DOI 10.24412/2658-3550-2026-1-97-123
УДК 902/904

ИСТОРИЧЕСКОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: ИНТЕГРАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО И ГУМАНИТАРНОГО ЗНАНИЯ В ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ[1]

И.Ю. Буравлев

В работе анализируется становление исторического материаловедения как интегративной парадигмы, объединяющей естественно-научные и гуманитарные подходы к изучению объектов культурного наследия (ОКН). Актуальность исследования продиктована необходимостью преодоления методологического разрыва между этими областями знания, препятствующего целостному изучению материальных памятников. Формирование исторического материаловедения становится ответом на этот вызов. Особую значимость проблематика приобретает в контексте создания в России установок класса «мегасайенс», в частности синхротрона «Русский источник фотонов» (РИФ) (о. Русский), открывающего новые возможности для неразрушающего изучения ОКН в Дальневосточном регионе. Цель работы — анализ институциональных и методологических условий становления дисциплины на примере организации Молодёжной лаборатории исторического материаловедения (МЛИМ) в ДВФУ и её интеграции в программу синхротрона РИФ. Предметом исследования выступают материальные объекты как носители сведений о составе, структуре и технологиях изготовления, что обеспечивается возможностью реконструкции их жизненного цикла на основе триады «состав — структура — свойства». В работе прослежены этапы развития междисциплинарных исследований в России, систематизирован аналитический арсенал исторического материаловедения, обоснованы принципы построения исследовательского протокола. Показана роль МЛИМ в подготовке кадров и организации проектов согласно

Игорь Юрьевич Буравлев, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории ядерных технологий, заведующий Молодёжной лабораторией исторического материаловедения Института наукоёмких технологий и передовых материалов Дальневосточного федерального университета, Владивосток, Россия.

Igor Yur'yevich Buravlev, PhD. Leading Researcher at the Laboratory of Nuclear Technologies, Head of the Youth Laboratory of Historical Materials Science at the Institute of High Technologies and Advanced Materials of the Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.

E-mail: buravlev.ii@dvfu.ru.

[1] Исследование выполнено при финансовой поддержке из средств Государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема № FZNS-2025-0018.

принципам междисциплинарной коллаборации, выявлены ключевые вызовы развития направления. Предложена систематизация методологических принципов исторического материаловедения, введён в оборот кейс лаборатории ДВФУ как модельного образца сетевой междисциплинарной инфраструктуры. Результаты исследования могут быть использованы при создании аналогичных лабораторий, разработке образовательных программ по археометрии, формировании национальной сети центров археометрических исследований. Автором подчёркнуты научное, образовательное и социально-экономическое значения лаборатории для развития Дальневосточного региона и укрепления научно-технологического суверенитета России в АТР.
Ключевые слова: археометрия, историческое материаловедение, объекты культурного наследия (ОКН), междисциплинарные исследования, неразрушающие методы, синхротрон «Русский источник фотонов» (РИФ), Молодёжная лаборатория.

HISTORICAL MATERIALS SCIENCE: INTEGRATION OF NATURAL SCIENCE AND HUMANITIES IN THE STUDY OF CULTURAL HERITAGE OBJECTS

I.Yu. Buravlev

This paper examines the formation of historical materials science as an integrative paradigm that unites natural-science and humanities approaches to the study of cultural heritage objects (CHOs). The relevance of the study stems from the need to overcome the methodological gap between these fields of knowledge, which impedes a holistic study of material heritage. The emergence of historical materials science is a response to this challenge. The subject acquires particular significance in the context of the creation in Russia of megascience facilities, in particular the Russian Photon Source (RPS) synchrotron (Russky Island), which opens new possibilities for the non-destructive study of CHOs in the Far Eastern region. The aim of the work is to analyze the institutional and methodological conditions underlying the formation of this discipline, using as a case study the organization of the Youth Laboratory of Historical Materials Science (YLHM) at Far Eastern Federal University (FEFU) and its integration into the RPS synchrotron program. The subject of the research is material objects as carriers of information about composition, structure, and manufacturing technologies, obtained through the reconstruction of their life cycle based on the “composition — structure — properties” triad. The paper traces the stages of development of interdisciplinary research in Russia, systematizes the analytical toolkit of historical materials science, and substantiates the principles for constructing a research protocol. It shows the role of YLHM in training personnel and organizing projects based on the principles of interdisciplinary collaboration, and identifies key challenges for the development of the field. A systematization of the methodological principles of historical materials science is proposed, and the case of the FEFU

laboratory is introduced as a model example of a networked interdisciplinary infrastructure. The results of the study can be used in establishing similar laboratories, developing educational programs in archaeometry, and forming a national network of archaeometric research centers. The scientific, educational, and socio-economic significance of the laboratory for the development of the Far Eastern region and the strengthening of Russia's scientific and technological sovereignty in the Asia-Pacific region are emphasized.
Keywords: archaeometry, historical materials science, cultural heritage objects (CHOs), interdisciplinary research, non-destructive methods, "Russian Source of Photons" synchrotron, Youth Laboratory.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении длительного периода изучение объектов культурного наследия (ОКН) осуществлялось преимущественно в рамках гуманитарной парадигмы, где естественно-научные методы использовались эпизодически и имели вспомогательный характер. Следствием этого стал устойчивый разрыв между гуманитарным и естественно-научным знанием, выражающийся в отсутствии единого понятийного языка, несогласованности категориальных аппаратов и методологической фрагментарности исследовательских программ. Данный разрыв выступает существенным препятствием для комплексного изучения ОКН, поскольку археологический объект обладает не только культурно-исторической, но и материальной (физической, химической, материаловедческой, биологической и др.) сущностью. Игнорирование последней либо рассмотрение её в отрыве от технологического и культурного контекстов ведёт к неполноте исторических реконструкций и, как следствие, к снижению верифицируемости получаемых выводов. В этой связи актуальной становится потребность в выработке такого подхода, который бы органично интегрировал методологию естественных и гуманитарных наук, предложил общий понятийный язык и унифицированную процедуру исследования. Формирование исторического материаловедения как самостоятельной междисциплинарной области выступает прямым ответом на данный вызов. Особую значимость эта проблема приобретает в контексте развития программы строительства установок класса «мегасайенс» в России, в частности синхротрона «Русский источник фотонов» (РИФ) (о. Русский), которые открывают новые возможности для неразрушающего изучения ОКН и требуют пересмотра сложившихся исследовательских протоколов и институциональных механизмов.

Историография междисциплинарных исследований ОКН насчитывает более полутора столетий. Вместе с тем анализ научной литературы позволяет констатировать, что до настоящего времени в российском

академическом пространстве отсутствует системное описание институциональных условий становления исторического материаловедения как целостной исследовательской парадигмы. Особенно это касается региональных аспектов, например, в Дальневосточном федеральном округе, несмотря на значительный археологический потенциал, долгое время не существовало специализированных структур, обеспечивающих постоянную, а не проектную междисциплинарную интеграцию. Настоящая работа призвана восполнить этот пробел.

Целью данного исследования является анализ институциональных и методологических условий становления исторического материаловедения как новой исследовательской парадигмы, интегрирующей естественно-научное и гуманитарное знание для комплексного изучения ОКН. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: 1) проследить эволюцию междисциплинарных исследований ОКН, выделив ключевые этапы институционализации направления; 2) охарактеризовать аналитический арсенал современного исторического материаловедения, систематизировать методологические принципы (неразрушающий приоритет, комплементарность, восходящая сложность) и определить место синхротронных технологий в иерархии методов; 3) представить институциональный кейс создания Молодёжной лаборатории исторического материаловедения (МЛИМ) в Дальневосточном федеральном университете (ДВФУ), рассмотрев предпосылки реализации этого проекта, организационную модель и роль в подготовке к работе на мегаустановке синхротрона «Русский источник фотонов»; 4) выявить современные вызовы развития направления и охарактеризовать перспективы использования методов машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ) в археометрических исследованиях.

