

М. Н. Жижин, Н. Г. Брегман, А. В. Андреев, А. В. Говоров, А. А. Пойда,
А. Н. Поляков, В. А. Ильин

К выявлению угасших и утраченных текстов в древнерусской живописи методом цифровой мультиспектральной фотографии¹

Мы представляем результаты исследований фресок Дионисия в алтарной части собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря по методу цифровой мультиспектральной фотографии.

Метод мультиспектральной фотографии в исследованиях живописи и документов широко применялся специалистами по реставрации и консервации объектов культурного наследия как минимум с 1950-х гг. (см.: [7]). Одним из недавних примеров является исследование фресок XVIII в., посвященных последним дням Иисуса Христа на земле, в церкви в г. Ачи-Сант-Антонио (Сицилия, Италия) (см.: [11]).

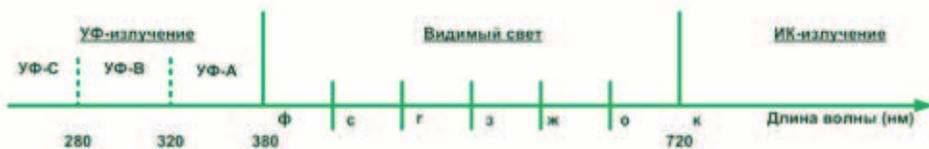
Наши результаты относятся к проблеме выявления текстов на свитках в руках святителей на южной стороне алтаря. Благодаря тому, что в последние 10 лет произошел переход на цифровые технологии, мы получили новый опыт применения метода мультиспектральной фотографии, используемого в астрофизике и дистанционном наблюдении Земли.

Цифровая мультиспектральная фотография. В черно-белой фотографии используется широкая панхроматическая полоса, в цветной – три окна в синей, зеленой и красной областях видимого

спектра, тогда как для мультиспектральной фотографии используют набор узких полос в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях (ил. 1). Благодаря этому стало возможным получить изображение объекта в невидимых для глаза частях спектра, а иногда и «заглянуть» под его поверхность (с увеличением длины волны свет проникает на все большую глубину), исключить метамеризм, когда различные по химическому составу пигменты вызывают ощущение одинакового цвета, а также обнаружить люминесценцию поверхностного слоя, возникающую вследствие биологического загрязнения или использования специальных пигментов.

Технике мультиспектральной фотографии в исследованиях произведений искусства посвящена обширная литература. В качестве примеров можно привести методику Британского музея, разработанную в рамках европейского проекта *CHARISMA* [13], способ прочтения палимпсеста Архимеда [14], методику исследования картины Леонардо да Винчи «Мона Лиза» в Лувре [12].

Высокая стоимость и техническая сложность использования цифровых фотокамер, рекомендуемых в перечисленных



1. Электромагнитные волны различных спектральных зон

выше работах зарубежных коллег, препятствуют практическому применению подобного оборудования в российских условиях [6]. Мы использовали относительно недорогую цифровую зеркальную фотокамеру (DSLR) полупрофессионального класса с доработкой, использующей метод, разработанный для астрофизических исследований [16]. Кремниевые матрицы в лучших современных цифровых фотокамерах мало отличаются от научных приборов по числу (20–60 Мп) и размеру (2–6 мкм) пикселей, чувствительности (ISO 50–102400) и уровню теплового шума [10]. Однако для коррекции цветового баланса в интересах основной массы потребителей производители устанавливают на них светофильтры, блокирующие УФ и ИК части спектра. Доработка камеры сводится к замене блокирующего светофильтра на оптически прозрачное стекло с сохранением функции автоматической фокусировки. В результате спектральная чувствительность камеры была расширена на интервал 340–1100 нм.

