщенностью ( $0 < s < 1$ ). Для определения  $\lambda_d$  и  $s$ , кроме цветовых координат пикселя, необходимо знать цветовые координаты осветителя, которые в нашем случае задаются как координаты равноэнергетического белого цвета  $E$  ( $x = 0,33$ ;  $y = 0,33$ ) ввиду того, что доминирующая длина волны определяется каждый раз для изображения объекта, нормированного на белый фон. Наилучшей поверхностью белого цвета для цветовых измерений является плоская матовая поверхность порошкообразной химически чистой окиси магния.

Проекция координат ( $R, G, B$ ) в систему  $CIE XYZ$  осуществляется согласно [6] по формулам:

$$X = 2,7687R + 1,7516G + 1,1301B,$$

$$Y = 1R + 4,5904G + 0,0601B,$$

$$Z = 0,0565G + 5,5939B.$$

Значения хроматических координат  $X, y$  определяются по формулам [6]:

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}, \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z}.$$

Насыщенность  $s$  рассчитывается с помощью следующего выражения:

$$s = \frac{\sqrt{(x_{src} - x)^2 + (y_{src} - y)^2}}{\sqrt{(x_{src} - W_x)^2 + (y_{src} - W_y)^2}},$$

где  $x_{src}$  и  $y_{src}$  – хроматические координаты источника;  $W_x$  и  $W_y$  – хроматические координаты доминирующей длины волны, полученные в точке пересечения цветового локуса с прямой, соединяющей точку источника ( $x_{src}, y_{src}$ ) с точкой цвета ( $x, y$ ) пикселя. В наших приложениях мы не вводили дополнительных длин волн для пурпурных цветов, а принимали для них отрицательные значения на линии пурпурных тонов. При таком определении пурпурные цвета не маскируют остальные в процессе последующей обработки цифровых изображений и не используются для выделения характеристик изображения или значимых маркеров.

## 2. Эффективность передачи цвета и алгоритм корректировки вычислений

Способы калибровки камер повышенной дигитализации, особенности регистрации и необходимые параметры съемки цифровых изображений, предназначенных для обработки и извлечения количественных данных об их оптической плотности, подробно проанализированы нами в [8]. Для рассматриваемых здесь вопросов первостепенное значение имеют достоверность и точность количественного определения спектральных цветов в изображении, эффективность передачи цвета.

Различие между двумя цветами в колориметрии можно выразить численно для цифровых изображений. Обычно цветовое расстояние находится с помощью формулы для вычисления расстояния в евклидовом пространстве, однако ни одно цветовое пространство не является евклидовым со строгой математической точки зрения [9]. И даже поправки (компенсации для нейтральных цветов, светлоты,

насыщенности цвета и тона), внесенные в новый стандарт *CIE* [10], неполностью устранили неоднородности восприятия цветового различия.

Эффективность передачи цвета мы определяли экспериментально с помощью эталонного атласа цветов [11] для диапазона спектральных длин волн: 380–645, 705–780 нм, с шагом 1–5 нм. Изучались цветопередача и возможности применения в цветоизмерительных системах типичных камер, используемых криминалистами: 1) Видеоскан 415/Ц *USB Camera* (матрица *ICX415*, *Sony Corp., Japan*; ООО «ЭВС» Россия, Санкт-Петербург); 2) камера *Canon EOS 500D* (*Canon Inc., Japan*). В таблице представлены основные характеристики каждой из камер. Осветителем служили две линейные галогенные лампы накаливания Фотон (ООО «Фотон», Россия, Москва) с цветовой температурой до 3400 К, расположенные таким образом, что обеспечивалась практически равномерная засветка поля формата А4.

**Характеристики камер**  
**Characteristics of cameras**

Характеристика	Модель камеры	
	Видеоскан 415/Ц <i>USB</i>	<i>Canon EOS 500 D</i>
Датчик, тип	<i>CCD</i>	<i>CMOS</i>
Размер матрицы, мм	7,48×6,15	22,3×14,9
Количество пикселей	782×582	4752×3168
Диапазон оцифровки изображений (дигитализация)	8 бит	14 бит
Ручной баланс белого	Нет	Да

В экспериментах выбирались параметры съемки, зависящие от камеры. Верная передача цвета в цифровой фотографии достигается настройкой баланса белого. При использовании камеры Видеоскан 415/Ц *USB* пользователю доступны только две настройки – усиление и экспозиция (выбиралось усиление 100 %, экспозиция – в зависимости от освещенности до 1152 миллисек). Предустановки производителя по цветоделению не могут быть изменены. Цифровое изображение бралось в формате *TIFF* 8-бит.

