

И. Е. Зайцева, Е. С. Коваленко, П. В. Гурьева,
А. В. Мандрыкина, О. А. Кондратьев, А. М. Исмагулов,
К. М. Подурец, Е. Ю. Терещенко, Е. Б. Яцишина

ТРИ БРАСЛЕТА ИЗ ИСАДСКОГО КЛАДА 2021 г.: ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И СОСТАВ МЕТАЛЛА¹

Резюме. В статье изложены результаты комплексного анализа трех плетеных браслетов с фигурными наконечниками из Исадского клада 2021 г. (конец XI – начало XII в.). Выявлены технологические особенности изготовления браслетов, сделанных из плетеных жгутов с напаянными по концам пластинчатыми коваными площадками, на которых при помощи расклепанных шпеньков прикреплены литые выпуклые наконечники. Определен состав металла всех конструктивных частей браслетов – они сделаны из серебра достаточно высокой пробы (752–916), легированного латунию. Низкие показатели содержания висмута не коррелируют с его количеством в арабских серебряных монетах, что дает возможность предполагать центральноевропейское или малоазийское происхождение металла браслетов.

Ключевые слова: Древняя Русь, клад, серебряные браслеты, рентгеновская томография, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой с лазерной абляцией, рентгенофлуоресцентный анализ, энергодисперсионный рентгеновский микроанализ.

В августе 2021 г. у села Исады в округе Старой Рязани обнаружен клад серебряных ювелирных изделий конца XI – начала XII в. Судя по остаткам тлена, клад лежал в небольшом лубяном или берестяном туеске диаметром 20–22 см. Он включал 32 предмета из белого металла: 8 шейных гривен и 14 браслетов разной формы, техники изготовления и стилей; 5 семилучевых височных колец; бусину с зернью; денежные гривны новгородского типа и их части (*Стрикалов, 2022*).

¹ Исследования выполнены при финансовой поддержке Российской Федерацией в лице Минобрнауки России в рамках Соглашения о предоставлении из федерального бюджета гранта в форме субсидии № 075-15-2023-010 от 21.02.2023 (№ 15.СИН.21.0024).

Драгоценные изделия древнерусских кладов, предмет нашей национальной гордости, уже 200 лет привлекают внимание ученых – историков, археологов, искусствоведов. Изучены типология и хронология предметов, их художественные и стилистические особенности (Корзухина, 1954; Макарова, 1986; Жилина, 2014). Меньше всего исследована технология производства украшений (Минасян, 2014). Зачастую она описывается гипотетически на основе личных представлений конкретного специалиста-гуманитария. Работы по реконструкции технологии изготовления отдельных средневековых археологических предметов с применением естественнонаучных методов исследования в нашей стране начались только в последние годы (см., например: Сапрыкина и др., 2018; Kovalenko et al., 2020; Гайдуков и др., 2022) и сразу позволили совершить прорыв в изучении древнерусского ювелирного ремесла, переведя выводы исследователей из плоскости догадок в поле конкретных технологических операций.

В составе Исадского клада находились три плетеных браслета из белого металла с накладными фигурными наконечниками (щитковоконечные – по типологии В. П. Левашовой (Левашова, 1967. С. 220)), ставшие предметом настоящего исследования. Плетеные и витые браслеты из белого металла с наконечниками были очень популярны в Древней Руси в XI–XII вв. Преимущественно они происходят из кладов этого времени (например, клад у с. Исковщина и Пилява в районе Канева (Корзухина, 1954. С. 91, 92), клад у д. Шалахова Витебской обл. (Гущин, 1936. С. 58); «Черниговский клад» из собрания М. П. Боткина (Новаковская-Бухман, 2015. С. 20, 21); клад на Кирилловом городище в Калужской области (экспозиция Новгородского государственного музея-заповедника); клад из д. Городище Волынской области в Украине (Жилина, 2014. С. 237). Серебряные витые и плетеные браслеты с наконечниками криновидной формы, украшенными чернью, детально рассмотрены в монографии Т. И. Макаровой (44 экз., Макарова, 1986). Она отмечает общую многочисленность экземпляров, сделанных плетением, по сравнению с обилием витых браслетов (Там же. С. 36).

Находка трех плетеных браслетов в составе нового клада предоставляет уникальную возможность изучения технологии изготовления этих престижных изделий с помощью комплекса современных неразрушающих естественнонаучных методов. Выявление всех деталей конструкции браслетов и установление набора технологических операций, необходимых для их производства, позволят глубже понять технические возможности и мастерство русских ювелиров в период становления древнерусского художественно-декоративного ремесла в XI – начале XII в.

Методы исследования

Для диагностирования следов технологических операций на поверхности браслетов использовался стереомикроскоп STEMI-2000 (Zeiss)². Для изучения внутреннего строения браслетов проведена рентгеновская томография

² Исследование выполнялось с использованием приборной базы Центра коллективного пользования при ИА РАН (г. Москва).

на промышленном томографе X5000 (North Star Imaging). Теневые проекции регистрировались позиционно-чувствительным детектором рентгеновского излучения Perkin Elmer с размером матрицы 2048×2048 пикселей, размером пикселя 200×200 мкм, динамическим диапазоном 16 бит и сцинтиллятором CsI:Tl. Томография браслетов целиком выполнена с помощью рентгеновской трубки закрытого типа при напряжении 440 кВ, токе 1000 мкА. Применялся медный фильтр толщиной 9,5 мм. Размер вокселя изображений браслетов составил $67 \times 67 \times 67$ мкм. Детальное исследование конструкции наконечников браслетов проведено с помощью рентгеновской трубки открытого типа при напряжении 220 кВ, токе 250 мкА. Использовался медный фильтр толщиной 4 мм. Размер вокселя изображений наконечников составил $22 \times 22 \times 22$ мкм. Для визуализации трехмерной информации о строении объектов применялся программный пакет VGStudio.

Состав металла браслетов определялся несколькими способами. Процентное содержание основных компонентов измерялось методами рентгенофлуоресцентного анализа (РФЛА) на приборе M4 Tornado (Bruker) (родиевый (Rh) анод, 50кВ, чувствительность прибора составляет 0,01 %) и растровой электронной микроскопии в сочетании с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (РЭМ/ЭРМ) на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA Compact LMH. Прибор оснащен системой элементного микроанализа AZtecOne с энергодисперсионным детектором Xplore 15, ускоряющее напряжение составляло 20 кВ в режиме высокого вакуума 10^{-3} Па. Чувствительность прибора составляет 0,1 %. Методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой с пробоотбором методом лазерной абляции (МС-ИСП-ЛА) выполнен анализ содержания микропримесей. Исследования проведены на квадрупольном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой ELAN DRC-e (Perkin Elmer) с приставкой лазерного пробоотбора NWR 213 (New Wave Research). Результаты усреднялись по двум повторным анализам. Области стыков проволок и пластин дополнительно исследовались для обнаружения припоя методом РЭМ/ЭРМ на растровом двухлучевом электронно-ионном микроскопе Helios Nanolab 600i (Thermo Fisher Scientific), оборудованном системой ЭРМ (EDAX), при ускоряющем напряжении 30 кВ в режиме высокого вакуума (10^{-4} Па). Суммарное содержание обнаруженных элементов во всех исследованиях приводилось к 100 %.