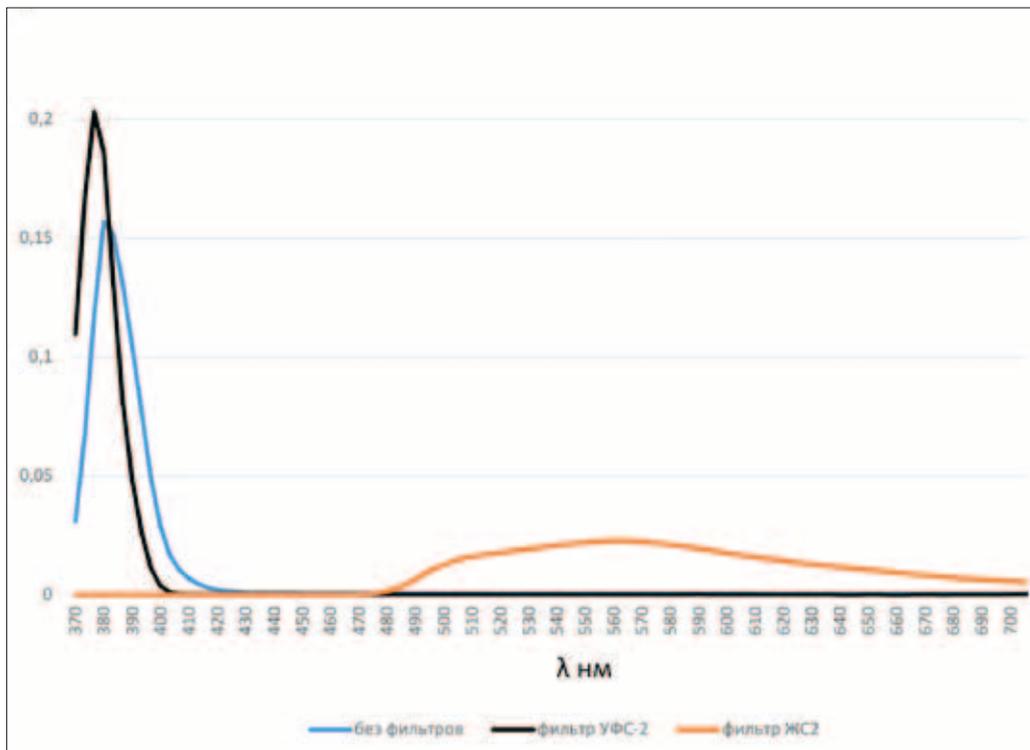
В перечисленных выше зарубежных методиках по мультиспектральному анализу используются как узкополосные осветители [13], так и оптические фильтры [12; 14]. Реализованный нами

способ совмещает оба подхода: освещение объекта узкополосными светодиодами и фильтрацию света (отраженного, рассеянного и переизлученного с поверхности объекта) с помощью оптических фильтров.

Технологический прорыв обусловил массовое производство недорогих светодиодных матриц с мощностью 1–100 Вт и спектром излучения от ближнего УФ до ближнего ИК с переменным шагом 50–100 нм. Мы разработали и изготовили мультиспектральный осветитель с двенадцатью такими светодиодами, спектры которых имеют примерно гауссову форму шириной ≈ 40 нм. На *ил. 2* приведены спектральные характеристики УФ-светодиода с пиком распределения в точке $\lambda \approx 382$ нм. Далее этот светодиод будет упоминаться в соответствии с маркировкой производителя как УФ 375 нм [1].

В наших экспериментах объект снимался в затемненном помещении с помощью доработанной цифровой зеркальной камеры *Canon 650D*, светочувствительная матрица которой имеет размеры $22,3 \times 14,9$ мм и содержит $5184 \times 3456 \approx 18$ Мп, каждый диаметром 4,3 мкм. Использовался объектив *Canon 50mm f/1.8*. Схема расположе-

76 Жижин М. Н., Брегман Н. Г., Андреев А. В., Говоров А. В., Пойда А. А., Поляков А. Н., Ильин В. А. К выявлению угасших и утраченных текстов в древнерусской живописи методом цифровой мультиспектральной фотографии // Сохранение культурного наследия. Исследования и реставрация = Preservation of Cultural Heritage. Research and Restoration : Мат-лы II Междунар. конф. в рамках V Международного культурного форума, СПб. 1–3 декабря 2016 г. / Сост. Ю. Г. Бобров. СПб. : Институт имени И. Е. Репина, 2018. С. 75–84



2. Нормализованные спектры (распределения вероятности) излучения УФ 375 нм: без фильтров и после фильтров УФС-2 и ЖС2.

