

УДК 543.42:544.531:004.413

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Л.В. РУДИКОВА, Е.В. ЖАВНЕРКО, Н.Н. КУРЬЯН, Д.В. ЛАЗАРЬ

*Гродненский государственный университет им. Янки Купалы,
Ожешко, 22, Гродно, 230023, Беларусь*

Поступила в редакцию 31 августа 2015

Излагаются общие принципы формирования экспертных заключений на произведения художественной ценности с использованием лазерного метода спектрального анализа и предлагаемого специализированного программного обеспечения. Приводится пример непосредственного исследования, результаты которого демонстрируют описываемые принципы и подходы.

Ключевые слова: спектральный анализ, экспертное заключение, художественная ценность, модель данных.

Введение

Проверка и установка подлинности объектов художественной и исторической ценности являлась и является актуальным направлением при исследовании различных объектов мирового культурного наследия. В силу этого искусствоведческая экспертиза становится все более востребованным направлением в деятельности различных специалистов, которые занимаются исследованием такого рода объектов. Как правило, цель искусствоведческой экспертизы – определение ценности объекта, его исторической эпохи, степени сохранности и авторской принадлежности.

Специалисты выделяют два вида экспертиз: (1) атрибуция – исследование объекта с целью определения его ключевых характеристик, классификации и стоимости; (2) искусствоведческая экспертиза – установка подлинности объекта, т.е. соответствие исследуемого объекта некоторому заявленному набору характеристик (как правило, данный вид экспертизы подтверждает или опровергает результаты атрибуции).

Несмотря на то, что указанные экспертизы во многих аспектах пересекаются, определим их основные задачи. Итак, основные задачи атрибуции – это проведение классификации объекта – фиксация вида искусства или ремесла (начиная от глобальных различий, например, картина, скульптура, оружие и т.п.), определение жанра, эпохи, места изготовления, принадлежности к конкретной школе и т.д.; определение материалов, из которых изготовлен исследуемый объект, а также состава материалов (при возможности и необходимости); указание состояния объекта, его сохранности, наличия или отсутствия дефектов; установление времени изготовления объекта – (эпоха, период, год); определение стоимости исследуемого объекта.

С другой стороны, основными задачами искусствоведческой экспертизы являются: определение культурно-исторической ценности исследуемого объекта; установление степени уникальности объекта; установление авторства исследуемого объекта (автор неизвестен и его нужно идентифицировать; предположительно автор известен, но следует установить, на самом ли деле исследуемый объект им выполнен); определение оригинальности объекта (оригинал,

копия, авторская копия); фиксация переделок, реставрационных работ; установление подлинности объекта.

Отметим, что немаловажную роль в искусствоведческой экспертизе на современном этапе играет лазерный спектральный анализ [1], а также – специализированное программное обеспечение, которое может обрабатывать данные экспертиз объектов художественной ценности, накапливать результаты, формировать требуемые заключения, проводить анализ накопленных данных и т.д.

Об особенностях лазерного метода спектрального анализа

Метод лазерной искровой спектроскопии (LIBS – Laser Induced Breakdown Spectroscopy) имеет существенные преимущества над традиционными методами атомной эмиссионной спектроскопии, так как обеспечивает прямой анализ, возможность он-лайн анализа, одновременный многоэлементный анализ вместе с высоким пространственным разрешением и способностью послойного анализа. Кроме того, аппаратное и программное обеспечение метода может быть развито в полевом портативном варианте, что особенно важно для решения проблем окружающей среды.

Лазерный спектральный анализ является современной разновидностью классического эмиссионного атомного спектрального анализа. Эмиссионный атомный спектральный анализ состоит из следующих этапов [2]: (1) отбор представительной пробы, отражающей средний состав анализируемого материала или местное распределение определяемых элементов в материале; (2) введение пробы в источник излучения, в котором происходят испарение твердых и жидких материалов, диссоциация соединений и возбуждение атомов и ионов; (3) регистрация спектра (либо визуальное наблюдение) с помощью спектрального прибора; (4) расшифровка полученных спектров с помощью таблиц и атласов спектральных линий химических элементов. Обычно испарение пробы и возбуждение спектра ее паров происходит в одном и том же источнике света для спектрального анализа, например, в пламени, в электрических дуге или искре.