Объектом изучения выступают памятники материальной культуры, рассматриваемые как сложные материальные системы. В таком качестве ОКН характеризуются конкретными химическим и фазовым составами, внутренним строением (микроструктурой, наличием дефектов и ликваций, следами механической обработки) и комплексом физико-химических свойств (цвет, плотность, твёрдость, коррозионная стойкость). Предметом исследования является совокупность характеристик указанных объектов, включающая их элементный и фазовый состав, структурные особенности, технологию изготовления (последовательность операций, температурные режимы, приёмы обработки), происхождение сырья (устанавливаемое по геохимическим и изотопным маркерам), а также механизмы постадийной трансформации (разрушение под воздействием почвенных грунтов, морской воды, биологических агентов). В теоретическом плане предметом выступают также институциональные и методологические условия, обеспечивающие извлечение и интерпретацию перечисленных характеристик в рамках междисциплинарного подхода.

Методологическую основу исследования составляет совокупность общенаучных и специальных принципов. Принцип историзма предполагает рассмотрение эволюции междисциплинарных исследований ОКН в хронологической динамике с учётом конкретно-исторических условий каждого этапа. Принцип системности требует анализа исторического материаловедения как целостной парадигмы, где отдельные методы, институции и исследовательские практики находятся во взаимной связи и обусловленности. Принцип междисциплинарности реализуется через отказ от жёсткого противопоставления гуманитарной и естественно-научной методологии в пользу их взаимодополняющей интеграции. В качестве конкретных методов в работе используются: историографический анализ — для реконструкции генезиса направления и оценки вклада предшествующих исследователей; кейс-стади — для детального изучения МЛИМ ДВФУ как репрезентативного примера создания специализированной междисциплинарной инфраструктуры в регионе; теоретическое моделирование — для обоснования иерархической структуры исследовательского протокола, базирующегося на принципах неразрушающего приоритета, комплементарности и восходящей сложности. Дополнительно применяются элементы систематизации и классификации (при характеристике аналитического арсенала), а также прогностический анализ (при рассмотрении перспектив внедрения ИИ-методов).

ИСТОРИКО-ИНСТИТУЦИОНАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Формирование междисциплинарного подхода к изучению ОКН прошло несколько этапов, каждый из которых характеризовался специфическими институциональными формами, аналитическими возможностями и степенью интеграции гуманитарного и естественно-научного знания. Хронологически этот процесс может быть разделён на три крупных периода: зарождение подхода на рубеже XIX—XX вв., институционализация в советский период и послевоенное возрождение, приведшее к созданию разветвлённой исследовательской инфраструктуры.

Зарождение подхода (конец XIX — первая половина XX в.)

Первые документально зафиксированные случаи применения естественно-научных методов для изучения ОКН носили единичный характер и были инициированы преимущественно музейными специалистами. Системный импульс развитию этого направления придало создание в конце XIX в. первых специализированных музейных лабораторий в крупнейших европейских и российских

музеях (Алёшин, Бобров, Брегман 2008: 15). Настоящим переворотом в изучении археологических объектов стало открытие рентгеновских лучей (1895), которое предоставило исследователям принципиально новый инструмент для визуализации внутреннего строения предметов, бывшего ранее недоступным для прямого наблюдения без разрушения объекта. Рентгенография быстро нашла применение в археологии и реставрации, позволив выявлять скрытые дефекты, следы ремонтов и особенности технологии изготовления (Licata, Pinto 2020: 45; Uda Masayuki, Demortier, Nakai Izumi 2005: 123).

Параллельно в России происходило активное институциональное оформление археологической науки. Русское археологическое общество, основанное в 1846 г., не только объединило специалистов различных профилей, но и структурно разделило поле исследований (Тихонов 2012). В 1870-х гг. при обществе была образована специальная комиссия по химическим исследованиям металлических предметов из курганов — один из первых примеров формализованного взаимодействия археологов и химиков. Императорская археологическая комиссия (1859) сосредоточила вопросы выявления, охраны и изучения памятников на государственном уровне, а в начале XX в. при ней была создана реставрационная комиссия, обязательным элементом работы которой являлось физико-химическое исследование материалов (Зверев 1999: 38; Мусин, Медведева 2019). Государственный исторический музей (ГИМ) (1872) выступил национальной площадкой для систематизации артефактов, а его экспозиционная концепция подчёркивала необходимость комплексного подхода к изучению древностей, который объединил бы исторические, искусствоведческие и естественно-научные данные (Журавлёв, Шишлина 2014).

Исключительную роль в консолидации дисциплин сыграли учёные-энциклопедисты. А.С. Уваров, основав в 1864 г. Московское археологическое общество и организовав серию Всероссийских археологических съездов (первый состоялся в 1869 г.), сумел объединить разрозненные направления археологии, создав уникальные площадки для дискуссий и консолидации специалистов разного профиля — историков, археологов, этнографов, антропологов и, что особенно важно, естествоиспытателей (Лебедев 1992: 95—110). Д.Н. Анучин создал оригинальную научную школу, получившую название «анучинская», которая базировалась на органичном синтезе методологий антропологии, археологии и этнографии. Анучин последовательно отстаивал тезис о том, что изучение древнего человека невозможно вне контекста исследований его физического типа, материальной культуры и окружающей среды, что объективно требовало привлечения естественно-научных методов. Совокупностью этих усилий к началу XX в. были созданы прочные предпосылки для преодоления традиционного разрыва между гуманитарными и естественно-научными исследовательскими подходами (Лебедев 1992: 158—170).

Институционализация в советский период

В 1919 г. в структуре Российской академии истории материальной культуры (РАИМК) был основан Институт археологической технологии (ИАТ). Такую идею предложил выдающийся минералог и геохимик академик А.Е. Ферсман, а гуманитарное направление в институте возглавил М.В. Фармаковский. Здесь были созданы специализированные лаборатории по изучению камня, керамики, стекла, красок, металла и органических останков. Деятельность ИАТ строилась на историко-технологическом подходе, сфокусированном на реконструкции процессов добычи и обработки сырья, что позволяло переходить от изучения единичных объектов к целым технологическим традициям. Это был, по сути, первый в мировой практике опыт создания специализированного учреждения, где археологи, химики, физики и минералоги работали совместно в рамках единой исследовательской программы (Яхонт 2023; Платонова 1989).

В том же ключе развивалась и научная реставрация. В 1924 г. по инициативе известного художника и реставратора И.Э. Грабаря были преобразованы Центральные государственные реставрационные мастерские (впоследствии — Всероссийский художественный научно-реставрационный центр им. И.Э. Грабаря) (Грабарь 1937). В составе мастерских действовали физико-техническая, химическая и фотолаборатории, где реставрационные работы неизменно предварялись комплексным материаловедческим исследованием памятника. Этот принцип («исследование до вмешательства») стал классическим для научной реставрации.

Однако прогрессивное развитие этих начинаний было прервано в 1930-е гг. Причины свёртывания междисциплинарных программ носили сложный характер. С одной стороны, сказались усиление идеологического давления и борьба с «беспочвенным» академическим знанием, в результате чего многие научные школы, ориентированные на фундаментальные междисциплинарные исследования, были объявлены «буржуазными» или «формалистическими». С другой — имели место внутренние факторы: опережающий время характер ИАТ и аналогичных структур, что влекло за собой отсутствие устоявшейся методологической базы, дефицит квалифицированных кадров, способных работать на стыке дисциплин, а также недостаточную техническую оснащённость. В результате ИАТ прекратил своё существование, а Центральные государственные реставрационные мастерские были расформированы (1934). Тем не менее созданные в этот период методологические наработки и кадровый потенциал не были полностью утрачены и во многом определили логику последующего развития направления.

Послевоенное возрождение и структурное оформление

Период после Великой Отечественной войны стал временем активного возрождения междисциплинарных исследований. Этому способствовали два основных фактора: огромный объём работ по восстановлению разрушенных памятников культуры, потребовавший привлечения реставраторов и химиков, а также бурное развитие физических и химических методов анализа в 1950—1960-е гг. Ключевым событием мирового масштаба стало открытие и внедрение в археологическую практику метода радиоуглеродного датирования (У. Либби, 1949 г., Нобелевская премия 1960 г.). В СССР пионером в освоении этого метода выступил С.И. Руденко, по его инициативе в 1955 г. была создана Лаборатория археологической технологии, одной из задач которой стало внедрение изотопных методов для абсолютного датирования археологических памятников (Шер 2007).

