

Д. М. Омельченко

Вебинар «Выполненные в цвете начертания и техники их анализа» (Гамбург, 19 октября 2021 г.). Обзор докладов

19 октября 2021 г. в Гамбурге состоялся вебинар «Выполненные в цвете начертания и техники их анализа» (Coloured Inscriptions and Analytical Techniques), организованный Центром изучения рукописных культур (The Centre for the Study of Manuscript Cultures, CSMC). Участники поделились своим опытом применения аналитических методов в исследовании натуральных пигментов, использовавшихся с древнейших времен. Современные неинвазивные технологии анализа позволяют получить данные о структуре и кристаллохимическом составе компонентов пигментов. Эти сведения, в свою очередь, дают представление о происхождении красок и позволяют выбрать оптимальный способ консервации и реставрации артефакта.

Джанкарло Делла Вентура (профессор минералогии Университета Рома Тре, Рим) в своем докладе «Синие пигменты: прекрасный аргумент в пользу преподавания минералогии» рассказал о междисциплинарных перспективах темы «Пигменты» в учебных курсах. Докладчик напомнил, что использование красителей насчитывает уже 80 тыс. лет. Палитра древнейших людей состояла из четырех цветов: красного, желтого (основой обоим служила охра), черного (оксид марганца, сажа), белого (гипс, мел, глина, кости). Гораздо позже в палитре появился синий цвет. Природными источниками синего были: 1) азурит (карбонат меди), который широко распространен и может превращаться

в малахит; 2) лазурит (ляпис-лазурь), редкий минерал, встречающийся в Афганистане, Сибири и Чили, синий цвет ему дает сера; 3) бирюза (фосфат меди); 4) индиго.

Первым синтезированным синим пигментом в истории человечества была египетская лазурь («саегулеум» латинских источников), появившаяся около 3100 г. до н.э. Пигмент получали сплавлением кварцевого песка, оксида меди, извести и соды. В пигменте присутствует небольшое количество оксидов железа, алюминия и магния. Египетская лазурь, в отличие от близкого ей по цвету азурита, обладает высокой стойкостью. Технология получения довольно быстро проникла в Месопотамию, греческие полисы, к этрускам. В античности крупными центрами ее производства стали Рим и Неаполь.

У древних египтян были все исходные материалы для синтеза пигмента, однако успех их технологии заключался в использовании флюса (карбоната натрия). Это позволяло уменьшить температуру синтеза до 800–900 °С. Медные рудники были и на Синае, а кальций и кремний — во многих местах, но флюс встречался только в оазисе Вади-Нагрун.

Считалось, что трудоемкая технология стала причиной того, что в более позднее время египетская лазурь не использовалась. Однако именно этот пигмент был обнаружен на фресках виллы Фарнезе, созданных в эпоху Возрождения. Природный аналог египетской лазури (купрориваит) был обнаружен в 1923 г. в лаве Везувия.

Профессор Делла Вентура со студентами попытались воспроизвести древние технологии. Стехиометрия выглядит так: малахит $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ + каррарский мрамор CaCO_3 + кварцевый песок SiO_2 + флюс (Na_2CO_3). Сухая смесь нагревалась в керамическом тигле при температуре 850 °С в течение 78 часов, а затем охлаждалась в течение 48 часов. Итоговый продукт был подвергнут анализу с помощью порошковой рентгеновской дифракции и электронного микроскопа. В результате был обнаружен купрориваит с большим количеством кварца. Затем полученный продукт был повторно измельчен и вновь нагревался при той же температуре в течение 72 часов. Повторный анализ с помощью тех же методов выявил чистый купрориваит. Под микроскопом последний имеет ярко выраженную пластинчатую морфологию.