В основе количественного эмиссионного анализа лежит прямая зависимость, выраженная формулой (1) и связывающая концентрацию (плотность атомов) определяемого химического элемента (N_z) с интенсивностью регистрируемой атомной спектральной линии этого же элемента:

$$I = F_1 \Delta t (Lld) \Omega \frac{hc}{4\pi\lambda_0} A_{ij} g_i \frac{N_z}{U_z} \exp\left(-\frac{E_i}{kT}\right) \int_{-\infty}^{\infty} P(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

где F_1 – безразмерный коэффициент, учитывающий эффективность системы регистрации, Δt – временной интервал регистрации, Lld – объем зоны свечения плазмы, проецируемый на фотодетектор (L – толщина объема плазмы, l – высота пикселя ПЗС-детектора, d – ширина входной щели спектрографа), Ω – телесный угол сбора излучения плазмы, h – постоянная Планка, c – скорость света, λ_0 – длина волны максимума эмиссионной линии, A_{ij} – вероятность перехода с верхнего уровня i на нижний j , g_i – статистический вес уровня i , U_z – сумма по состояниям атомов химического элемента z , E_i – энергия верхнего уровня i , k – постоянная Больцмана, T – температура плазмы, $\int_{-\infty}^{\infty} P(\lambda) d\lambda = 1$, поскольку $P(\lambda)$ – нормализованный профиль спектральной линии.

Для обеспечения абляции материала анализируемых образцов в условиях микроанализа используется лазер на алюмо-иттриевом гранате, активированном ионами неодима.

Основные требования к программному обеспечению, связанному с формированием экспертных заключений

В настоящее время имеется программное обеспечение, которое поддерживает те или иные работы, связанные с проведением лазерной экспрессной экспертизы. Однако существует

необходимость в формировании общей базы результатов исследований по различным отраслям, а также в комплексной и разносторонней обработке данных. В силу этого актуальным является расширение универсальной веб-системы [2] в двух аспектах: создание хранилища с возможностью последующего анализа данных и разработка системы поддержки экспертизы объектов различной природы, в частности, объектов художественной ценности (произведения искусства, в частности, произведения живописи).

Предлагаемая универсальная система направлена на использование через веб-браузер, носит модульный характер и является расширяемой. Применительно к данной системе, следует отметить следующие особенности. Система также должна хранить расширенные данные об объекте исследования, его характеристиках, а также материалах, используемых при его создании. Следует отметить, что вся работа эксперта по подготовке и составлению отчета требует длительного времени и мало автоматизирована. Кроме того, отсутствует также и программное обеспечение, позволяющее получить необходимую информацию по объектам исследований и заключениям экспертов. В силу этого предлагаемая система и, в частности, модуль, связанный с формированием экспертных заключений, является актуальной разработкой.

На рис. 1 представлена диаграмма вариантов использования, которая отражает необходимые функции для поддержки работы, связанной с формированием экспертных заключений. Основными пользователями системы являются: Администратор, Эксперт, Зарегистрированный пользователь и Гость.