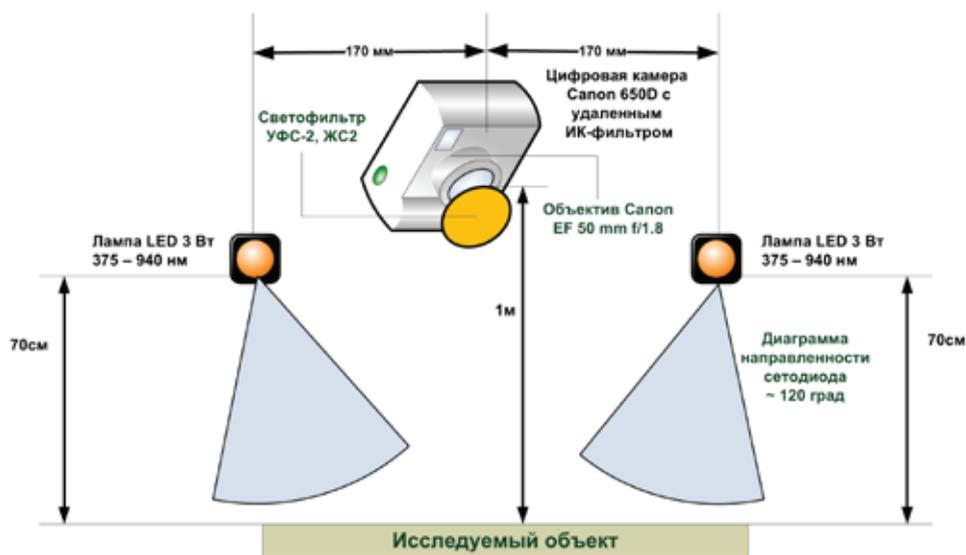
ния объекта (настенная живопись), мультиспектральных осветителей и цифровой камеры показана на *ил. 3*.

В исследованиях использовались светофильтры УФС-2 и ЖС2 (ГОСТ 9411-91) производителя ООО «Электростекло» [4]. Первый блокирует видимый свет и пропускает УФ. Второй, наоборот, блокирует УФ и пропускает видимый. Спектральные характеристики этих светофильтров приведены на *ил. 2*. Они были получены нами с помощью спектрофотометра *Eye-One i1* [19], который позволяет производить спектральный анализ в диапазоне от 370 до 700 нм с шагом 10 нм. Для чтения данных от

спектрофотометра использовалась программа *Spotread* [8].

Компьютерная обработка цифровых негативов осуществлялась с помощью разработанной нами программы, а также функции *imadjust()* из пакета для обработки изображений *MATLAB Image Processing Toolbox* [17] для выравнивания гистограммы контрастности изображения, а также для выравнивания яркости сравниваемых изображений. Также использовалась программа *Raw Photo Processor 64* [18].

Выявление текстов на свитках святителей. Представленные в предыдущем разделе технологические приемы



3. Схема расположения фотокамеры, мультиспектральных осветителей и объекта съемки

была применены в исследованиях росписи в алтарной части собора Рождества Богородицы. Собор был расписан Дионисием с сыновьями летом 1502 г. в смешанной технике фрески по сырой штукатурке (левкасу) водными красками с последующей доработкой темперой с органическими связующими, которая используется в иконописи.

Основное внимание было уделено анализу частично или полностью утраченных и угасших текстов на свитках в руках святителей на южной стороне алтаря – по рабочему музейному каталогу это изображения Василия Великого, Афанасия Александрийского, неизвестного святителя и Спиридона Тримифунтского. В путеводителе по живописи собора [5] эти композиции имеют номера соответственно VI.26–VI.29. Для композиций на фресках собора раз-

работана также система инвентаризации. Соответственно далее приводится двойная нумерация – номер композиции по путеводителю и в скобках ее инвентаризационный номер. Например, для фигур святителей на южной стене это нумерация VI.26(264.5)–VI.29(264.8), а для композиций на северной стене V.29(264.1)–V.26(264.4).

Анализ красочного слоя живописи проводился перед началом и в процессе реставрационных работ в 1984–1988 гг. под руководством О. В. Лелековой [2; 3]. В этом комплексном исследовании было показано, что «в алтаре неизменно встречается только зеленый земляной пигмент – глауконит» [3, с. 216; 18, с. 141]. И хотя в этих публикациях пигментный состав на текстах свитков явно не упоминается, естественно предположить, что он представляет собой тот же глауконит.