В восточной части Древнего мира был известен другой полученный путем синтеза пигмент — синий хань, или пурпурный хань. Это силикат бария и меди. Его появление связывают с династией Чжоу (1200–800 гг. до н.э.). Природный аналог этого пигмента (эфенбергерит) был обнаружен лишь в 1993 г. в месторождении марганца. Профессор и студенты попытались получить и этот пигмент. Стехиометрия выглядит так: малахит $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ + барит BaSO_4 + кварцевый песок SiO_2 + флюс Na_2CO_3 . Сухая смесь нагревалась в керамическом тигле при температуре 850 °С в течение 78 часов, а затем охлаждалась в течение 48 часов. Аналитические методы, аналогичные

предыдущему опыту, показали присутствие кварца, тенорита и барита. Тогда смесь была нагрета при температуре 900 °С, и анализ показал почти чистый «синий хань».

Армида Содо (сотрудница Лаборатории рамановской спектроскопии из Университета Рома Тре, Рим) выступила с докладом «Процессы деградации пигментов в росписи: обзор». Взятые ею примеры относятся к разным географическим регионам и историческим периодам: пещера Ласко, гробница Нефертари, помпейская «Вилла Мистерий», пещерные церкви VI–XIII вв. в Каппадокии, капелла Скровеньи, Сикстинская капелла, Берлинская стена, граффити Бэнкси в Иерусалиме. Для наглядной демонстрации процессов деградации А. Содо выбрала несколько групп минералов, которые служат основой для пигментов.

Минералы на основе железа, гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) и гётит ($\alpha\text{-FeOOH}$), использовались при изготовлении красной и желтой охры соответственно. В охрах присутствуют также различные глинистые минералы и примеси (кварц, карбонат кальция и т. д.). Цвета — от коричневого до красного, желтого и фиолетового — зависят от конкретной природы присутствующих оксидов/гидроксидов железа. В качестве пигментов они широко использовались в искусстве со времен плейстоцена до наших дней всеми культурами мира. В целом эти пигменты стабильны, а цвета доисторических росписей сохраняются за счет обызвествления красочного слоя. Однако при изменении условий среды в последнем также неизбежны изменения.

С помощью рамановской и ИК-Фурье-спектроскопии на участках красного цвета был обнаружен гематит, а на потемневших участках — магнетит Fe_3O_4 . В обычных природных условиях такое превращение не случается самопроизвольно, а происходит благодаря взаимодействию с восстановителем, например SO_2 . Этот загрязнитель, обычно присутствующий в воздухе, взаимодействует с оштукатуренной поверхностью, действуя как катализатор и способствуя процессу деградации, который вызывает превращение кальцита в гипс и Fe_2O_3 в Fe_3O_4 .

Самый распространенный пигмент на основе меди — египетская лазурь. Она присутствует в археологических памятниках Северной Африки, Европы и Ближнего Востока. Это медно-кальциевый силикат, аналог редкого природного минерала купориваита ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$). Несмотря на очень хорошую устойчивость, в некоторых настенных росписях была обнаружена, как предполагалось, деградировавшая египетская лазурь: она стала коричневатозеленой или даже черной. В январе 2004 г. группа ученых из Великобритании попыталась определить причину изменения цвета на изображениях в египетских гробницах¹. С помощью газовой хроматографии и масс-спектрометрии были зафиксированы следующие типы нехимической деградации египетской лазури: 1) коричневое окрашивание гуммиарабика по всему слою краски; 2) поверхностное обесцвечивание лака, при этом краска под ним по-прежнему

оставалась ярко-синей; 3) поверхностные загрязнения; 4) плохая кроющая способность и прозрачность египетской лазури способствуют потемнению; 5) искусственное старение красок показало, что связующее вещество (гуммиарабик) может изменить цвет настолько, что краска будет казаться черной. Однако исследование группы датских ученых² опровергло гипотезу о деградации египетской лазури. Присутствие атакамита ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$) было объяснено преднамеренным использованием пигмента, а не продуктом разложения египетской лазури.

Другой пигмент на основе меди — азурит. Это основной карбонат меди ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), природный синий пигмент, известный со времени IV династии в Египте. Он стал основным синим пигментом в средние века и эпоху Возрождения. В некоторых памятниках исследователями отмечается деградация азурита: он становится зеленым или коричневым и разлагается до малахита ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) и паратакамита/атакамита ($\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$)³.