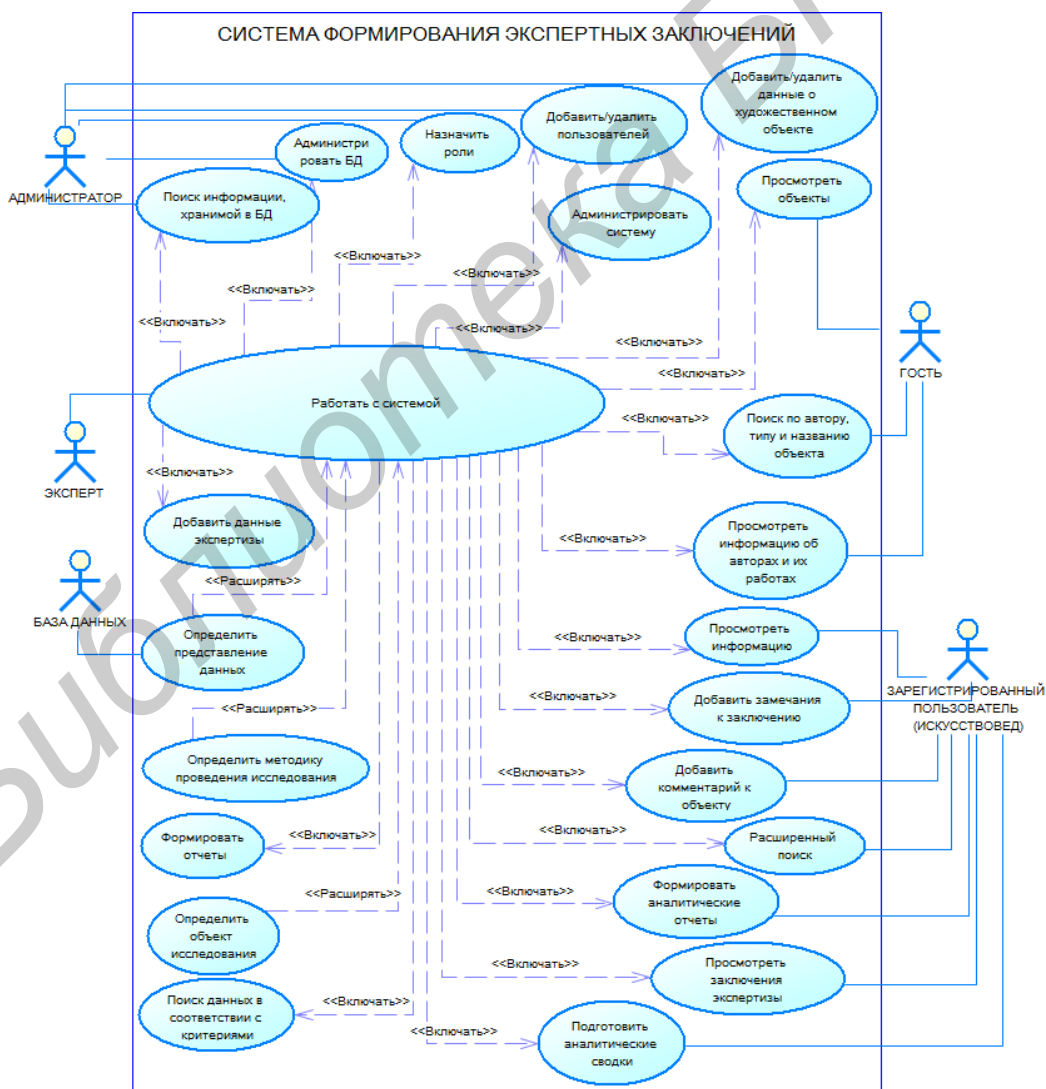


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования системы, связанной с формированием экспертных заключений

На рис. 2 представлен фрагмент концептуальной модели данных, который используется при реализации системы, связанной с формированием экспертных заключений. Для получения модели данных использована структурная методология, определены необходимые сущности, ограничения на данные, ограничения целостности и пользовательские ограничения.

