

ОБНАРУЖЕНИЕ НЕВИДИМЫХ СЛЕДОВ КРОВИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И ХЕМОМЕТРИКИ: ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

ХОЛЕВЧУК А.Г.

Аннотация: в статье анализируются современные методы гиперспектрального анализа и хемо-метрики, используемые в целях выявления невидимых следов крови в процессе проведения следственных действий. Подчеркивается необходимость внедрения в отечественную практику расследования преступлений рассматриваемых методов. Приводятся данные зарубежных исследований, свидетельствующие о рациональности методов для целей обнаружения невидимых следов крови на черном фоне.

Ключевые слова: исследование крови; гиперспектральный анализ; хемометрика; следы; обнаружение.

Выявление скрытых следов крови в процессе проведения неотложных следственных действий нередко представляет собой сложную задачу для следственных органов. В определенных ситуациях экспертные возможности по визуализации скрытых пятен крови ограничены. На сегодняшний день существует множество методов, позволяющих усилить контраст между пятнами и тканью на которой они содержатся. Определенные химические реагенты могут вызывать люминисцирующее действие при их распылении на объект, к примеру, люминол, блустар или флуоресцеин¹. Недостатки названных средств заключаются в том, что для их использования необходима темная среда. В частности, люминол может использоваться для обнаружения скрытых пятен крови на больших поверхностях (например, бетонный пол). Возможности люминола ограничиваются в ряде ситуаций, когда необходимо визуализировать следы крови на материале темного цвета. Кроме того, люминол должен использоваться в темном помещении².

В зарубежной литературе для выявления скрытых пятен крови на темном фоне предлагается использовать аналоговые³ и цифровые⁴ инфракрасные фотографии, включая применение нескольких фильтров, которые можно изменять вручную. Комбинирование методов позволяет выявлять скрытые пятна крови в процессе проведения процессуальных действий.

¹ См.: Young T. A photographic comparison of luminol, fluorescein, and bluestar // *Journal Forensic Identification*. 2006. 56(6). P. 906–912.

² См.: Budowle B, Leggitt J.L, Defenbaugh D.A, Keys K.M, Malkiewicz S.F. The presumptive reagent fluorescein for detection of dilute blood-stains and subsequent STR typing of recovered DNA // *Journal of Forensic Sciences*. 2000. 45(5). P. 1090–1092; Cheeseman R., DiMeo L.A. Fluorescein as a field-worthy latent bloodstain detection system // *Journal Forensic Identification*. 1995. 45(6). P. 631–646.

³ См.: Perkins M. The application of infrared photography in bloodstain pattern documentation of clothing // *Journal Forensic Identification*. 2005. 55(1). P. 1–9; Raymond M.A., Hall R.L. An interesting application of infrared re-flection photography to blood splash pattern interpretation // *Forensic Science International*. 1986. 31. P.129–194.

⁴ См.: Lin A.C.Y., Hsieh H.M., Tsai L.C., Linaere A., Lee J.C.I. Forensic applications of infrared imaging for the detection and recording of latent evidence // *Journal of Forensic Sciences*. 2007. 52(5). P. 1148–1150.

Для решения вопроса сохранения пятен крови на темном фоне, Р.Л. Шулер предложил применять инфракрасную гиперспектральную томографию¹. Гиперспектральные камеры автоматически записывают отражение света от диапазона волн преобразующееся в набор данных с монохромными изображениями для каждой волны. Определено, что увеличение контраста возможно при использовании гиперспектральных систем визуализации, работающих в диапазонах длин волн от 650 до 1100 нм и от 960 до 1650 нм. Голландскими криминалистами проверена результативность гиперспектральной системы визуализации в диапазоне длин волн от 400 до 720 нм для пятен крови на 12 различных объектах – тканях черного цвета. В рамках исследований разработаны недорогие, портативные, беспроводные системы для транспортировки на место преступления².