Пользовательская установка баланса белого позволяет избежать автоматической коррекции соотношений цветовых каналов. Камера *Canon EOS 500D* допускает режим пользовательских настроек, в котором исключены предобработки изображения встроенным процессором самой камеры. В этом режиме задано: ручной баланс белого, отсутствие сдвига баланса, отсутствие брекетинга, стиль изображения «Точное», светочувствительность *ISO* 100, расширение диапазона *ISO* отключено, шумоподавление при длительной выдержке и высоких *ISO* отключено, приоритет цветов запрещен, автокоррекция яркости запрещена. Изображение образца регистрировалось в режиме пользовательских настроек камеры в формате *RAW* 14-бит.

Зарегистрированные изображения цветовых элементов атласа попиксельно нормировались на соответствующие изображения белого фона атласа, съемка которого осуществлялась камерами предварительно. По нормированным изображениям производились вычисления доминирующих длин волн.

Результаты представлены на рис. 1, а, б. Прямые точечные линии отмечают «идеальную» цветопередачу. Сплошные линии – это графики зависимости длины волны  $\lambda_d$ , вычисленной по программе, обрабатывающей изображение цветового элемента атласа, от номинальной доминирующей длины волны  $\lambda_c$  цветового элемента. Стандартные ошибки средних значений  $\lambda_d$  для выборок пикселей в пределах цветового элемента составили не более 0,05 % от  $\lambda_d$ . В силу малого своего значения данный параметр не различим на рис. 1, а и б. Камеры значительно

отличаются по своим характеристикам, тем не менее ход сплошных кривых на графиках на рис. 1, а и б очень близок.

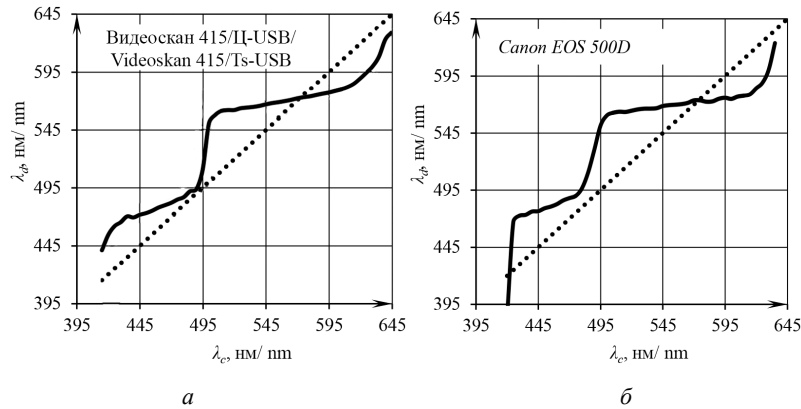


Рис. 1 – Цветопередача камер:

а – Видеоскан 415/Ц USB; б – Canon EOS 500D

Fig. 1 – The color rendition of cameras:

а – Videоскан 415/Тс-USB; б – Canon EOS 500D

Для линейризации рассматриваемой зависимости мы предложили и разработали алгоритм внесения поправочных коэффициентов в расчет доминирующей длины волны, графическая интерпретация которого сводится к совмещению кривой графика на рис. 1 с прямой линией. Способ внесения поправки очевиден из вида графика. Так, прибавляя к ординатам точек сплошной кривой некоторое значение поправки, всегда можно получить точки, близкие к прямой линии «идеальной цветопередачи». График зависимости вносимых поправок  $\Delta\lambda$  от номинальной длины волны  $\lambda_c$  цветового элемента представлен на рис. 2. Вариация значений поправок составляет от +6 до -12 % в спектральном диапазоне. Представленные значения поправок находились путем усреднения по многим цифровым изображениям. Из рис. 2 следует, что поправки близки для обеих камер и ход кривых одинаков. Этот факт связан с тем, что на величину поправок и на форму графика коррекции (рис. 2) в значительной степени влияет форма локуса. С шагом 0,1 нм по длинам волн был построен и исследован locus колориметрического наблюдателя с углом зрения 10° (рис. 3). На рис. 3 цифрой 1 обозначено положение источника света на локусе Планка 3, цифра 2 отмечает точку определяемого цвета. Длина волны, на которую приходится минимальная поправка (496,2 нм, рис. 3) – это суть точка, в которой угол  $\gamma$  между касательной к локусу и осью абсцисс составляет 90° и в этом месте происходит разрыв в зависимости угла  $\gamma$  от длины волны.

