

УДК: 7.023

ББК: 85.103; 63.2

DOI: 10.18688/aa2212-08-56

Е. Ю. Терещенко, А. П. Балаченкова, Д. О. Цыпкин

Естественно-научные методы исследования красителей рукописно-книжных памятников (на примере чернил)¹

Практически уже общепризнанной практикой в историческом материаловедении и следоведении, а также в других дисциплинах, связанных с изучением объектов культурного наследия, является сочетание методов гуманитарных и аналитических исследований. Успешными примерами междисциплинарного подхода, позволившими получить новую значимую историческую информацию, можно считать многочисленные проекты по изучению керамических, каменных и металлических артефактов, реализуемые в целом ряде исследовательских групп во всём мире.

При этом из широкого спектра применяемых естественно-научных методов только некоторые могут считаться конгениальными историческим технологиям, т. е. позволяющими делать общие выводы о технологических приёмах, использованных древними мастерами. Но, поскольку стоящие перед исследователями задачи фундаментального или прикладного характера зачастую выходят за пределы историко-технологических вопросов (например, определение происхождения сырья для установления места производства и/или бытования предмета, анализ сохранности, выбор корректных реставрационных и консервационных мероприятий и пр.), возникает необходимость расширения набора получаемых характеристик за счёт использования более прецизионных методов.

Комплекс используемых естественно-научных методов в каждом конкретном случае является дискуссионным, поскольку ограничивается, с одной стороны, поставленными задачами, видом и состоянием изучаемого объекта, а с другой — приборной базой, находящейся в распоряжении исследовательской группы. Основное требование к целесообразности использования того или иного метода при подборе оптимального протокола естественно-научных исследований — это возможность получения набора характеристик исторических материалов, в совокупности являющихся необходимыми и достаточными для формирования нового историко-технологического знания.

Надо отметить, что исследование конкретного памятника обычно предпринимается для выявления его индивидуальных характеристик, включая технологические особен-

¹ Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФ (грант № 22-18-00615) в части анализа методов, используемых для скрининговых исследований исторических чернил, и тематического плана НИЦ «Курчатовский институт» в части анализа естественно-научных методов, потенциально применимых для изучения чернил.

ности, состояние сохранности и пр., и чаще всего используется для решения практических задач по его атрибуции, реставрации и консервации, а также возможного экспонирования [1; 13]. В то же время изучение большого массива объектов позволяет выявлять общие закономерности в развитии древних технологий в исторической ретроспективе.

В качестве примера можно привести комплексные исследования античной терракотовой головы, найденной в ходе подводных раскопок ИА РАН при строительстве Керченского моста. Изучение внутреннего строения этого археологического объекта методами синхротронной и нейтронной интроскопии позволило выявить следы ручной лепки, детальный анализ остатков пигментов дал информацию о её окраске, а радиоуглеродное датирование фрагмента смолы с её поверхности уточнило время создания — таким образом были выделены индивидуальные характеристики памятника. В то же время, сопоставительные исследования остатков свинцовой стяжки с внутренней поверхности скульптурного фрагмента с массивом литературных данных о составе изотопов свинца в других античных памятниках дали основания для гипотезы о возможном месте изготовления этого предмета [2, 3, 4].

Другими объектами, которые в силу своей специфики могут рассматриваться как источник большого массива данных о деятельности человека прошлого в самых различных аспектах, включая развитие технологий и изменение системы мышления, являются материалы рукописных памятников, в частности, красители, использовавшиеся для письма (чернила). С одной стороны, они представляют большой интерес как вещество, которым выполнялись тексты [7], а с другой — являются материальными следами деятельности человека. Кроме того, неоспоримым преимуществом в изучении чернил является достаточно хорошая сохранность большого числа исторических документов и рукописно-книжных памятников, что даёт возможности для решения широкого спектра вопросов — от задач естественно-научной материаловедческой направленности и прикладных вопросов сохранности памятников до фундаментальных проблем истории письменной культуры.