Параллельно шла активная институционализация в московских научных центрах. Б.А. Колчин, археолог с техническим образованием (выпускник Московского института цветных металлов и золота), в 1953 г. организовал учебные и научно-исследовательские лаборатории на кафедре археологии исторического факультета МГУ. Он последовательно внедрял в археологию методы металлографии, спектрального анализа и статистической обработки массового археологического материала. В 1967 г. по инициативе Колчина была создана лаборатория естественно-научных методов в Институте археологии АН СССР (ныне ИА РАН). В её состав вошли группы дендрохронологии, спектрального анализа, металлографии, петрографии, палинологии и археозоологии, что обеспечило комплексный подход к изучению древних технологий и природного окружения человека. Лаборатория стала образцом для создания аналогичных структур в академических институтах других союзных республик (Колчин, Шер 1969).

Важнейшую роль в консолидации научного сообщества сыграло всесоюзное совещание по внедрению естественно-научных методов в археологию, состоявшееся в 1963 г. Итогом этого совещания стало специальное постановление Президиума АН СССР «О внедрении в археологию методов исследований естественных и технических наук» (Колчин 1965). Этот документ придал междисциплинарным работам официальный академический статус, обеспечил их ресурсную поддержку (финансирование, приборное обеспечение, подготовка кадров) и способствовал открытию новых лабораторий в региональных научных центрах — от Ленинграда до Новосибирска и Владивостока. К середине 1960-х гг. сложились все предпосылки для системного внедрения естественно-научного инструментария в археологическую практику, а само направление перестало восприниматься как вспомогательное.

Таким образом, эволюция междисциплинарных исследований в области изучения ОКН продемонстрировала устойчивый путь: от единичных аналитических опытов конца XIX в. через институционализацию в 1920-х и перерыв в 1930-х гг. к послевоенному возрождению и созданию разветвлённой исследовательской инфраструктуры к середине XX в. Наследие этого периода в виде лабораторий, отработанных методик, подготовленных кадров стало фундаментом для современного этапа развития исторического материаловедения.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ АРСЕНАЛ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ИСТОРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Эффективность исторического материаловедения как междисциплинарной исследовательской парадигмы в значительной степени определяется его аналитическим арсеналом, т.е. совокупностью методов, позволяющих извлекать верифицируемую информацию о составе, структуре, свойствах и технологии изготовления ОКН. При этом принципиальное значение имеет не просто наличие тех или иных приборов, а выработка непротиворечивой методологии их применения, базирующейся на чётких критериях выбора, иерархии методов и процедурах интеграции разнородных данных.

Классификация методов исследования

Основным классификационным основанием и ограничением исследовательского масштаба в историческом материаловедении выступает степень воздействия на объект изучения. По этому критерию все методы подразделяются на три группы: 1) разрушающие (предполагающие полное или частичное уничтожение образца или изъятие пробы, что для уникальных артефактов недопустимо), 2) микродеструктивные (требующие изъятия микропробы, что при определённых условиях может быть приемлемо) и 3) неразрушающие (не требующие изъятия пробы и не оказывающие какого-либо воздействия на объект). Критерии выбора метода определяются природой исследовательского вопроса. Например, для установления происхождения сырья может потребоваться изотопный анализ, что сопряжено с необходимостью отбора пробы. Важны статус и сохранность объекта: уникальные музейные предметы исследуются исключительно неразрушающими методами. Ключевую роль среди критериев подбора метода играет доступность соответствующего оборудования, его адаптивность под конкретную задачу, интерпретационные возможности полученных на оборудовании данных (Adriaens 2005).

Технологическая революция рубежа XX—XXI вв.

Технологическая революция рубежа XX—XXI вв. кардинально изменила соотношение между названными группами методов. Долгое время главным ограничением выступала недостаточная чувствительность и разрешающая способность аналитического оборудования. Традиционные методы прошлого, такие как химический «мокрый» анализ, оптическая микроскопия и др., часто были разрушающими и предоставляли усреднённую информацию о составе объекта, не позволяя изучать внутреннюю гетерогенную структуру или детектировать следовые количества веществ, выступающих ключевыми технологическими маркерами. Прорыв произошёл благодаря появлению портативных рентгенофлуоресцентных спектрометров (пРФлА), сделавших возможным элементный анализ непосредственно в музее или в полевых условиях (Балагурова, Буравлев 2024), а также развитию методов на основе синхротронного излучения (СИ) и нейтронной томографии (НТ), позволивших исследовать внутреннее строение объекта без его вскрытия. Чувствительность масс-спектрометрических методов выросла на порядки, что дало возможность работать с нанограммами вещества и проводить изотопный анализ для точного установления происхождения сырья (Bertrand et al. 2012b). В результате сегодня исследователи располагают практически полным набором инструментов для изучения ОКН на всех структурных уровнях — от макроскопического до наноразмерного.

Фундаментальные принципы построения исследовательского протокола

Доступность аналитического оборудования сама по себе не гарантирует научной корректности результатов. Необходима выработка чёткой методологии, определяющей последовательность, сочетание и условия применения различных методов. В историческом материаловедении сложились три фундаментальных принципа, которые лежат в основе любого исследовательского протокола.

Принцип неразрушающего приоритета. Этот принцип предполагает, что исследование всегда начинается с неразрушающих методов, и только если полученной информации оказывается недостаточно для решения поставленных задач, исследователь переходит к микродеструктивным методам, а в исключительных случаях — к разрушающим. Типовая иерархия выглядит следующим образом: визуальный и макроскопический осмотры (включая фотофиксацию в различных диапазонах) → портативные неразрушающие методы (рентгенофлуоресцентный анализ, рамановская спектроскопия, инфракрасная

спектроскопия) → лабораторные неразрушающие методы (рентгеновская томография, нейтронная визуализация) → микродеструктивные методы (электронная микроскопия с микроанализом, масс-спектрометрия с лазерной абляцией) → разрушающие методы, применяемые только к массовому археологическому материалу, не имеющему музейной ценности, либо к специально отобранным пробам. Такой подход позволяет минимизировать вмешательство в объект, сохраняя его целостность для будущих поколений исследователей (Artioli 2010).

Принцип комплементарности (взаимодополняемости). Следующий принцип исходит из того, что ни один метод, взятый в отдельности, не даёт полной картины. Данные элементного состава, полученные рентгенофлуоресцентным анализом, должны быть верифицированы и дополнены рентгеноструктурным анализом для определения фазового состава (Zhang Long et al. 2025). Морфология частиц, изученная под сканирующим электронным микроскопом, дополняется элементным микроанализом (энергодисперсионная спектроскопия) (Zhushchikhovskaya, Buravlev, Karpenko 2025; Zhushchikhovskaya et al. 2023; Buravlev et al. 2022).

Информация о внутренней структуре, полученная из томографических срезов, интерпретируется в контексте результатов изотопного анализа, позволяющего связать конкретный артефакт с источником сырья (Rodler et al. 2017). Задача исследователя состоит не в простом перечислении результатов, полученных разными методами, а в их интеграции в единую, внутренне непротиворечивую картину, где каждый метод закрывает пробелы, оставленные другими.

Принцип восходящей сложности. Третий принцип логически дополняет два предыдущих. Данные, полученные на начальных этапах исследования, формируют рабочие гипотезы, которые затем уточняются и проверяются с помощью более сложных и информативных, но часто более трудоёмких и дорогостоящих методов. Например, предварительный элементный анализ может выявить аномально высокое содержание свинца в бронзовом предмете, что порождает гипотезу о намеренном легировании. Для её проверки исследователь переходит к металлографическому анализу (выявление структуры сплава) и далее к изотопному анализу свинца. Такой подход предотвращает неоправданное использование сложных методов там, где достаточно более простых, и одновременно обеспечивает целенаправленность применения дорогостоящего оборудования.

Обзор основных аналитических методов

Современный арсенал исторического материаловедения включает несколько десятков методов, из которых наиболее востребованными являются следующие.