Самый известный пигмент на основе ртути — киноварь (HgS). Это ярко-красный минерал, который в изобилии встречается в Испании и в некоторых местах Центральной Европы. Он давал насыщенный красный цвет и широко использовался в римских настенных росписях. После ультрамарина киноварь была самым ценным пигментом на античном рынке. Настенные росписи, выполненные киноварью, часто демонстрируют необратимое потемнение поверхности. Традиционно в археометрии это изменение связывают со светоиндуцированным фазовым переходом от красной α -киновари к черной β -киновари⁴. В настоящее время, даже если такая трансформация не исключается полностью, среди ученых в области консервации преобладает мнение, что ключевую роль в процессе потемнения играет хлор. Анализ почерневшей киновари на материалах культурного наследия выявил присутствие каломели (Hg_2Cl_2), хлорида ртути (HgCl_2), а также полиморфов $\text{Hg}_3\text{S}_2\text{Cl}_2$ ⁵.

Филипп Коломбан (директор Национального центра научных исследований, Париж) выступил с докладом «Неинвазивная идентификация красителей на месте. Комплементарность мобильных спектроскопий комбинационного рассеяния и рентгенофлуоресцентного анализа». Он рассказал о взаимодополняемости рамановской спектроскопии (РС) и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в «полевых» условиях. Иллюстрациями служили работы с наскальными рисунками, эмалированными предметами из металла, стекла и керамики со сложным декором. Приборы для идентификации красителей, кристаллических и амидных веществ применялись как с целью документирования объектов (датировка, состояние сохранности, подлинность), так и для выявления маршрутов обмена между центрами производства и использования.

Исследователь констатировал, что в результате использования до 1960-х гг. инвазивных методов анализа накопилось много данных по гончарной пасте, но очень мало — по глазури, эмали и целому ряду других материалов.

Скудость этих данных объясняется тем, что речь идет об очень редких предметах, которые просто не решались подвергать инвазивному анализу. С другой стороны, материальная и культурная ценность этих предметов, а также зачастую невозможность доставить их в стационарную лабораторию (таковы, например, «Книга часов Рохана» из Французской национальной библиотеки, витражи Сен-Шапель, наскальные рисунки Драконовых гор в Южной Африке) делают актуальной проблему использования мобильных приборов.

Для исследований на месте обычно используются следующие неинвазивные методы.

1. РФА (данные с 1990 г., но неизвестны глубина проникновения и размер пятна).
2. РС (данные с 1998 г.).
3. Оптическая спектроскопия: УФ и ИК-диапазоны / гиперспектральная камера (данные с 1985 г.).
4. Лазерно-искровая эмиссионная спектрометрия (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy, данные с 2005 г.).

В последнее время РС сочетается с РФА, поскольку они хорошо компенсируют недостатки друг друга. Преимуществом обоих является отсутствие физического контакта с образцом и при этом доступ ко многим зонам объекта измерения.

Преимущества РС в том, что она чувствительна к ковалентным связям материала (например, в керамике и стекле) и к хромофорам (окрашенным веществам), а также в возможности построения модели по осям XYZ. Недостатки же в том, что хорошие приборы громоздки и энергоемки, а для работы с ними необходимо знание физики твердого тела.

Недостатки мобильных приборов РФА следующие:

- 1) сложность выбора лазерного возбуждения при измерении окрашенного вещества (в зависимости от длины волны меняется и спектр);
- 2) сложно установить объем измерения, поскольку в связи с изменчивой стратиграфией и переменной энергии рентгеновских фотонов исследуемый объем для различных элементов неодинаков;
- 3) сложно подобрать мобильный прибор именно для анализа объектов культурного наследия, поскольку большинство из них ориентировано на разведку полезных ископаемых.