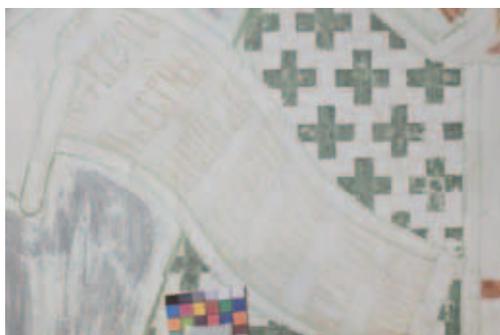
78 Жижин М. Н., Брегман Н. Г., Андреев А. В., Говоров А. В., Пойда А. А., Поляков А. Н., Ильин В. А. К выявлению угасших и утраченных текстов в древнерусской живописи методом цифровой мультиспектральной фотографии // Сохранение культурного наследия. Исследования и реставрация = Preservation of Cultural Heritage. Research and Restoration : Мат-лы II Междунар. конф. в рамках V Международного культурного форума, СПб. 1–3 декабря 2016 г. / Сост. Ю. Г. Бобров. СПб. : Институт имени И. Е. Репина, 2018. С. 75–84



4. Изображение свитка в руках святителя Спиридона Тримифунтского, полученные при освещении УФ 375 нм с фильтром УФС-2



5. Изображение свитка в руках святителя Спиридона Тримифунтского, полученные при освещении УФ 375 нм с фильтром ЖС2



6. V.26(264.4). Свиток святителя Кирилла Александрийского, видимый спектр



7. V.26(264.4). Свиток святителя Кирилла Александрийского, УФ 375 нм

После реставрации 1984–1988 гг. тексты на свитках на северной стене алтаря были прочитаны. На *ил. 6, 8, 10, 12* приведены изображения этих текстов, снятые в видимом спектре – они демонстрируют достаточную для прочтения контрастность текста на фоне левкаса.

В то же время контрастность текстов на свитках южной стены алтаря недостаточна для их достоверного прочтения, о чем говорят снимки, снятые в видимом спектре (*ил. 14, 16, 18, 20*).

Изображения же этих текстов (*ил. 15, 17, 19, 21*), сделанные с использованием УФ 375 нм, показывают существенное повышение контрастности текста. Такой же эффект получен и для свитков на северной стене (*ил. 7, 9, 11, 13*).

Для определения физико-оптических явлений, которые приводят к этому результату, мы использовали светофильтры УФС-2 и ЖС2. На *ил. 4–5* показаны изображения, выровненные по яркости, которые были получены с помощью этих фильтров.



8. V.27(264.3). Свиток святителя Григория Богослова, видимый спектр



9. V.27(264.3). Свиток святителя Григория Богослова, УФ 375 нм



10. V.28(264.2). Свиток святителя Иоанна Златоуста, видимый спектр



11. V.28(264.2). Свиток святителя Иоанна Златоуста, УФ 375 нм



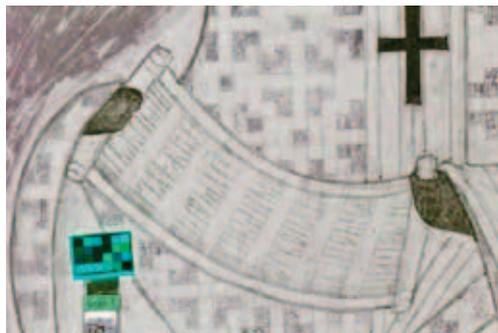
12. V.29(264.1). Свиток святителя Иакова, брата Господня, видимый спектр



13. V.29(264.1). Свиток святителя Иакова, брата Господня, УФ 375 нм



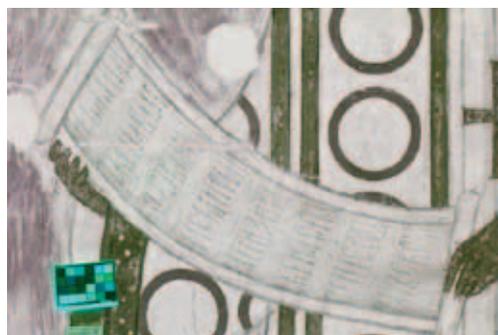
14. VI.26(264.5). Свиток святителя Василия Великого, видимый спектр