Технология изготовления браслетов

Браслет № 1. Браслет разомкнутый, его размеры составляют 80×75 мм, масса 48,8 г (рис. 1: 1). Обруч браслета согнут из жгута треугольного сечения размерами $8,2 \times 7,6$ мм, полученного из 7 переплетенных волооченых проволок округлого сечения диаметром 1,6 мм (рис. 2: 5, 15). На рис. 2: 1, 5, 6 хорошо видны дефекты – продольные полосы и трещины, образовавшиеся в результате протаскивания проволоки сквозь отверстия волочила. Объемная модель распределения пор и трещин представлена на рис. 2: 6. На концах браслета имеются две кованные пластины длиной 20 и 22 мм с округлыми внешними концами (рис. 2: 5, 7, 8, 11, 12). Толщина пластин уменьшается от 5 до 1 мм; максимальная ширина составляет 10,5–11,5 мм. Пластины присоединялись к концам

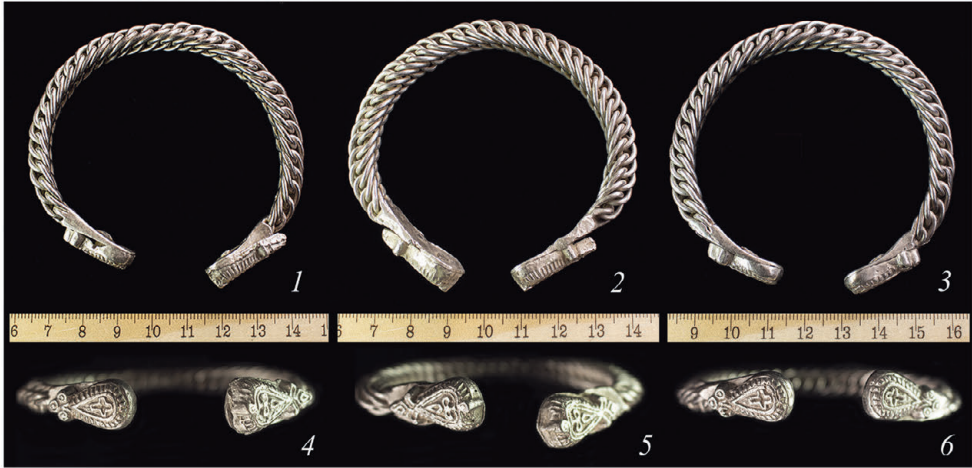


Рис. 1. Плетеные браслеты из Исадского клада

1, 4 – браслет № 1; 2, 5 – браслет № 2; 3, 6 – браслет № 3. Фотография М. Панкина

проволок жгута методом пайки (рис. 2: 2). В области крепления концов проволок и пластин на томографических сечениях видны округлые поры разного размера. Поры образуются в припое и являются маркерами процесса паяния (рис. 2: 7, 9, 10). Отсутствие деформации пор (их форма близка к сферической, рис. 2: 9, 10) свидетельствует о том, что участки стыка после пайки дополнительно не проковывались.

Сверху на пластинах при помощи заклепок неподвижно зафиксированы два выпуклых наконечника криновидной формы. Каждый наконечник имеет по одному шпеньку (рис. 2: 7–14). На пластинах сделаны квадратные отверстия, в которые и были заклепаны шпеньки (рис. 2: 11, 12). Размеры наконечников – 24,5 × 14,4 × 6 мм и 21,2 × 11,7 × 5 мм. Сверху они украшены выпуклым рельефным орнаментом (рис. 1: 4). Наконечники отлиты в формах: на одном из них хорошо виден неубранный литейный шов в торцевой части (рис. 2: 3), на другом различим небольшой фрагмент литейного шва и значительный недолив металла с противоположного торца (рис. 2: 4). Отсутствие паяной зоны в районе крепления шпеньков к туловам наконечников указывает на их одновременную отливку (рис. 2: 7, 8, 13, 14). Шероховатая поверхность наконечников, возможно, является маркером отжига, в результате которого образуется летучий при высоких температурах окисел серебра (Кузнецов, 1971). Края пластин аккуратно подрезаны по форме наконечников и зашлифованы. Наконечники, одинаковые по форме, имеют разные размеры и различный рельефный выпуклый рисунок: на более крупном в центральной части изображен крин с обрамлением из полосы вертикального рифления, на другом – крест в сходном обрамлении. В острой части экземпляра с крином помещен еще один крин, у наконечника с крестом там находятся три кружка с циркульным орнаментом.

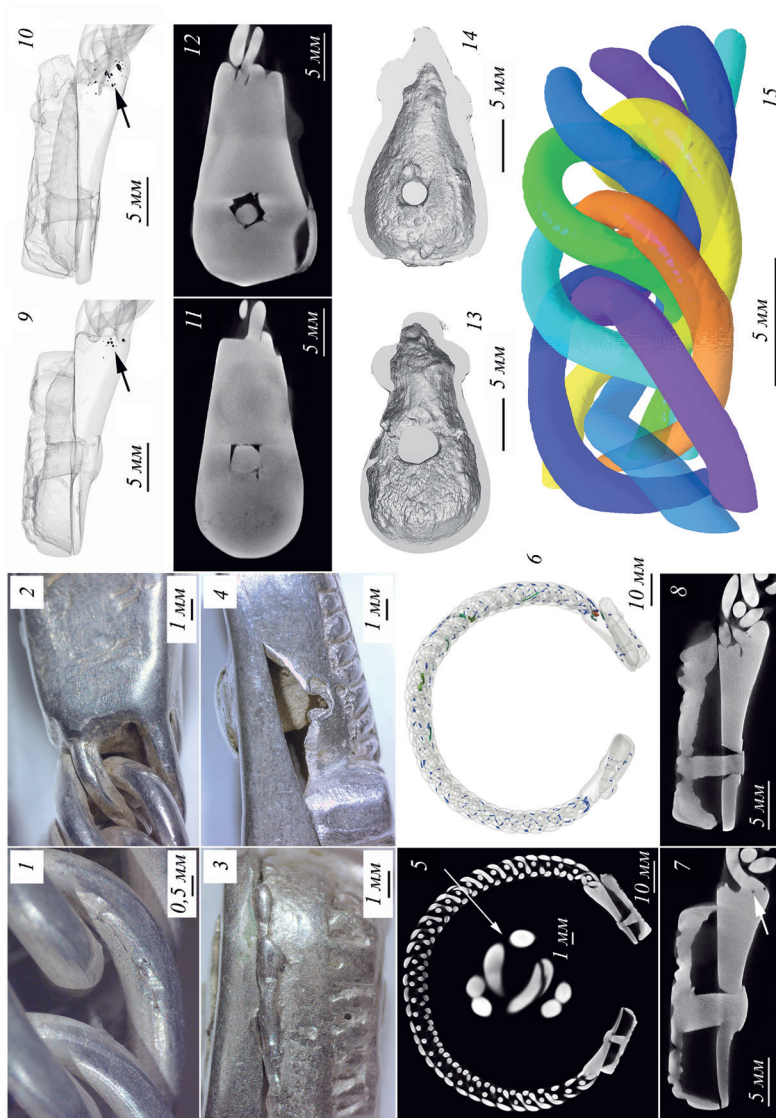


Рис. 2. Исадский клад. Браслет № 1

1 – трещины проволоки (макрофотография); 2 – область стыка концов проволоки и пластины (макрофотография); 3 – остатки небранного запека металла вдоль края браслета (макрофотография); 4 – недостаток, брак при отливке наконечника (макрофотография); 5 – томографическое сечение браслета, проходящее через его центр, и поперечное сечение обруча; 6 – объемная модель распределения пор и трещин в браслете; 7, 8 – томографические сечения наконечников, проходящие через шпильки; 9, 10 – объемные модели полостей в областях стыка концов проволоки и пластины, стрелкой отмечены поры; 11, 12 – отверстия в пластинах для крепления шпильков; 13, 14 – модели внутренней поверхности наконечников; 15 – модель плетения проволоки

Браслет № 2. Браслет разомкнутый, его размеры равны $80,9 \times 72,8$ мм, масса 46,6 г (рис. 1: 2). Обруч браслета согнут из жгута треугольного сечения размерами $7,5 \times 7,5$ мм, полученного из 7 волооченных проволок округлого сечения диаметром 1,5 мм, переплетенных вокруг осевой проволоки (рис. 3: 1, 3, 16). На рис. 3: 1, 4 видны продольные полосы и трещины, образовавшиеся в результате волоочения проволоки. Концы проволок спаяны с коваными пластинами длиной 28 мм с округлыми внешними концами. Толщина пластин уменьшается от 4,3–5 до 1 мм (рис. 3: 3, 7, 8); максимальная ширина составляет 12,5–13 мм. Пластины не зашлифованы (рис. 3: 2). Припой содержит множественные поры различного размера и ослабляет рентгеновское излучение на ~10 % сильнее металла проволок (рис. 3: 15). Поры не претерпели деформации, т. е. дополнительная проковка этих мест не проводилась (рис. 3: 7–10).