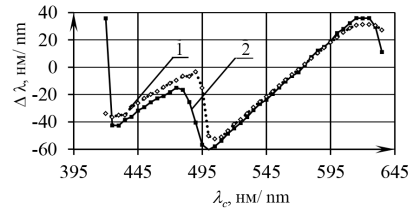


Рис. 2 – Значения поправок для доминирующей длины волны изображения спектральных цветов:

точечная линия 1 – камера Видеоскан 415/Ц USB, сплошная линия 2 – камера Canon EOS 500D

Fig. 2 – Correction values for dominant wavelength spectral image colors:

dotted line 1 is camera Videоскан 415/Тс-USB, solid line 2 is camera Canon EOS 500D

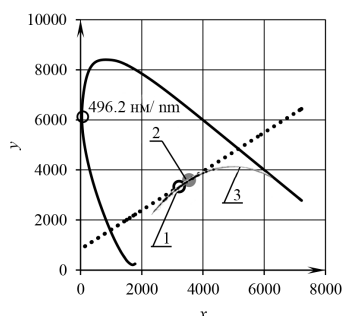


Рис. 3 – Иллюстрация к определению  $\lambda_d$  с помощью локуса

Fig. 3 – Illustration to the definition  $\lambda_d$  with the help of the color locus

фонового элемента. Точность определения доминирующей длины волны цвета элементов атласа с коррекцией составила  $\pm 2,5$  нм (рис. 4). Рис. 4 иллюстрирует отличие  $\delta$  вычисленной с коррекцией доминирующей длины волны  $\lambda'_d$  цветowych элементов атласа от ее номинального значения.

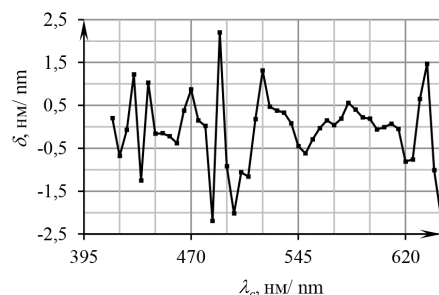


Рис. 4 – Зависимость величины  $\delta = \lambda'_d - \lambda_c$  от значения доминирующей длины волны  $\lambda_c$  цветowych элементов атласа

Fig. 4 – The dependence of the  $\delta = \lambda'_d - \lambda_c$  from value of dominant wavelength  $\lambda_c$  from the atlas color elements

### 3. Эксперименты с изображениями мишеней

Вычислительный эксперимент проводился с изображениями следов выстрела на мишенях, представляющих собой прострелянную темную ткань. Общий вид мишени дан на рис. 5. Непосредственное визуальное восприятие мишени или фотографии не выявляет ощутимой окраски или ее вариации на следах выстрела. Для скрупулезного анализа общего вида следов выстрела средствами *Adobe Photoshop Creative Suite* (*Adobe Systems, Inc., USA*) «вырезалась» центральная часть и производилось контрастирование цифрового изображения. Результаты контрастирования использовались лишь для визуальных оценок и предварительных выводов относительно возможностей применения вычислительных технологий к форматам сырых изображений. На рис. 6, а дано исходное изображение с усиленной насыщенностью цветов. Увеличенное изображение этого фрагмента – на рис. 6, б. Здесь уже хорошо различимы зоны отложения копоти, частицы металла и зерна пороха в виде пятен различной окраски и яркости (светлые и темные точки на изображении). На негативном изображении мишени на рис. 6, в темные пятна выделяются наиболее четко.

При производстве экспертных исследований интерес могут представлять подсчет количества пятен в выделенной области изображения и, возможно, их сорти-

ровка по яркости (типу). Такого рода анализ цифрового изображения предполагает определение геометрических областей, отличающихся средней яркостью, и указание для каждой из них номера типа. В нашем случае предпочтительным методом сегментации будет пороговая обработка с автоматическим определением порога. Алгоритмы пороговой обработки известны [1] и легко реализуемы.