Используя гиперспектральную томографию на фоне ткани, можно визуализировать скрытые пятна крови, руководствуясь спектральными различиями. Для этого могут применяться различные методы обработки информации. Простейшим является просмотр изображений, базирующийся на знании механизма поглощения пятен крови тканью. Для увеличения спектральных различий, которые сложно обнаружить в отдельных изображениях, может рассчитываться соотношение двух волн. Однако это соотношение может подавить эффект переменной освещенности и топографических изменений, представив искаженную информацию. Для использования всей информации, содержащейся в наборе данных, могут использоваться новейшие методы хемометрики³; например, анализ основных компонентов (principal component analysis – далее PCA)⁴ и простые интерактивные само моделирующие смешанные анализы (SIMPLe-to-use Interactive Self-modeling Mixture Analysis – далее SIMPLISMA). PCA преобразует изначальные волны в новые вариации, именуемые главными компонентами. Они являются линейными комбинациями изначальных волн. Каждый новый компонент рассчитывает расхождение в наблюдаемых волнах, поскольку пятна крови и ткань, на которой они находятся – спектрально разные. Предполагается, что первые два компонента влияют на контрастность. Алгоритм SIMPLISMA выявляет пиксели со спектральным вкладом одного чистого компонента, присутствующие в гиперспектральном datacube⁵. Отдел гиперкуба чистых спектров отдельных компонентов дает их концентрационные профили.

¹См.: Schuler R.L., Kish P.E., Plese C.A. Preliminary observations on the ability of hyperspectral imaging to provide detection and visualization of bloodstain patterns on black fabrics // Journal of Forensic Sciences. 2012. 57(6). P. 1562–1569.

²См.: Edelman G.J., Van Leeuwen T.G., Aalders M.C.G. Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene // Forensic Science International. 2012. 225(1–3). P. 72–77; Edelman G.J., Gaston E., Van Leeuwen T.G., Cullen P.J., Aalders M.C. G. Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces // Forensic Science International. 2012. 225(1–3). P. 28–39.

³ Хемометрика – это химическая дисциплина, использующая математические, статистические и другие методы, включая формальную логику, во-первых, для конструирования и выбора оптимальных измерительных процедур и экспериментов, во-вторых, для извлечения важной и достоверной химической информации при анализе химических данных // см. цитата по: Древушак Т.Н. Введение в хемометрику: учеб. пособ. Новосибирск, 2013. С. 88.

⁴См.: Rodarmel C., Shan J. Principal component analysis for hyperspectral image classification // URL: https://engineering.purdue.edu/~jshan/publications/2002/SaLIS_2002_HyperImagesPCA.pdf (дата обращения: 15 января 2016 года).

⁵См.: Windig W., Guilment J. Interactive self-modeling mixture analysis // Analytical Chemistry. 1991. 63(14). P. 1425–1432.

Предполагается, что в гиперспектральной томографии концентрационные профили первых двух компонентов могут показать распределение крови и субстрата.

В 2015 году опубликовано исследование голландских ученых, поставивших перед собой задачу выявить скрытые пятна крови на одежде темного цвета с использованием гиперспектральной томографии и хемометрики¹. Для эксперимента использовались следующие объекты:

1. Ткани – 12 лоскутов черного цвета с пятнами крови. Материалы образцов, представленные в таблице 1. Все лоскуты вырезаны из одежды, бывшей в употреблении, перед непосредственным нанесением крови.

2. Раствор для разведения сыворотки полученных пятен крови водой. Используемая концентрация: 100%, 50%, 25%, 12,5% и 0%.

3. Футболка из хлопка (100%) с пятнами крови и несколькими кровяными растворами. Все используемые пятна крови не мочили, хранили в необходимых условиях, выдерживали в течение 1 недели до применения гиперспектральной томографии.

Таблица 1. Материалы 12 различных видов ткани

Образец	Материал
1	100% полиэстр
2	85 % полиамид, 15% эластан
3	100 % шерсти мериносо
4	100 % хлопок
5	97 % хлопок, 3% эластан
6	100 % нейлон
7	90 % полиамид, 10% эластан
8	65 % полиэстер, 32 % вискоза, 3% эластан
9	92 % нейлон, 8 % эластан
10	70% акрил, 30 % шерсть
11	100 % полиэстер
12	55 % полиэстер, 45 % шерсть

Все образцы подверглись исследованию с помощью гиперспектральной томографии с использованием CCD камеры (Pixelfly vga; PCO; Kelheim, Germany), 50 мм объектива и кристаллическим перестраиваемым фильтром (VariSpec VIS, 7 nanometer resolution; CRi; Woburn, MA) в диапазоне волн от 400 до 720 нм. Время экспозиции <15 с. Все компоненты встроены в беспроводную систему гиперспектральной томографии со встроенным компьютером (изображение 1). Время экспозиции, фокусировка, диапазон длины волны скорректированы на сенсорном экране. Для освещения применялись

¹См.: Edelman G.J., Van Leeuwen T.G., Aalders M.C. Visualization of latent blood stains using visible reflectance hyperspectral imaging and chemometrics // Journal of Forensic Sciences. 2015. № 60. P. 188-192.