Сверху на пластинах при помощи заклепок неподвижно зафиксированы два выпуклых наконечника криновидной формы. Каждый наконечник имеет по два шпенька диаметром 2,0–2,5 мм (рис. 3: 7–10). Отсутствие паяной зоны между туловом наконечника и шпеньком свидетельствует, что шпеньки отливались вместе с туловом (рис. 3: 7, 8, 13, 14). В металле наконечников наблюдаются множественные неоднородности неправильной формы (рис. 3: 7), на ~20 % слабее поглощающие рентгеновское излучение. В приповерхностных слоях проволок этого браслета также наблюдаются неоднородности, но менее контрастные с основным металлом. Пластины, к которым прикреплены наконечники, имеют по два округлых отверстия, в которые вставлялись концы шпеньков (рис. 3: 11, 12). Для одного из наконечников совпадения шпеньков и отверстий достичь не удалось, и шпеньки были сильно искривлены (рис. 3: 5, 6). Края пластин подрезаны по форме наконечников.

Размеры наконечников – $24,1 \times 12,6 \times 6$ мм и $23,8 \times 12,9 \times 6$ мм. Сверху они украшены одинаковым выпуклым рельефным орнаментом (рис. 1: 5), совпадающим в деталях с большим наконечником браслета № 1.

Браслет № 3. Браслет разомкнутый, его размеры составляют 77×74 мм, масса 49 г (рис. 1: 3). Обруч браслета согнут из жгута треугольного сечения размерами $7,9 \times 7,1$ мм, полученного из 7 переплетенных волооченных проволок округлого сечения диаметром 1,6 мм (рис. 4: 1, 13). Проволоки браслета имеют дефекты: продольные риски и трещины (рис. 4: 2). Концы проволок спаяны с коваными пластинами длиной 22 и 23 мм с округлыми внешними концами (рис. 4: 3, 9, 10). Толщина пластин уменьшается от 4,7–5 до 1 мм (рис. 4: 5, 6); максимальная ширина – 11 мм. Пластины аккуратно зашлифованы со всех сторон (рис. 4: 3). На участках контакта концов проволок и пластин на томографических сечениях, как и у браслетов № 1 и 2, наблюдаются округлые поры, образовавшиеся в припое (рис. 4: 7, 8, 11).

Сверху на пластинах при помощи заклепок неподвижно зафиксированы два выпуклых литых наконечника криновидной формы. Края пластин подрезаны по контуру наконечников. Размеры наконечников – $21,5 \times 11,8 \times 5$ мм и $21,5 \times 12,2 \times 5$ мм. Сверху они украшены одинаковым выпуклым рельефным орнаментом (рис. 1: 6), совпадающим в деталях с меньшим наконечником браслета № 1. Каждый наконечник прикреплен к пластине при помощи расклепанного шпенька (рис. 4: 1, 5–8, 12). В центральных частях пластин

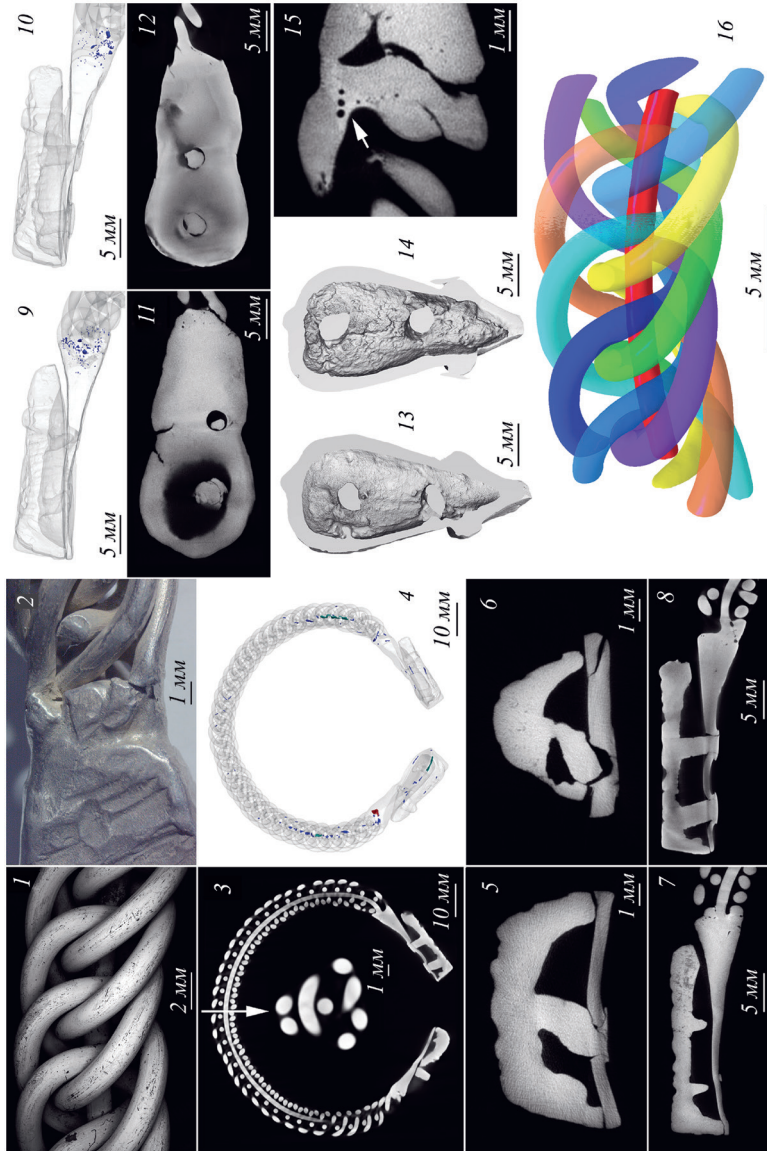


Рис. 3. Исадский клад. Браслет № 2

1 – проволока с рисками от волочения (макрофотография); 2 – зона стыка проволоки браслета и пластины; 3 – томографическое сечение браслета, проходящее через его центр, и поперечное сечение обручка; 4 – объемная модель распределения пор и трещин; 5, 6 – томографические сечения деформированных шпешьков одного из наконечников; 7, 8 – томографические сечения наконечников, проходящие через шпешьки; 9, 10 – объемные модели полостей в областях стыка концов проволоки и пластин; 11, 12 – отверстия в пластинах для крепления шпешьков; 13, 14 – модели внутренней поверхности наконечников; 15 – область закрепления проволоки на нижней пластине (стрелкой отмечен припой); 16 – модель плетения проволоки