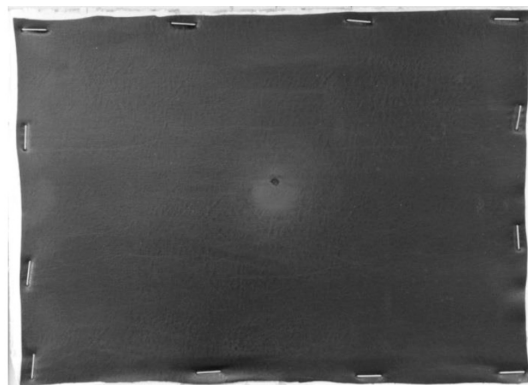


Рис. 5 – Вид мишени со следами выстрела

Fig. 5 – The target with the shot's trace

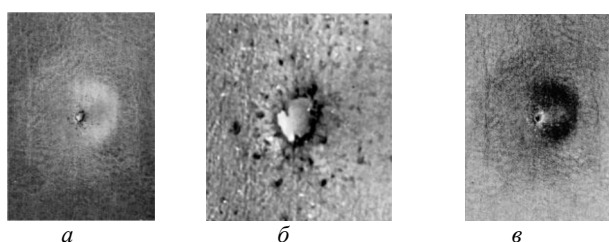


Рис. 6 – Различные способы контрастирования центральной части мишени

Fig. 6 – Different ways to contrast the central part of the target

Для математической обработки брались сырые файлы, полученные непосредственно с камер. В ходе вычислительного эксперимента строились карты распределения доминирующих длин волн  $\lambda'_d$  и насыщенности  $s$  по выделенным областям изображений с координатами сторон  $l_1$ ,  $l_2$ . На рис. 7, а дано трехмерное представление распределения  $\lambda'_d$  (сглаженное скользящим окном  $7 \times 7$ ), на рис. 7, б – двумерное. Насыщенность  $s$  цветов – 100 %. На рис. 8, а дано трехмерное представление распределения насыщенности  $s$  (сглаженное скользящим окном  $7 \times 7$ ), на рис. 8, б – двумерное.

Расчеты выявили, что величина доминирующей длины волны и насыщенность изменяются монотонно в зависимости от удаленности от центра входного отверстия. То есть сегментация цветовой карты изображения также может быть выполнена на основе пороговой обработки, а  $\lambda'_d$  и  $s$  могут служить специфическими маркерами расстояния для нахождения размера общей зоны отложения копоти выстрела; размеров центральной и периферийной зон отложения копоти выстрела и соотношения их площадей. Перечисленные характеристики определяются по



количеству пикселей в соответствующих зонах, а после фотограмметрической калибровки камеры – в метрической мере.

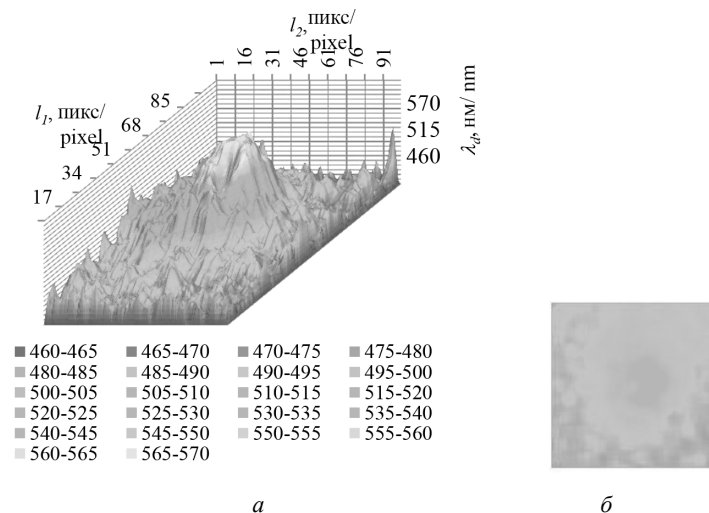


Рис. 7 – Карта распределения  $\lambda'_d$  по выделенной области изображения:

$a$  – трехмерное представление;  $b$  – двумерное представление

Fig. 7 – The distribution map of  $\lambda'_d$  of the selected image area:

$a$  – 3D representation;  $b$  – 2D representation

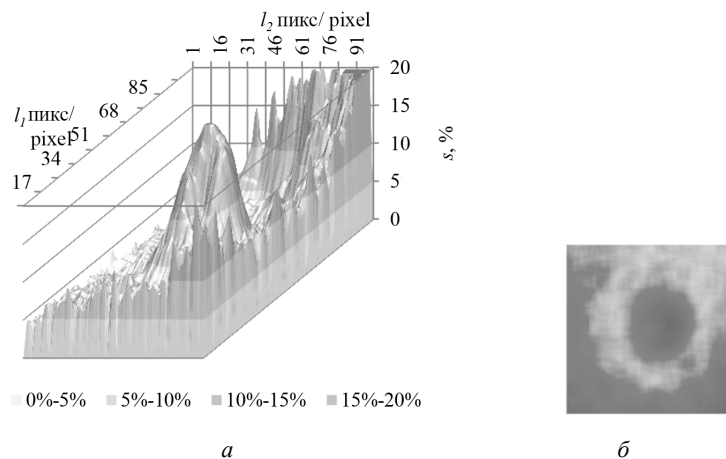


Рис. 8 – Карта распределения насыщенности  $s$  по выделенной области изображения:

$a$  – трехмерное представление;  $b$  – двумерное представление

Fig. 8 – The distribution map of the saturation  $s$  of the selected image area:

$a$  – 3D representation;  $b$  – 2D representation

Эти положения иллюстрируются рис. 9. На рис. 9,  $a$  дан график зависимости  $\lambda'_d$  от относительной координаты на прямой линии, проходящей через центр отверстия на цифровом изображении следа. Центр отверстия расположен в координате 50. На рис. 9,  $b$  – соответствующий график зависимости  $s$  от координаты.

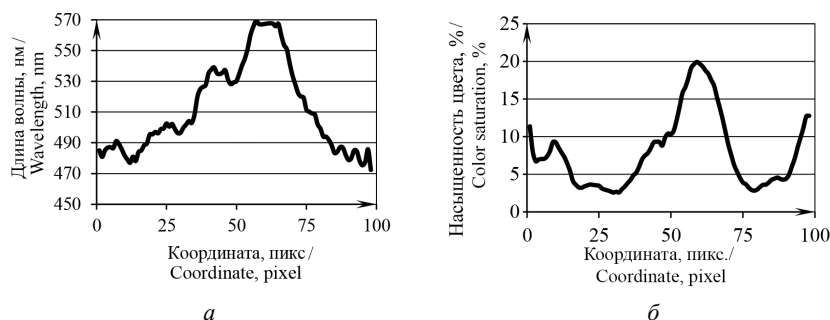


Рис. 9 – Графики зависимости от координаты:

$a$  – доминирующей длины волны  $\lambda'_d$ ;  $b$  – насыщенности  $s$

Fig. 9 – The graphs of the coordinate:

$a$  – the dominant wavelength  $\lambda'_d$ ;  $b$  – the saturation  $s$

Цветовое пространство признаков цифрового изображения адекватно отображает характеристики дополнительных следов выстрела. Предложенные алгоритмы и разработанная программа позволяют находить, выделять, визуализировать, проводить расчет области поражения.

### Закключение

В результате экспериментального изучения и сравнения эффективности передачи цвета различными камерами обоснована необходимость проведения калибровки цифровых измерительных колориметрических систем и уточнения алгоритма расчета доминирующей длины волны. Разработанный и предложенный алгоритм расчета и внесения поправок в значения доминирующих длин волн на цифровых изображениях позволяет повысить достоверность и точность определения спектральных цветов до величины  $\pm 2,5$  нм. Увеличение точности определения доминирующих длин волн в изображении позволяет использовать полученные значения для оценки не только визуальных сравнительных характеристик образцов, но и расчета цветовых характеристик образца в специальных применениях.

Проведенные исследования подтверждают перспективность применения предложенных подходов при выявлении, расчете и анализе следов выстрела, в том числе при определении следующих их базовых характеристик: размера входного отверстия и пояса обтирания; размера общей зоны отложения копоти выстрела; размеров центральной и периферийной зон отложения копоти выстрела, соотношения их площадей; размеров зон осыпи зерен пороха и частиц металла оболочки пуль.

Из совокупности полученных результатов следует, что для нахождения базовых характеристик достаточно произвести обработку цифрового изображения, обеспечивающую получение карт численных значений доминирующей длины волны, насыщенности цвета и последующую сегментацию цифрового изображения с отображением (выводом) базовых характеристик в удобном для эксперта виде, например, двумерных графиков или трехмерных представлений, диаграмм, таблиц и т. д.