Впрочем, последнее поколение мобильных приборов РФА может подходить для отдельных этапов исследования объектов культурного наследия. Например, с помощью одного из таких приборов было установлено отсутствие марганца в кобальтовом цвете китайского кувшина XVIII в. из Фонтенбло. Это говорит о том, что кобальт был импортирован из Европы. В то же время с помощью РС установлено значительное присутствие в пигменте свинца, что характерно для европейской кобальтовой руды.

Конкретные примеры из практики Ф. Коломбана.

Способ окрашивания керамики	Метод идентификации
«Прозрачные цвета», получаемые в процессе электролитической диссоциации переходных металлов: меди, железа, марганца, кобальта	Элементарный анализ, волоконная оптика (Fiber Optics Reflectance Spectroscopy)
«Яркие цвета», получаемые с помощью дисперсии металлических наночастиц (золота, меди, серебра)	Элементарный анализ, волоконная оптика, РС, просвечивающая электронная микроскопия
Дисперсия уже окрашенных зерен пигмента с сильной красящей способностью (например, синяя эмаль и неаполитанский желтый, использовавшиеся и в живописи)	РС, РФА, просвечивающая электронная микроскопия

Сочетание РФА и РС позволили Ф. Коломбану конкретизировать данные письменных источников о проникновении европейской эмали в Китай и Японию. Так, было известно, что в 1685 г. французские иезуиты основали в Запретном городе Пекина мастерскую, продукция которой должна была обслуживать потребности императорского двора. В Японии аналогичную мастерскую основали португальские иезуиты в 1580–1640 гг. Прибывшие европейцы разработали технику эмали по керамике, а также импортировали рецепты и ингредиенты. Главной особенностью этой «новой» эмалированной керамики было использование непрозрачных свинцовых надглазурных красок. Цель китайских гончаров теперь заключалась в том, чтобы палитра керамических изделий была подобна той, что использовалась в масляной живописи: яркая, с хорошо разделенными цветными участками. Использование «прозрачных красок» до прихода европейцев (техника *wucaì*) создавала эффект акварели. В Японии влияние французов отразилось в технике *falangcai* (XVIII в.). Европейская рецептура наиболее ярко представлена в «неаполитанском желтом» (антимонат свинца, желтая сурьма), для идентификации которого лучше всего подходит РС.

Клаудия Конти (старший научный сотрудник Института культурного наследия, Милан) выступила с докладом «Неинвазивное выявление присутствия подповерхностных пигментов с помощью рамановской спектроскопии с микропространственным смещением». Она рассказала об относительно новом аналитическом методе, который продемонстрировал свой потенциал в реконструкции последовательности красочных слоев на раскрашенных скульптурах XVIII в., картинах художников XX в., в выявлении скрытых продуктов распада, а также в изучении и мониторинге процессов поглощения и диффузии при консервации.

Общая схема метода представлена на рис. 1.

Micro-SORS в настоящее время используется примерно 15 исследовательскими группами по всему миру, в том числе: при анализе полимеров и бумаги, в пищевой, судебно-медицинской и биомедицинской областях, в исследованиях полупроводников и солнечных батарей. В гуманитарных науках micro-SORS