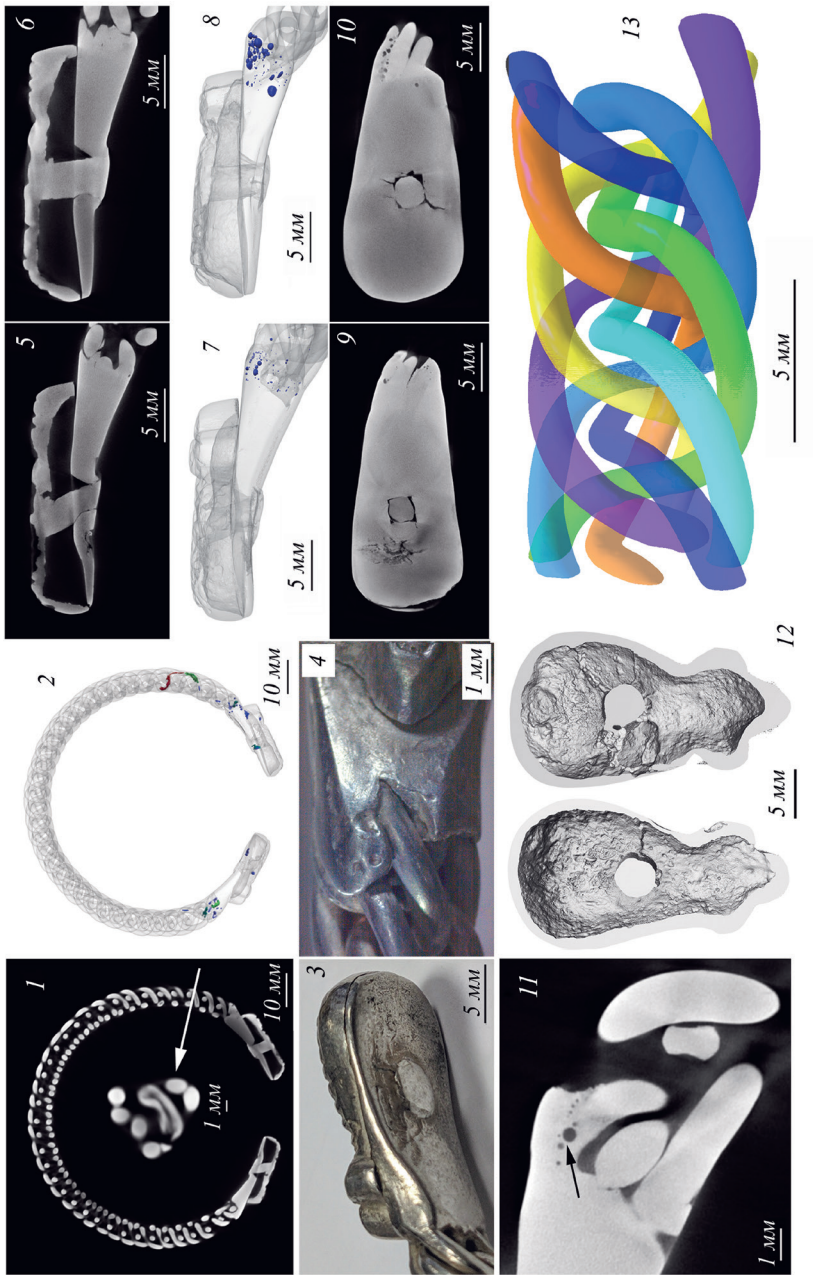


Рис. 4. Исадский клад. Браслет № 3

1 – томографическое сечение браслета, проходящее через его центр, и поперечное сечение обруча; 2 – объемная модель расчленения пор и трещин; 3 – конец браслета (фотография); 4 – область стыка концов проволоки и пластины (макрофотография); 5, 6 – томографические сечения наконечников, проходящие через шпеньки; 7, 8 – объемные модели полостей в областях стыка концов проволоки и пластины; 9, 10 – отверстия в пластинах для крепления шпеньков; 11 – область закрепления проволоки на нижней пластине (стрелкой отмечены поры); 12 – модели внутренней поверхности наконечников; 13 – модель плетения проволоки

сделано по одному квадратному отверстию, в которые вставлялись концы шпеньков (рис. 4: 9, 10).

Таким образом, технология изготовления трех рассмотренных браслетов из Исадского клада практически идентична. Плетеные жгуты двух браслетов (№ 1 и 3) одинаковы по технике исполнения и по характеристикам самой проволоки: диаметр изготовленной волочением проволоки равен 1,6 мм, жгут сделан плетением 7 проволок без каркаса, направление навивания соответствует левой резьбе. Плетение выполнялось так, что проволоки помимо плавного навивания вокруг оси жгута попеременно изгибались под углом, близким к 90°, и пропускались через центр жгута (рис. 2: 15; 4: 13). Различие в плетении жгутов этих браслетов состоит в том, насколько круто в них выполнялся такой изгиб: если в браслете № 3 он всегда несколько меньше 90°, то в браслете № 1, как правило, превышает 90°. Жгут браслета № 2 сделан из такой же проволоки, но в нем помимо 7 сплетенных проволок имеется одна центральная проволока, являющаяся каркасом изделия (рис. 3: 16), а направление навивания соответствует правой резьбе. Проволока всех браслетов имеет продольные трещины. Концы проволок жгутов соединялись способом пайки с коваными пластинами трапециевидной формы треугольного сечения. Они крепились к более толстым торцам.

6 выпуклых криновидных наконечников (накладок) трех браслетов имеют два вида рельефного декора: три накладки украшены орнаментом в виде креста и три – в виде трехлепесткового ростка-крина. Они выполнены в технике литья с утратой восковой модели. Практически идентичный рельефный орнамент каждого вида может указывать на использование двух матриц для изготовления восковых моделей с соответствующим декором. Несмотря на практически полное совпадение формы наконечников с кринами, они имеют разное количество шпеньков (один или два) и их расположение, что позволяет предположить индивидуальную доработку восковых моделей каждого из наконечников перед литьем (Флеров, 1981. С. 279–281; Eniosova, Murasheva, 1999). Концы шпеньков наконечников вставлялись в отверстия пластин и расклепывались. На браслете № 2 один шпене не удалось совместить с отверстием, в результате он был значительно деформирован. Края пластин подрезались по контуру наконечников.

Состав металла браслетов

Конструктивные элементы трех браслетов изготовлены из серебра, легированного сплавом на основе меди. Результаты анализа концентрации золота, свинца, цинка и железа, выполненные методами РФЛА и РЭМ/ЭРМ, в целом коррелируют друг с другом (табл. 1; 2). Наибольшие расхождения зарегистрированы для меди: если по данным РЭМ/ЭРМ ее содержание варьирует от 1,3 до 9 %, то в РФЛА данных от 7,05 до 21,74 %. Соответственно, пропорционально уменьшается концентрация серебра. Это различие может быть объяснено разной глубиной проникновения в толщу металла ионизирующего излучения: если при РФЛА рентгеновское излучение проходит в серебро на глубину более 50 мкм, то при РЭМ/ЭРМ глубина проникновения электронов при напряжении 20 кВ – всего 1,8 мкм. Неравномерное распределение серебра в сплаве системы серебро – медь и его повышенную концентрацию в приповерхностном слое

отмечают все исследователи серебряных предметов (см., например: *Енисоова, Митоян*, 2011. С. 90, 91³; *Сапрыкина, Гунчина*, 2017. С. 277, 278; *Merkel*, 2016. Р. 33, 81, 82). Поэтому, имея в виду неоднородность металла изучаемых предметов, в качестве основных мы будем использовать данные РФЛА, поскольку в случае серебряных сплавов без коррозии достоверную информацию дают методы, проникающие на глубину более 10 мкм, но при наличии коррозии глубина изменения содержания меди, свинца, олова и других металлов в серебряных сплавах может достигать 60–250 мкм (*ibid.* Р. 82).

Таблица 1. Состав металла основных компонентов сплава браслетов по результатам РФА (в масс. %)

Предмет	Детали предмета	Ag	Cu	Au	Zn	Pb	Fe
браслет 1	проволока	91,63	7,05	0,53	0,1	0,63	0,05
	наконечник 1	86,92	11,45	0,63	0,07	0,9	0,02
	наконечник 2	80,4	17,57	0,30	0,38	1,26	0,09
	пластина 1	89,69	8,17	0,84	0,65	0,57	0,07
	пластина 2	85,7	11,71	1,12	0,69	0,64	0,12
браслет 2	проволока	78,61	18,05	0,37	0,81	1,51	0,65
	наконечник 1	79,35	17,69	0,39	1	1,4	0,18
	наконечник 2	77,8	19,17	0,38	0,95	1,44	0,27
	пластина 1	78,09	19,6	0,31	0,67	1,21	0,12
	пластина 2	75,18	21,74	0,4	0,74	1,54	0,4
браслет 3	проволока	87,55	11,11	0,54	0,14	0,63	0,02
	наконечник 1	90,42	8,01	0,65	0,07	0,75	0,06
	наконечник 2	82,24	15,52	0,51	0,41	1,2	0,12
	пластина 1	83,79	12,49	1,14	1,44	0,94	0,19
	пластина 2	89,38	7,34	1,04	0,79	0,97	0,26

Таблица 2. Состав металла основных компонентов сплава браслетов по результатам РЭМ/ЭРМ (в масс. %); Sn, Bi = 0

Предмет	Детали предмета	Ag	Cu	Au	Cd	Pd	Zn	As	Pb	Fe
браслет 1	проволока	91,5	3,9	0,3					1,1	0,2
	наконечник 1	90,7	5,3	0,9			0,3	0,1	0,6	0,3
	наконечник 2	88,9	4,9	0,6					0,1	0,2

³ Проведенное на кафедре археологии МГУ снятие абразивом верхнего слоя на кувшинской монете показало снижение концентрации серебра на 6,5 % и повышение концентрации меди более чем в 4 раза.

