

Рындина Н.В.¹, Ениосова Н.В.², Сингх В.К.³

Естественнонаучные методы изучения древних металлических изделий в лабораториях кафедры археологии МГУ: достижения и перспективы

Аннотация. В статье представлен обзор исследований, посвященных проблемам древних и средневековых технологий обработки металла в лабораториях кафедры археологии. С середины прошлого века до настоящего времени их изучение основано на сочетании традиционных археологических методов и применения массовых аналитических данных, полученных с помощью металлографии и анализа химического состава металла находок различных эпох и территорий

Ключевые слова: древняя и средневековая металлообработка, методы естественных наук, металлография, химический состав металла

УДК 903.05

Abstract. This paper presents the results of a combined archaeological and scientific study of the ancient and medieval metalworking technologies carried out at the laboratories of the Archaeological Department of the Moscow State University. Since the middle of the last century up to the present time, scientific investigations have based on the large analytical data obtained with metallography and elemental analysis of the metal finds from the different periods and territories.

Key words: ancient and medieval metalworking, scientific methods, metallography, chemical composition of the metals

Применение методов естественных наук в археологических исследованиях имеет долгую и плодотворную историю. Однако за последние десятилетия произошел настоящий информационный взрыв, связанный с увеличением набора научных методов, техник и вспомогательных дисциплин, сосредоточенных на изучении культурного наследия различных эпох. Некоторые из них – продукт

¹ *Рындина Наталья Владимовна* – д.и.н., профессор кафедры археологии исторического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (email: faculty@hist.msu.ru)

² *Ениосова Наталья Валерьевна* – к.и.н., старший научный сотрудник кафедры археологии исторического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (email: eniosova@gmail.com)

³ *Сингх Виктор Каширович* – к.и.н., научный сотрудник кафедры археологии исторического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (email: arxeolog@gmail.com)

побочного интереса ученых, основное поле деятельности которых ядерная физика, химия, биология, медицина и материаловедение. Вместе с тем, исследовательские программы многих научных учреждений и подразделений разработаны применительно к конкретным задачам определения элементного и структурного состава древних материалов, их возраста, происхождения и подлинности⁴.

В 1953 году по инициативе А.В. Арциховского, Б.А. Колчина, М.Н. Кислова и в соответствии с приказом ректора МГУ И.Г. Петровского на кафедре археологии исторического факультета были созданы учебные и научно-исследовательские лаборатории. С самого начала своего существования лаборатории были оснащены специальным оборудованием, позволяющим готовить образцы и исследовать их с помощью оптических и металлографических микроскопов, а также производить спектральный анализ химического состава стекла и металла. Их основатели видели огромные перспективы применения методов естественных наук для изучения уникальных находок и массовых археологических материалов, многие из которых поступили на кафедру в результате ежегодных раскопок. Эти исследования давали более прочный фундамент для установления состава материала, техники производства древних вещей, их датировки и происхождения, чем формальное сходство на основе морфологических признаков. Количественные характеристики формирующихся банков данных для разных материалов были заимствованы из арсенала аналитической химии.

Лаборатория структурного анализа

Первая научная тема лаборатории структурного анализа - история черной металлургии и металлообработки древнего Новгорода, которую разрабатывал и вел Б.А. Колчин. На основе массового применения металлографического и спектрального методов он проделал колоссальную работу по аналитическому изучению новгородских находок из железа и стали. Итогом новаторского исследования стала его обобщающая статья «Железообрабатывающее ремесло Новгорода Великого», представившая сложную картину развития черной металлургии средневековой Руси⁵.

В дальнейшем тематика лаборатории была расширена благодаря структурному исследованию изделий из цветных металлов. И в этом случае первый опыт связан с новгородскими материалами – ювелирные изделия из раскопок этого памятника были подвергнуты массовому металлографическому анализу, обеспечившему надежный фундамент для реконструкции технологии производства украшений в северной столице Руси. Н.В. Рындина – ученица Б.А.Колчина, прошедшая специальную подготовку на кафедре металловедения Института стали и сплавов, разработала и применила комплексный подход к

⁴ Rehren Th., Pernicka E. Coins, artefacts and isotopes – archaeometallurgy and archaeometry//Archaeometry 50th Anniversary Issue. Vol. 50. Part 2. 2008. Pp. 232-248.

⁵ Колчин Б.А. Железообрабатывающее ремесло Новгорода Великого//МИА СССР. №65. М. 1959.

изучению изделий из меди, бронзы и латуни. Объединив визуальный осмотр, металлографию, анализ химического состава металла и свидетельства исторических источников, она раскрыла производственные секреты новгородских мастеров, убедительно доказала высокий технический уровень ремесла и сложный характер его социальной организации⁶.

Следующий этап развития лаборатории структурного анализа был связан с обработкой массового археологического материала Юго-Восточной Европы эпохи энеолита – раннего бронзового века. В 1960-1970-х годах около ста орудий и украшений трипольской археологической культуры V-III тыс. до н.э. были изучены с помощью микро- и макроструктурных анализов. В результате удалось выявить динамику развития техники металлообработки древних трипольцев. Во второй половине V тыс. до н.э. трипольские мастера освоили кузнечные приемы обработки меди, выплавленной из руд Ай Бунара на юге Болгарии. Доставляемые в трипольский ареал слитки сырьевой меди подвергались ковке при разных температурных режимах, прошивке, изгибанию и прочим сложным кузнечным приемам, что позволило получать даже проушные топоры. Техника литья появилась у них лишь в первой половине IV тыс. до н.э., что отражает общие закономерности, свойственные ранней металлообработке. Полученные наблюдения были положены в основу кандидатской диссертации Н.В.Рындиной и опубликованной ею монографии⁷.

Энеолитический металл Болгарии и древнейшая медь степной и лесостепной зон Восточной Европы (около 300 изделий) оказались в фокусе исследований лаборатории структурного анализа в 1980-1990-х гг. Их результаты стали основой для создания истории древнейшего металлообрабатывающего производства Юго-Восточной Европы⁸. Комплексное изучение данных по морфологии, структурному и химическому составу металла способствовало более глубокому пониманию технологических достижений неолита, энеолита и бронзового века и обеспечило прочный фундамент для гипотезы относительно происхождения металлургии Ближнего Востока и Европы, а также для создания периодизации металлообрабатывающего производства. Оказалось, что значительно сложнее реконструировать способы организации и структуру древнего производства, но совмещение данных письменных источников, археологии, этнологии и «технологической истории» изделий из меди и бронзы, открывало перспективы и для социальных интерпретаций. Своеобразным итогом историко-металлургических исследований явилось издание учебного пособия, подготовленного Н.В. Рындиной и А.Д. Дегтяревой "Энеолит и бронзовый век"⁹. В пособии принята группировка археологического

⁶ Рындина Н.В. Технология производства новгородских ювелиров X-XV вв.//МИА СССР. Вып. 117. Новые методы в археологии. Труды Новгородской Археологической экспедиции. Т. III. М. 1963.

⁷ Рындина Н.В. Древнейшее металлообрабатывающее производство Восточной Европы. М. 1971.

⁸ Рындина Н.В. История древнейшего металлообрабатывающего производства Юго-Восточной Европы (истоки и развитие в неолите-энеолите). М. 1998.

⁹ Рындина Н.В., Дегтярева А.Д. Энеолит и бронзовый век. Учеб. Пособие по курсу «Основы археологии». М. 2002.

материала в рамках крупных производственных общностей - металлургических провинций, очагов металлургии и металлообработки.