Рентгенофлуоресцентный анализ (РФлА) — один из наиболее распространённых методов элементного анализа для ОКН. Портативные РФлА-спектрометры позволяют проводить неразрушающий анализ непосредственно в музейных залах или в полевых условиях, определяя элементный состав с пределами обнаружения на уровне десятков — сотен ppm. Лабораторные РФлА-системы обеспечивают более высокую чувствительность и позволяют работать с микропробами. Основное ограничение РФлА — поверхностный характер анализа (глубина проникновения — от единиц микрон до сотен микрон в зависимости от материала и энергии излучения), что требует учёта возможного влияния коррозионных слоёв или загрязнений (Кузьминых, Луньков, Орловская 2011).

Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) — метод, обеспечивающий сверхвысокую чувствительность (пределы обнаружения — до 10^{-6}—10^{-9} мас. %) и возможность изотопного анализа. ИСП-МС относится к микродеструктивным методам: требуется растворение пробы массой от долей миллиграмма до нескольких миллиграммов. Для уникальных объектов применяется вариант с лазерной абляцией, где проба не растворяется, а испаряется с поверхности сфокусированным лазерным лучом, что позволяет проводить послойный анализ и картирование распределения элементов с микронным пространственным разрешением. Изотопные отношения свинца, стронция, неодима и других элементов служат надёжными геохимическими маркерами для установления происхождения руды, глины, мрамора и других материалов (Janssens, Van Grieken 2004; Numrich et al. 2023; Dussubieux, Golitko, Gratuze 2016).

Хромато-масс-спектрометрия (ГХ-МС, ВЭЖХ-МС) — основной метод анализа органических остатков на археологических объектах. Позволяет идентифицировать смолы, масла, жиры, воски, красители, остатки пищи и благовоний на керамике, металлических предметах и на каменных орудиях. Метод требует изъятия микропробы и сложной пробоподготовки. Результат анализа предоставляет информацию для аргументированной интерпретации данных в контекстах хозяйственной деятельности, ритуальных практик и обменных сетей в древности (Roffet-Salque et al. 2017; Kałużna-Czaplińska et al. 2016; Irto et al. 2022).

Рентгеновская томография и нейтронная визуализация — методы, позволяющие заглянуть внутрь объекта без его разрушения. Рентгеновская томография даёт трёхмерное изображение внутренней структуры с пространственным разрешением от единиц микрон до десятков нанометров. Для археологии это означает возможность изучать внутренние полости, скрытые дефекты, технологические швы, остатки органики внутри металлических предметов, а также реконструировать первоначальную форму деформированных изделий. Нейтронная томография выступает комплементарным методом. Нейтроны

по-разному взаимодействуют с веществом по сравнению с рентгеновскими лучами (например, проникают сквозь тяжёлые металлы), что позволяет получать информацию, недоступную для рентгеновских методов. Например, такую как визуализация органических остатков внутри металлического предмета (Creagh 2006; Mazzinghi et al. 2024; Kichanov et al. 2018).

Синхротронные технологии занимают особое место среди перечисленных методов. Они объединяют в себе возможности рентгенофлуоресцентного анализа, рентгеновских томографии и дифракции и ряда других методов в рамках одного эксперимента. Синхротронное излучение обладает совокупностью свойств. Это и высокая интенсивность, которая в миллионы раз выше, чем у лабораторных рентгеновских трубок, а также узкая коллимация и возможность настройки энергии в широком диапазоне (от инфракрасного до жёсткого рентгена). Всё это позволяет проводить элементное картирование с высоким разрешением, исследовать локальную кристаллическую структуру микровключений, выявлять скрытые технологические следы. Синхротронные методы рассматриваются сегодня как наиболее перспективное направление развития исторического материаловедения (Koval'chuk et al. 2016; Cameli Manzo et al. 2025; Dardeniz Arıkan et al. 2025).

Таким образом, аналитический арсенал современного исторического материаловедения представляет собой развитую многоуровневую систему, в которой методы различной сложности и деструктивности объединены общими методологическими принципами неразрушающего приоритета, комплементарности и восходящей сложности. Грамотное применение этого арсенала позволяет извлекать максимум информации из ОКН при минимальном на них воздействии.

ИНСТИТУЦИОНАЛЬНЫЙ КЕЙС: МОЛОДЁЖНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ИСТОРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Теоретико-методологические принципы исторического материаловедения, рассмотренные в предыдущих разделах, находят своё практическое воплощение в конкретных институциональных формах. Одним из показательных примеров создания специализированной исследовательской инфраструктуры для междисциплинарного изучения ОКН в современной России выступает Молодёжная лаборатория исторического материаловедения, созданная в Дальневосточном федеральном университете на базе Института наукоёмких технологий и передовых материалов (института физики, химии и материаловедения) и реализующая свою научную программу в плотном взаимодействии

с Институтом истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН (ИИАЭ ДВО РАН). Данный пример представляет особый интерес, поскольку позволяет проследить весь цикл институционального становления от предпосылок и общественного запроса до интеграции в инфраструктуру класса «мегасайенс» и выработки организационной модели.

Предпосылки создания

Необходимость создания специализированной лаборатории назревала в Дальневосточном регионе на протяжении длительного времени. Долгосрочный дефицит институционального оформления междисциплинарных исследований на Дальнем Востоке проявлялся в том, что, несмотря на наличие значительного археологического и этнографического наследия, отсутствовала структура, которая системно объединяла бы археологов, историков, химиков, физиков и материаловедов. В течение многих десятилетий в регионе функционировали устойчивые исследовательские коллективы (прежде всего в ИИАЭ ДВО РАН), реализовывались отдельные проекты и проводились анализы по индивидуальным запросам. Однако до последнего времени отсутствовала стратегическая возможность объединения профильных специалистов в рамках единой структуры, формирования команды с согласованным видением целей и, главное, не получалось обеспечить хотя бы среднесрочное финансирование, которое было бы целостным и предметно-ориентированным на развитие технологий применения естественно-научных методов для исследования ОКН.

Наряду с этим сформировался устойчивый общественный и региональный запрос на сохранение культурного наследия. Дальний Восток России — территория с высокой динамикой экономического и инфраструктурного развития (строительство мостов, дорог, портов, газопроводов, рекреационных объектов внутри городской инфраструктуры), что сопровождается активными археологическими раскопками. Объём извлекаемого материала огромен, однако его научная обработка, включающая естественно-научные исследования, значительно отстаёт от темпов полевых работ. Общественные организации, музейное сообщество и органы охраны памятников всё настойчивее заявляли о необходимости создания регионального центра компетенций, способного обеспечить высокотехнологичное изучение и сохранение археологического наследия. К этому добавился и фактор достижения критического объёма исследовательских потребностей: к концу 2010-х гг. накопился массив археологических материалов, требующих не только традиционного типологического, но и естественно-научного анализа (уточнение хронологии, определение источников сырья, реконструкция технологий) (Крадин 2013).

Возможность создания первой на Дальнем Востоке лаборатории исторического материаловедения появилась вследствие стечения нескольких обстоятельств, среди которых ключевую роль сыграло строительство на о. Русском мегаустановки синхротрона «Русский источник фотонов». Перспективы создания этой уникальной научной инфраструктуры, а также поддержка со стороны Министерства науки и высшего образования РФ (в рамках государственного задания, тема № FZNS-2025-0018) позволили перевести давно назревшую потребность в практическую плоскость.

Синхротрон «Русский источник фотонов» как фактор методологической трансформации

Синхротронное излучение позволяет проводить неразрушающее и бесконтактное изучение ОКН на качественно новом уровне: элементное картирование поверхности с микронным пространственным разрешением (распределение легирующих примесей, следов коррозии, остатков покрытий); визуализация внутренней структуры (скрытые полости, технологические швы, дефекты литья) методом рентгеновской томографии с высоким разрешением; фазовый анализ микровключений (дифракция на микропучке); определение химического и изотопного состава без отбора проб. Традиционные лабораторные методы либо не обладают достаточной чувствительностью, либо требуют разрушения или изъятия пробы, что для уникальных объектов недопустимо. Синхротронное излучение позволяет преодолеть эти ограничения, открывая доступ к информации, которая ранее была недоступна (Bertrand et al. 2012a).