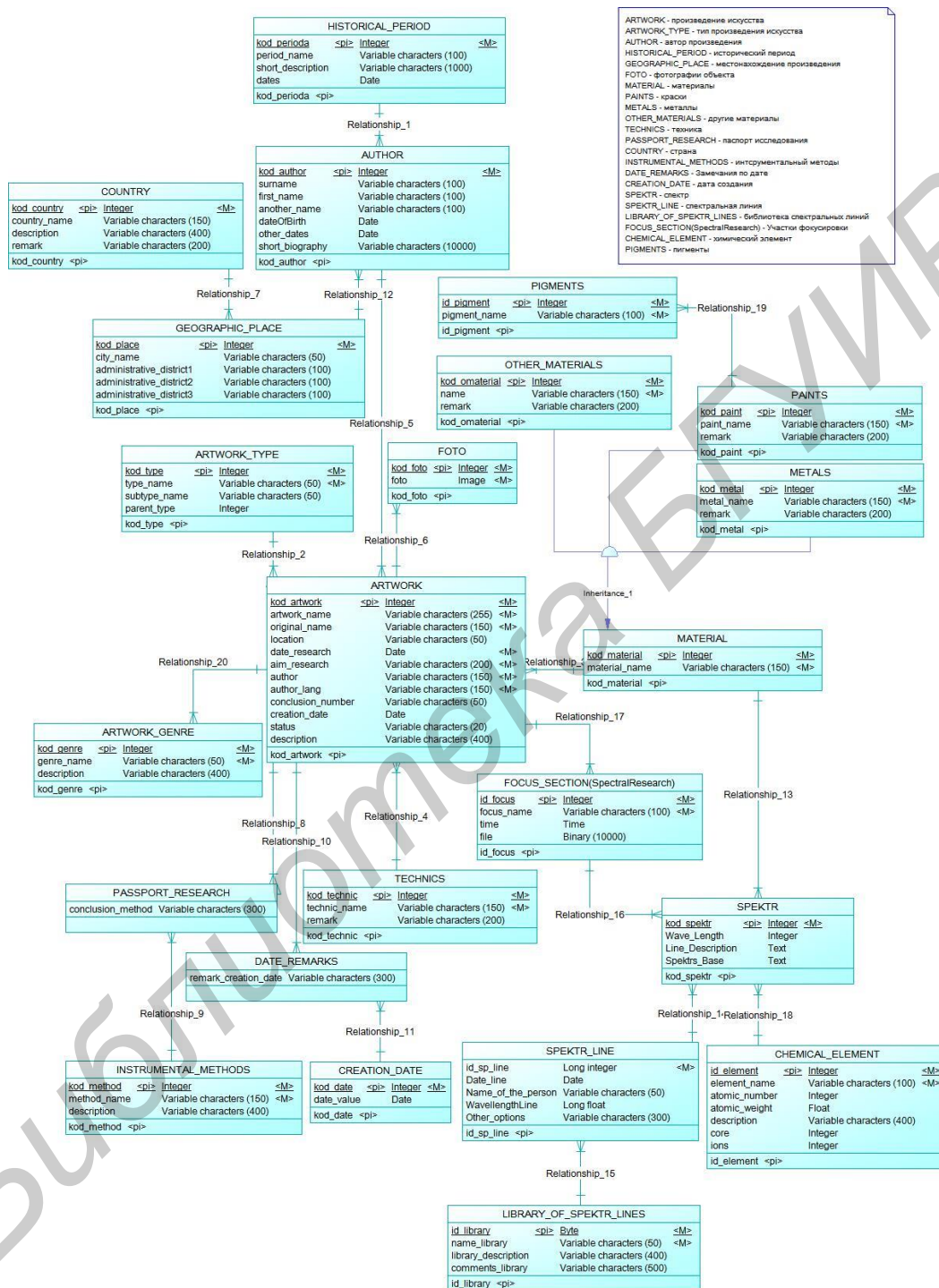


Рис. 2. Фрагмент концептуальной модели данных системы, связанной с формированием экспертных заключений

Следует отметить, что система предполагает поддержку проведения количественного и качественного спектрального анализа различных элементов. Для автоматизации процесса поиска и сопоставления характеристик элементов предусматривается, во-первых, наполнение библиотеки имеющимися базами линий (со всеми необходимыми характеристиками) с указанием учреждения

их регистрации, а также возможностью будущего пополнения за счет новых регистраций и исследований.

Общая архитектура реализации системы базируется на клиент-серверной трехуровневой архитектуре. Система представляется в виде трех уровней, имеющих минимальные связи между собой: база данных, серверное приложение и пользовательское приложение [3].

Сформулируем общие требования к проведению экспертизы художественных объектов с использованием метода LIBS и системы поддержки лазерной экспрессной экспертизы. В силу того, что общая система поддержки лазерной экспрессной экспертизы находится в стадии разработки, в настоящий момент для поддержки проведения экспертизы художественных объектов используются отдельные подсистемы (модули), в частности, визуализатор спектров, с помощью которого и проходит обработка полученных спектрограмм и система накопления экспериментальных данных.

1. Определеление цели и задач текущего исследования. Например, установление авторства художественного изделия, исторической эпохи, определение степени уникальности объекта и т.д.

2. Определеление участков фокусировки лазерного излучения, их фиксация на фотографии объекта.

3. Проведение анализа художественного объекта с использованием мобильной версии лазерно-эмиссионного спектрального анализатора с двух импульсным режимом генерации излучения.

4. Обработка полученных спектрограмм с использованием визуализатора спектров [2].

5. Работа с базами данных накопленных образцов, спектральных баз данных, данных о пигментах и т.д. Помещение результатов исследования в базу данных.

6. Получение итоговых заключений о проведенной экспертизе и представление в отчетном файле необходимого шаблона.

7. Формирование аналитических сводок, отчетов и трендов хранимых данных в базе. Обработка данных экспертиз и данных об объектах исследований с использованием OLAP-технологий и математических методов обработки больших объемов данных.

Пример экспертизы, проведенной с использованием лазерного метода спектрального анализа и специализированного программного обеспечения

В качестве объектов лазерно-эмиссионного анализа были взяты три произведения живописи: два произведения «Сдача крепости Абас-Аббад», (1832 г., холст, масло) и «Сдача крепости Эрзерум 27 июня 1829» (1834 г., холст, масло), местонахождение – г. Гомель, принадлежат известному художнику XIX века Януарию Суходольскому (19.09.1797–20.03.1875), а авторство Суходольского для третьего произведения (название – «Эпизод восстания 1830–1831 гг.», Польша, середина 19 ст., местонахождение – г. Гродно, см. рис. 3) необходимо установить или опровергнуть. Таким образом, целью исследования являлось подтверждение/опровержение авторства Януария Суходольского, определение возможных временных границ создания исследуемого произведения.