Количественная оценка перечисленных характеристик следов выстрела позволяет создать условия для автоматизации процесса сравнения исследуемого огнестрельного повреждения с банком данных огнестрельных повреждений, экспериментально полученных при стрельбе из различных образцов и моделей ручного стрелкового оружия с близкой дистанции. Производство экспертных исследований следов выстрела требует создания профильных цифровых колориметрических программно-технических решений, которые включают в себя осветитель, цифровую регистрирующую видеосистему, сопряженную с компьютером, и специализированную программу обработки исходных данных исследуемого следа выстрела.

В перспективе на базе цифрового колориметрического программно-технического решения возможно создание профильной информационно-поисковой системы для целей экспертной практики.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Гонсалес Р., Вудс Р.Е.** Цифровая обработка изображений: пер. с англ. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Техносфера, 2012. – 1104 с.
2. **Молочков В.П.** Основы работы в Adobe Photoshop CS5 [Электронный ресурс]: курс лекций. – [Б. м.]: INTUIT, 2011. – 186 с. – URL: <http://i.booksgid.com/web/online/41239> (дата обращения: 05.06.2015).
3. Установки для экспресс-оценки свежести мяса / А.Ф. Алейников, И.Г. Пальчикова, Ю.В. Обидин, В.С. Глянченко, Е.С. Смирнов, Ю.В. Чугуй, А.Н. Швыдков // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 4. – С. 74–77.
4. Visualization of gunshot residue patterns on dark clothing / C.S. Atwater, M.E. Durina, J.P. Durina, R.D. Blackledge // Journal of Forensic Sciences. – 2006. – Vol. 51, iss. 5. – P. 1091–1095. – doi: 10.1111/j.1556-4029.2006.00226.x.
5. Возможности использования аппаратных ресурсов видеоспектрального компаратора «Docucenter Nirvis Projectina» при производстве судебно-баллистических исследований следов выстрела / И.В. Латышов, А.В. Кондаков, В.А. Васильев, М.Е. Пахомов // Судебная экспертиза: российский и международный опыт: сборник научных трудов II международной научно-практической конференции, Волгоград, 21–22 мая 2014 г. – Волгоград: ВА МВД России, 2014. – С. 181–185.
6. **Луизов А.В.** Цвет и свет. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 256 с.
7. **Чочиа П.А.** Сегментация изображений на основе анализа расстояний в пространстве признаков // Автометрия. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 97–110.
8. Особенности применения цифровых камер для цитофотометрического определения количества ДНК в ядрах клеток / И.Г. Пальчикова, Л.В. Омелянчук, Е.И. Пальчиков, Е.С. Смирнов, В.Ф. Семешин // Датчики и системы. – 2012. – № 3. – С. 2–12.
9. **Melgosa M., Quesada J.J., Hita E.** Uniformity of some recent color metrics tested with an accurate color-difference tolerance dataset // Applied Optics. – 1994. – Vol. 33, iss. 34. – P. 8069–8077. – doi: 10.1364/AO.33.008069.
10. **Sharma G., Wu W., Dalal E.N.** The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations // Color Research and Application. – 2005. – Vol. 30, iss. 1. – P. 21–30. – doi: 10.1002/col.20070.
11. **Пальчикова И.Г., Смирнов Е.С.** Особенности цветовой калибровки измерительных систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь–2014: X международный научный конгресс, 08–18 апреля 2014 г., Новосибирск; Международная научная конференция «СибОптика-2014»: сборник материалов. – Новосибирск: СГГА, 2014. – Т. 5, № 1. – С. 128–134.

## COLOR ANALYSIS OF DIGITAL IMAGES IN EXPERT JUDGEMENT OF SHOT'S TRACE

**Palchikova I.G.<sup>1,2</sup>, Latyshov I.V.<sup>3</sup>,  
Vasil'ev V.A.<sup>3</sup>, Kondakov A.V.<sup>3</sup>, Smirnov E.S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS,  
Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation*

<sup>3</sup>*The Volgograd Academy of the Russian Internal Affairs Ministry,  
Volgograd, Russian Federation*