По ряду объективных и субъективных причин, исследователи чаще всего концентрируются на изучении красителей отдельных памятников. Тем не менее, постепенно разрабатываются исследовательские протоколы (т.е. устойчивые сочетания методов) для максимально эффективного изучения чернил, в том числе на больших массивах памятников [8]. Так, в ряде стран были созданы специальные исследовательские центры, имеющие собственные программы по изучению исторических чернил, например, Центр изучения рукописных культур Гамбургского университета (Centre for the Study of Manuscript Cultures — CSMC) [10], Центр визуального и материального анализа культурного наследия (Centre for Image and Material Analysis — CIMA) [18]. Надо отметить, что в практике российских специалистов проекты по изучению красителей и чернил сосредоточены в основном на решении реставрационно-консервационных задач, кодикологическом исследовании или визуализации текстов отдельных памятников. В силу данных обстоятельств, информационный потенциал чернил древнерусских рукописей как исторического материала раскрыт далеко не полностью. Исправление этой ситуации стало одной из причин создания на базе РНБ и НИЦ «Курчатовский институт» в 2020 г. «Центра естественнонаучных исследований объектов культурного наследия», призван-

ного развивать фундаментальные исследования на материале больших массивов рукописно-книжных памятников.

Возвращая внимание к существующим и разрабатываемым протоколам исследований чернил, надо отметить, что в комплексных исследованиях привлекаются методы анализа как неорганических, так и органических составляющих. Это связано с тем, что традиционные составы чернил, как европейских, так и русских, на протяжении длительного времени включали в себя многочисленные органические соединения (танины из коры различных деревьев и/или галловых орешков, органические кислоты или их производные, а также, камедь, имбирь, патоку, живицу, сажу) и неорганические компоненты (квасцы, ржавое железо или железный купорос) [6]. Причём с течением времени рецепты достаточно сильно изменялись — одни вещества вводились в состав, другие исключались, в зависимости от местности и исторического периода.

В настоящее время в исследованиях исторических чернил используется более десятка естественно-научных методов, и каждый даёт определённую информацию о чернилах [8]. При этом все применяемые методы можно подразделить на *скрининговые*, т. е. позволяющие проводить анализ большого массива памятников для получения интегральной информации, и *прецизионные*, отличающиеся высокой локальностью.

Большинство этих методов находится на стадии, предшествующей основным исследованиям, а именно — в фазе экспериментальных или тестовых работ, в которой определяются границы применимости метода, возможная степень детализации параметров изучаемых материалов и пр. Тем не менее, существует группа методов, применение которых для исследования письменных памятников в сочетании с подходами и практиками, выработанными гуманитарными дисциплинами, способно дать новую историческую или историко-технологическую информацию. К ним можно отнести упомянутые выше скрининговые методы, т. е. методы, предоставляющие возможность провести первичные неразрушающие исследования всей рукописи, (поскольку они обеспечивают целостный обзор листа рукописи или позволяют оперативно собрать об объекте исследования массив интегральных данных):

1. *Спектральная/гиперспектральная/мультиспектральная визуализация* (в литературе также встречаются названия «оптическая волоконная спектроскопия отражения», «спектрозональная рефлектография» и пр.) используемая для анализа оптической проницаемости чернил в широком спектральном диапазоне [5]. Отметим, что железосодержащие чернила показывают существенно лучшую проницаемость в длинноволновой области по сравнению с углеродсодержащими и так называемыми «смешанными чернилами», полученными путём добавления к углеродсодержащим чернилам (сажевым или угольным) растительных (приготовленных из экстрактов танина) [14, 20, 22], а наибольшей проницаемостью в относительно больших длинах волн обладают растительные чернила без добавления железа.
2. *Элементный анализ*, чаще всего портативный *рентгенофлуоресцентный*, для качественной оценки элементного состава чернильных штрихов [15; 23].
3. *Оптическая спектроскопия* — *ИК-Фурье* и *рамановская* (комбинационного рассеяния), которая используется для идентификации химических связей, а по

ним — определения соединений, находящихся в составе чернильных следов [9; 18].

Отметим, что методами, используемыми для скрининга рукописей, исследования выполняют в зоне хранения, тем самым делая возможным охват большого массива рукописных памятников.