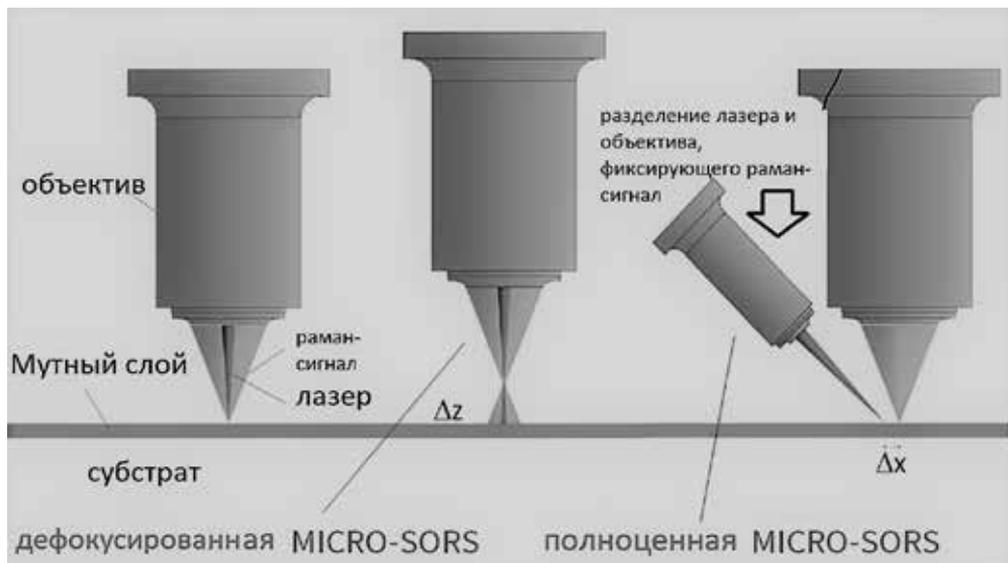


Рис. 1

эффективна при обнаружении текста, скрытого на обратной стороне папируса. Однако этот метод применим не ко всем многослойным системам. Ограничения следующие: высокогетерогенные образцы; большая площадь рассеяния верхнего слоя при небольшой площади рассеяния подслоя; чрезмерно высокое поглощение фотонов в образце; сильно шероховатые поверхности.

Эндрю Биби (профессор химии Даремского университета) в докладе «История голубого: выявление и понимание пигментов иллюминаторов» поделился некоторыми результатами проекта «Пигменты британских иллюминаторов VII–XV вв.: научное и культурное исследование» (2012–2021 гг., изучено более 300 книг и других объектов).

Проект предполагал, что анализ будет неразрушающий и бесконтактный, а взаимодействовать с образцом будет только неинтенсивный свет. Выяснилось, что большинство коммерческих приборов не подходит для изучения рукописных памятников, поскольку их настройки крайне чувствительны к перевозкам (образцы собирались по всей Великобритании). Не подходила и обычная волоконная оптика (Fiber Optics Reflectance Spectroscopy) — в силу высокой нагревательной способности торца, близко подходящего к образцу. В конечном итоге были выработаны критерии для отбора мобильного оборудования.

Характеристики раман-анализатора: две длины волны — 633 и 532 нм; способность фиксировать низкое волновое число — $<80 \text{ см}^{-1}$; умеренное разрешение: $\sim 10 \text{ см}^{-1}$ достаточно хорошо для большинства материалов; чувствительность при низкой мощности лазера: $<0,5 \text{ мВт}$, 100 Вт см^{-2} ; возможность перемещения света в микроскопе по отношению к образцу. Соответствие

этим требованиям позволило выявлять, например, разный состав чернил в глоссах.

Характеристики приборов оптической визуализации: ахроматическая линза с освещением и наблюдением в диапазоне 350–1000 нм; умеренное разрешение: >10 мегапикселей на страницах размером до А3; как можно больше длин волн (в настоящее время 11).

Характеристики приборов диффузного отражения: спектры отражения в диапазоне минимум 400–2500 нм; площадь образца ~ 1 мм², чтобы можно было анализировать конкретные области.

Характеристики волоконной оптики нового поколения: диапазон 350–1100 нм; низкая интенсивность света, попадающего на образец (<2 мВт/см² = 1250 люкс); уникальная конструкция триангуляции (расстояние от образца ~8 см; крепление на раме, что дает стабильность; область анализа ~2 мм; возможность работы при дневном освещении).

В ходе применения методов исследователи пришли к нескольким выводам: входящее излучение должно иметь длину волны, равную длине волны света; точечные измерения — наиболее действенный метод для обнаружения египетской лазури и некоторых органических пигментов; созданное изображение может выявить стертый текст, а также другие пигменты, что позволяет внести дополнения в географическую карту использования пигментов; время жизни флуоресценции египетской лазури — 100 мкс.