ХОЛЕВЧУК А.Г.

специальные кольца белых, синих и голубых светодиодов, а также внешний галогенный источник света¹.

Изображение 1. Беспроводная система гиперспектральной томографии со встроенным компьютером, однотонной CCD камерой, 50-мм объективом и кристаллическим перестраиваемым фильтром.



Гиперспектральные изображения аналогичны совокупности изображений, каждое получено в узком спектральном диапазоне.

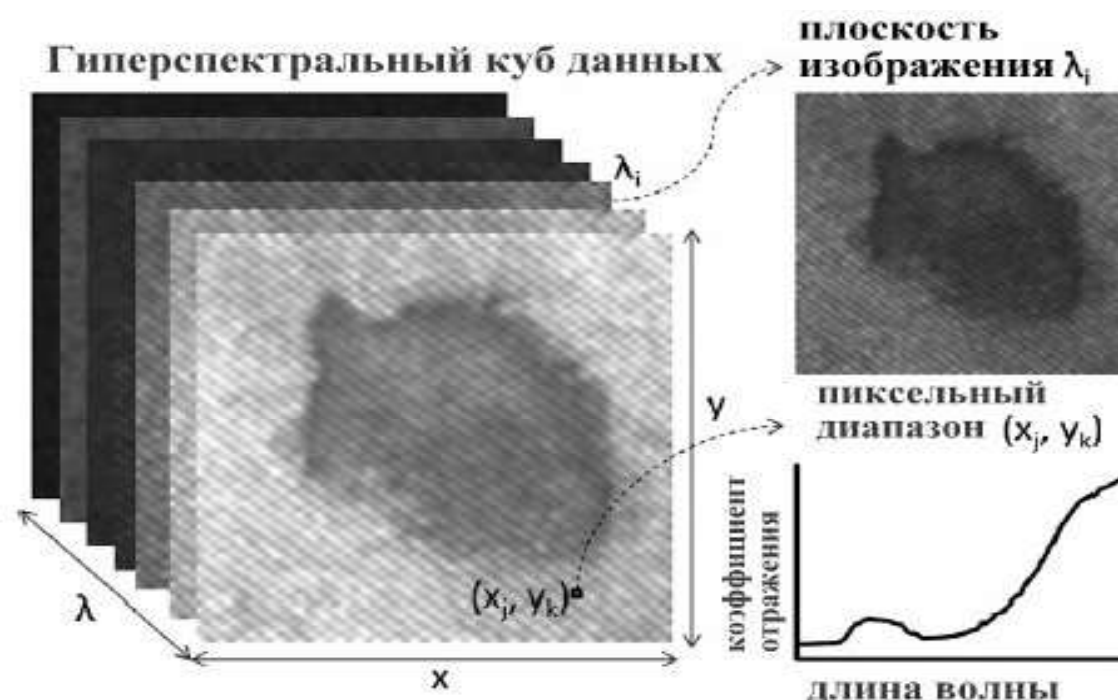
В результате набора данных получается трехмерный блок, так называемый гиперкуб, с двумя пространственными (X , Y), размерами и длиной волны (λ), размером².

Гиперкуб обеспечивает изображения каждой волны (λ_i) и спектр может быть получен из каждого пикселя (X_j, Y_k) (изобр. 2).

¹См.: Edelman G.J., Van Leeuwen T.G., Aalders M.C. Visualization of latent blood stains using visible reflectance hyperspectral imaging and chemometrics // Journal of Forensic Sciences. 2015. № 60. P. 188-192.

²См.: Edelman G.J., Gaston E., Van Leeuwen T.G., Cullen P.J., Aalders M.C. G. Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces // Forensic Science International. 2012. 223(1-5). P. 28-39.

Изображение 2. Гиперкуб, с двумя пространственными (X, Y), размерами и длиной волны(λ). Плоскость изображения, показанная для одной длины волны(λ_i) и спектр получаемый из одного пикселя. (X_j, Y_k)¹.