Окончание табл. 2

Предмет	Детали предмета	Ag	Cu	Au	Cd	Pd	Zn	As	Pb	Fe
браслет 1	пластина 1	87,8	9,0					0,4	0,6	0,3
	пластина 1	90,7	3,1	0,5				0,8	0,5	0,2
	пластина 2	90,8	4,1	0,3			0,4	0,2	1,6	0,2
браслет 2	проволока 1	93,9	3,1				0,3	0,2	1,0	0,1
	проволока 2	92,8	3,1	0,1			0,3		1,0	0,3
	наконечник 1	93,9	3,8				0,2		0,8	0,1
	наконечник 2	90,5	5,6				0,4	0,2	1,1	0,4
	пластина 1	91,7	2,8						0,3	0,6
	пластина 2	89,2	6,9				0,3		1,0	0,6
	включения в проволоке	60,4	4,8		9,4	10,1	1,4	4,2	8,6	4,2
	включения в проволоке	85,6	2,3		3,9	2,1	0,4	2,6	1,2	0,4
браслет 3	проволока 1	96,5	1,3	0,4					0,4	0,1
	проволока 2	95,2	2,4	0,4			0,1		0,8	
	наконечник 1	84,6	2,9	0,1			0,1	1,5	1,3	0,9
	наконечник 2	93,7	5,1	0,2				0,1	0,2	0,1
	пластина 1	93,7	3,0	0,4					0,6	0,1
	пластина 2	92,1	4,8	1,2					0,5	0,1

Проволока браслета № 1 сделана из серебра 916-й пробы. Концентрация меди в ней составляет 7,05 %. Металл концевых пластин имеет пробу серебра 897 и 857, выпуклых наконечников – 804 и 862. На участке стыка проволоки и пластины удалось найти небольшой контактный участок, где в металле регистрируется повышенное содержание свинца: 6 % при его фоновом значении 1,2–2 %. Возможно, это связано с составом припоя. Участки контакта между наконечниками и концевыми пластинами по составу металла не отличаются от конструктивных элементов браслета.

Проба серебра в проволоке браслета № 2 несколько ниже – 786, соответственно выше концентрация меди – 18,05 %. Проба серебра в концевых пластинах и наконечниках близка проволоке: 793 и 778 для наконечников и 781 и 752 для пластин. На контактных участках между проволокой и пластинами и между пластинами и наконечниками изменения состава металла не отмечаются. Надо отметить существенную неоднородность сплава металла (как наконечников, так и проволоки) браслета № 2, которую наблюдали в том числе при томографических исследованиях (рис. 3: 7). Это приводит к существенному разбросу данных о составе сплава. Показательным в этом случае является повторный анализ основного состава металла методом РЭМ/ЭРМ в областях

измерений МС-ИСП-ЛА, где в процессе абляции происходило испарение поверхностного слоя металла и, следовательно, снижение концентрации элементов с меньшей температурой кипения (серебра и цинка): содержание меди составляло от 7,3 до 40,7 % с значительно сниженным присутствием цинка (до 1,0 %), что отражает состав неоднородных областей в металле данного браслета.

Проба серебра в проволоке браслета № 3 близка браслету № 1 и составляет 876. Концентрация меди равна 11,11 %. Проба серебра в наконечниках равна 822 и 904, в концевых пластинах – 838 и 894. На участках стыков концов проволок с пластинами и наконечников и пластин отличий в составе металла не обнаружено.

Положительная корреляция содержания меди и цинка свидетельствует о том, что серебро легировалось медью с добавкой цинка – латунию. Медь повышает твердость и прочность драгоценного сплава, сохраняя при этом его пластичность и красоту (*Бреполь*, 1982. С. 34, 35). Легирование серебра латунным сплавом было распространено в Европе в XI в., однако эта же тенденция фиксируется и в исламском мире, и в Византии (*Merkel*, 2016. Р. 96).

Для определения источников происхождения серебра особое внимание следует обращать на концентрации висмута, как мало изменяющиеся в процессе купеляции серебра (*Cowell, Lowick*, 1988. Р. 65; *Merkel*, 2016. Р. 25, 26). На уровне микропримеси во всех рассматриваемых пробах висмут демонстрирует чрезвычайно низкие значения – от 80 до 1000 ppm (частей на миллион; табл. 3–5). Примерно с 860-х гг. исламское монетное серебро, являвшееся основным источником металла для древнерусских украшений X и во многом XI вв., обычно содержит значительно больше висмута (*Ениосова, Митоян*, 2011. С. 91–94; *Eniosova, Mitoyan*, 2011; *Merkel*, 2016. Р. 72–75). Его высокое содержание характерно для серебра, добываемого на рудниках Афганистана и Узбекистана, которые являлись основными поставщиками металла для изготовления дирхемов X в. Проведенные Н. В. Ениосовой исследования по сравнению количества висмута в репрезентативной выборке дирхемов и серебряных украшений гнездовских кладов, предположительно сделанных из переплавленных монет, показали, что его концентрация в изделиях всегда ниже, чем в монетах, но, тем не менее, она значительно выше, чем в нашей выборке (до 2 %; *Ениосова, Митоян*, 2011. С. 95). Это позволяет отвергнуть этот источник металла и предположить, что серебро браслетов Исадского клада имеет, вероятно, центральноевропейское или малоазийское происхождение (*Merkel*, 2016. Р. 71).

Таблица 3. Состав примесей в металле браслета № 1 по результатам МС-ИСП-ЛА (в ppm)

	H1	H1	H1	П1	П1	П1	H2	H2	П2	Пр1	Пр2	Пр3
Na	881	1417	1130	603	625	953	459	374	1080	200	303	389
Mg	55	116	107	65	65	66	40	42	124	25	32	17
Al	67	65	92	31	47	39	38	74	86	54	15	21

Окончание табл. 3

	H1	H1	H1	П1	П1	П1	H2	H2	П2	Пр1	Пр2	Пр3
Si	2982	5395	3201	779	1762	779	990	2558	555	1277	684	1300
P	100	116	74	87	66	223	47	< 10	331	33	103	< 10
K	618	1068	747	384	473	724	330	284	1010	184	283	315
Ca	< 1	9,0	< 1	699,4	66,2	693,6	< 1	< 1	651,6	< 1	< 1	< 1
Ti	2,1	2,3	10,9	< 1	< 1	1,6	1,3	39,4	3,4	< 1	1,5	1,7
V	5,1	9,5	3,1	< 1	2,3	1,2	6,4	4,8	6,8	3,3	< 1	< 1
Mn	3,2	4,0	4,3	2,8	3,1	5,1	2,3	2,7	4,7	2,0	1,9	2,8
Fe	1183	1576	1250	767	2252	2438	107	121	1917	219	96	243
Ni	7,3	19,6	13,6	52,5	72,8	73,7	19,0	25,6	18,1	33,1	46,2	5,9
Zn	5073	6037	5907	4873	11 404	9197	280	451	6839	4511	238	2480
Ga	1,3	1,2	1,4	1,2	5,4	4,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
As	752	796	975	548	1100	2034	291	415	551	302	769	393
Rb	< 1	1,5	1,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,3	< 1	< 1	< 1
Sr	5,6	10,1	5,5	9,1	6,6	11,0	5,6	3,8	13,8	2,5	5,2	2,8
Y	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,2	1,5	< 1	2,7	< 1	< 1	< 1
Rh	2,8	1,9	2,7	< 1	1,0	< 1	1,0	1,1	< 1	1,1	< 1	< 1
Pd	8,9	10,1	9,4	11,3	11,0	12,0	12,0	12,4	12,9	11,9	11,9	11,5
Cd	< 1	< 1	< 1	1,0	< 1	1,1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
In	5,8	5,9	6,0	2,0	1,9	2,3	2,6	2,8	1,4	1,4	4,0	1,4
Sn	538	517	601	503	481	622	469	398	227	135	194	127
Sb	1839	1728	1809	578	683	941	499	400	508	558	1055	533
Ba	1,6	2,3	1,9	2,9	1,9	4,6	1,4	1,0	5,1	< 1	3,3	< 1
La	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,9	< 1	3,4	< 1	< 1	< 1
Ce	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	3,2	1,7	7,5	1,1	< 1	1,1
Nd	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,8	< 1	4,0	< 1	< 1	< 1
Pt	1,5	< 1	< 1	3,3	2,8	2,3	1,3	< 1	2,9	1,1	< 1	< 1
Bi	289	263	288	475	466	551	147	114	343	203	118	191
Au	4973	6207	5139	14 000	13 904	14 441	7010	6748	20 099	7462	5580	7754

Примечания: Н – наконечник; П – пластина; Пр – проволока;

Li, Cr, Ge, Cs, Zr, Nb, Mo, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Ti, Th, U < 1 ppm;

Be, B, Sc < 10 ppm.