Кроме того, существует обширный класс прецизионных методов, которые привлекают для расширения объёма данных, извлекаемых из исторических чернил, но большинство из них пока находится на стадии пробных экспериментов или отработки методики для корректного анализа полученных данных:

1. Метод *PIXE* (proton induced X-ray emission) для количественного анализа основного и примесного состава чернил, а также картирования распределения элементов [11; 12]. Среди результатов, полученных данным методом, можно отметить уточнение вида инструментов, использованных для разлиновки [16].
2. Для анализа основного состава и микропримесей также применялись методы *атомно-абсорбционной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой* [28], однако значительным недостатком этих методов является деструктивный характер пробоотбора.
3. Как перспективные методы для выявления наличия органических компонентов и их идентификации с высокой точностью рассматриваются различные виды *хроматографии с масс-спектрометрией* [17; 25].
4. Различные виды *электронной микроскопии* для изучения чернильных следов с различной степенью детализации, вплоть до выявления присутствия микро- и наночастиц гематита и сажи, а также определения основного элементного состава в локальных областях [27].
5. *Рентгеновская абсорбционная спектроскопия (XAS/XANES/EXAFS)* для уточнения валентного состояния атомов железа (но работы пока выполняются на модельных образцах [26]).
6. Среди успешных результатов применения рентгеновских методик можно также выделить *рентгеновскую/синхротронную томографию*. И хотя для чернил это направление анализа носит скорее методический характер (как, например, для карбонизированных свитков из Геркуланума, в которых удалось выделить только отдельные буквы, что явно недостаточно для кодикологических исследований [24]), для изучения рукописно-книжных памятников в целом это очень перспективное направление. Так, по рентгено-томографическим данным о внутренней структуре пергаменной рукописи Деяний апостолов (Glazier Codex MS G. 67) из библиотеки Моргана [19], исследователи не только показали возможность идентификации в закрытом манускрипте отдельных листов с нарушенной сохранностью и выявления текста на центральных листах, но и детально визуализировать особенности переплета.

Одна из причин редкого использования этих методов связана с тем, что далеко не всегда приборы, необходимые для таких исследований, можно транспортировать к местам хранения памятников. Это обстоятельство значительно сужает объём и вид объём

ектов для изучения, требуя перехода к фрагментам рукописей или пробоотбору, особенно в случае использования таких установок класса мега-сайенс, как синхротрон или высокопрецизионный электронный микроскоп.

Таким образом, при изучении исторических чернил рукописных памятников в настоящее время основными инструментами исследования рукописей являются скрининговые неразрушающие методы [8; 20], оборудование для которых может быть размещено в зонах хранения рукописей. С их помощью решаются вопросы как фундаментального, так и прикладного характера. В первую очередь, это морфологический анализ чернил, в частности, определение присутствия сажи, выявления следов органических соединений, определение микроструктурных особенностей чернильных областей и их взаимосвязь с состоянием носителя текста, уточнение валентного состояния железа и пр. Во-вторых, это определение состояния сохранности чернил для выбора оптимальных реставрационно-консервационных мероприятий, выявление причин ускоренной деградации носителя и т. п.

Тем не менее, исходя из современных тенденций развития аппаратуры и методологических подходов, совершенно не исключено расширение круга аналитических методов, которые будут давать принципиально новую информацию, необходимую не только для решения прикладных, но и фундаментальных задач, а именно — изучения развития письменной культуры во времени, не только на уровне технологий материалов, но и в их взаимосвязи с изменениями эстетических и функциональных запросов к рукописному тексту.

Литература

1. Васько Д. С. О двух пеликах керченского стиля в собрании Государственного Эрмитажа // Актуальные проблемы теории и истории искусства: сб. науч. статей. Вып. 5 / Под ред. А. В. Захаровой, С. В. Мальцевой, Е. Ю. Станюкович-Денисовой. — СПб.: НП-Принт, 2015. — С. 107–118. <https://doi.org/10.18688/aa155-1-10>
2. Грешиников Э. А., Анциферова А. А., Дороватовский П. В., Кашкаров П. К., Преснякова Н. Н., Малыхов С. Н., Ольховский С. В., Светогоров Р. Д., Яцишина Е. Б., Ковальчук М. В., Макаров Н. А. Аналитические исследования пигментов античной скульптурной терракоты, найденной в Керченской бухте // Кристаллография. — 2019. — Т. 64, № 6. — С. 999–1006.
3. Кашкаров П. К., Ковальчук М. В., Макаров Н. А., Яцишина Е. Б., Грешиников Э. А., Анциферова А. А., Волков П. А., Говор Л. И., Ольховский С. В., Преснякова Н. Н., Светогоров Р. Д. Происхождение свинца в составе 54 античной керамической скульптуры из Керченской бухты // Кристаллография. — 2021. — Т. 66, № 1. — С. 159–168.
4. Ковальчук М. В., Яцишина Е. Б., Макаров Н. А., Грешиников Э. А., Анциферова А. А., Гунчина О. Л., Кашкаров П. К., Коваленко Е. С., Мурашев М. М., Ольховский С. В., Подурец К. М., Тимеркаев В. Б. Томографические исследования терракотовой головы из Керченской бухты // Кристаллография. — 2020. — Т. 65, № 5. — С. 832–838.
5. Ляховицкий Е. А., Цыпкин Д. О. Инфракрасная визуализация текста в изучении памятников древнерусской письменности // Историческая информатика. — 2019. — № 4. — С. 148–156.
6. Свод письменных источников по технике древнерусской живописи, книжного дела и художественного ремесла в списках XV–XIX вв.: [В 2 т.] / Сост., вступ. ст. и примеч. Ю. И. Гренберга. — СПб.: Пушкинский фонд, 1995–1998.
7. Цыпкин Д. О. О формировании эстетики древнерусской скорописи (по результатам исследования рукописи СПбИИ РАН, ф. 115, № 160) // Актуальные проблемы теории и истории искусства.