В целях выявления пятен крови на ткани черного цвета в эксперименте использовались четыре метода обработки², подвергшиеся сравнению с учетом критериев Р.А. Фишера⁵.

Для расчета критерия вручную выбиралась область, содержащая контрастные пятна крови. Менее контрастные пятна включались в определенную область напеснения. В ходе опыта авторы сравнили четыре метода анализа для каждого пятна крови.

Данные на изображении 3 указывают, что пятна крови видны на некоторых тканях (всего 12 образцов), однако их контрастность находится не на должном уровне.

Изображение 3 показывает результаты гиперспектральных изображений с различными методами, которые улучшили контраст между пятнами крови и их фоном.

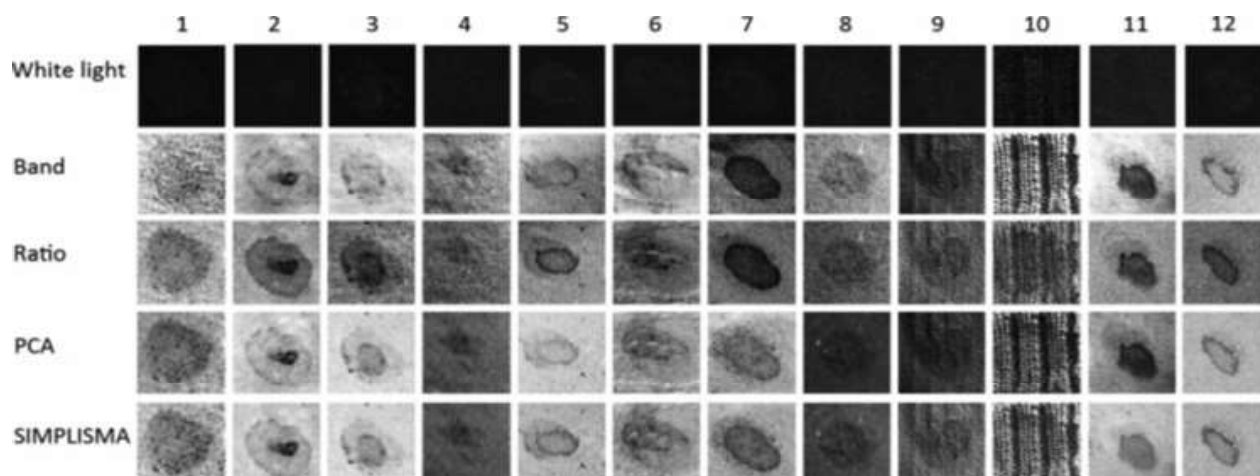
¹ Hyperspectral data cube - гиперспектральный datacube (компьютерная программа); image plane-плоскость изображения; Pixel spectrum-пиксель спектра; wavelength-длина волны; reflectance-отражение.

² 1 метод - диапазон (band); 2 метод - соотношение (ratio); 3 метод - анализ основных компонентов (PCA); 4 метод - простые интерактивные самодепирующие смешанные анализы (SIMPLISMA).

⁵ См.: Fisher R.A. The use of multiple measurements in taxonomic problems // URL: <http://res.chemometrics.ru/Tutorials/classification/Fisher.pdf> (дата обращения: 16.01.2016 г.).

Изображение 3.

12 образцов тканей и результаты различных гиперспектральных методов выявления.



В таблице 2 содержатся используемые в эксперименте критерии Р.А. Фишера для каждого метода и вида ткани, являющиеся объективным показателем сравнения контраста между пятном крови и его фоном. Наиболее значимый результат выявлен у 6 видов ткани: с использованием метода SIMPLISMA – в пяти видах ткани; с применением PCA – для одного вида.

Таблица 2. Критерий Фишера для 4 различных методов выявления (band, ratio, PCA, SIMPLISMA) и 12 различных видов ткани.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Band</i>	0.22	0.59	1.44	1.01	0.45	0.68	1.65	0.72	0.24	0.21	4.38	0.26
<i>Ratio</i>	2.49	2.68	1.91	0.47	1.67	1.02	8.03	0.39	0.36	0.30	5.05	2.31
<i>PCA</i>	2.76	0.95	1.74	0.81	1.38	1.28	2.79	0.47	0.23	0.17	3.73	1.65
<i>SIMPLISMA</i>	1.78	1.23	1.92	0.68	1.92	1.47	5.30	1.00	0.32	0.24	3.27	2.31