В течение длительного времени существенным недостатком в интерпретации структур древних металлов и сплавов являлось отсутствие полноценных эталонных образцов, отражающих варианты наиболее распространенных видов формовки изделий: литья,ковки, сварки. В атласах современных микроструктур многие типы древних медных сплавов отсутствуют, поскольку в настоящее время не используются. Исследование эталонных структур меди и сплавов меди с мышьяком были проведены в лаборатории структурного анализа Н. В. Рындиной и И.Г. Равич - ведущим научным сотрудником отдела металла ГосНИИР¹⁰. Процесс расшифровки структур древнего металла проводился на основе изучения модельных образцов, соответствующих технологическим схемам, максимально приближенным к древним производственным стандартам. Создание атласов эталонных микроструктур позволило на новом, документированном уровне расшифровывать технологию изготовления древних вещей, подвергнутых различной обработке (литье,ковка с различной степенью деформации металла, температурные режимыковки и т.д.). В настоящее время уникальная методика микроструктурного анализа древних цветных металлов с помощью эталонных атласов нашла широкое применение во многих научных лабораториях нашей страны и за рубежом.

К началу 2000 гг. лаборатория структурного анализа кафедры археологии стала крупнейшей в России по объему произведенных аналитических исследований изделий из цветного металла. В ее базе данных накопились сведения о структуре металла 5000 находок из меди и медных сплавов. Хронологически они охватывают период от эпохи раннего металла до Средневековья. Территориально - от Болгарии на западе до Приморья и Приамурья на востоке.

На протяжении последних пятнадцати лет благодаря поддержке руководства МГУ и научных фондов (РГНФ, РФФИ, ИНТАС) произошла модернизация значительной части лабораторного оборудования. Сейчас лаборатория структурного анализа оснащена современной техникой - инвертированным микроскопом отраженного света Axiovert 25CA и стереомикроскопом Stemi 2000-C с фотокамерой и программным обеспечением AxioVision (KarlZeiss). Они активно используются для получения информации о «технологической» истории древних вещей и открывают широкие возможности для фиксации микроструктур и следов производственных операций на изделиях с большим увеличением (*рис.1*).

¹⁰ Проект РГНФ № 04-06-80065 «Археология и металлография: изучение технологий древнего металлопроизводства меди и ее сплавов»



Рис.1. Макросъемка серебряной оправы деревянного ковша из погребения конца X в., обнаруженного в некрополе древнего Пскова. При разном увеличении можно зафиксировать фоновую чернь и чернь вдоль рисунка, а также гравированные линии под чернь, оставленные мессеритихелем (фотография Н.В. Ениосовой)

Аналитические результаты, полученные на новом оборудовании, стали источниковедческой основой для нескольких масштабных проектов, посвященных проблемам технологии производства цветного и драгоценного металла в древности и Средневековье.

Один из них посвящен самому яркому металлу Восточной Европы раннего бронзового века, оставленному племенами майкопской культуры конца IV – первой половины III тыс. до н.э. на Северном Кавказе. В этот период майкопские племена занимали степное Предкавказье от Таманского полуострова на западе до Дагестана на востоке. На этой территории металлические изделия исчисляются многими сотнями и представлены орудиями и оружием из мышьяковых и мышьяково-никелевых бронз; украшениями, сосудами, культовыми предметами из золота, серебра и сплавов серебра с медью. Ряд изделий отличается специфическими формами, типичными только для Северного Кавказа (мотыги, позднемайкопские втульчатые топоры с орнаментом на обухе, котлы, массивные желобчатые кинжалы «кишпекского» типа», двузубые «вилки», крюки и пр.). Подобные находки служат выразительным свидетельством развития местного металлопроизводства (рис.2).

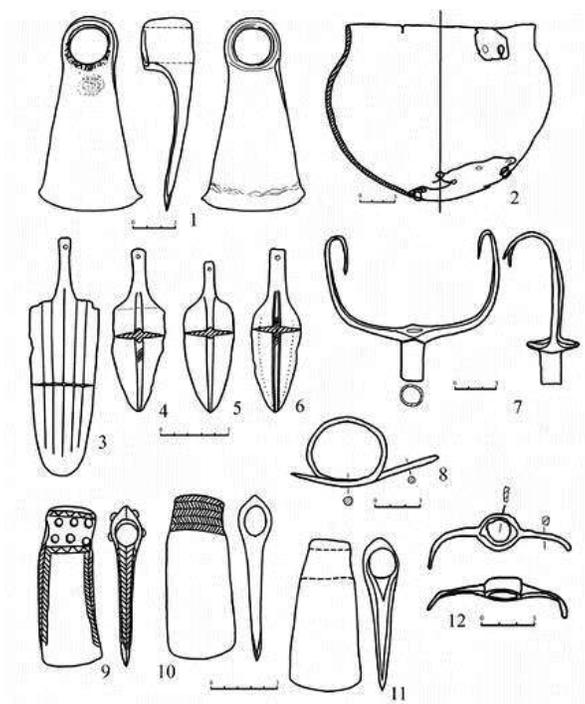


Рис.2. Предметы майкопского металлопроизводства, не имеющие точных параллелей за пределами Предкавказья: 1 – Галюгай I; 2–Заманкул; 3,4,5,6,8,9,10 – урочище. Клады; 7 - Краснодарский край (случ. находка); 11, 12 – Иноземцево (из личного архива авторов).

До недавнего времени блистательные майкопские находки изучались только с точки зрения типологии и химического состава их металла. Поэтому результаты, полученные при их металлографическом анализе, открыли новую страницу в истории майкопского металлопроизводства. Микроструктурные исследования 152-х майкопских изделий позволило выделить 11 технологических схем их формовки (Табл.1).

Таблица 1. Технологические схемы майкопской металлообработки

Схемы	Технологические параметры
I	Литьё
II	Литьё + холодная ковка
III	Литьё + ковка с отжигами при 400 °С + холодная ковка
IV	Литьё + ковка с отжигами при 600 °С + холодная ковка
V	Литьё + ковка с отжигами при 700-750 °С + холодная ковка

VI	Литьё + ковка с отжигами при 400 °С
VII	Литьё + ковка с отжигами при 600 °С
VIII	Литьё + ковка с отжигами при 600 °С + сварка при 600 °С
IX	Литьё + ковка с отжигами при 600 °С + сварка при 400 °С
X	Горячая ковка при 700-750 °С + холодная ковка
XI	Литьё + ковка с отжигами при 700-750 °С + отжиг старения (отпуск) при 600 °С

Технологическая схема – это совокупность основных приемов изготовления вещи с учетом их последовательности и температур их исполнения. Выявленные технологические схемы позволяют говорить о высочайшем мастерстве майкопских литейщиков и кузнецов. Они прекрасно

различали свойства обрабатываемых сплавов, группируя различные способы литья, горячей и холоднойковки металла в системы взаимосвязанных, повторяющихся действий. Это свидетельствует о сложении устойчивых технических традиций, которые наряду с чертами сходства во всем майкопском ареале имеют и различия, проявленные в среде обитания прикубанских и центральнокавказских племен. По-видимому, на этой территории развевывалась деятельность двух различных очагов металлопроизводства – закубанского и терского, различающихся по своим технологическим характеристикам. Оба очага базировались на использовании медно-мышьяковых и медно-мышьяково-никелевых сплавов. Для уточнения состава сплавов было изучено 109 образцов на сканирующем электронном микроскопе «САМЕВАХ» с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа. Исследование на электронном микроскопе показало, что никель в мышьяковой бронзе входит в матрицу сплава, а также в состав включений в виде окислов типа NiO и интерметаллических соединений Cu-Ni-As. Появление в бронзах никеля исследователи связывают с особенностями руд, из которых получали мышьяковые сплавы. В качестве таковых можно рассматривать арсениды или арсенаты никеля, в изобилии представленные на Северном Кавказе в верховьях рек Белой, Лабы и Зеленчука. Здесь особенно часто встречается никелин (NiAs), имеющий золотисто-бронзовый цвет, который ассоциируется с минералами урана (Белореченское, Даховское и другие месторождения)¹¹. Индикатором эксплуатации этих месторождений майкопскими мастерами является примесь урана во включениях окислов никеля, обнаруженных в некоторых образцах в тысячных-сотых долях процента.