- Вып. 11 / Под ред. А. В. Захаровой, С. В. Мальцевой, Е. Ю. Станюкович-Денисовой. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2021. — С. 907–924. <https://doi.org/10.18688/aa2111-11-74>
8. Цыпкин Д. О., Терещенко Е. Ю., Балаченкова А. П., Васильев А. Л., Ляховицкий Е. А., Яцишина Е. Б., Ковальчук М. В. Комплексные исследования исторических чернил древнерусских рукописей // Российские нанотехнологии. — 2020. — Т. 15, № 5. — С. 579–587.
 9. Bicchieri M. Hard Science and History // Manuscript Cultures. — 2018. — Vol. 11. — P. 3–15.
 10. Brockmann C., Hahn O., Märgner V., Rabin I., Stiehl H. S. Natural sciences and technology in manuscript analysis // Manuscript Cultures. — 2018. — Vol. 11. — P. 2.
 11. Budnar M., Uršič M., Simičič J., Pelicon P., Kolar J., Šelih V. S., Strlič M. Analysis of Iron Gall Inks by PIXE // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — Vol. 243, iss. 2. — P. 407–416.
 12. Budnar M., Vodopivec J., Mandò P. A., Lucarelli F., Casu G., Signorini O. Distribution of Chemical Elements of Iron-Gall Ink Writing Studied by the PIXE Method // Restaurator. — 2001. — Vol. 22, no 4. — P. 228–241.
 13. Cantone V. The Problem of the Eastern Influences on Byzantine Art during the Macedonian Renaissance: Some Illuminated Manuscripts from the National Library of Greece and the National Library of Venice // Актуальные проблемы теории и истории искусства: сб. науч. статей. Вып. 1 / Под ред. С. В. Мальцевой, Е. Ю. Станюкович-Денисовой. — СПб.: НП-Принт, 2011. — С. 33–38.
 14. Colini C., Hahn O., Bonnerot O., Steger S., Cohen Z., Ghigo T., Christiansen T., Bicchieri M., Biocca P., Krutzsch M., Rabin I. The Quest for the Mixed Inks // Manuscript Cultures. — 2018. — Vol. 11. — P. 41–48.
 15. de Viguierie L., Rochut S., Alfeld M., Walter Ph., Astier S., Gontero V., Boulch F. XRF and Reflectance Hyperspectral Imaging on a 15th Century Illuminated Manuscript: Combining Imaging and Quantitative Analysis to Understand the Artist's Technique // Heritage Science. — 2018. — Vol. 6. — Art. n° 11. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0177-2>
 16. Del Carmine P., Lucarelli F., Mandi P. A., Pecchioli A. The External PIXE Setup for the Analysis of Manuscripts at the Florence University // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. — 1993. — Vol. 75, iss. 1–4. — P. 480–484.
 17. Díaz Hidalgo R. J., Córdoba R., Nabais P., Silva V., Melo M. J., Pina F., Teixeira N., Freitas V. New Insights into Iron-gall Inks through the use of Historically Accurate Reconstructions // Heritage Science. — 2018. — Vol. 6. — Art. n° 63. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0228-8>
 18. Frühmann B., Cappa F., Vetter W., Schreiner M., father Petrus. Multianalytical Approach for the Analysis of the Codices Millenarius Maior and Millenarius Minor in Kremsmuenster Abbey, Upper Austria // Heritage Science. — 2018. — Vol. 6. — Art. n° 10. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0176-3>
 19. Fredericks M. Inside Story: Using X-ray Microtomography to See Hidden Features of a Manuscript Codex // The Morgan Library and Museum. URL: <https://www.themorgan.org/blog/inside-story-using-x-ray-microtomography-see-hidden-features-manuscript-codex> (дата обращения: 15.05.2022).
 20. Ghigo T., Rabin I. Gaining Perspective into the Materiality of Manuscripts: The Contribution of Archaeometry to the Study of the Inks of the White Monastery Codices // Coptic Literature in Context (4th — 13th centuries): Cultural Landscape, Literary Production, and Manuscript Archaeology. — Roma: Quazar, 2020. — P. 273–282.
 21. Ghigo T., Rabin I., Buzi P. Black Egyptian Inks in Late Antiquity: New Insights on their Manufacture and Use // Archaeological and Anthropological Sciences. — 2020. — Vol. 12. — Art. n° 70. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00977-3>
 22. Goltz D., Attas M., Cloutis E., Young G., Begin P. Visible (420–720 nm) Hyperspectral Imaging Techniques to Access Inks in Historical Documents // Restaurator. — 2009. — Vol. 30, no. 3. — P. 199–221.
 23. Hahn O. Analyses of Iron Gall and Carbon Inks by Means of X-ray Fluorescence Analysis: A Non-Destructive Approach in the Field of Archaeometry and Conservation Science // Restaurator. — 2010. — Vol. 31, no. 1. — P. 41–64.
 24. Mocella V., Brun E., Ferrero C., Delattre D. Revealing Letters in Rolled Herculaneum Papyri by X-ray Phase-contrast Imaging // Nature Communications. — 2015. — Vol. 6. — Art. n° 5895. <https://doi.org/10.1038/ncomms6895>
 25. Ren M., Wang R., Yang Yi. Identification of the Proto-inkstone by Organic Residue Analysis: A Case Study from the Changle Cemetery in China // Heritage Science. — 2018. — Vol. 6. — Art. n° 19. <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0184-3>
 26. Rouchon V., Duranton M., Burgaud C., Pellizzi E., Lavédrine B., Janssens K., de Nolf W., Nuyts G., Vanmeert F., Hellemans K. Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under