Таблица 3 показывает, длину волны, комбинацию длин волн, основные компоненты или концентрации изображений полученные в результате использования различных методов. Результаты свидетельствуют, что для изображений диапазона волн (band) и изображений соотношения (ratio), длины волн зависят от материала ткани. В

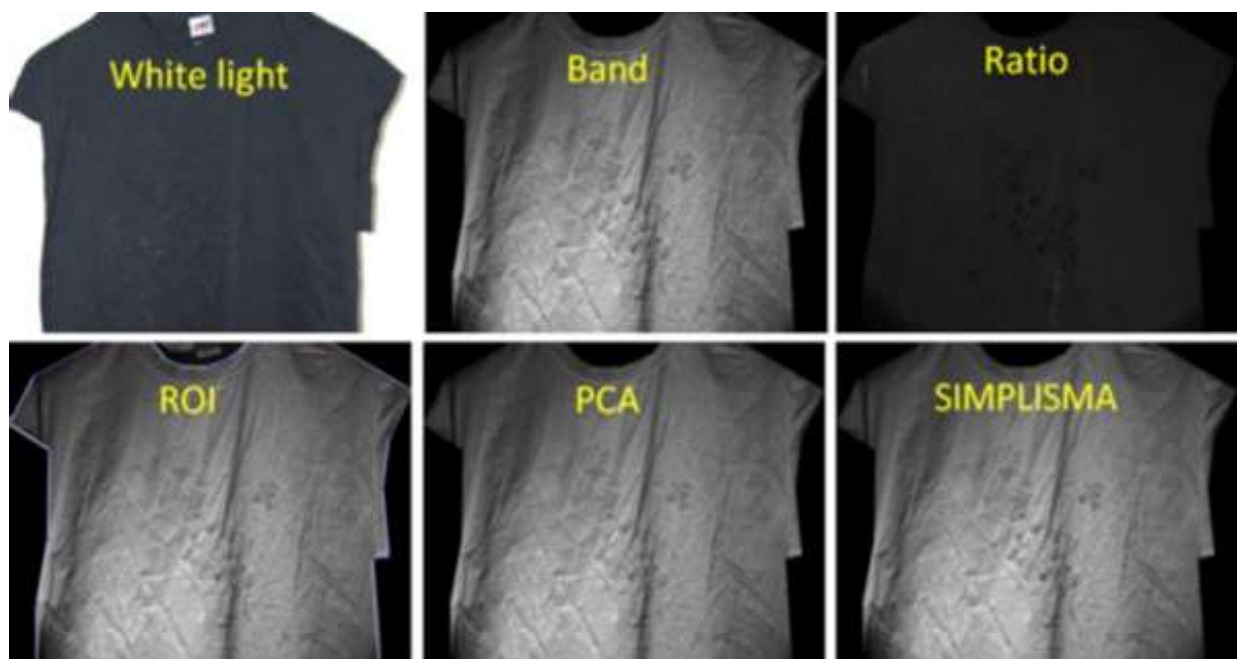
используемых видах ткани длины волн также различны. Это означает, что используемые на черном фоне ткани красители, оказывают влияние на процесс визуализации.

Таблица 3. Длины волн или компоненты, полученные в результате использования критерия Р.А. Фишера для различных методов (band, ratio, PCA, SIMPLISMA) и различных тканей (1-12).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Band	666	597	611	590	597	610	720	610	719	720	718	598
Ratio	678	646	416	424	665	654	674	411	574	607	662	665
	720	626	656	612	629	720	72	655	720	720	691	705
PCA	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2
SIMPLISMA	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2

Фотографии футболок с пятнами крови показаны на изображении 4. Несмотря на то, что видны несколько пятен крови, контраст остается плохо проявляемый. Изображение 4 свидетельствует об улучшении контраста при использовании гиперспектрального изображения и определенных методов обработки.

Изображение 4. Фотографии футболок черного цвета с разбавленными водой пятнами крови и пятнами крови без примеси. Контраст усилен путем регулировки цвета.



В процессе эксперимента в целях визуализации пятен крови применена портативная и беспроводная гиперспектральная система (400-720 нм), легко транспортируемая на место происшествия. Кроме того, единичные диапазоны длин волн

не требуют обработки, они могут транслироваться на экран камеры, поэтому субъекты расследования имеют возможность обнаружить скрытые пятна крови на объектах непосредственно на месте проведения следственных действий. Полагаем, указанная система может оптимизировать процесс проведения различных следственных действий, улучшив возможности поиска невидимых следов крови.