Особое внимание в ходе исследования было уделено синему пигменту. Интересными с точки зрения его использования оказались книги XIII в. Большинство синих участков содержат ляпис-лазурь, азурит и следы египетской лазури. Но, чтобы это понять, нужна разная техника. Так, РС показывает ляпис-лазурь и иногда египетскую лазурь, но не показывает индиго и азурит; волоконная оптика показывает азурит и ляпис-лазурь; флуоресцентный анализ особо чувствителен к египетской лазури.

Высокий научный уровень вебинара в сочетании с большим практическим опытом докладчиков не оставляют сомнений в важности подобного рода мероприятий для полидисциплинарных исследований в различных странах. Данные о составе пигментов крайне важны не только в деле реставрации и консервации, но и для понимания материальной стороны исторических источников, расширения представлений о роли природных материалов в развитии человеческих способностей и технологий.

References

¹ Daniels V., Stacey R., Middleton A. The blackening of paint containing Egyptian blue // *Studies in Conservation*. 2004. Vol. 49. Iss. 4. P. 217–230. <https://doi.org/10.2307/25487699>

- ² Hedegaard S. B., Delbey T., Brons C. et al. Painting the Palace of Apries II: ancient pigments of the reliefs from the Palace of Apries, Lower Egypt // *Heritage Science*. 2019. No. 7 (54). <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0296-4>
- ³ Švarcová S., Hradil D., Hradišlová J., Kočí E., Bezdika P. Micro-analytical evidence of origin and degradation of copper pigments found in Bohemian Gothic murals // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2009. No. 395. P. 2037–2050; Lluveras A., Boularand S., Andreotti A. et al. Degradation of azurite in mural paintings: distribution of copper carbonate, chlorides and oxalates by SRFTIR // *Applied Physics A*. 2010. No. 99. P. 363–375. <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5673-5>
- ⁴ Gettens R. J., Feller R. L., Chase W. T. Vermilion and Cinnabar // *Studies in Conservation*. 1972. No. 17. P. 45–69.
- ⁵ Cotte M. et al. Blackening of Pompeian cinnabar paintings: X-ray microspectroscopy analysis // *Analytical Chemistry*. 2006. No. 78. P. 7484–7492.

COTTE M. et al. *Blackening of Pompeian cinnabar paintings: X-ray microspectroscopy analysis* // *Analytical Chemistry*. 2006. No. 78. P. 7484–7492.

DANIELS V., STACEY R., MIDDLETON A. *The blackening of paint containing Egyptian blue* // *Studies in Conservation*. 2004. Vol. 49. Iss. 4. P. 217–230. <https://doi.org/10.2307/25487699>

GETTENS R. J., FELLER R. L., CHASE W. T. *Vermilion and Cinnabar* // *Studies in Conservation*. 1972. No. 17. P. 45–69.

HEDEGAARD S. B., DELBEY T., BRONS C. et al. *Painting the Palace of Apries II: ancient pigments of the reliefs from the Palace of Apries, Lower Egypt* // *Heritage Science*. 2019. No. 7 (54). <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0296-4>

LLUVERAS A., BOULARAND S., ANDREOTTI A. et al. *Degradation of azurite in mural paintings: distribution of copper carbonate, chlorides and oxalates by SRFTIR* // *Applied Physics A*. 2010. No. 99. P. 363–375. <https://doi.org/10.1007/s00339-010-5673-5>

ŠVARCOVÁ S., HRADIL D., HRADIŠLOVÁ J., KOČÍ E., BEZDIKA P. *Micro-analytical evidence of origin and degradation of copper pigments found in Bohemian Gothic murals* // *Analytical and Bioanalytical Chemistry*. 2009. No. 395. P. 2037–2050.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Д. М. Омельченко. Вебинар «Выполненные в цвете начертания и техники их анализа» (Гамбург, 19 октября 2021 г.). Обзор докладов // Петербургский исторический журнал. 2022. № 4. С. 174–183