- Various Oxygen and Humidity Conditions: Time-Dependent Monitoring by Viscosity and X-ray Absorption Near-Edge Spectrometry Measurements // *Analytical Chemistry*. — 2011. — Vol. 83, iss. 7. — P. 2589–2597. <https://doi.org/10.1021/ac1029242>
27. *Tereschenko E. Y., Vasiliev A. L., Yatsishina E. B., Lyakhovitsky E. A., Tsyarkin D. O., Balachenkova A. P.* Electron Microscopy Studies of Manuscripts from the National Library of Russia // *Crystallography Reports*. — 2021. — Vol. 66, no. 6. — P. 1143–1149.
28. *Wagner B., Garbo's S., Bulska E., Hulanicki A.* Determination of Iron and Copper in Old Manuscripts by Slurry Sampling Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry // *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*. — 1999. — Iss. 54. — P. 797–804.

Название статьи. Естественно-научные методы исследования красителей рукописно-книжных памятников (на примере чернил)

Сведения об авторах. Терещенко, Елена Юрьевна — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник. Институт кристаллографии ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Ленинский пр., 59, Москва, Российская Федерация, 119333; начальник лаборатории естественнонаучных методов в гуманитарных науках. Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, д. 1, Москва, Российская Федерация, 123098. elenatereschenko@yandex.ru ORCID: 0001-5035-6978

Балаченкова, Александра Петровна — старший преподаватель. Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Высшая школа технологии и энергетики, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 198095. abalachenkova@mail.ru ORCID: 0000-0001-9522-3087

Цыпкин, Денис Олегович — кандидат исторических наук, директор по особо ценным фондам, Российская национальная библиотека, Садовая ул., 18, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 191069. tsyarkin@nlr.ru ORCID: 0000-0002-8207-8551