15. VI.26(264.5). Свиток святителя Василия Великого, УФ 375 нм



16. VI.27(264.6). Свиток святителя Афанасия Александрийского, видимый спектр



17. VI.27(264.6). Свиток святителя Афанасия Александрийского, УФ 375 нм

Эти изображения говорят о том, что повышение контрастности текста связано с отражением УФ-лучей на левкасе, в то время как следы букв, написанных зеленым пигментом глауконитом, их поглощают [7]. При этом возможна и УФ-люминесценция за счет биологических связующих и/или биологических загрязнений в микроструктуре поверхности левкаса, при том что глауконит не является люминофором [15]. Отметим, что в этом случае соответствующий сдвиг длин волн будет коротким, из УФ зоны 350–400 нм в фиолетово-синюю область

400–500 нм. Такая короткая люминесценция может давать эффект усиления контрастности текста. При этом изображение, полученное с фильтром ЖС2, показывает, что длинная люминесценция, из зоны 350–400 нм в зону длины волн более 500 нм, если и присутствует, то не приводит к повышению контрастности текста.

Итак, в данной статье представлены технологические приемы, с помощью которых удалось выявить тексты на свитках святителей. Это впервые дало возможность достоверного прочтения



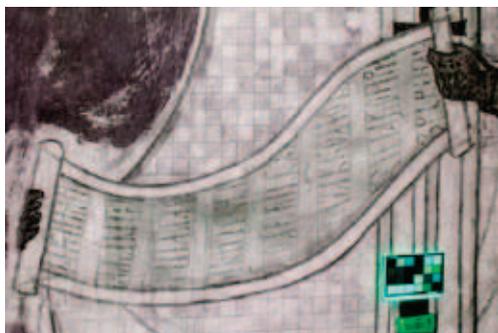
18. VI.28(264.7). Свиток в руках неизвестного святителя, видимый спектр



19. VI.28(264.7). Свиток неизвестного святителя, УФ 375 нм



20. VI.29(264.8). Свиток святителя Спиридона Тримифунтского, видимый спектр



21. VI.29(264.8). Свиток святителя Спиридона Тримифунтского, УФ 375 нм

подобных текстов в росписи собора Рождества Богородицы.

Метод мультиспектральной фотографии хорошо известен и применяется в технико-технологических исследованиях в процессе консервации и реставрации памятников культурного наследия, а также в искусствоведении. В последние годы этот метод получил бурное развитие благодаря переходу на цифровые технологии, что открывает новые возможности для исследований в области искусствоведения.

Подчеркнем, что представленные в этой статье технологические приемы относятся к бюджетным решениям: стоимость экспериментальной установки составляет около 500 тыс. руб, включая приобретение и доработку цифровой камеры, стоимость объективов, светодиодов и светофильтров, а также изготовление мультиспектрального осветителя. Установка мобильна и не требует от оператора специальных знаний за рамками репродукционной цифровой фотографии.

82 Жижин М. Н., Брегман Н. Г., Андреев А. В., Говоров А. В., Пойда А. А., Поляков А. Н., Ильин В. А. К выявлению угасших и утраченных текстов в древнерусской живописи методом цифровой мультиспектральной фотографии // Сохранение культурного наследия. Исследования и реставрация = Preservation of Cultural Heritage. Research and Restoration : Мат-лы II Междунар. конф. в рамках V Международного культурного форума, СПб. 1–3 декабря 2016 г. / Сост. Ю. Г. Бобров. СПб. : Институт имени И. Е. Репина, 2018. С. 75–84

Представленный набор технологических приемов, по нашему мнению, может стать основой для разработки новой методики выявления угасших и/или утраченных текстов (а также некоторых типов изображений) в живописи старых русских мастеров.

Мы выражаем благодарность директору Кирилло-Белозерского историко-архитектурного и художествен-

ного музея-заповедника (КБИАХМЗ) Михаилу Николаевичу Шаромазову за помощь в организации наших работ на территории Музея фресок Дионисия в Феропонтовом монастыре, а также сотрудникам филиала КБИАХМЗ «Музей фресок Дионисия» Игорю Сергеевичу Хоботову и Елене Николаевне Шелковой за помощь и участие в наших работах.