Аннотация: В статье сделан обзор пяти докладов, прочитанных участниками международного вебинара, который состоялся в Центре изучения рукописных культур (Гамбург) 19 октября 2021 г. Вебинар был посвящен исследованию красок, изготовленных из минеральных пигментов и сохранившихся в исторических памятниках. Сотрудники научных институтов из Италии, Франции и Великобритании поделились своим опытом изучения исторических памятников с помощью современных неинвазивных технологий. В качестве примеров были взяты различные типы памятников: наскальная живопись, египетские гробницы, миниатюры рукописных книг, фрески, китайская вазапись, витражи, граффити. Большинство докладчиков рассматривали возможности рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), рамановской (РС) и ИК-Фурье-спектроскопии. Одно сообщение было посвящено результатам применения при исследовании произведений искусства новейшей технологии — рамановской спектроскопии с микропространственным смещением. Были даны химические характеристики использовавшихся с древнейших времен пигментов (охры, киновари, азурита и лазурита) и рассмотрены способы их

деградации. Особое внимание в ходе вебинара уделялось исследованиям синего пигмента в таких его вариантах, как египетская лазурь, синий хань, азурит, лазурит. Были представлены результаты экспериментов по изготовлению синих пигментов на основе исторических рецептов. Практические советы участников стали важной составляющей вебинара. Так, один из докладчиков поделился разработанной им классификацией методов, с помощью которых можно идентифицировать технологии нанесения красок на поверхность предметов. Другому докладчику многолетний опыт исследований иллюминаций позволил сделать вывод относительно того, какие именно типы мобильных приборов подходят для этого специфического объекта, каковы должны быть их технические характеристики.

Ключевые слова: исторические памятники, минеральные пигменты, неинвазивные технологии исследования, рентгенофлуоресцентный анализ, рамановская спектроскопия, ИК-Фурье-спектроскопия.

FOR CITATION

D. Omelchenko. Webinar “Coloured Inscriptions and Analytical Techniques” (Hamburg, 19 October 2021). Review of reports // Petersburg Historical Journal, no. 4, 2022, pp. 174–183

Abstract: This article gives an overview of five papers read by participants in an international webinar held at The Centre for the Study of Manuscript Cultures (Hamburg) on October 19, 2021. The webinar was devoted to a study of paints made from mineral pigments and preserved in historical monuments. Employees of scientific institutes from Italy, France and Great Britain shared their experience in studying historical monuments with the help of modern non-invasive technologies. Various types of historical monuments were taken as examples: rock art, Egyptian tombs, miniatures of handwritten books, frescoes, Chinese vases, stained glass, and graffiti. Most of the presenters considered X-ray fluorescence analysis (XRF), Raman spectroscopy and Fourier-transform spectroscopy. One presentation was devoted to the results of applying the latest technology – Micro-Spatially Offset Raman Spectroscopy – to the study of works of art. Chemical characteristics of pigments used since ancient times (ochre, cinnabar, azurite and lapis lazuli) were given and the ways of their degradation were discussed. The webinar paid special attention to studies of blue pigment in such variants as Egyptian Blue, Han Blue, azurite, and lapis lazuli. The results of experiments to make blue pigments based on historical recipes were presented. Practical advice from the participants was an important component of the webinar. For example, one of the presenters shared a classification of methods he had developed that could be used to identify paint technologies on the surface of objects. To another speaker, years of experience in illumination research allowed him to conclude what types of mobile devices are suitable for this specific object, and what their technical characteristics should be.

Key words: historical monuments, mineral pigments, non-invasive technologies of research, X-ray fluorescence analysis, Raman spectroscopy, Fourier-transform spectroscopy.

Автор: Омельченко, Дарья Михайловна — к. и. н., научный сотрудник Лаборатории комплексного исследования рукописных памятников Санкт-Петербургского института истории РАН.

Author: Omelchenko, Darya — Cand. of Sci (History), Researcher, Laboratory for Comprehensive Research of Manuscript Monuments, St. Petersburg Institute of History, Russian Academy of Sciences.

E-mail: dorothy_om@mail.ru