Аннотация. В статье на примере чернил обсуждаются современные естественно-научные методы, используемые при изучении красителей рукописно-книжных памятников. Делается акцент на необходимости изучения больших массивов рукописей для получения значимой историко-технологической информации. Выделены методы, используемые в исследованиях рукописных памятников как скрининговые, т. е. дающие интегральные характеристики рукописного текста: изменение поглощения текста в различных диапазонах оптического спектра (спектрозональная/мультиспектральная визуализация), качественный рентгенофлуоресцентный анализ основного элементного состава (РФЛА) и оптическая спектроскопия (ИК и КР (рамановская) спектроскопия). Кроме того, перечислены прецизионные методы, позволяющие получать более точную информацию об органических и неорганических компонентах чернил, и находящиеся в настоящее время на стадии пробных/тестовых исследований (как модельных образцов, так и подлинных памятников письменности). Они могут быть применены: для анализа элементного состава (PIXE, методы атомно-абсорбционной спектроскопии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой), для идентификации органических компонентов (методы хроматографии с масс-спектрометрией), для выявления микроморфологических особенностей чернильных следов (методы электронной микроскопии), для анализа железосодержащих химических соединений (рентгеновская абсорбционная спектроскопия), для неразрушающей визуализации текстов (рентгеновская/синхротронная томография).

Ключевые слова: рукописно-книжные памятники, чернила, естественно-научные методы, экспресс-анализ, скрининг, прецизионные методы

Title. Methods of Natural Sciences in the Study of Dyes in Manuscripts (On the Example of Inks)²

Authors. Tereschenko, Elena Yu. — Ph. D., senior researcher. Federal Research Center Crystallography and Photonics, Shubnikov Institute of Crystallography, Russian Academy of Sciences, Leninskii pr. 1, 119333 Moscow, Russian Federation; head of the laboratory. National Research Center Kurchatov Institute, pl. Akademika Kurchatova, 1, 123182 Moscow, Russian Federation. elenatereschenko@yandex.ru ORCID: 0001-5035-6978

Balachenkova, Aleksandra P. — head lecturer. St Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Ivana Tchernykh ul., 4, 198095 St Petersburg, Russian Federation. abalachenkova@mail.ru ORCID: 0000-0001-9522-3087

Tsyppkin, Denis O. — Ph. D., Director of Rare Collections. The National Library of Russia, Sadovaia ul., 18, 191069 St Petersburg, Russian Federation. tsyppkin@nlr.ru ORCID: 0000-0002-8207-8551

Abstract. The article discusses modern scientific methods used in the study of dyes (inks) used in historical manuscripts. Focusing on the necessity to research a large amount of manuscripts to obtain significant historical and technological information, the screening methods which give the integral characteristics of the handwritten monuments are the following: multispectral imaging for the analysis of the change in text absorption in different ranges of the optical spectrum, qualitative X-ray fluorescence analysis of the main elemental composition, and optical spectroscopy (IR and Raman). The article also describes the methods that make it possible to obtain more detailed in-depth information about the organic and inorganic components of the ink, which are currently at the stage of proving or test studies of both model samples and authentic manuscripts. These research techniques can be used for the elemental composition analysis (PIXE, ICP-AAS and ICP-MS), for the identification of organic components (methods of chromatography with mass spectrometry), for revealing the micro morphology of ink traces (electron microscopy), for the analysis of iron-containing chemical compounds (XAS), and for non-destructive imaging (X-ray / synchrotron tomography).