Библиографический список /References:

1. Цитата по: Дребушак Т.Н. Введение в хемометрику: учеб. пособ. Новосибирск, 2013. С. 22./ Quote: Grabowek tn. Introduction to chemometric: proc. benefits. Novosibirsk, 2013. P. 22.
2. Budowle B, Leggitt J.L, Defenbaugh D.A, Keys K.M, Malkiewicz S.F. The presumptive reagent fluorescein for detection of dilute bloodstains and subsequent STR typing of recovered DNA // *Journal of Forensic Sciences*. 2000. 45(5). P. 1090–1092.
3. Cheeseman R., DiMeo L.A. Fluorescein as a field-worthy latent bloodstain detection system // *Journal Forensic Identification*. 1995. 45(6). P. 631–646.
4. Edelman G.J., Van Leeuwen T.G., Aalders M.C.G. Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene // *Forensic Science International*. 2012. 223(1–5). P. 72–77.
5. Edelman G.J., Gaston E., Van Leeuwen T.G., Cullen P.J., Aalders M.C. G. Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces // *Forensic Science International*. 2012. 223(1–5).P. 28–39.
6. Edelman G.J., Van Leeuwen T.G., Aalders M.C. Visualization of latent blood stains using visible reflectance hyperspectral imaging and chemometrics // *Journal of Forensic Sciences*. 2015. № 60. P. 188-192.
7. Fisher R.A. The use of multiple measurements in taxonomic problems // URL: <http://res.chemometrics.ru/Tutorials/classification/Fisher.pdf> (дата обращения: 16.01.2016 г.).
8. Lin A.C.Y., Hsieh H.M., Tsai L.C., Linacre A., Lee J.C.I. Forensic applications of infrared imaging for the detection and recording of latent evidence // *Journal of Forensic Sciences*. 2007. 52(5). P. 1148–1150.
9. Perkins M. The application of infrared photography in bloodstain pattern documentation of clothing // *Journal Forensic Identification*. 2005. 55(1). P. 1–9.
10. Raymond M.A., Hall R.L. An interesting application of infrared reflection photography to blood splash pattern interpretation // *Forensic Science International*. 1986. 31. P.189–194.
11. Rodarmel C., Shan J. Principal component analysis for hyperspectral image classification // URL: https://engineering.purdue.edu/~jshan/publications/2002/SaLIS_2002_HyperImag esPCA.pdf (датаобращения: 15 января 2016 года).

12. Schuler R.L., Kish P.E., Plese C.A. Preliminary observations on the ability of hyperspectral imaging to provide detection and visualization of bloodstain patterns on black fabrics // *Journal of Forensic Sciences*. 2012. 57(6). P. 1562–1569.
13. Windig W., Guilment J. Interactive self-modeling mixture analysis // *Analytical Chemistry*. 1991. 63(14). P. 1425–1432.
14. Young T. A photographic comparison of luminol, fluorescein, and bluestar // *Journal Forensic Identification*. 2006. 56(6). P. 906–912.

HOLEVCHUK A.G.

**DETECTION OF INVISIBLE TRACES OF BLOOD WITH THE USE OF
HYPERSPETRAL ANALYSIS AND CHEMOMETRIC: FOREIGN EXPERIENCE**

Abstract: In article the author describes the modern methods of the hyper spectral analysis and a hemometrika used for identification of invisible traces of blood. The conclusion about need of introduction of new methods in domestic practice of investigation of crimes is drawn. The data of foreign experiment testifying to rationality of modern methods for detection of invisible traces of blood on a black background are provided.

Keywords: blood test; hyper spectral analysis; hemometrika; traces; detection.

Сведения об авторе:

Холевчук Артур Георгиевич, кандидат юридических наук, старший преподаватель кафедры гражданского и международного права, Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова. Адрес организации: г. Новороссийск, проспект Ленина 93. Адрес электронной почты: aholevchuk@mail.ru

About the author:

Holevchuk Artur Georgievich, Candidate of Law Sciences, senior teacher of "Civil and International Law" chair, Federal State Budgetary Educational Institution of higher education "Admiral Ushakov Maritime State University" 353912, Russia, Novorossisk, Lenin's avenue, 93. aholevchuk@mail.ru