**Таблица 4. Состав примесей в металле браслета № 2
по результатам МС-ИСП-ЛА (в ppm)**

	H1	H1	П1	П1	П1	П1	П2	П2	П2	П2	Пр1	Пр2	Пр3
Na	365	735	2527	1520	926	786	461	308	1057	595	1463	1572	1542
Mg	158	165	261	184	199	305	516	386	133	173	234	206	254
Al	149	156	153	145	105	215	1409	762	191	161	292	128	233
Si	10 479	10 079	15 782	9220	6493	3637	20 039	18 115	11 513	19 908	23 053	18 232	9543
P	850	650	512	388	1327	2077	2337	2377	288	1114	470	230	909
K	400	711	1509	907	644	643	546	369	610	476	1710	1780	1338
Ca	1088,5	1445,5	1416,3	320,5	1301,3	1529,6	1573,2	1538,1	< 1	353,9	506,0	338,3	863,1
Ti	2,1	5,4	13,0	4,0	5,5	8,5	36,2	8,6	2,0	< 1	1,6	< 1	4,1
V	12,0	6,9	18,5	9,5	26,8	18,1	23,2	23,6	16,6	31,5	22,2	24,0	19,1
Cr	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,2	< 1	< 1	< 1	1,2	< 1	1,1
Mn	4,1	5,1	9,2	5,8	7,0	10,1	7,8	5,2	3,3	3,9	6,7	5,3	5,4
Fe	1526	945	3588	2920	5289	3977	2291	3642	3199	2998	3104	2166	4576
Ni	20,8	14,8	20,5	20,8	53,5	81,6	30,1	27,3	26,9	30,6	15,0	19,7	24,7
Zn	10 026	9369	9058	7224	7125	6448	3429	4275	8833	6781	8682	7961	8234
Ga	2,3	2,6	9,2	8,5	6,2	3,2	3,8	5,7	8,8	8,0	10,5	7,2	8,9
As	725	652	1235	1092	1402	1032	1877	2187	1204	1582	1077	883	1755
Rb	< 1	1,2	2,1	1,4	< 1	1,1	1,8	< 1	< 1	< 1	2,5	2,7	1,8
Sr	21,7	19,7	30,0	18,7	30,4	43,1	63,6	60,0	14,2	22,3	25,4	20,2	32,4
Y	3,9	2,8	5,2	3,8	9,0	7,5	6,5	7,7	4,9	5,7	8,6	5,1	6,2
Zr	1,2	1,1	1,2	1,1	1,2	1,5	6,8	6,6	1,3	1,3	4,2	1,5	4,3
Rh	1,2	1,5	2,2	2,4	1,5	< 1	1,2	1,1	2,7	1,9	1,7	2,0	1,9
Pd	11,5	11,5	10,5	8,9	13,1	13,1	13,0	11,2	9,5	10,8	11,7	10,4	12,4
Cd	1,0	1,6	2,5	3,3	1,9	2,5	1,5	1,1	2,6	1,7	4,6	2,0	1,5
In	17,6	15,7	20,7	17,9	22,7	20,2	16,0	18,6	18,8	16,5	19,5	19,9	23,1
Sn	2965	2866	4406	3582	4272	4090	2912	3315	4057	3292	5088	4175	5373
Sb	1380	1321	1720	1517	2322	1964	840	1141	2150	1127	2107	1648	1717
Ba	6,4	6,3	8,8	42,4	10,6	14,2	17,1	14,8	3,9	6,4	7,2	5,1	9,0
La	4,2	3,2	4,1	4,0	8,7	8,6	7,0	7,7	4,3	5,5	7,1	4,4	6,8
Ce	5,8	4,2	6,8	5,4	11,6	11,8	13,6	14,4	8,2	9,8	11,2	6,9	10,6
Pr	< 1	< 1	1,1	1,0	2,4	2,0	2,0	2,2	1,2	1,6	1,9	1,1	1,8
Nd	4,3	3,2	4,9	4,5	9,8	10,0	7,1	8,7	5,7	6,4	8,7	4,8	7,7
Sm	1,1	< 1	1,3	< 1	2,7	2,1	1,9	2,3	1,5	1,9	2,2	1,3	1,9
Gd	< 1	< 1	< 1	1,2	2,2	1,9	1,5	3,2	< 1	1,5	2,3	1,3	1,8
Dy	< 1	< 1	< 1	< 1	2,1	1,7	1,6	1,6	1,3	< 1	1,5	< 1	1,5

Окончание табл. 4

	H1	H1	П1	П1	П1	П1	П2	П2	П2	П2	Пр1	Пр2	Пр3
Tl	2,4	2,5	5,9	5,5	3,7	1,9	< 1	< 1	4,5	2,2	6,4	6,2	7,4
Pb	13 103	13 564	16 713	13 690	20 757	14 244	13 137	11 701	15 330	9584	14 496	14 117	15 807
Bi	509	528	537	436	664	528	291	299	656	359	581	523	505
Au	4282	4224	5586	4381	6217	5720	4120	4538	3889	4281	5149	4635	5491

Примечания: Н – наконечник, П – пластина, Пр – проволока;

Li, Co, Ge, Nb, Mo, Cs, Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Pt, U, Th <1 ppm;

Be, B < 10 ppm.

Таблица 5. Состав примесей в металле браслета № 3 по результатам МС-ИСП-ЛА (в ppm)

	П1	П1	П1	П1	H2	H2	H2	П2	П2	Пр1	Пр2
B	36,5	11,9	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Na	626	824	174	276	403	455	253	1197	748	543	353
Mg	109	124	75	88	40	41	31	91	79	142	46
Al	64	117	119	82	55	80	43	125	66	158	79
Si	6098	7060	7445	9536	2027	2421	1012	2257	1717	2777	2595
P	70	64	337	188	< 10	< 10	< 10	15	< 10	103	91
K	623	841	213	342	325	365	211	1032	534	465	385
Ca	138,9	67,3	104,1	228,2	< 1	< 1	< 1	63,8	426,4	155,6	< 1
Ti	< 1	6,0	3,9	< 1	< 1	2,7	52,8	2,6	2,1	4,4	< 1
V	12,9	10,3	5,4	9,8	< 1	< 1	< 1	3,1	< 1	5,8	3,0
Cr	1,6	1,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Mn	5,0	5,5	4,8	4,7	2,2	2,2	1,6	6,9	3,9	4,1	2,4
Fe	1511	1321	1103	851	95	69	62	1644	983	783	297
Co	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,0	< 1	< 1	< 1
Ni	32,2	21,9	13,9	15,9	27,0	26,4	25,5	25,7	42,0	38,7	15,4
Zn	19 240	17 355	14 378	13 038	427	389	313	16 897	6819	400	2484
Ga	6,0	5,0	5,3	4,9	< 1	< 1	< 1	2,6	1,3	< 1	< 1
As	413	368	570	505	451	443	504	466	459	1005	332
Rb	< 1	1,3	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,6	< 1	< 1	< 1
Sr	6,3	6,8	8,9	8,9	2,1	2,1	1,8	7,3	7,3	17,3	4,4
Y	1,7	1,4	1,2	2,0	1,1	< 1	< 1	3,2	2,4	4,1	1,4
Zr	< 1	< 1	4,7	< 1	< 1	< 1	< 1	1,0	< 1	1,8	< 1
Rh	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,4	1,4	1,4	< 1	1,0	< 1