¹¹ Бетехин А.Г. Никелин//Минералы СССР. Том II. М. 1940. С. 589.

Полученные данные позволяют предположить, что никель попадал в мышьяковые бронзы майкопской культуры в результате совместной плавки медных и мышьяково-никелевых минералов, связанных с рудопроявлениями Северного Кавказа¹².

Высокая культура местных литейных и кузнечных достижений, объединенных в пределах выделенных технологических схем, свидетельствует о появлении в майкопском обществе специалистов по обработке металла. Майкопские литейщики-кузнецы следовали при изготовлении различных категорий изделий единым технологическим канонам и правилам. Использование обобщённых навыков и приемов работы с металлом регламентировалось составом металла и функцией изделия. Из этого следует, что металлообработка в майкопском обществе являлась тщательно налаженным и строго соблюдаемым процессом. Это своего рода наука, для сохранения и развития которой, должна была существовать профессиональная специализация ремесла с организованным институтом ученичества.

Судя по комплексному характеру технологических схем, специалисты по обработке металла были универсалами, владевшими многосторонними технологическими знаниями. В их руках находились все литейные, кузнечные и термические операции, связанные с изготовлением различных по назначению изделий. Поразительно высокий уровень их литейных навыков вызывает изумление даже у современных специалистов, которые отмечают совершенство литейных форм и отливок, впоследствии подвергавшихся кузнечной доработке.

При огромном многообразии и высоком качестве выпускаемой майкопскими мастерами продукции на раскопанных поселениях до сих пор не встречено никаких следов обработки или выплавки металла. Это позволяет заключить, что их деятельность развивалась в пределах замкнутых кланов, территориально обособленных от мест обитания майкопских общинников¹³. Вывод о клановой организации майкопского металлопроизводства позволяет надеяться, что в процессе обследования рудных месторождений Предкавказья археологами в содружестве с геологами будут обнаружены конкретные участки, в пределах которых разворачивалась деятельность клановых мастеров.

Особая тема в проведенном исследовании связана с проблемой переднеазиатских истоков металлургических знаний майкопских племен. Обобщение массовых микроструктурных данных показывает, что начальные стадии развития нового независимого центра металлургии предполагают некоторый период «ученичества», первичного знакомства мастеров с простейшими методами обработки металла. В зоне обитания майкопских племен Предкавказья в предшествующую им эпоху энеолита металл почти не известен (если не считать единичные украшения). В майкопское же время металлические изделия сразу приобретают массовый характер. Технология их производства изначально

¹² Рындина Н.В., Равич И.Г., Быстров С.В. О происхождении и свойствах мышьяково-никелевых бронз майкопской культуры Северного Кавказа//Археология Кавказа и Ближнего Востока. М. 2008. С. 196-221.

¹³ Рындина Н.В., Равич И.Г. Металл майкопской культуры Северного Кавказа в свете аналитических исследований//Аналитические исследования в лаборатории естественнонаучных методов. Вып.3. М. 2013. С.89-110.

характеризуется поразительным совершенством. Отсутствие признаков «ученичества» и внезапный всплеск сложных технологий свидетельствуют об их привнесении из южных культурных центров характере. Среди таких особых технологий можно назвать литье по восковой модели; ковку мышьяковых сплавов (As – 4-8 %) с высокотемпературными отжигами, вызывавшими их размягчение (эффект гомогенизации); инкрустацию бронз серебром и золотом; различные приемы получения серебристых покрытий (лужение, серебрение методом «выщелачивания», покрытие мышьяком)¹⁴. Микроструктурный анализ показал, что возникновение серебристого слоя во внешней зоне изделий из медно-мышьяковых сплавов связано с обратной ликвацией – расслаиванием компонентов сплава в процессе отливки кинжалов из мышьяковых бронз (As-3-6%). Ликвационное покрытие, толщина которого 0,3-1,0 мм, состоит из соединения Cu_3As . Струи этого соединения видны и во внутренней части шлифа, их вытянутость в продольном направлении связана с завершающей проковкой литой заготовки кинжала. Стремясь предотвратить потерю мышьяка с поверхности, полученной литьем, ковку вели при пониженной температуре (400-450°C), вероятнее всего, в восстановительной среде. На микрофотографии показана структура кинжала рубежа IV-III тыс. до н.э. из кургана 2, раскопанного у станции Новосвободной (рис.3).



Рис. 3. Структура кинжала при увеличении 200. Светлая кромка – ликвационное покрытие (фотография Н.В. Рындиной)

К числу редчайших технологий раннего бронзового века относится покрытие оловом (лужение) поверхности сосудов, полученных выколоткой из меди или низкомышьяковой бронзы. Единственный

¹⁴ Рындиной Н.В. Возможности металлографии и изучение древних изделий из меди и ее сплавов (эпоха раннего металла)//Археология и естественнонаучные методы. М. 2005. С.121-135.

экземпляр, сохранившийся полностью, – кувшин с округлым туловом и узким цилиндрическим горлом найден случайно в Адыгее, неподалеку от майкопского поселения Чишхо. Исследование структуры металла показало, что на фоне крупных полиэдрических кристаллов мышьяковой бронзы видны остатки светлого покрытия оловом (рис. 4).

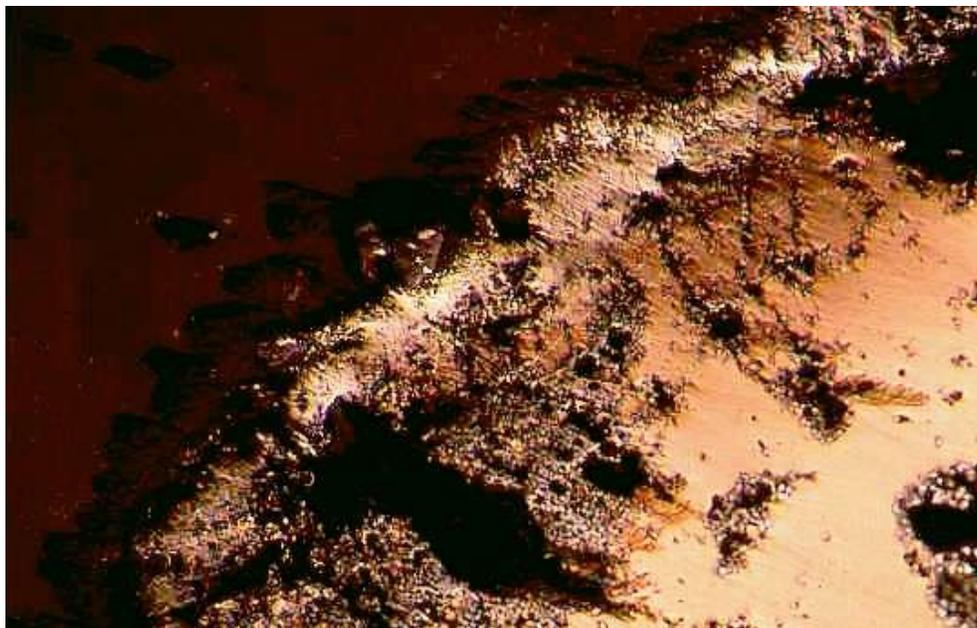


Рис. 4. Структура металла сосуда при увеличении 100. Светлая кромка – оловянное покрытие (фотография Н.В. Рындиной)

Дендритный характер покрытия свидетельствует, что его наносили в расплавленном виде (рис. 5).