Keywords: manuscripts, inks, analytical methods, screening, precision methods

References

- Bicchieri M. Hard Science and History. *Manuscript Cultures*, 2018, vol. 11, pp. 3–15.
- Brockmann C.; Hahn O.; Märgner V.; Rabin I.; Stiehl H. S. Natural Sciences and Technology in Manuscript Analysis. *Manuscript Cultures*, 2018, vol. 11, p. 2.
- Budnar M.; Uršič M.; Simičič J.; Pelicon P.; Kolar J.; Šelih V. S.; Strlič M. Analysis of Iron Gall Inks by PIXE. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, vol. 243, iss. 2, pp. 407–416.
- Budnar M.; Vodopivec J.; Mandò P. A.; Lucarelli F.; Casu G.; Signorini O. Distribution of Chemical Elements of Iron-Gall Ink Writing Studied by the PIXE Method. *Restaurator*, 2001, vol. 22, iss. 4, pp. 228–241.
- Cantone V. The Problem of the Eastern Influences on Byzantine Art during the Macedonian Renaissance: Some Illuminated Manuscripts from the National Library of Greece and the National Library of Venice. *Actual Problems of Theory and History of Art: Collection of Articles, vol. 1*. Saint-Petersburg, NP-Print Publ., 2011, pp. 33–38.
- Colini C.; Hahn O.; Bonnerot O.; Steger S.; Cohen Z.; Ghigo T.; Christiansen T.; Bicchieri M.; Biocca P.; Krutzsch M.; Rabin I. The Quest for the Mixed Inks. *Manuscript Cultures*, 2018, vol. 11, pp. 41–48.
- de Viguerie L.; Rochut S.; Alfeld M.; Walter Ph.; Astier S.; Gontero V.; Boulc'h F. XRF and Reflectance Hyperspectral Imaging on a 15th Century Illuminated Manuscript: Combining Imaging and Quantitative Analysis to Understand the Artist's Technique. *Heritage Science*, 2018, vol. 6, article n° 11. DOI: 10.1186/s40494-018-0177-2
- Del Carmine P.; Lucarelli F.; Mandi P. A.; Pecchioli A. The External PIXE Setup for the Analysis of Manuscripts at the Florence University. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 1993, vol. 75, iss. 1–4, pp. 480–484.

² The article was prepared with the financial support of the Russian Science Foundation (grant no. 22-18-00615) in terms of the analysis of methods used for screening studies of historical inks, and the thematic plan of the National Research Center “Kurchatov Institute” in terms of the analysis of natural scientific methods potentially applicable to the study of inks.

Díaz Hidalgo R. J.; Córdoba R.; Nabais P.; Silva V.; Melo M. J.; Pina F.; Teixeira N.; Freitas V. New Insights into Iron-gall Inks through the Use of Historically Accurate Reconstructions. *Heritage Science*, 2018, vol. 6, article n° 63. DOI: 10.1186/s40494-018-0228-8

Fredericks M. Inside Story: Using X-ray Microtomography to See Hidden Features of a Manuscript Codex. *The Morgan Library and Museum*. Available at: <https://www.themorgan.org/blog/inside-story-using-x-ray-microtomography-see-hidden-features-manuscript-codex> (accessed 15 May 2022).

Frühmann B.; Cappa F.; Vetter W.; Schreiner M.; Petrus F. Multianalytical Approach for the Analysis of the Codices Millenarius Maior and Millenarius Minor in Kremsmuenster Abbey, Upper Austria. *Heritage Science*, 2018, vol. 6, article n° 10. DOI: 10.1186/s40494-018-0176-3

Ghigo T.; Rabin I. Gaining Perspective into the Materiality of Manuscripts: The Contribution of Archaeometry to the Study of the Inks of the White Monastery Codices. *Coptic Literature in Context (4th–13th Centuries): Cultural Landscape, Literary Production, and Manuscript Archaeology*. Roma, Quazar Publ., 2020, pp. 273–282.

Ghigo T.; Rabin I.; Buzi P. Black Egyptian Inks in Late Antiquity: New Insights on their Manufacture and Use. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2020, vol. 12, article n° 70. DOI: 10.1007/s12520-019-00977-3

Goltz D.; Attas M.; Cloutis E.; Young G.; Begin P. Visible (420–720 nm) Hyperspectral Imaging Techniques to Access Inks in Historical Documents. *Restaurator*, 2009, vol. 30, no 3, pp. 199–221.

Grenberg Yu. I. (ed.). *Svod pis'mennykh istochnikov po tekhnike drevnerusskoi zhivopisi, knizhnogo dela i khudozhestvennogo remesla v spiskah 15–19 vekov (Collection of Written Sources on the Technology of Old Russian Painting, Book-making and Decorative Arts in Copies of the 15th–19th Centuries)*, 2 vols. St. Petersburg, Pushkinskii Fond Publ., 1995–1998 (in Russian).

Hahn O. Analyses of Iron Gall and Carbon Inks by Means of X-ray Fluorescence Analysis: A Non-Destructive Approach in the Field of Archaeometry and Conservation Science. *Restaurator*, 2010, vol. 31, no 1, pp. 41–64.

Kashkarov P. K.; Kovalchuk M. V.; Yatsishina E. B.; Greshnikov E. A.; Antsiferova A. A.; Volkov P. A.; Govor L. I.; Presniakova N. N.; Svetogorov R. D.; Makarov N. A.; Olkhovskiy S. V. Provenance Study of the Lead Detected in the Antique Ceramic Sculpture from the Kerch Bay. *Crystallography Reports*, 2021, vol. 66, no. 1, pp. 165–173.