Показательным является тот факт, что исследование ОКН официально входит в число трёх ключевых задач научной программы мегаустановки РИФ наряду с биомедицинскими исследованиями и материаловедением. Это свидетельствует о признании задач сохранения и изучения культурного наследия одними из приоритетных для данного синхротронного центра. Для дальневосточной археологии такое институциональное решение означает методологическую революцию: исследователи получают доступ к инструменту, который ранее был доступен лишь единичным научным группам в мире.

МЛИМ с самого начала создавалась как неотъемлемая часть формирующейся научной экосистемы вокруг РИФ. Подготовительный этап включает стажировки сотрудников на синхротронных станциях НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва). В ходе этих стажировок проводятся пробные эксперименты с дальневосточными археологическими образцами, отрабатываются методики подготовки объектов к облучению, формируется портфель проектов для будущих сеансов на РИФ. Синхротронные методы адаптируются к специфике археологических материалов. В процессе накопления практического и,

что особенно значимо, интерпретационного опыта, приобретаемого при обработке и анализе экспериментальных данных, происходит закономерная эволюция логики освоения методологии. На начальном этапе доминирует подход, при котором осуществляется подбор образцов (предметов) под конкретный синхротронный метод. По мере углубления профессиональных компетенций данный подход сменяется иной стратегией, в основе которой уже лежит выбор оптимального метода для решения строго определённой исследовательской задачи. Следствием этого становится формирование портфелей завершённых работ и перспективных проектов, которые в дальнейшем составят научную повестку, связанную с экосистемой РИФ, в области изучения ОКН. К моменту полноценного запуска мегаустановки лаборатория должна иметь техническую и методическую готовность к проведению сложных и информативных исследований в объёме всей доступной в регионе аналитической инфраструктуры.

Организационная модель и кадровая структура

Успешная интеграция естественно-научных методов, включая синхротронные технологии, в археологические исследования требует эффективной организационной модели. В основе работы МЛИМ лежит принцип междисциплинарной коллаборации, предполагающий совместную работу представителей различных научных направлений на всех этапах исследования — от постановки вопроса до интерпретации результатов. Штат лаборатории включает как специалистов естественно-научного профиля (химиков-аналитиков, физиков-материаловедов), так и исследователей из гуманитарной сферы (археологов, этнографов, музееведов). Это позволяет минимизировать риск интерпретационных ошибок, когда естественно-научные данные получаются в отрыве от культурно-исторического контекста или, напротив, гуманитарные гипотезы не получают адекватной эмпирической проверки. Ключевым результатом становится переход к качественно иному уровню постановки исследовательских задач, часто недостижимому в рамках традиционной последовательной модели, где изучение представляет собой сумму независимых действий (археолог передаёт образец химику, последний возвращает аналитический отчёт), а не целостный, итеративный процесс.

Лаборатория выстраивает сетевую модель взаимодействия, объединяющую несколько типов организаций. Ядро сети — Дальневосточный федеральный университет, предоставляющий лабораторное пространство, доступ к университетскому оборудованию и административную поддержку. Академическими партнёрами выступают Институт истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН (обеспечивает доступ к археологическим коллекциям и экспертизу в области древней истории региона), а также НИЦ

«Курчатовский институт» (обеспечивает доступ к синхротронным станциям и методическое сопровождение). Музейные партнёры, такие как Музей археологии и этнографии ИИАЭ ДВО РАН и Учебно-научный музей ДВФУ, предоставляют доступ к коллекциям. Такая сетевая модель позволяет концентрировать ресурсы и компетенции для решения конкретных исследовательских задач без необходимости создания полного цикла внутри одной организации, что особенно важно для регионального научного центра.

Проектный цикл в лаборатории строится следующим образом. Инициатива может исходить от специалистов как гуманитарного, так и естественно-научного профиля. На первом этапе формулируется междисциплинарная задача в терминах, понятных обеим сторонам: например, «определить технологию литья бронзовых зеркал на основе анализа распределения элементов и микроструктуры». Затем формируется временный научный коллектив из археологов, химиков-аналитиков и специалистов по материаловедению. На основе предварительного знакомства с коллекцией (визуальный осмотр, портативный РФлА) разрабатывается детальный исследовательский протокол: какие методы применяются, в какой последовательности, какие образцы (или участки на объектах) изучаются. Далее следуют лабораторные и синхротронные эксперименты, во время или по завершении которых проводится совместная интерпретация полученных данных. В результате набор изолированных аналитических отчётов складывается в комплексное заключение, связывающее элементный состав, микроструктуру, технологические особенности и культурно-исторический контекст. Полученные данные вводятся в научный оборот через публикации, а также используются для подготовки музейных экспозиций и образовательных курсов.

Особого внимания заслуживает образовательная функция лаборатории. Подготовка кадров для работы на синхротроне РИФ — стратегическая задача, поскольку эксплуатация мегаустановки требует специалистов, которые как владеют физико-химическими методами, так и понимают специфику археологического материала. В лаборатории реализуются семинарские программы, интегрирующие курсы по археометрии, материаловедению и синхротронным методам. Студенты и аспиранты привлекаются к реальным исследовательским проектам, проходят стажировки на синхротронных станциях Курчатовского института, участвуют в подготовке проб и анализе данных. Результаты лабораторных исследований систематически интегрируются в полноценные кейсы, демонстрирующие возможности междисциплинарного подхода. Это повышает качество образования и служит эффективным инструментом привлечения абитуриентов в науку, особенно тех, чьи интересы находятся на стыке дисциплин, например школьников, увлекающихся одновременно историей и химией.

Таким образом, МЛИМ представляет собой один из возможных модельных образцов институционального решения, в котором сошлись давно назревшая региональная потребность, уникальные технологические возможности (синхротрон РИФ), междисциплинарная кадровая структура и сетевая организация работы. Накопленный лабораторией опыт (от разработки исследовательских протоколов до подготовки кадров) имеет значение, выходящее далеко за пределы Дальнего Востока, и может быть масштабирован на другие научно-образовательные центры России, где создаются аналогичные междисциплинарные лаборатории.

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ ИСТОРИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Наряду с успехами и перспективами исторического материаловедения на повестке дня появляются новые вызовы, без преодоления которых дальнейшее развитие направления может быть затруднено. Эти вызовы лежат в трёх основных плоскостях: стандартизация и совместимость данных, интеграция ИИ-методов для анализа больших массивов информации, а также осмысление и реализация межотраслевого и социокультурного потенциала получаемых результатов.

Проблема стандартизации и совместимости данных

Остро встаёт вопрос о сопоставимости результатов. Гетерогенность оборудования и несопоставимость калибровок создают серьёзные препятствия. РФлА-спектрометры разных производителей (Bruker, Thermo Fisher и др.) имеют различные геометрию измерений, типы детекторов и алгоритмы обработки спектров. Один и тот же артефакт, измеренный на разных приборах, может дать отличающиеся значения концентраций элементов, особенно для лёгких элементов (натрий, магний, алюминий) и микропримесей. Ещё более сложная ситуация складывается с методами, требующими пробоподготовки (ИСП-МС, ГХ-МС): различные протоколы отбора проб, очистки, растворения и калибровки могут приводить к систематическим расхождениям, превышающим естественную гетерогенность материала.

К этому добавляется региональная специфика эталонных коллекций, используемых для интерпретации данных. Для многих типов археологических материалов, как, например, керамика, стекло, металлургические шлаки, камень, интерпретация элементного и изотопного состава невозможна без сопоставления с эталонными образцами из предполагаемых источников сырья. Однако эти эталонные коллекции часто являются ограниченными, поскольку содержат

лишь небольшое число образцов, закрытыми и оттого недоступными для внешних исследователей или недостаточно документированными, это касается тех случаев, когда отсутствует информация о методике отбора, пробоподготовки и измерений для конкретных эталонов. Как следствие, результаты, полученные в одном регионе, оказываются трудно сравнимыми с результатами из другого, а публикации по изотопной геохимии находок зачастую не могут быть верифицированы независимыми исследователями.