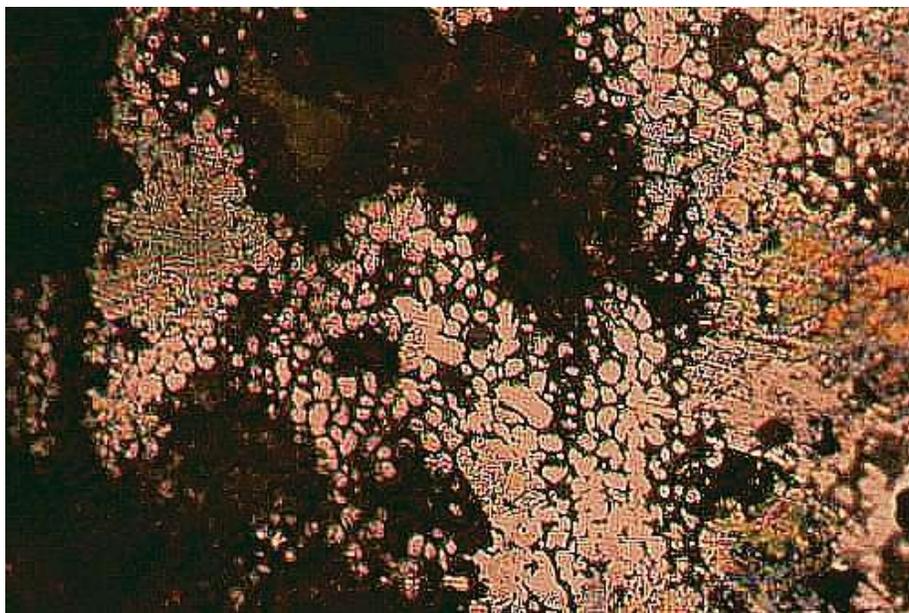


Рис.5. Дендритная структура оловянного покрытия сосуда при увеличении 500 (фотография Н.В.Рындиной)

Миниатюрная фигурка собачки из погребения 5 кургана 31 майкопской культуры в урочище Клады лежала в ногах погребенного и, как считалось до металлографического исследования, была отлита из серебра (рис. 6).



Рис. 6. «Серебряная» фигурка собачки из погребения 5 кургана 31 в урочище Клады со следами древнего ремонта (фотография Н.В. Ениосовой)

Однако структура изученного поперечного среза, полученного с хвостика собачки, говорит о том, что фигурка изготовлена не из драгоценного металла, а из сплава меди с серебром (Cu – 55%, Ag – 45%). На шлифе видна мелкодендритная структура, которая по цветовым особенностям дендритов делится на два слоя: наружный кольцеобразный белого цвета и внутренний – округлый и розовый (рис. 7).

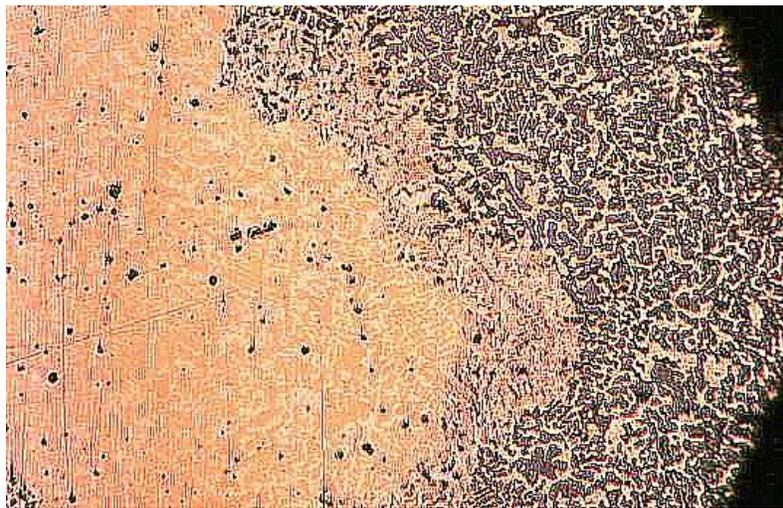


Рис. 7. Мелкодендритная двухслойная структура металла собачки при увеличении 200. Содержание серебра в наружном слое 70%, во внутреннем – 30% (фотография Н.В.Рындиной)

Очевидно, что произошло «истощение» медной составляющей сплава посредством ее замещения серебром, что вызвало иллюзию изготовления фигурки из чистого драгоценного металла. Удаление обогащенных медью фаз могло быть достигнуто двумя способами: посредством естественной длительной коррозии сплава; посредством быстрого, искусственно вызванного коррозионного процесса в момент изготовления предмета. Известно, что такой эффект мог быть достигнут с помощью обработки изделия уксусом или лимонной кислотой. Очевидно, что мастер использовал именно второй способ искусственного «обогащения» сплава серебром. Уже в древности одна из задних ножек была обломана и отремонтирована с помощью серебряной трубочки. Металл, выбранный для ремонта, показывает, что фигурка выглядела как изделие из высокопробного серебра. Аналогичные приемы серебрения зафиксированы в Восточной Анатолии. Материалы из этого региона синхронны майкопским (рубеж IV-III тыс. до н.э.).

Не вызывают сомнений переднеазиатские корни обозначенных редких технологий. Освоение их было стимулировано мастерами, продвинувшимися на Северный Кавказ с весьма удаленных южных территорий. Металлографическое изучение ближневосточного металла доказывает, что эти территории простирались на запад вплоть до Восточной Анатолии и Палестины, а на востоке доходили до южной Месопотамии и западного Ирана. Пока локализовать исходную зону миграции южных племен в более детальной форме не возможно. Но есть все основания утверждать, что они ассимилировали местное энеолитическое население и положили начало майкопской культуре, двухкомпонентной по своему составу.

Второй проект, выполненный в лаборатории структурного анализа с использованием возможностей нового оборудования, был посвящен литым бронзовым зеркалам раннего Средневековья¹⁵. Зеркала-диски с центральной ручкой-петлей и рельефным орнаментом на оборотной стороне появились впервые на европейской территории во II в. н.э. в Поволжье в сарматской среде. Со временем они вытеснили все предшествующие им формы и в III - IV вв. н.э. стали доминировать на территории Восточной Европы. Дальнейшее их развитие связано с аланами – прямыми потомками сармат. Являясь одним из характерных признаков аланской культуры, рельефные зеркала встречаются всюду, где зафиксировано пребывание алан. Это относится как к районам Северного Кавказа, так и к удаленным от него областям в бассейне Верхнего и Среднего течения Дона, где зеркала обнаружены в катакомбных могильниках салтовской культуры. В настоящее время известно около 1000 аланских зеркал IV - XII вв., происходящих с Северного Кавказа, Украины и юга России.¹⁶ Цель исследования,

¹⁵ Ениосова Н.В., Ковалевская В.Б., Царикаева З.Х. Средневековые литые зеркала из Юго-Восточной Европы // Древний Кавказ: ретроспекция культур. Международная научная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Е.И.Крупнова (XXIV Крупновские чтения по археологии Северного Кавказа). Тезисы докладов. М. 2004. С.78.

¹⁶ Ковалевская В.Б., Албегова З.Х., Пьянков А.В., Евсюков А.Н. Компьютерное картографирование массовых типов раннесредневековых металлических зеркал с центральной петелькой//Археология и геоинформатика. Вып. 3. Москва, 2006.

предпринятого Н.В.Ениосовой, - изучение технологии производства аланских зеркал и определение химического состава их металла.