При исследовании произведений живописи, указанных выше, использовались следующие методы: лазерно-эмиссионный спектральный анализ и визуальное исследование. Следует заметить, что изучение картин с использованием метода лазерно-эмиссионного спектрального анализа при исследовании произведений живописи на подлинность имеет актуальное значение. Практически до первой трети XX века каждый автор использовал собственные краски, приготовленные на основе природных минералов, растительных, земляных красителей и т.п. Как правило, каждый автор хранил свои собственные рецепты приготовления красок. В силу этого, авторство художников прошлых столетий можно устанавливать по тем пигментам и смесям красок, которые они использовали при создании своих произведений искусства.

Спектральный анализ объектов живописи проводился в художественных музеях различных городов Республики Беларусь («Государственный историко-археологический музей» г. Гродно и «Дворцово-парковый ансамбль» г. Гомель). В полученных спектрограммах наблюдается незначительное отличие интенсивностей спектральных линий красок, которое может быть вызвано различной концентрацией химических соединений, входящих в состав пигментов.

Лазерное излучение фокусировалось в пятно диаметром ~ 1 мм. Исследования проводились при работе прибора в двухимпульсном режиме. Первый импульс формировал лазерно-плазменный факел, а второй его дополнительно возбуждал. Задержка между импульсами составляла 6 мс, частота следования лазерных импульсов 5 Гц. Ток накачки лазера составлял 22 А. Энергия сдвоенного лазерного импульса, при указанных параметрах накачки, составляла 28 мДж. Импульсное лазерное воздействие производилось по краскам различных цветов исследуемых картин, после чего данные отображались в окне программы QSp Client. Полученные спектры красок исследуемой картины неизвестного автора (рис. 3), сравнивались со спектрами красок подлинных образцов живописи Януария Суходольского и обрабатывались с использованием реализованного визуализатора спектров [2].

На рис. 4 представлена спектрограмма белой краски, которая использована для создания всех трех картин. Отметим, что нижний спектр – это подлинник Януария Суходольского (1797–1875 гг.) «Сдача крепости Аббас-Абад» (1832 г., холст, масло), верхний спектр также подлинник Януария Суходольского (1979–1875 гг.) «Сдача крепости Эрзерум 27 июня 1829 г.» (холст, масло), средний – исследуемый образец неизвестного художника (предположительно, Суходольского) «Эпизод восстания 1830–1831 гг.» (Польша, середина 19 ст.). Как видно из спектрограммы (рис. 4), в качестве белой краски для написания всех картин были использованы свинцовые белила с добавлением мела. На спектрограммах также видны следы меди, которые могли попасть на картины в процессе транспортировки при плотном контакте с объектами, изготовленными из меди или включающими ее в свой состав. Итак, спектрограммы, полученные в ходе исследования белого красочного слоя, идентичны.



Рис. 3. Исследуемый объект с участками фокусировки лазерного излучения на поверхности красочного слоя произведения