Окончание табл. 5

	П1	П1	П1	П1	Н2	Н2	Н2	П2	П2	Пр1	Пр2
Pd	19,0	15,9	14,6	13,0	13,4	13,4	12,4	14,5	13,6	12,8	13,2
Cd	4,9	2,2	1,0	1,2	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
In	2,9	2,6	2,2	2,1	2,0	3,0	2,2	2,3	1,6	5,0	1,1
Sn	669	630	504	470	599	451	461	326	262	176	88
Sb	607	594	352	357	497	481	510	604	458	798	247
Ba	1,9	2,2	4,5	3,2	< 1	< 1	< 1	4,4	3,3	6,8	2,0
La	2,2	1,9	1,4	2,7	< 1	< 1	< 1	3,7	2,7	5,2	1,6
Ce	3,2	2,8	1,9	2,6	1,4	1,2	< 1	6,0	4,1	7,2	1,9
Pr	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,4	< 1
Nd	2,1	2,0	1,6	2,4	1,0	< 1	< 1	4,0	2,6	5,1	1,8
Sm	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,0	< 1	1,4	< 1
Gd	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	1,1	< 1	1,3	< 1
Pt	2,7	2,5	1,7	2,0	< 1	< 1	< 1	< 1	1,5	1,1	< 1
Pb	12 476	11 800	6921	6782	13 324	12 962	13 100	5941	3194	12 185	4458
Bi	1134	1036	577	574	175	165	169	322	162	151	86
Au	17 602	17 458	16 080	16 210	6541	6454	6463	12 457	12 489	8897	8155

Примечания: Н – наконечник; П – пластина; Пр – проволока;

Li, Ge, Nb, Mo, Cs, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Ti, Th, U < 1 ppm;

Be, Sc < 10 ppm.

Поскольку томографические исследования выявили области пайки на стыках концов проволок и концевых пластин у всех трех браслетов, была предпринята специальная работа по визуальному обнаружению паяных участков и определению состава металла припоя. Исследования проводились методом РЭМ/ЭРМ. В каждой области стыков было исследовано по 6–9 точек, находящихся в зоне контакта. К сожалению, эта работа не дала ожидаемых результатов. Только у одного из концов браслета № 1 обнаружено повышенное содержание свинца (см. выше), что, вероятно, можно связать с припоем.

Так как серебро относится к инертной группе металлов, его адгезия (сцепление) с припоями свинцово-оловянного типа невозможна (Родин, 1954). Для пайки серебра применяют специальный припой, который имеет состав, сходный с составом серебряного сплава. Разница между серебром и припоем состоит в том, что припой имеет температуру плавления несколько меньшую, чем серебро, расплавляющееся при 900–960 °С. В современном ювелирном деле для серебра применяют вид припоя, в котором содержится высокий процент чистого серебра, а также небольшая часть примесей меди, олова и цинка.

Вероятен вариант реконструкции процесса пайки браслетов, близкий к описанному в известном трактате пресвитера Теофила начала XII в., где он реко-

мендует для припоя брать 2 части серебра и одну меди и совершать эту операцию дважды (Теофил, 1963. С. 129, 130).

Концы проволок натирали подготовленным флюсом и посыпали мелко наструганной смесью серебра и меди. В современном штучном изготовлении ювелирных изделий используется также вариант оборачивания концов проволок тонкой фольгой из сплава серебра и меди. Обработанные таким образом концы втыкали в еще не остывший металл пластин, покрывали углями и нагревали до расплавления припоя⁴. Наиболее четко видно, как припой обволакивает концы проволок, на томограмме одного конца браслета № 2 (рис. 3: 15). Концы проволок внутри пластин просматриваются на объемных моделях строения браслетов (рис. 3: 9, 10; 4: 7, 8). После охлаждения концы браслетов № 1 и 3 тщательно шлифовались. Пластины браслета № 2 обработаны достаточно грубо. В пластинах пробивались отверстия для крепления шпильков наконечников: у браслетов № 1 и 3 по одному квадратному в центре (рис. 2: 11, 12; 4: 9, 10), у браслета № 2 по два округлых (рис. 3: 11, 12).

Таким образом, три серебряных плетеных браслета с наконечниками из Исадского клада стали первыми предметами из этой достаточно популярной в XI – перв. пол. XII в. категории древнерусских украшений, которые подверглись полному аналитическому изучению. Была установлена технология их изготовления: впервые достоверно определено, что кованые пластины крепились к концам проволок пайкой. Пайка была достаточно прочной: многочисленные образцы таких браслетов из древнерусских кладов до сегодняшнего дня сохраняют оба концевых элемента. Конструктивные элементы браслетов изготовлены из серебра высокой пробы: для браслетов № 1 и 3 – от 838 до 916. В браслете № 2 проба несколько ниже – 752–793. Серебро легировано латунью. Исследования показали, что поверхностный слой браслетов обогащен серебром. В методическом плане представляется важным подчеркнуть, что анализ серебряных предметов, проведенный в приповерхностном слое, дает недостоверное соотношение элементов в сплаве.

Микроэлементный анализ выявил чрезвычайно низкие концентрации висмута в деталях браслетов, что позволило отказаться от предположения, что для их изготовления использовалось восточное монетное серебро или переплавленные из него изделия.

В настоящем исследовании с помощью томографии восстановлена последовательность технологических операций, применявшихся для изготовления предметов, а элементный анализ материалов позволил предположить возможные источники использованного металла.

Благодарим И. Ю. Стрикалова за предоставление предметов для исследования и С. У. Меркеля за консультацию по вопросу источников серебра.

⁴ Современные мастера, специализирующиеся на изготовлении реплик древнерусских украшений, сначала спаивают плетеный жгут браслета с отлитым округлым наконечником соответствующего диаметра, а затем расковывают его в уплощенную пластину. Надо отметить, что при этом поры в зоне пайки будут нести следы ударных нагрузок, т. е. их форма будет отличаться от сферической.