Несмотря на значительные различия в диаметре, толщине и орнаментации зеркал, все они были произведены с помощью стандартных операций литья в разъемную 2-х стороннюю изложницу: одна сторона содержала орнамент, вторая была плоской и соответствовала зеркальной поверхности. Практически полное отсутствие среди аланских зеркал изделий высокого или просто хорошего качества позволяет предположить, что большая их часть произведена посредством оттиска в глину экземпляров, уже находящихся в употреблении. Многочисленные литейные дефекты, сохранившиеся на готовых изделиях, свидетельствуют о том, что исправить пороки отливки ковкой или иной механической обработкой было невозможно из-за опасности повреждения металла. Хорошо известно, что идеальным материалом для производства зеркал была «белая бронза», содержащая более 20% олова и 5-10% свинца. Такой сплав характерен для китайских зеркальных бронз с VI в. до н.э., он применялся в римскую эпоху, а также для производства сарматских литых зеркал¹⁷. Его отличает серебристый цвет, позволяющий получить равномерные отражательные свойства по всей поверхности зеркального диска и высокая твердость, обеспечивающая качественную полировку без царапин и деформаций. Температура плавления высокооловянной бронзы приблизительно 800 градусов. Вместе с тем, для зеркального металла характерна необычайная хрупкость, которая не дает возможности обрабатывать сплав давлением. Успешное изготовление зеркала целиком зависело от мастерства литейщика: материала и качества литейной формы, а также от условий литья и правильно подобранного сплава.

Металлографическое исследование структуры металла позволило документировать «технологическую историю» зеркал и уточнить данные о химическом составе металла. Для их изготовления использовали «зеркальную» бронзу, содержащую 20-25 % олова и 10-15 % свинца. На шлифах, полученных с зеркал Верхнекобанского могильника (Северная Осетия), выявлена специфическая эвтектическая структура высокооловянного сплава (рис. 8).

¹⁷ Meeks, N. Patination phenomena on Roman and Chinese high-tin bronze mirrors and other artefacts// Metal plating and patination. Cultural, Technical and Historical Developments. London. 1993. Pp.63-84; Равич, И.Г. Особенности состава и технологии изготовления миниатюрных сарматских зеркал из «белой бронзы»// РА № 3, 1995. С. 157-163.

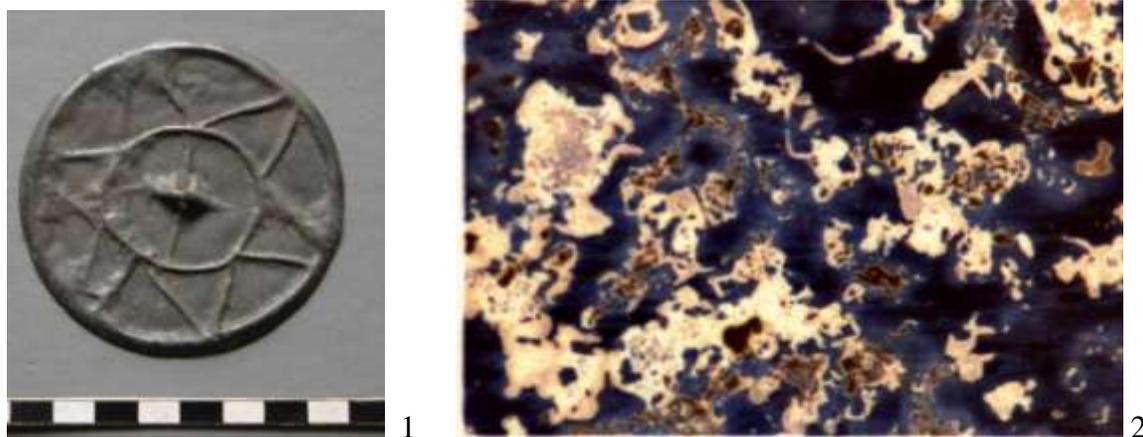


Рис. 8. Зеркало с рельефным орнаментом и ручкой - петлей из Верхнекобанского могильника (1); Микроструктура металла зеркала с увеличением 200. Эвтектическая структура сплава и коррозия, расположенная по колониям эвтектоида (2) (фотография Н.В.Ениосовой).

Игольчатая структура металла другого зеркала свидетельствует о медленной кристаллизации высокооловянной бронзы (рис. 9). Это означает, что отливка производилась в разъемную 2-х стороннюю шамотную изложницу с низкой теплопроводностью. Вероятно, отливка вместе с формой в течение нескольких часов остывала в тлеющих углях очага. После извлечения из створок изложницы зеркала тщательно полировали. Однако процесс интенсивной обработки различными абразивами не оставил следов в структуре металла.



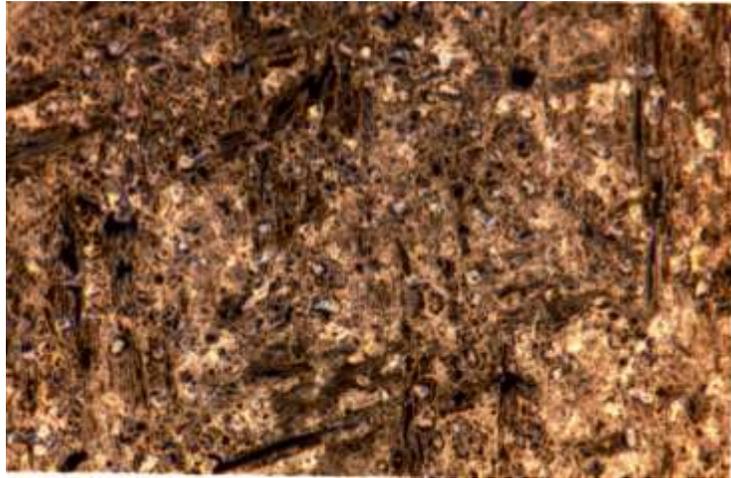


Рис 9. Зеркало из катакомбного погребения 1/51 Ютановского могильника (1).
Микроструктура металла зеркала с увеличением 500(2). Игольчатая структура металла образована при медленной кристаллизации высокооловянной бронзы (Cu-68%, Sn-25%, Pb-6%, Zn-0,94%, Ag-0,07, Sb-0,05) (фотографии Н.В.Ениосовой)

Изучение техники изготовления является важным источником для реконструкции производства зеркал в аланскую эпоху, но практически не дает информации о локальных и хронологических различиях их изготовления. Для решения этих вопросов решающее значение имеют сведения о химическом составе металла.

Самые ранние объекты выборки датируются VI - VII вв. н.э. (могильник Мокрая Балка, Кисловодская котловина). Они отлиты из классической высокооловянной «зеркальной» бронзы, содержащей 22 - 28% олова и 3 - 6% свинца. Химический состав более поздних экземпляров с Северного Кавказа и из бассейна Дона (VIII - X вв.) отличается менее стабильное содержание олова (от 12 до 38%) и свинца (от 2 до 40%). Многие экземпляры изготовлены из тройных сплавов, в составе которых в различных пропорциях зафиксированы олово, свинец и цинк. Вероятно, с течением времени в аланской среде рецепт «зеркальной» бронзы был утрачен. Мастера тщательно собирали обломки высокооловянных изделий и использовали для последующего производства, добавляя лом бронзовых и латунных изделий из различных источников.

Лаборатория спектрального анализа

Элементный анализ вещества – основной инструмент в определении материалов, использованных в древних производствах. В арсенале исследовательских лабораторий различных стран насчитывается несколько десятков методов изучения химического состава археологических артефактов, среди них существенными преимуществами обладают неразрушающие или наносящие минимальный ущерб методы (NAA, XRF, PIXE, PIGE, SR-XRF, AAS, ICP-MS, SIMS и др.). Даже в тех случаях, когда

происходит отбор пробы, ее не нужно уничтожать в процессе определения состава и измерения концентраций элементов. Это дает возможность извлечь максимально полную информацию для каждого образца и проверить полученные результаты в будущем с помощью более совершенных исследовательских процедур без вторичного отбора пробы.