Пути унификации данных видятся в трёх взаимодополняющих направлениях: 1) внедрение сертифицированных стандартных образцов для калибровки оборудования; 2) создание открытых баз данных археометрической информации, где результаты измерений сопровождаются полной метаинформацией (тип прибора, параметры измерений, использованные стандарты, погрешности); в России такие инициативы пока находятся на начальном этапе, что делает создание отечественной открытой базы данных одной из приоритетных задач; 3) разработка онтологий — формальных систематизаций понятий и связей между ними, позволяющих интегрировать данные из разных источников. Онтология археометрических данных должна определять, что такое «образец», «измерение», «метод», «элемент», «изотопное отношение», как они связаны между собой и какие метаданные должны сопровождать каждое измерение. Без такой стандартизации потенциал машинного обучения и глобальных сравнений не может быть раскрыт в полной мере.

Интеграция ИИ-методов

Если проблема стандартизации касается преимущественно совместимости данных, то следующий вызов связан с их объёмом. Масштаб современных данных, генерируемых археометрическими исследованиями, уже превышает возможности традиционных методов анализа. Один эксперимент на синхротронной станции томографии может дать до нескольких тысяч изображений для одного объекта (терабайты срезов). Обработка таких массивов вручную или с помощью полуавтоматических методов становится трудоёмкой, а в некоторых случаях практически невозможной.

Прикладные задачи нейросетевых алгоритмов в археометрии можно разделить на несколько направлений: 1) классификация артефактов по составу, технологии изготовления и происхождению; 2) выявление скрытых корреляций, например, между содержанием микропримесей в медной руде и географией месторождения, что гипотетически может указать на источники сырья даже при отсутствии прямых изотопных данных; 3) сегментация и анализ томографических изображений, как, например, автоматическое выделение пор, включений, трещин и технологических следов на трёхмерных

моделях объектов, что ранее требовало многих часов ручной работы; 4) прогнозирование свойств и происхождения.

Однако специфика археологических данных накладывает серьёзные ограничения на применение ИИ-методов. Эти данные характеризуются фрагментарностью, наличием пробелов, а также несбалансированностью, поскольку некоторые типы артефактов представлены тысячами экземпляров, а другие — единичными находками. Кроме того, для обучения нейросетей требуются размеченные наборы данных, то есть массивы, где каждый артефакт уже отнесён экспертом к определённому типу, культуре или технологической традиции. Создание таких размеченных наборов — чрезвычайно трудоёмкая экспертная работа. Таким образом, внедрение ИИ-методов в историческое материаловедение не снижает, а, напротив, повышает ценность гуманитарной экспертизы: теперь роль такого исследователя трансформируется от единоличного интерпретатора к разработчику обучающих выборок и верификатору результатов машинного анализа.

Наиболее перспективное направление на этом пути — адаптация методов цифрового материаловедения к археометрическим задачам. Цифровое материаловедение — развивающаяся область на стыке физики, химии и информатики, где с помощью ИИ-технологий моделируются структура и свойства материалов. Перенос этих методов в археометрию открывает возможность предсказательного моделирования: по известному составу и микроструктуре древнего сплава можно спрогнозировать его технологические свойства, а затем сравнить предполагаемые расчёты с экспериментально наблюдаемыми следами обработки на артефакте. Это позволит реконструировать технологический процесс: температуру нагрева, режим охлаждения, характер механической деформации и проч. В более широкой перспективе внедрение ИИ-методов даст возможность осуществить переход от изучения единичных артефактов к системному анализу целых коллекций и выявить глобальные технологические тренды, культурные взаимодействия и экономические связи в масштабах регионов и эпох.

Межотраслевое и социокультурное значение

Развитие исторического материаловедения имеет значение, далеко выходящее за рамки академической науки. Применение разрабатываемых методов неразрушающего контроля и многомасштабной визуализации не ограничивается исследованием древностей. Многие из этих методов были впервые адаптированы для археологических задач, а затем нашли применение в диагностике современных материалов. Речь идёт, в частности, о методах исследования гетерогенных многослойных структур (композиционные материалы, керамические покрытия, сварные швы), которые востребованы

в авиастроении, энергетике и производстве строительных материалов. Обратный инжиниринг, восстановление технологии изготовления изделия по его конечной структуре, также был в значительной степени развит на археологических материалах. Показательным примером служит Шанхайский институт керамики Китайской академии наук, изначально создававшийся для реконструкции древних керамических технологий, а впоследствии превратившийся в многопрофильный исследовательский центр мирового уровня.

Важнейшим направлением трансформации музейного пространства становится внедрение результатов высокотехнологичных исследований. 3D-реконструкции, основанные на томографических данных, позволяют заглянуть внутрь объекта и воссоздать его утраченные части, визуализировать этапы изготовления или реставрации. Тактильные копии — высокоточные физические воспроизведения ОКН, созданные методами 3D-печати, — делают культурное наследие доступным для незрячих и слабовидящих посетителей, а также для детских экспозиций, где оригиналы слишком хрупки или ценны для тактильного контакта. Виртуальные выставки, построенные на основе спектральных и томографических данных, позволяют увидеть то, что скрыто под слоем коррозии или внутри замкнутого сосуда, превращая музейный опыт из пассивного созерцания в активное исследование. Подобные решения, основанные на методах неразрушающего анализа и цифровой документации, напрямую влияют на увеличение музейной аудитории и на экономические показатели отрасли.

Наконец, образовательный потенциал исторического материаловедения пока реализован далеко не полностью. Интеграция современных исследовательских методик и их результатов в онлайн-курсы, виртуальные лаборатории и базы трёхмерных моделей создаёт новый класс образовательного контента для школ, вузов и учреждений дополнительного образования. Это призвано повышать мотивацию и вовлечённость, а также служит эффективным инструментом профориентации, привлечения абитуриентов. В контексте государственной политики цифровизации образования и инклюзивности такие решения приобретают особую значимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование институциональных и методологических условий становления исторического материаловедения позволяет сформулировать ряд обобщающих выводов, имеющих значение для развития этой междисциплинарной области и практики организации аналогичных исследовательских структур в других регионах России.

Историческое материаловедение на современном этапе своего развития оформилось не просто как набор аналитических методов, прилагаемых к археологическим объектам, а как новая исследовательская культура, в рамках которой диалог гуманитарного и естественно-научного знаний перешёл от эпизодического сотрудничества, где естественник выступал лишь в роли обслуживающего приборы специалиста, к системной интеграции, предполагающей совместную постановку задач и интерпретацию результатов, взаимное обучение языку смежной дисциплины. Ключевой характеристикой этой новой культуры становится рассмотрение материального объекта как самостоятельного источника данных о составе, структуре, технологии и происхождении, который может генерировать новые исторические знания, недоступные при традиционном визуальном и типологическом анализах.

Второй фундаментальный вывод касается условий успешного развития направления. Как показал исторический анализ, ключевым фактором выступает институциональная поддержка. Отдельные энтузиасты и единичные проекты, какими бы блестящими они ни были, не могут обеспечить системного прогресса. Необходимы три взаимосвязанных условия: 1) создание специализированных лабораторий с постоянным штатом междисциплинарных специалистов; 2) долгосрочное финансирование, позволяющее планировать исследования не на один-два года, а на перспективу 5—10 лет; 3) доступ к уникальному аналитическому оборудованию, в том числе к мегаустановкам класса синхротронов и нейтронных источников. Именно совокупность этих условий определяет превращение исторического материаловедения из сферы отдельных аналитических опытов в полноценное научное направление.

В Дальневосточном регионе России создание Молодёжной лаборатории исторического материаловедения в Дальневосточном федеральном университете стало опытом реализации всех трёх названных условий в комплексе. Лаборатория представляет собой первый на Дальнем Востоке центр компетенций, где принципы взаимодополняемой интеграции знаний, неразрушающего приоритета и комплементарности методов реализуются на постоянной, а не проектной основе. В отличие от предшествующей практики, когда археологи обращались в аналитические лаборатории по индивидуальным запросам, МЛИМ стремится выстраивать системную работу: постоянный междисциплинарный коллектив (химики-аналитики, археологи, материаловеды); типовые исследовательские протоколы для основных категорий археологических материалов (металл, керамика, стекло, камень); партнёрские связи с академическими институтами, музеями и национальными исследовательскими центрами.