Kovalchuk M. V.; Yatsishina E. B.; Antsiferova A. A.; Dorovatovskii P. V.; Greshnikov E. A.; Kashkarov P. K.; Malakhov S. N.; Presniakova N. N.; Svetogorov R. D.; Makarov N. A.; Olkhovskii S. V. Investigation of the Pigments of the Ancient Portrait Terracotta Found in the Kerch Bay. *Crystallography Reports*, 2019, vol. 64, no 6, pp. 1003–1010.

Kovalchuk M. V.; Yatsishina E. B.; Greshnikov E. A.; Antsiferova A. A.; Kashkarov P. K.; Kovalenko E. S.; Murashev M. M.; Podurets K. M.; Timerkaev V. B.; Makarov N. A.; Olkhovskii S. V.; Gunchina O. L. Tomographic Studies of the Terracotta Head from Kerch Bay. *Crystallography Reports*, 2020, vol. 65, no 5, pp. 805–811.

Lyakhovitsky E. A.; Tsyppkin D. O. Infra-red Visualizatsiia teksta v izuchenii pamiatnikov drevnerusskoi pis'mennosti (Infra-red Visualization in the Studies of Old Russian Manuscripts). *Istoricheskaya Informatika (Historical Information Science Information Technology and Quantitative Methods in Historical Research and Education)*, 2019, no 4, pp. 148–156 (in Russian).

Mocella V.; Brun E.; Ferrero C.; Delattre D. Revealing Letters in Rolled Herculaneum Papyri by X-ray Phase-contrast Imaging. *Nature Communications*, 2015, vol. 6, article n° 5895. DOI: 10.1038/ncomms6895

Ren M.; Wang R.; Yang Yi. Identification of the Proto-inkstone by Organic Residue Analysis: a Case Study from the Changle Cemetery in China. *Heritage Science*, 2018, vol. 6, article n° 19. DOI: 10.1186/s40494-018-0184-3

Rouchon V.; Duranton M.; Burgaud C.; Pellizzi E.; Lavédrine B.; Janssens K.; de Nolf W.; Nuyts G.; Vanmeert F.; Hellemans K. Room-Temperature Study of Iron Gall Ink Impregnated Paper Degradation under Various Oxygen and Humidity Conditions: Time-Dependent Monitoring by Viscosity and X-ray Absorption Near-Edge Spectrometry Measurements. *Analytical Chemistry*, 2011, vol. 83, iss. 7, pp. 2589–2597.

Tereschenko E. Y.; Vasiliev A. L.; Yatsishina E. B.; Lyakhovitsky E. A.; Tsyppkin D. O.; Balachenkova A. P. Electron Microscopy Studies of Manuscripts from the National Library of Russia. *Crystallography Reports*, 2021, vol. 66, no. 6, pp. 1143–1149.

Tsyppkin D. O. On the Formation of the Aesthetics of Old Russian Cursive Writing (Manuscript f. 115 no. 160 from St. Petersburg Institute of History). *Actual Problems of Theory and History of Art*, vol. 11. St. Petersburg, St. Petersburg University Press, 2021, pp. 907–924. DOI: 10.18688/aa2111-11-74 (in Russian).

Tsyppkin D. O.; Lyakhovitsky E. A.; Kovalchuk M. V.; Tereschenko E. Y.; Vasiliev A. L.; Yatsishina E. B.; Balachenkova A. P. Comprehensive Studies of the Historical Inks of Old Russian Manuscripts. *Nanobiotechnology Report (Nanotechnologies in Russia)*, 2020, vol. 15, no 9–10, pp. 542–550.

Vas'ko D. Two Kerch Style Pelikai in the Collection of the State Hermitage Museum. *Actual Problems of Theory and History of Art*, vol. 5. St.-Petersburg, NP-Print Publ., 2015, pp. 107–118. DOI: 10.18688/aa155-1-10 (in Russian).

Wagner B.; Garbo's S.; Bulska E.; Hulanicki A. Determination of Iron and Copper in Old Manuscripts by Slurry Sampling Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. *Spectrochimica Acta. Part B: Atomic Spectroscopy*, 1999, iss. 54, pp. 797–804.