Первым исследователем химического состава металла археологических находок в кафедральной лаборатории спектрального анализа стал ученик А.В. Арциховского — Альберт Александрович Коновалов. Как и в других случаях, новаторская работа была выполнена на основе материала, полученного в ходе новгородских раскопок. В конце 1960-х — начале 1970-х гг. А.А. Коновалов определил состав металла более 1300 изделий, обнаруженных в Новгороде, Гнездове, Белоозере и в подмосковных курганах вятичей и кривичей. Ученый использовал широко применявшуюся в то время методику оптического эмиссионного спектрального анализа. Для того, чтобы оценить масштабы его исследовательской работы достаточно отметить, что только по материалам Новгорода было выполнено 870 анализов, и это число до сих пор остается рекордным для одного памятника. Полученная информация послужила основой для написания кандидатской диссертации «Цветной металл (медь и ее сплавы) в изделиях Новгорода X-XV вв.», которая была успешно защищена в 1974 г. Ее научная ценность состоит в том, что А.А.Коновалов впервые систематизировал огромный объем аналитических данных по единой методике, нарисовал картину распространения сплавов на территории Восточной Европы в эпоху средневековья и определил основные пути поступления ювелирного сырья в мастерские Древней Руси.

В 2008 году увидела свет коллективная монография «Цветные и драгоценные металлы и их сплавы на территории Восточной Европы в эпоху средневековья». Она объединила посмертное издание диссертационного сочинения А.А. Коновалова и работу Н.В. Ениосовой, Р.А. Митояна и Т.Г. Сарачевой «Химический состав ювелирного сырья эпохи средневековья и пути его поступления на территорию Древней Руси»¹⁸.

Благодаря использованию неразрушающего рентгено-флюоресцентного энергодисперсного анализа, разработанного целенаправленно для исследования археологических находок в рентгеноспектральной лаборатории кафедры геохимии геологического факультета МГУ, удалось выполнить более 4000 анализов предметов из раскопок средневековых памятников Восточной Европы. Проведенное исследование позволяет дать обобщенную сравнительную характеристику цветного металла Древней Руси.

В X–XV вв. древнерусские мастера отдавали предпочтение двум типам сплавов на медной основе — оловянным бронзам и латуням. Их соотношение в выборках показывает региональные

¹⁸ А.А. Коновалов, Н.В. Ениосова, Р.А. Митоян, Т.Г. Сарачева. Цветные и драгоценные металлы и их сплавы на территории Восточной Европы в эпоху средневековья. М. 2008.

и хронологические различия в употреблении металлов. В IX–XI вв. на всей территории Руси были широко распространены латуни. В XII–XIII вв. они продолжают широко употребляться лишь на Северо-Западе Руси, на Юге их доля уменьшается, а на Северо-Востоке и Юго-Востоке в это время они составляют незначительный процент при господстве оловянных и оловянно-свинцовых бронз. В золотоордынское время несколько увеличивается доля латуней в памятниках Северо-Востока и Юго-Востока. Выявленные региональные особенности в употреблении сплавов связаны, прежде всего, с источниками поступления сырья, которые были разными для каждого региона и менялись с течением времени.

Процесс обновления научной аппаратуры затронул и лабораторию спектрального анализа. После длительного перерыва на кафедре археологии опять исследуют химический состав металла археологических находок на стационарном оборудовании ArtTAX - BRUKERAXS с молибденовой трубкой и полупроводниковым детектором. Измерительная часть прибора снабжена видеокамерой, фиксирующей изображения анализируемых предметов площадью 6x4 мм. Исследованию подвергается поверхность площадью 0,2 мм (диаметр коллиматора). Положение образца по отношению к рентгеновскому излучению фиксируется с помощью лазерного луча (рис. 10).



Рис. 10. Прибор ArtTAX для неразрушающего анализа элементного состава металлов и сплавов с фиксацией положения образца по отношению к рентгеновскому излучению (фотографии Н.В.Ениосовой)

Это оборудование дает уникальную возможность изучать отдельные конструктивные детали предметов и определять такие декоративные приемы отделки поверхности как позолота, лужение и чернь. Измерения проводятся для каждого образца в течение 180 секунд при электрическом напряжении в 50 kV и силе тока в 700 μ A. Результаты измерений представлены в виде рентгеновских спектров, специальная программа позволяет идентифицировать пики, соответствующие химическим элементам сплава и определять их аналитическую интенсивность на качественном и количественном уровне.

Обновление аппаратной базы позволило продолжить изучение новгородских древностей, начатое Н.В. Рындиной и А.А. Коноваловым. В рамках проекта, посвященного кузнечным и ювелирным мастерским Людина конца средневекового Новгорода, было проведено исследование находок – индикаторов ювелирного и кузнечного производства (рис.11)¹⁹. Сравнительный анализ металлов готовых изделий, отходов производства и остатков металла в тиглях дал возможность выявить ассортимент украшений и бытовых предметов, изготовленных на территории вотчинных мастерских. Исследование топографии находок производственного характера на всей площади Троицкого раскопа обеспечило надежный фундамент для идентификации и датировки производственных сооружений, а также определения их места в контексте усадебной застройки.



Рис. 11. Находки – индикаторы ювелирного и кузнечного производства из раскопок Людина конца (литейные формы, тигли, волочи́льная доска, клещи, проволока и фрагменты оклада иконы) (фотографии В.К. Сингха)

Планиграфический анализ находок – индикаторов ювелирного и кузнечного производства свидетельствует о динамике развития мастерских Людина конца средневекового Новгорода на

¹⁹ Грант РГНФ 08-01-00234а «Кузнечные и ювелирные мастерские Людина конца древнего Новгорода».

протяжении пяти столетий (вт. пол. X – вт. пол. XIV вв.). Совмещение стратиграфических и планиграфических данных свидетельствует о долговременных производственных участках Людина конца и наследственном характере новгородского ремесла. Мастерские средневекового Новгорода были оснащены прекрасными по качеству инструментами дляковки и других кузнечных операций, а также плавильными сосудами различных форм. Рост объема тиглей с X по XV столетия свидетельствует о последовательном увеличении количества ввозимых в Новгород цветных и драгоценных металлов²⁰.

Изучение химического состава металла – неотъемлемая часть современного анализа нумизматических находок наряду с атрибуцией монет, включающей определение титулатуры, места и даты чекана, а также выявления палеографических и метрологических особенностей различных выпусков. Арабские монеты, происходящие из кладов, культурного слоя и погребальных памятников эпохи формирования Древнерусского государства, давно и плодотворно исследуют ученые-нумизматы. В отличие от традиционных методов изучения нумизматических материалов, применявшихся с первой половины XIX в., данные о химическом составе металла и технике производства монет привлекли внимание ученых только в 60-е годы XX столетия. Но разрушающий характер аналитических методов, используемых до 90-х гг. прошлого века ограничивал возможности исследования в этой области. Широкомасштабное изучение музейных коллекций стало возможным лишь с внедрением рентгенофлуоресцентного метода, позволяющего исследовать любые объекты без ущерба для их состояния.

Совместными усилиями археологов и геохимиков на историческом и геологическом факультетах МГУ начато исследование источников серебра, поступавшего на территорию Древней Руси в VIII – начале XI вв.²¹ Значительную часть фонда анализов составили материалы Гнездовского археологического комплекса. Раскопки этого памятника на протяжении почти 150 лет сформировали представительную нумизматическую коллекцию: более 450 монет происходит из раскопок курганов и культурного слоя поселений; 1400 монет обнаружено в 12 кладах; несколько десятков экземпляров найдены случайно. Дирхамы и подражания, выпущенные на монетных дворах Востока с VIII по X в., составляют 90% от общего числа находок²². Масштаб гнездовской коллекции арабского серебра дает возможность выявить особенности химического состава монетного чекана различных провинций и монетных дворов Халифата в широком хронологическом диапазоне.