The approach for revelation and characterization of additional shot's traces at the target digital images is proposed and examined. The per-pixel maps of dominant wavelengths and saturation for target digital images is computed and drawn. Regarding these colour characteristics the digital image segmentation is performed. Need of carrying out calibration of the digital measuring colorimetric systems is proved. Special corrective procedure for algorithm of dominant wavelength calculation is introduced. It enhance reliability, repeatability and accuracy of calculation of spectral colors up to  $\pm 2,5$  nm. It is experimentally revealed that the color space of attributes of the digital image adequately displays characteristics of additional traces of a shot, and the quantities of the dominant wavelength and the saturation vary monotonically according to remoteness from the center of an inlet hole. Color attributes of the digital image can serve as specific markers of the distance for finding the size of the general zone of a shot soot deposit; sizes of the central and peripheral zones of a shot soot deposit, and ratio of their areas. The proposed algorithms and the developed program allow to find, allocate, visualize, carry out the calculation of affected area, making the objective quantitative analysis of basic characteristics of shot traces.

*Keywords:* digital image processing, color, measurement, calibration, dominant wavelength, saturation of color, shot's trace.

DOI: 10.17212/1727-2769-2015-2-88-101

### REFERENCES

1. Gonzalez R.C., Woods R.E. *Digital image processing*. 3rd ed. New Jersey, Prentice-Hall, 2008. 954 p. (Russ. ed.: Gonsales R., Vuds R.E. *Tsifrovaya obrabotka izobrazhenii*. Translated from English. Mowcow, Tekhnosfera Publ., 2012. 1104 p.).
2. Molochkov V.P. *Osnovy raboty v Adobe Photoshop CS5* [The basics of the Adobe Photoshop CS5]. S. 1., INTUIT Publ., 2011. 186 p. (In Russian). Available at: <http://i.booksgid.com/web/online/41239> (accessed 05.06.2015)
3. Alejnikov A.F., Palchikova I.G., Obidin Ju.V., Gljanenko V.S., Smirnov E.S., Chuguj Ju.V. Ustanovki dlya ekspress-otsenki svezhesti myasa [Devices for the fast assessment of freshness of meat]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK – Achievements of Science and Technology of AI-Cis*, 2013, no. 4, pp. 74–77.
4. Atwater C.S., Durina M.E., Durina J.P., Blackledge R.D. Visualization of gunshot residue patterns on dark clothing. *Journal of Forensic Sciences*, 2006, vol. 51, iss. 5, pp. 1091–1095. doi: 10.1111/j.1556-4029.2006.00226.x
5. Latyshov I.V., Kondakov A.V., Vasil'ev V.A., Pahomov M.E. [Applicability video spectrometer hardware «Docucenter Nirvis Projectina» in the production forensic ballistic studies of shot's tracks]. *Sudebnaya ekspertiza: rossiiskii i mezhdunarodnyi opyt: sbornik nauchnykh trudov 2 mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Forensic examination: Russian and International experience: proceedings of the 2nd International Scientific-Practical Conference], Volgograd, May 21–22, 2014, pp. 181–185.
6. Luizov A.V. *Tsvet i svet* [Color & Light]. Leningrad, Energoatomizdat Publ., 1989. 256 p.
7. Chochia P.A. Segmentatsiya izobrazhenii na osnove analiza rasstoyanii v prostranstve priznakov [Image segmentation based on the analysis of distances in an attribute space]. *Avtometriya – Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2014, vol. 50, iss. 6, pp. 613–624.

- doi: 10.3103/S8756699014060107. Translated from *Avtometriya*, 2014, vol. 50, iss. 6, pp. 97–110.
8. Palchikova I.G., Omel'janchuk L.V., Pal'chikov E.I., Smirnov E.S., Semeshin V.F. Osobennosti primeneniya tsifrovyykh kamer dlya tsitofotometricheskogo opredeleniya kolichestva DNK v yadrah kletok [Digital camera characteristics and application for cytophotometric measurements of DNA content in nuclei of cells]. *Datchiki i sistemy – Sensors & Systems*, 2012, no. 3, pp. 2–12.
  9. Melgosa M., Quesada J.J., Hita E. Uniformity of some recent color metrics tested with an accurate color-difference tolerance dataset. *Applied Optics*, 1994, vol. 33, iss. 34, pp. 8069–8077. doi: 10.1364/AO.33.008069
  10. Sharma G., Wu W., Dalal E.N. The CIEDE2000 color-difference formula: implementation notes, supplementary test data, and mathematical observations. *Color Research and Application*, 2005, vol. 30, iss. 1, pp. 21–30. doi: 10.1002/col.20070
  11. Palchikova I.G., Smirnov E.S. [Features of colour calibration for measuring systems]. *Interespo Geo-Sibir'-2014: X mezhdunarodnyi nauchnyi kongress*, 08–18 aprelya 2014 g., Novosibirsk; *Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya "SibOptika-2014"*: sbornik materialov [Interexpo GEO-Siberia-2014: X International Scientific Congress, 08–18 of April 2014, Novosibirsk; International Science Conference "Siberian Optics-2014": sourcebook]. Novosibirsk, 2014, vol. 5, no. 1, pp. 128–134. (In Russian)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