ПРИМЕЧАНИЕ

¹ Работы выполнены при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) № 16-07-01177.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Компания Артледс. [Эл. ресурс]. [URL]: http://www.artleds.ru/shop/CID_16.html (дата обращения 30.11.2016).
2. Лелекова О. В. Наумова М. М. Исследование красочного слоя росписи Рождественского собора Феропонтова монастыря // Феропонтовский сборник. Вып. 1. М. : Советский художник, 1985. С. 134-168.
3. Лелекова О. В. Наумова М. М. Исследование красочного слоя росписи Рождественского собора Феропонтова монастыря (продолжение) // Феропонтовский сборник. Вып. 2. М. : Советский художник, 1988. С. 231-238.
4. Оптика // Официальный сайт ООО «Электростекло». [URL]: <http://www.elektrosteklo.ru/Optics.htm> (дата обращения 30.11.2016).
5. Путеводитель по композициям стенописи Дионисия 1502 года в соборе Рождества Богородицы Феропонтова монастыря / Сост. Е. Н. Шелкова. М. : Северный паломник, 2005. 152 с.
6. Харитонов А. Г., Ткаченко Н. А. Сравнительный анализ аналоговых и цифровых технологий для выработки и применения технологических решений, обеспечивающих восстановление угасающих текстов архивных документов // Аналитический обзор ВНИИДАД. 2012. С. 52. [Эл. ресурс]. [URL]: http://archives.ru/sites/default/files/obzor_restore-text-archival-document.pdf (дата обращения 30.11.2016).
7. Эрастов Д. П. Основные методы фотографического выявления угасших текстов // М. ; Л. : изд-во Академии наук СССР, 1958. 52 с.
8. Argyll CMS. [Эл. ресурс]. [URL]: <http://argyllcms.com/doc/spotread.html> (дата обращения 30.11.2016).
9. Artists' Pigments. A Handbook of Their History and Characteristics / Ed. by Robert L. Feller, Vol. 1, National Gallery of Art, Washington, US. 1985. 300 p.
10. Clark R.N. Digital Camera Reviews and Sensor Performance Summary [Эл. ресурс]. [URL]: <http://www.clarkvision.com/articles/digital.sensor.performance.summary> (дата обращения 30.11.2016).
11. Cosentino A., Gil M., Ribeiro M., Di Mauro R. Technical photography for mural paintings: the newly discovered frescoes in Aci Sant'Antonio (Sicily, Italy) // Conservar Património. 2014. Vol. 20. P. 23-33. doi:10.14568/cp2015001.

12. *Cotte P., Dupraz D.* Spectral imaging of Leonardo Da Vinci's Mona Lisa: An authentic smile at 1523 dpi with additional infrared data [Эл. ресурс]. [URL]: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.101.7313&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения 30.11.2016).
13. *Dyer J., Verri G., Cupitt J.* Multispectral Imaging in Reflectance and Photo-Induced Luminescence modes: A User Manual. Version 1.0 // The British Museum. October 2013 [Эл. ресурс]. [URL]: <https://www.britishmuseum.org/pdf/charisma-multispectral-imaging-manual-2013.pdf> (дата обращения 30.11.2016).
14. *Easto R. L. Jr., Christensen-Barry W. A., Knox K. T.* Ten Years of Lessons from Imaging of the Archimedes Palimpsest. EIKONOPOHIA. Digital Imaging of Ancient Textual Heritage // Proceedings of the international conference Helsinki, 28–29 November, 2010 / Ed. by Vesa Vahtikari, Mika Hakkarainen & Antti Nurminen. Finnish Society of Sciences and Letters Commentationes Humanarum Litterarum 129. Ekenäs 2011. P. 3–26.
15. Glauconite Mineral Data. [Эл. ресурс]. [URL]: <http://webmineral.com/data/Glauconite.shtml> (дата обращения 30.11.2016).
16. *Honis G.* Removal of IR Cut Filter for Astrophotography & Infrared Imaging [Эл. ресурс]. [URL]: <http://dslrmodifications.com/rebelmod450d1.html> (дата обращения 30.11.2016).
17. MATLAB Image Processing Toolbox. [Эл. ресурс]. [URL]: <https://www.mathworks.com/help/images/ref/imadjust.html> (дата обращения 30.11.2016).
18. RAW PHOTO PROCESSOR (RPP). [Эл. ресурс]. [URL]: <http://www.raw-photo-processor.com/RPP/Overview.html> (дата обращения 30.11.2016).
19. X-rite PANTONE. [Эл. ресурс]. [URL]: <http://www.xrite.com> (дата обращения 30.11.2016).