Для решения вопроса о происхождении металла куфических дирхамов произведен анализ 240 экземпляров с известным годом, правителем и местом чеканки, которое часто связано с

²⁰ Ениосова Н.В., Покровская Л.В., Сингх В.К., Тарабардина О.А. Ювелирные мастерские Людина конца средневекового Новгорода // Труды III (XIX) всероссийского археологического съезда. Великий Новгород - Старая Русса ИИМК РАН. М. Т. II. 2011. С. 139-140.

²¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РГНФ (проект № 05-01-07381/а).

²² Пушкина Т.А. Мурашева В.В., Ениосова Н.В. Гнездово – раннегородской центр Верхнего Поднепровья периода становления Руси//Русь в IX-X в.: археологическая панорама. М. 2012. С. 262-267.

определенным рудником или рудной областью. Среди них абсолютно преобладают саманидские монеты, выпущенные в Самарканде, аш-Шаше, Мадинат ас-Саламе, Бухаре, Балхе и Андарабе в первой половине X в. Исследования проводились в ГИМе и Эрмитаже с помощью портативного рентгенофлюоресцентного прибора с использованием методики неразрушающего безэталонного анализа. Последующая статистическая обработка результатов показала, что дирхамы получены из металла различной пробы. Практически все монеты, выпущенные с 810 по 935 гг. в западных и восточных провинциях Халифата, демонстрируют концентрацию серебра, превышающую 90%. В некоторых пробах серебро достигает 98-99%, что свидетельствует как об использовании самородного серебра, так и об очистке металла с помощью купеляции на монетных дворах.

Принято считать, что золото и висмут являются диагностическими элементами для определения источников металла. В процессе очистки драгоценного металла от примесей из него практически полностью уходят олово и цинк, содержание меди сокращается до 0,2-0,5%, концентрацию свинца и висмута невозможно сократить ниже 0,5-1%, и только золото никогда не меняется, отражая исходный состав руды. Высокая (от 0,5 % до 15%) концентрация висмута часто обнаруживается в серебре дирхамов, выпущенных в Афганистане, Центральной Азии и Испании, несмотря на различную природу рудных источников. галенитов в восточном Халифате и ярозитов – в Западном. Такой металл отличается хрупкостью, его невозможно обрабатывать в холодную. Избавиться от опасного висмута в процессе повторной купеляции было не сложно, но во многих случаях ее не производили. Низкое содержание золота (не выше 0,1-0,3%) характерно для монет, выпущенных в Андарабе, Балхе, Шаше, Бухаре, Ифрикии и Кордобе. Относительно высокое содержание золота (до 3%) характерно для серебра дирхамов, битых в Самарканде, что, вероятно, указывает на особый рудный источник, снабжавший металлом этот монетный двор (рис.12).

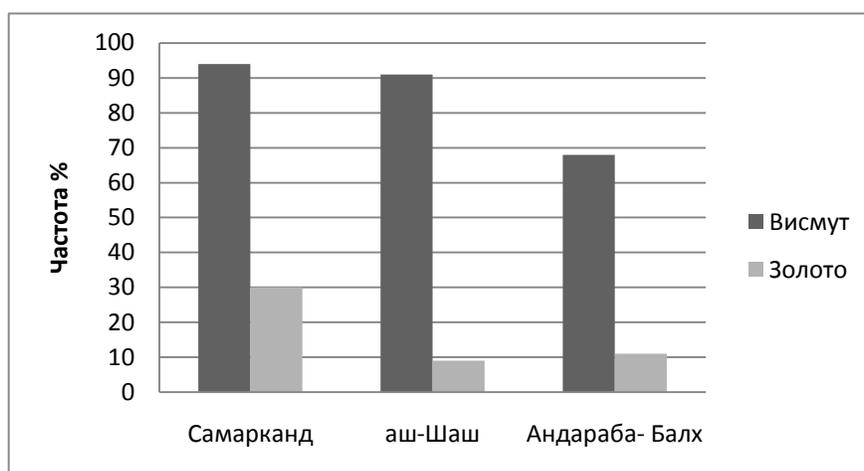


Рис. 12. Частота встречаемости золота и висмута в серебре дирхамов различных монетных дворов Центральной Азии

Детальное изучение полученных данных показывает, что уже во второй трети X века проба серебра саманидских дирхамов редко достигает 90%. Начиная с 936 г. проба монетного металла начинает постепенно снижаться; к середине X столетия происходит заметное ухудшение качества серебра из Средней Азии и других стран мусульманского Востока – содержание меди достигает 5-8%; к концу столетия оно стремительно увеличивается до 35-40%. Исследователи называют несколько причин падения пробы металла дирхамов: истощение рудников, сведение арчевых лесов и последующий недостаток топлива, а также чрезвычайное углубление шахт, дальнейшая разработка которых оказалась невозможной при существующем уровне техники²³.

Большой интерес представляет также вопрос о технике производства монет, который до сих пор остается дискуссионным. В задачи предпринятого нами исследования входила реконструкция технологических операций монетного чекана на основе анализа письменных источников, исследования структуры металла монет и современных металловедческих данных. Согласно арабским письменным источникам (IX - XV вв.), мастера чеканили дирхамы горячим способом из монетных заготовок, отлитых в формах или полученных из расплавленных капель серебра, заливаемых в воду. Перед штамповкой специальный чиновник монетного двора проверял вес и качество монетных кружков с помощью пробирного анализа. Иногда заготовки полировали солью до штемпельной чеканки. Штемпель, состоящий из двух частей, был сделан из закаленной стали, надписи выгравированы с помощью штихеля, рабочие части обрабатывали напильником, а затем соединяли с помощью двух штифтов. Расстояние между штемпелем и болванкой не превышало толщину волоска. После каждого использования штемпель тщательно полировали. Интенсивной обработке подвергались и полученные монеты: их обрабатывали с помощью специального песка, затем солью и в заключение – навозом.

Металлографическое исследование 10 фрагментированных дирхамов из раскопок Центрального городища в Гнездове подтверждает достоверность описанной в источниках цепочки операций. Все монеты изготовлены путем горячейковки, а после чеканки некоторые из них были подвергнуты интенсивной полировке для устранения расслаивания металла и трещин.

В Гнездовской нумизматической коллекции удалось выявить и исследовать древние подделки – дирхамы, отлитые из свинцово-оловянного сплава и медные монеты с тонким серебряным покрытием. Структура металла показывает, что основа фальшивой монеты получена из чистой меди путем горячейковки. После получения легенды на обеих сторонах медной монеты она была погружена в расплавленное серебро (*рис. 12*).

²³ Eniosova N. Tracing the routes of silver procurement to the early urban centre Gnëzdovo in the 10th/early 11th centuries//DIE ARCHÄOLOGIE DER FRÜHEN UNGARN CHRONOLOGIE, TECHNOLOGIE UND METHODIK. Internationaler Workshop des Archäologischen Instituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften und des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz in Budapest am 4. und 5. Dezember 2009. RGZM – TAGUNGEN. Band 17. Mainz. 2012. S. 261-276.