Стратегическое значение лаборатории раскрывается в трёх измерениях. В технологическом — это подготовка к работе на мегаустановке

синхротрона «Русский источник фотонов», которая выводит исследование дальневосточных археологических материалов на принципиально новый уровень. В организационно-методологическом измерении это отработка сетевой модели взаимодействия между университетом, академическими институтами (в первую очередь Институтом истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН), музеями и национальными исследовательскими центрами (НИЦ «Курчатовский институт»). В социально-экономическом и образовательном измерении это создание тактильных копий и виртуальных реконструкций для инклюзивных экспозиций, генерация образовательного контента нового класса (онлайн-курсы, виртуальные лаборатории), подготовка кадров для работы на уникальном оборудовании и в конечном счёте повышение научно-технологического статуса Дальнего Востока России в Азиатско-Тихоокеанском регионе.

Дальнейшее развитие исторического материаловедения в России, и на Дальнем Востоке в особенности, связано с двумя взаимозависимыми процессами. Во-первых, запуск синхротрона «Русский источник фотонов» (РИФ) на о. Русском станет важным событием для всего направления. К этому моменту МЛИМ должна накопить портфель проектов, отработанных методик и, что особенно важно, подготовить кадры, способные эффективно работать на синхротронных станциях. Успешная реализация первых проектов на РИФ станет институциональным прецедентом для археологической науки в регионе, демонстрирующим эффективность модели «мегаустановка — региональная лаборатория».

Во-вторых, переход от изучения единичных артефактов к системному анализу целых коллекций и реконструкции технологических традиций. До сих пор, несмотря на развитие аналитических методов, большинство археометрических исследований остаются «точечными». Накопление больших массивов данных в сочетании с внедрением ИИ-методов и машинного обучения открывает возможность перейти к анализу на уровне культурно-технологических традиций. Теперь будет недостаточно ответить на вопрос, из какого сплава изготовлено данное зеркало, так как новые методы исследования позволят изучить, например, как менялась технология литья зеркал в бохайское время, были ли различия между городскими и сельскими производственными центрами в ту эпоху, как импортные сплавы соотносятся с местными традициями обработки. Именно такие переходы от объекта к коллекции, от коллекции к традиции, от традиции к историческому процессу составляют конечную цель исторического материаловедения как интегративной исследовательской парадигмы.

Подводя итог, следует подчеркнуть, что создание Молодёжной лаборатории исторического материаловедения в ДВФУ и её интеграция с синхротроном РИФ — это не локальный эпизод в жизни одного университета. Это модельный проект, демонстрирующий,

как на основе междисциплинарной коллаборации, долгосрочного финансирования и доступа к мегаустановкам может быть выстроена эффективная исследовательская инфраструктура для изучения и сохранения культурного наследия. Успех этого проекта создаёт прецедент, который может быть масштабирован на другие научно-образовательные центры России, например, в Сибири (синхротрон СКИФ), в центральной части страны (Курчатовский синхротрон). В более широкой перспективе речь идёт о формировании в России национальной сети центров археометрических исследований, интегрированных с мегаустановками и работающих по единым стандартам. Это укрепит научно-технологический суверенитет страны в области высокотехнологичных исследований культурного наследия и обеспечит российской археологии достойное место в мировом научном ландшафте.

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ / REFERENCES AND SOURCES

Алёшин А.Б., Бобров Ю.Г., Брегман Н.Г. 2008. *Реставрация памятников истории и искусства в России в XIX—XX веках. История, проблемы*. М.: Академический Проект: Альма Матер.

Aleshin A.B., Bobrov Yu.G., Bregman N.G. 2008. *Restoration of Historical and Art Monuments in Russia in the 19th — 20th Centuries. History, Problems*. Moscow, Akademicheskiy Proyekt Publ., Al'ma Mater Publ. (In Russ.)

Балагурова А.В., Буравлев И.Ю. 2024. Применение портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра для исследования археологических бронз. *Труды Института истории, археологии и этнографии ДВО РАН*, № 43: 200—212.

Balagurova A.V., Buravlev I.Yu. 2024. Application of a Portable X-ray Fluorescence Spectrometer for the Study of Archaeological Bronzes. *Trudy Instituta istorii, arkheologii i etnografii DVO RAN*, No 43: 200—212. (In Russ.)

Грабарь И.Э. 1937. *Моя жизнь: автобиография*. М.: Искусство.

Grabar' I.E. 1937. *My Life: an Autobiography.* Moscow, Iskusstvo Publ. (In Russ.)

Журавлёв Д.В., Шишлина Н.И. 2014 (ред.). *Государственный исторический музей и отечественная археология. К 100-летию отдела археологических памятников.* М.: Исторический музей.

Zhuravlev D.V., Shishlina N.I. 2014 (eds.). *The State Historical Museum and National Archaeology. To the 100th Anniversary of the Department of Archaeological Monument.* Moscow, Istoricheskiy muzey Publ. (In Russ.)

Зверев В.В. 1999. *От поновления к научной реставрации*. М.: ГосНИИР.

Zverev V.V. 1999. *From Renewal to Scientific Restoration*. Moscow, GosNIIR Publ. (In Russ.)

Колчин Б.А. 1965 (ред.). *Археология и естественные науки*. М.: Наука.

Kolchin B.A. 1965 (ed.). *Archaeology and Natural Sciences*. Moscow, Nauka Publ. (In Russ.)

Колчин Б.А., Шер Я.А. 1969. Некоторые итоги применения естественнонаучных методов в археологии. *Краткие сообщения Института археологии (КСИА)*, № 118: 83—100.

Kolchin B.A., Sher Ya.A. 1969. Some Results of the Application of Natural Science Methods in Archaeology. *Kratkiye soobshcheniya Instituta arkheologii (KSIA)*, No 118: 83—100. (In Russ.)

Крадин Н.Н. 2013. Итоги и перспективы развития археологии Дальнего Востока России. *Гуманитарные исследования в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке*, № 5 (25): 32—43.

Kradin N.N. 2013. Results and Prospects for the Development of Archaeology in the Russian Far East. *Gumanitarnyye issledovaniya v Vostochnoy Sibiri i na Dal'nem Vostoke*, No 5 (25): 32—43. (In Russ.)

Кузьминых С.В., Луньков В.Ю., Орловская Л.Б. 2011. Рентгено-флуоресцентный анализ меди и бронз: серия 2013—2016 гг. *Аналитические исследования лаборатории 302 естественнонаучных методов* / отв. ред. В.И. Завьялов, С.В. Кузьминых. М.: Институт археологии РАН: 129—136.

Kuz'minykh S.V., Lun'kov V.Yu., Orlovskaya L.B. 2011. X-ray Fluorescence Analysis of Copper and Bronzes: 2013—2016 Series. *Analytical Studies of Laboratory 302 of Natural Science Methods*. Ed. by V.I. Zav'yalov, S.V. Kuz'minykh. Moscow, Institut arkheologii RAN Publ.: 129—136. (In Russ.)

Лебедев Г.С. 1992. *История отечественной археологии*. СПб.: СПбГУ.

Lebedev G.S. 1992. *History of National Archaeology*. St. Petersburg, SPbGU Publ. (In Russ.)

Мусин А.Е., Медведева М.В. 2019 (ред.). *Императорская археологическая комиссия (1859—1917): история первого государственного учреждения российской археологии от основания до реформы*. СПб.: ИИМК РАН.

Musin A.E., Medvedeva M.V. 2019 (eds.). *The Imperial Archaeological Commission (1859—1917): The History of the First State Institution of Russian Archaeology from Foundation to Reform*. St. Petersburg, IIMK RAN Publ. (In Russ.)

Платонова Н.И. 1989. Российская Академия истории материальной культуры. Этапы становления (1918—1919 гг.). *Советская археология*, № 4: 305.

Platonova N.I. 1989. The Russian Academy of the History of Material Culture. Stages of Formation (1918—1919). *Sovetskaya arkheologiya*, No 4: 305. (In Russ.)