**Пальчикова Ирина Георгиевна** – родилась в 1954 году, д-р техн. наук, доцент, профессор НГУ, заведующая лабораторией лазерных прецизионных систем в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН и профессор кафедры «Общая физика» НГУ. Область научных интересов: лазерные информационные технологии, компьютерная оптика, обработка изображений, микроскопия, цифровая фотография. E-mail: palchikova@gmail.com

**Palchikova Irina Georgievna**, (b. 1954) graduated from Novosibirsk State University in 1976, majoring in Physics and Applied Mathematics. She received her Doctor in Physics & Maths degree from Novosibirsk State University in 2000. Professor. Head of Laser Precision Technologies Laboratory of Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS, professor at NSU's General Physics sub department. Her leading research interests include laser information technologies, computer optics, image processing, microscopy.



**Латышов Игорь Владимирович**, канд. юрид. наук, доцент, начальник кафедры трасологии и баллистики УНК ЭКД федерального государственного казенного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации». Область научных интересов: криминалистика, судебная экспертиза. E-mail: latyшов@gmail.com.

**Latyшов Igor Vladimirovich**, Candidate of Science (Law), Associate Professor, the Head of the Chair of Traceology and Ballistics of the Training and Scientific Complex of Expert Criminalistic Activities of the Volgograd Academy of the Ministry of Interior of Russia. Research interests are criminology, forensics.



**Васильев Василий Алексеевич**, канд. хим. наук, ст. препод. кафедры трасологии и баллистики учебно-научного комплекса федерального государственного казенного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации». Область научных интересов: судебная экспертиза. E-mail: v-vasiliev@inbox.ru.

**Vasiliev Vasily Alexeevich**, Candidate of science (chemistry), Senior Lecturer of the Chair of Traceology and Ballistics of the Training and Scientific Complex of Expert Criminalistic Activities of the Volgograd Academy of the Ministry of Interior of Russia. Research interest is forensics.



**Кондаков Александр Владимирович**, канд. юрид. наук, ст. препод. кафедры трасологии и баллистики УНК ЭКД федерального государственного казенного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Волгоградская академия Министерства внутренних дел Российской Федерации». Область научных интересов: криминалистика, судебная экспертиза. E-mail: akondakov@rambler.ru.

**Kondakov Alexander Vladimirovich**, Candidate of Science (Law), Senior Lecturer of the Chair of Traceology and Ballistics of the Training and Scientific Complex of Expert Criminalistic Activities of the Volgograd Academy of the Ministry of Interior of Russia. Research interests are criminology, forensics.



**Смирнов Евгений Сергеевич** – родился в 1985 г., Сибирская государственная геодезическая академия, специальность 200203 «Опτικο-электронные приборы и системы» (2010), аспирантура НГУ по специальности 01.04.05 «Оптика», младший научный сотрудник в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Конструкторско-технологическом институте научного приборостроения СО РАН. Область научных интересов: обработка графических изображений, специальные методы обработки цифровых изображений. E-mail: the-first-person@yandex.ru

**Smirnov Evgenii Sergeevich**, graduated from Siberian state Academy of Geodesy in 2010, majoring in Optoelectronic Devices and Systems, postgraduate student of NSU in Optics. Junior researcher at the Technological Design Institute of Scientific Instrument Engineering SB RAS. Research interests are computer graphics processing, special processing of digital images.

*Статья поступила 18 мая 2015 г.  
Received May 18, 2015*

---

To Reference:

Pal'chikova I.G., Latyshov I.V., Vasil'ev V.A., Kondakov A.V., Smirnov E.S. Tsvetovoi analiz tsifrovyykh izobrazhenii pri proizvodstve ekspertnykh issledovaniy sledov vystrela [Color analysis of digital images in expert judgement of shot's trace]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii – Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2015, no. 2 (27), pp. 88–101. doi: 10.17212/1727-2769-2015-2-88-101