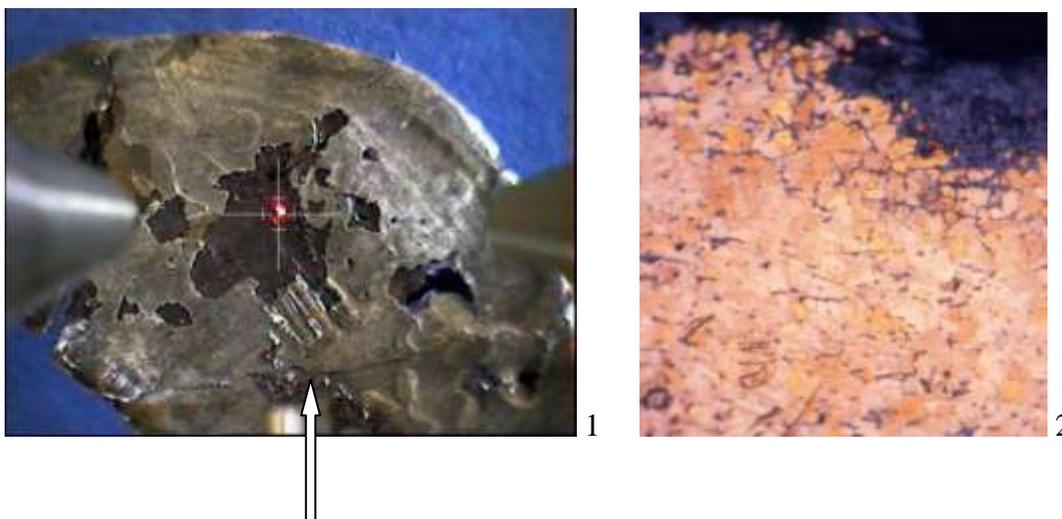


Рис. 13. Монета с медным ядром и серебряным покрытием из раскопок Центрального городища в Гнёздове (1). О ее получении в процессековки свидетельствует полиэдрическая с двойниками структура металла. После получения легенды на обеих сторонах медной монеты она была погружена в расплавленное серебро, что документировано дендритной структурой покрытия (2). В результате мастер выпустил в обращение фальшивую монету (фотографии Н.В.Ениосовой)

В целом, проведенное исследование показывает, что выявление особенностей рудных источников, снабжавших серебром монетные дворы различных провинций Халифата, является перспективной задачей. Полученные данные не могут обеспечить нас полноценной информацией о происхождении серебра, однако они помогают определить основные тенденции его использования на протяжении нескольких столетий. Последовательное ухудшение пробы металла со второй трети X века, зафиксированное на примере нескольких тысяч монет, выпущенных в Центральной Азии, убедительно подтверждает вывод о «кризисе серебра», охватившем мусульманский мир в эпоху поздних Саманидов. Данные о химическом составе и структуре металла арабских дирхамов дают возможность оценить масштаб контроля государства за добычей руды, выплавкой металла и монетным чеканом и, в то же время, убедительно свидетельствуют об умелом изготовлении подделок²⁴. Перспективы дальнейшего исследования куфического серебра можно связывать с применением электронной микроскопии и свинцово-изотопного анализа металла.

Заканчивая обзор наиболее значительных достижений в исследовании древнего и средневекового металла в лабораториях кафедры археологии, следует подчеркнуть, что результаты выполненных в них анализов широко используются для создания курсовых, дипломных, магистерских работ и диссертационных сочинений, защищенных на историческом факультете и в Институте археологии РАН. На безвозмездной основе проводились аналитические исследования металлических находок из музеев

²⁴ Ениосова Н.В., Митоян Р.А. Арабское серебро как источник сырья для славянских и скандинавских ювелиров (по материалам гнездовских кладов X в.)//От палеолита до Средневековья. Сборник памяти Г.А. Федорова-Давыдова. М.2011. С. 90-95.

и научных учреждений Москвы, Петербурга, Новгорода, Пскова, Смоленска, Рязани, Киева, Казани, Перми и др.

Методические разработки в области анализа структуры древних и средневековых металлов и сплавов и их элементного состава имеют большой потенциал для реконструкции древних технологий и технологических достижений прошлого. Дальнейшие задачи и перспективы исследований связаны с более глубоким пониманием древних технологий получения и обработки металла и определением динамики их распространения. Для этого требуется расширение аналитических возможностей за счет применения электронной микроскопии, свинцово-изотопного анализа, рентгеновской дифракции, Рамановской спектроскопии и других современных методов естественных наук.

Библиография:

1. Бетехин А.Г. Никелин//Минералы СССР. Том II. М. 1940.
2. Ениосова Н.В., Ковалевская В.Б., Царикаева З.Х. Средневековые литые зеркала из Юго-Восточной Европы // Древний Кавказ: ретроспекция культур. Международная научная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Е.И.Крупнова (XXIV Крупновские чтения по археологии Северного Кавказа). Тезисы докладов. М. 2004.
3. Ениосова Н.В., Митоян Р.А. Арабское серебро как источник сырья для славянских и скандинавских ювелиров (по материалам гнездовских кладов X в.)//От палеолита до Средневековья. Сборник памяти Г.А. Федорова-Давыдова. М. 2011.
4. Ениосова Н.В., Покровская Л.В., Сингх В.К., Тарабардина О.А. Ювелирные мастерские Людина конца средневекового Новгорода // Труды III (XIX) всероссийского археологического съезда. Великий Новгород - Старая Русса ИИМК РАН. М. Т. II. 2011.
5. Ковалевская В.Б., Албегова, З.Х., Пьянков А.В., Евсюков А.Н. Компьютерное картографирование массовых типов раннесредневековых металлических зеркал с центральной петелькой//Археология и геоинформатика, выпуск 3. Москва. 2006.
6. Колчин Б.А. Железообрабатывающее ремесло Новгорода Великого//МИА СССР. №65. М. 1959.
7. А.А. Коновалов, Н.В. Ениосова, Р.А. Митоян, Т.Г. Сарачева. Цветные и драгоценные металлы и их сплавы на территории Восточной Европы в эпоху средневековья. М. 2008.
8. Равич, И.Г. Особенности состава и технологии изготовления миниатюрных сарматских зеркал из «белой бронзы»//РА № 3, 1995.
9. Рындина Н.В. Технология производства новгородских ювелиров X-XV вв.//МИА СССР. Вып. 117. Новые методы в археологии. Труды Новгородской Археологической экспедиции. Т. III. М. 1963.
10. Рындина Н.В. Древнейшее металлообрабатывающее производство Восточной Европы. М. 1971.

11. Рындина Н.В. История древнейшего металлообрабатывающего производства Юго-Восточной Европы (истоки и развитие в неолите-энеолите). М. 1998.
12. Рындина Н.В. Возможности металлографии и изучение древних изделий из меди и ее сплавов (эпоха раннего металла)//Археология и естественнонаучные методы. М. 2005.
13. Рындина Н.В., Дегтярева А.Д. Энеолит и бронзовый век. Учеб. Пособие по курсу «Основы археологии». М. 2002.
14. Рындина Н.В., Равич И.Г. Металл майкопской культуры Северного Кавказа в свете аналитических исследований//Аналитические исследования в лаборатории естественнонаучных методов. Вып.3. М. 2013.
15. Рындина Н.В., Равич И.Г., Быстров С.В. О происхождении и свойствах мышьяково-никелевых бронз майкопской культуры Северного Кавказа//Археология Кавказа и Ближнего Востока. М. 2008.
16. Пушкина Т.А. Мурашева В.В., Ениосова Н.В. Гнёздово – раннегородской центр Верхнего Поднепровья периода становления Руси//Русь в IX-X в.: археологическая панорама. М. 2012.
17. Eniosova N. Tracing the routes of silver procurement to the early urban centre Gnëzdovo in the 10th/early 11th centuries//DIE ARCHÄOLOGIE DER FRÜHEN UNGARN CHRONOLOGIE, TECHNOLOGIE UND METHODIK. Internationaler Workshop des Archäologischen Instituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften und des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz in Budapest am 4. und 5. Dezember 2009. RGZM – TAGUNGEN. Band 17. Mainz. 2012.
18. Meeks, N. Patination phenomena on Roman and Chinese high-tin bronze mirrors and other artefacts// Metal plating and patination. Cultural, Technical and Historical Developments. London. 1993.
19. Rehren Th., Pernicka E. Coins, artefacts and isotopes – archaeometallurgy and archaeometry//Archaeometry 50th Anniversary Issue. Vol. 50. Part 2. 2008.