Тихонов И.Л. 2012. «История Русского археологического общества (1897—1921 гг.)» С.А. Жебелёва. *Вестник Санкт-Петербургского университета*, № 3: 72—82.

Tikhonov I.L. 2012. "The History of the Russian Archaeological Society (1897—1921)" by S.A. Zhebelev. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*, No 3: 72—82. (In Russ.)

Шер Я.А. 2007. Лаборатория археологической технологии ЛОИА при С.И. Руденко и после него. *Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях. Материалы конференции, посвящённой 50-летию радиоуглеродной лаборатории ИИМК РАН, 9—12 апреля 2007 г., Санкт-Петербург*. СПб.: ИИМК РАН.

Sher Ya.A. 2007. The Laboratory of Archaeological Technology of the Leningrad Branch of the Institute of Archaeology under S.I. Rudenko and after Him. *Radiocarbon in Archaeological and Paleoecological Research. Proceedings*

of the Conference Dedicated to the 50th Anniversary of the Radiocarbon Laboratory of IIMK RAS, April 9—12, 2007, St. Petersburg. St. Petersburg, IIMK RAN Publ. (In Russ.)

Яхонт О.В. 2023. Из истории становления системы охраны и реставрации памятников искусства и культуры в России в 1917—1920-х годах. *Художественное наследие. Исследования. Реставрация. Хранение.* М.: ГосНИИР: 60—74.

Yakhont O.V. 2023. From the History of the Formation of the System of Protection and Restoration of Art and Cultural Monuments in Russia in the 1917—1920s. *Artistic Heritage. Research. Restoration. Storage*. Moscow, GosNIIR Publ.: 60—74. (In Russ.)

Adriaens A. 2005. Non-Destructive Analysis and Testing of Museum Objects: An Overview of 5 Years of Research. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, vol. 60 (12): 1503—1516.

Artioli G. 2010. *Scientific Methods and Cultural Heritage: An Introduction to the Application of Materials Science to Archaeometry and Conservation Science*. Oxford, Oxford University Press.

Bertrand L., Cotte M., Stampanoni M., Thoury M., Marone F., Schöder S. 2012a. Development and Trends in Synchrotron Studies of Ancient and Historical Materials. *Physics Reports*, vol. 519 (2): 51—96.

Bertrand L., Robinet L., Thoury M., Janssens K., Cohen S.X., Schöder S. 2012b. Cultural Heritage and Archaeology Materials Studied by Synchrotron Spectroscopy and Imaging. *Applied Physics*, vol. 106 (2): 377—396.

Buravlev I.Yu., Lapo E.G., Pimenov V.A., Kozlova Yu.V., Nikitin S.A. 2022. Three-Colored Sancai Glazed Ceramics Excavated from Bohai Sites in Primorye (Russia). *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 41: 103346.

Cameli Manzo R., Földi Z.J., Jáka-Sövegjártó S., Etter M. 2025. A Synchrotron X-ray Powder Diffraction Study of Cuneiform Clay Artefacts. *Heritage Science*, vol. 13: 605.

Creagh D. 2006. X-Ray and Neutron Digital Radiography and Computed Tomography for Cultural Heritage. *Physical Techniques in the Study of Art, Archaeology and Cultural Heritage*. Amsterdam, Elsevier Publ.: 41—123.

Dardeniz Arıkan G., Kaya O., Büyükgedik G., Özkorucuklu S., Iori G., Hameed F. 2025. Synchrotron Computed Tomography of 5000 Years Old Faience Beads from Southeastern Anatolia (Türkiye). *Tomography of Materials and Structures*, vol. 7: 100056.

Dussubieux L., Golitko M., Gratuze B. 2016 (eds.). *Recent Advances in Laser Ablation ICP-MS for Archaeology*. Cham, Springer Publ.

Irto A., Micalizzi G., Bretti C., Chiaia V., Mondello L., Cardiano P. 2022. Lipids in Archaeological Pottery: A Review on Their Sampling and Extraction Techniques. *Molecules*, vol. 27 (11): 3451.

Janssens K., Van Grieken R. 2004. *Non-Destructive Microanalysis of Cultural Heritage Materials*. Belgium, Elsevier Publ.

Kałużna-Czaplińska J., Rosiak A., Kwapińska M., Kwapiński W. 2016. Different Analytical Procedures for the Study of Organic Residues in Archeological

Ceramic Samples with the Use of Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, vol. 46: 67—81.

Kichanov S., Saprykina I., Kozlenko D., Nazarov K., Lukin E., Rutkauskas A., Savenko B. 2018. Studies of Ancient Russian Cultural Objects Using the Neutron Tomography Method. *Journal of Imaging*, vol. 4 (2): 25.

Koval'chuk M.V., Yatsishina E.B., Blagov A.E., Tereshchenko E.Yu., Prosekov P.A., Dyakova Yu.A. 2016. X-ray and Synchrotron Methods in Studies of Cultural Heritage Sites. *Crystallography Reports*, vol. 61: 703—717.

Licata M., Pinto A. 2020. Radiology in Archaeology: Fundamentals and Perspective — Examination of the Living. *Radiology in Forensic Medicine: From Identification to Post-Mortem Imaging*. Cham, Springer Publ.: 43—54.

Mazzinghi A., Castelli L., Ruberto C., Barone S., García-Avello Bofías F., Bombini A., Czelusniak C., Gelli N., Giambi F., Manetti M., Massi M., Sodi L., Balerna A., Pronti L., Romani M., Angelucci M., Viviani G., Sciarra V., Cestelli Guidi M., Marabotto M., Sottili L., Vigorelli L., Tansella F., Magalini M., Guidorzi L., Re A., Lo Giudice A., Ricci C., Pozzi F., Iorio G., Graziani V., Fabbri A., Branchini P., De Carlo A., Tortora L., Morigi M.P., Bettuzzi M., Brancaccio R., Seracini M., Cantini F., Grazzi F., Marcucci G., Clemenza M., Alloni D., Altieri S., Rossini R., Salvini A., Sans-Planell O., Zafiropoulos D., Sarchiapone L., Arneodo F., Torres Saavedra R.A., Castellá M.F., Mastrangelo N., Morales A.M., Taccetti F., Giuntini L. 2024. X-Ray and Neutron Imaging for Cultural Heritage: The INFN-CHNet Experience. *The European Physical Journal Plus*, vol. 139: 635.

Numrich M., Schwall C., Lockhoff N., Nikolentzos K., Konstantinidi-Syvridi E., Cultraro M., Horejs B., Pernicka E. 2023. Portable Laser Ablation Sheds Light on Early Bronze Age Gold Treasures in the Old World: New Insights from Troy, Poliochni, and Related Finds. *Journal of Archaeological Science*, vol. 149: 105694.

Rodler A.S., Artioli G., Klein S., Petschick R. 2017. Provenancing Ancient Pigments: Lead Isotope Analyses of the Copper Compound of Egyptian Blue Pigments from Ancient Mediterranean Artefacts. *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 16: 1—18.

Roffet-Salque M., Dunne J., Altoft D.T., Casanova E. 2017. From the Inside Out: Upscaling Organic Residue Analyses of Archaeological Ceramics. *Journal of Archaeological Science: Reports*, vol. 16: 627—640.

Uda Masayuki, Demortier G., Nakai Izumi. 2005 (eds.). *X-rays for Archaeology.* Dordrecht, Springer Publ.

Zhang Long, Ziyan Song, Feng Hou, Huafeng Xu 2025. Origin Characteristics of Ming-Qing Inscriptionless Blue Bricks Via K-Means Analysis. *Heritage Science*, vol. 13: 541.

Zhushchikhovskaya I.S., Buravlev I.Yu., Karpenko A.A. 2025. Chinese Porcelains of the Early 18th Century from the Commander Islands, Northwest Pacific: Archaeometry Study. *Chinese Studies*, vol. 14 (2): 150—175.

Zhushchikhovskaya I.S., Buravlev I.Yu., Karpenko A.A., Garanina O.Yu., Klyueva M.A. 2023. Red and Black Paints on Prehistoric Pottery of the Southern Russian Far East: An Archaeometric Study. *Ceramics*, vol. 6 (2): 1078—1099.

Дата поступления в редакцию 01.04.2026