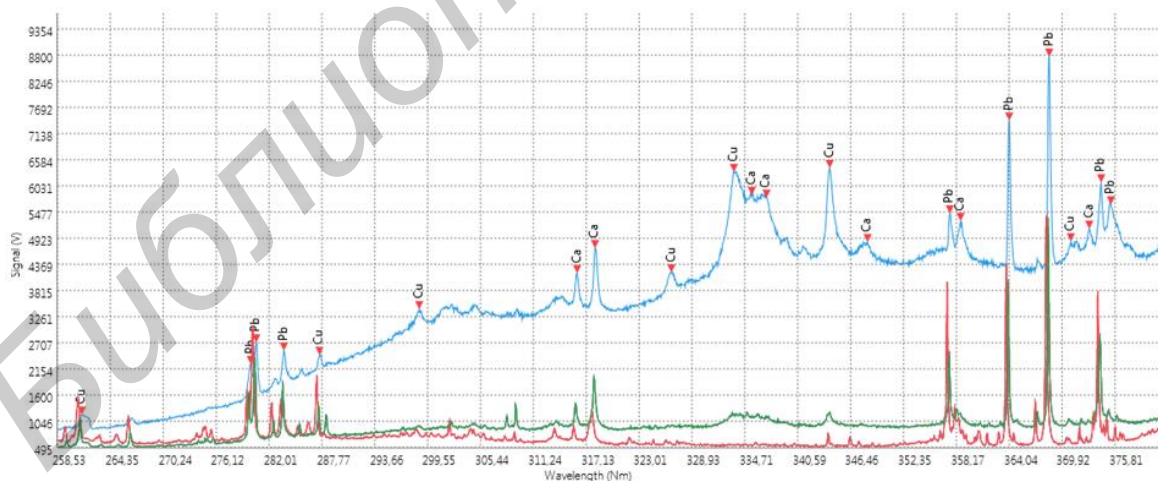


Рис. 4. Спектрограмма белого красочного слоя

Кроме того, проанализированы также образцы следующих красок, которые присутствуют на всех трех исследуемых картинах: темно-зеленый, черный и красный. Темно-зеленый фон красочного слоя исследуемых объектов свидетельствует о присутствии большого количества хрома, что указывает на использование в качестве зеленого пигмента смеси на основе оксида хрома Cr_2O_3 . Данный пигмент (Cr_2O_3 или $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в качестве художественной кроющей краски стал применяться в XIX веке. Наличие цинка в полученных спектрах указывает на присутствие в красочной пасте цинковых белил ZnO , которые в масляной

живописи стали использоваться с середины XIX века. Кроме того, в красочной пасте обнаружены также примеси, содержащие Mg, Ca. Исследование черного красочного слоя всех трех картин показало, что среди элементов, входящих в его состав, значительно доминирует кальций и присутствует магний. Поэтому можно сделать вывод о том, что в качестве черной краски использована слоновая кость. В сравнительно небольших количествах регистрируется также и медь, т.е. возможна добавка черного пигмента – оксида меди CuO. Для пигментов красного цвета основной красочный слой содержит ртуть – киноварь (HgS), разбавленную свинцовыми белилами и мелом с добавлением небольших количеств магния и алюминия. Спектрограммы, полученные в ходе исследования, оказались идентичными. Исключением является лишь факт различия в интенсивностях спектральных линий, что может быть вызвано расхождением в концентрациях химических соединений, которые входят в состав пигмента краски. Итак, исходя из проведенного технико-технологического исследования, можно сделать вывод о времени создания исследуемого произведения – приблизительно середина XIX века. Таким образом, результаты технико-технологического исследования не опровергают авторство художника Януария Суходольского.

Заключение

Изложены общие подходы, связанные с формированием и обработкой экспертных заключений на объекты художественной ценности. В качестве основных методов использованы лазерно-эмиссионный метод спектрального анализа для исследования объектов художественной ценности и структурная методология для разработки основных принципов и моделей общей системы, поддерживающей формирование экспертных заключений. В качестве примера продемонстрировано использование разработанного программного обеспечения (в частности, модуль-визуализатор спектров [2]) для анализа снятых спектрограмм исследуемых образцов. Несомненно, полученные результаты являются актуальными как для специалистов-экспертов, так и для научных работников, которые занимаются разработкой методологии структуризации и обработки данных.

Результаты работы получены в процессе выполнения ГПНИ «Разработка научно-методического обеспечения практического использования мобильных лазерных спектроаналитических систем и рентгенофлуоресцентного анализатора для экспрессной материаловедческой экспертизы в инновационных технологиях, предотвращении чрезвычайных ситуаций, экологии, криминалистике, сохранении историко-художественного наследия. Разработка и адаптация программного обеспечения для использования при проведении экспрессной материаловедческой экспертизы различных изделий и образцов».

FORMATION OF EXPERT OPINIONS USING THE LASER METHOD OF SPECTRAL ANALYSIS AND SPECIAL SOFTWARE

L.V. RUDIKOVA, E.V. ZHAVNERKO, N.N. KURIAN, D.V. LAZAR

Abstract

The general principles of expert opinions on works of artistic value with the use of laser method of spectral analysis and special software are given. An example of direct research, the results of which show the described principles and approaches is presented.

Keywords: spectral analysis, expert opinions, artistic value, data model, special software.

Список литературы

- 1 Burakov V.S., Raikov S.N. // Spectrochimica Acta. Part B. 2007. Vol. 62. P. 217–223.
- 2 Рудикова Л.В. О разработке системы для поддержки лазерной экспрессной экспертизы. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.
- 3 Рудикова Л.В. // Докл. БГУИР. 2015. № 1 (87). С. 47–53.