ЛИТЕРАТУРА

- Бреполь Э., 1982. Теория и практика ювелирного дела. Л.: Машиностроение. 384 с.
- Гайдуков П. Г., Олейников О. М., Зайцева И. Е., Коваленко Е. С., Мурашев М. М., Подурец К. М., Мандрыкина А. В., Ващенко Е. С., Куликов А. Г., Ретивов В. М., Терещенко Е. Ю., Яцишина Е. Б., 2022. Золотая подвеска с эмалью из Новгорода: комплексное аналитическое исследование // РА. № 3. С. 90–106.
- Гущин А. С., 1936. Памятники художественного ремесла Древней Руси X–XIII вв. Л.: Гос. соц.-экон. изд-во. 115 с.
- Ениосова Н. В., Митоян Р. А., 2011. Арабское серебро как источник сырья для славянских и скандинавских ювелиров (по материалам Гнездовских кладов) // От палеолита до Средневековья: сб. науч. ст. / Отв. ред. В. Л. Егоров. М.: Ист. фак. МГУ. С. 90–95.
- Жилина Н. В., 2014. Древнерусские клады IX–XIII вв. Классификация, стилистика и хронология украшений. М.: ЛИБРОКОМ. 400 с.
- Корзухина Г. Ф., 1954. Русские клады IX–XIII вв. М.; Л.: АН СССР. 156 с.
- Кузнецов В. П., 1971. Влияние внутреннего окисления на свойства и обрабатываемость сплавов серебра // Сборник трудов Всесоюзного научно-исследовательского института ювелирной промышленности. Вып. 1. Л. С. 94–105.
- Леваашева В. П., 1967. Браслеты // Очерки по истории русской деревни X–XIII вв. М.: Советская Россия. С. 207–252. (Труды ГИМ; вып. 43.)
- Макарова Т. И., 1986. Черное дело Древней Руси. М.: Наука. 156 с.
- Минасян Р. С. Металлообработка в древности и средневековье. СПб.: Из-во Гос. Эрмитажа. 2014. 472 с.
- Новоковская-Бухман С. М., 2015. Клады Древней Руси в собрании Русского музея. СПб.: Palace Editions. 96 с.
- Родин А. И., 1954. Пайка серебряными припоями в пламени газовой горелки. М.: Гос. изд-во оборон. пром.-сти. 56 с.
- Сапрыкина И. А., Гунчина О. Л., 2017. Химический состав металла Боспорских статеров Фанагорийского клада 2011 г. // Фанагория. Результаты археологических исследований. Т. 5. Клад позднебоспорских статеров из Фанагории. М.: ИА РАН. С. 272–483.
- Сапрыкина И. А., Кичанов С. Е., Козленко Д. П., Лукин Е. В., 2018. Возможности нейтронной томографии в археологии на примере исследования древнерусских украшений из Тверского клада 2014 г. // РА. № 3. С. 36–42.
- Стрикалов И. Ю., 2022. Исадский клад 2021 г. // РА. № 2. С. 154–160.
- Теофил, 1963. Записка о разных искусствах / Ред. и примеч. А. В. Виннера // Сообщения / Всесоюзная центральная научно-исследовательская лаборатория по консервации и реставрации музейных художественных ценностей. Вып. 7. М.: Советская Россия. С. 66–184.
- Флеров А. В., 1981. Материаловедение и технология художественной обработки металлов. М.: Высшая школа. 288 с.
- Cowell M. R., Lowick N. M., 1988. Silver from the Panjgur Mines // Metallurgy in Numismatics. Vol. II. London: Royal Numismatic Society. P. 65–74.
- Eniosova N., Mitoyan R., 2011. Arabic Coins as a Silver Source for Slavonic and Scandinavian Jewellers in the Tenth Century AD // Proceedings of the 31st International Symposium on Archaeometry / Ed. I. Turbanti-Memmi. Berlin; Heidelberg: Springer. P. 579–584.
- Eniosova N., Murasheva V., 1999. Manufacturing techniques of belt and harness fittings of the 10 Century AD // Journal of the Archaeological Science. Vol. 26. P. 1093–1100.
- Kovalenko E. S., Murashev M. M., Stolyarova E. K., Podurets K. M., Glazkov V. P., Presnyakova N. N., Borisova P. A., Svetogorov R. D., Gogin A. A., Greshnikov E. A., Zaytseva I. E., Yatsishina E. B., 2020. Study of Medieval Russian Enamel Pendant Using a Complex of Nondestructive Methods // Crystallography Reports. Vol. 65. № 6. P. 1073–1080.
- Merkel S. W., 2016. Silver and silver economy at Hedeby. Bochum: Verlag Marie Leidorf. 273 p.

Сведения об авторах

Зайцева Ирина Евгеньевна, Институт археологии РАН, ул. Дм. Ульянова, 19, Москва, 117292, Россия; e-mail: izaitseva@yandex.ru;

Коваленко Екатерина Сергеевна, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: Kovalenko_ES@nrcki.ru;

Гурьева Полина Викторовна, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: poli.b3@gmail.com;

Мандрыкина Анастасия Викторовна, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: mandrykina_av@mail.ru;

Кондратьев Олег Алексеевич, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: edelier@mail.ru;

Исмагулов Артем Маратович, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: ismagulov.art@mail.ru;

Подурец Константин Михайлович, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: Podurets_KM@nrcki.ru;

Терещенко Елена Юрьевна, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: elenatereshchenko@yandex.ru;

Яцишина Екатерина Борисовна, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. академика Курчатова, 1, Москва, 123182, Россия; e-mail: Yatsishina_EB@nrcki.ru

I. E. Zaytseva, E. S. Kovalenko, P. V. Guryeva,
A. V. Mandrykina, O. A. Kondratyev, A. M. Ismagulov,
K. M. Podurets, E. Yu. Tereschenko, E. B. Yatsishina

THREE BRACELETS FROM THE ISADY HOARD OF 2021:
PRODUCTION TECHNOLOGY AND METAL COMPOSITION

Abstract. The paper describes results of the comprehensive analysis of three braided bracelets with figured ends from the Isady hoard found in 2021 in Ryazan region (dated back to the 11th – early 12th centuries). The analysis identified technological characteristics of the bracelets. They were made of braided strings with plated forged flattened pieces soldered onto the bracelet ends. Onto the latter cast hollow figured finials were attached with smoothed rivets. The analysis also determined the composition of the metal of all structural components of the bracelets. They were made of rather high grade silver (752–916) alloyed with brass. Low quantities of bismuth in the silver composition do not correlate with its content in Arab silver coins, which suggests that the metal used to make the bracelets came from Central Europe or Asia Minor.

Keywords: Medieval Russia, hoard, silver bracelets, X-ray tomography, inductively coupled mass spectrometry with laser ablation; X-ray fluorescence analysis, energy-dispersive X-ray microanalysis.

REFERENCES

- Brepol E., 1982. Teoriya i praktika yuvelimogo dela [Theory and practice of jewelry production]. Leningrad: Mashinostroenie. 384 p.
Eniosova N. V., Mitoyan R. A., 2011. Arabское серебро как источник сыр'я для славянских и скандинавских ювелиров (по материалам Gnezdovskikh кладов) [Arab silver as a source of raw materi-

- als for Slavic and Scandinavian jewelers (based on materials of Gnezdovo hoards)]. *Ot paleolita do Srednevekov'ya [From the Paleolithic to the Middle Ages]*. V. L. Egorov, ed. Moscow: Istoricheskiy fakul'tet MGU, pp. 90–95.
- Flerov A. V., 1981. Materialovedenie i tekhnologiya khudozhestvennoy obrabotki metallov [Materials science and technology of artistic metalworking]. M.: Vysshaya shkola. 288 p.
- Gaydukov P. G., Oleynikov O. M., Zaytseva I. E., Kovalenko E. S., Murashev M. M., Podurets K. M., Mandrykina A. V., Vashchenkova E. S., Kulikov A. G., Retivov V. M., Tereshchenko E. Yu., Yatsishina E. B., 2022. Zolotaya podveska s emal'yu iz Novgoroda: kompleksnoe analiticheskoe issledovanie [Gold pendant with enamel from Novgorod: Comprehensive analytical research]. *RA*, 3, pp. 90–106.
- Gushchin A. S., 1936. Pamyatniki khudozhestvennogo remesla Drevney Rusi X–XIII vv. [Monuments of artistic craft of Ancient Russia, X–XIII cc.]. Leningrad: Gosudarstvennoe sotsial'no-ekonomicheskoe izdatelstvo. 115 p.
- Korzukhina G. F., 1954. Russkie klady IX–XIII vv. [Russian hoards of IX–XIII cc.]. Moscow; Leningrad: AN SSSR. 156 p.
- Kuznetsov V. P., 1971. Vliyaniye vnutrennego okisleniya na svoystva i obrabatyvaemost' splavov serebra [The effect of internal oxidation on the properties and processing of silver alloys]. *Sbornik trudov Vsesoyuznogo nauchno-issledovatel'skogo instituta yuvelirnoy promyshlennosti [Proceedings of All-Union scientific research Institute of jewelry industry]*, 1. Leningrad, pp. 94–105.
- Levasheva V. P., 1967. Braslety [Bracelets]. *Ocherki po istorii russkoy derevni X–XIII vv. [Essays on history of Russian village, X–XIII cc.]*. Moscow: Sovetskaya Rossiya, pp. 207–252. (Trudy GIM, 43.)
- Makarova T. I., 1986. Chernevoe delo Drevney Rusi [Niello in Ancient Russia]. Moscow: Nauka. 156 p.
- Minasyan R. S. *Metalworking in Antiquity and the Middle Ages*. SPb. 2014. 472 p.
- Novakovskaya-Bukhman S. M., 2015. Klady Drevney Rusi v sobranii Russkogo muzeya [Ancient Russian hoards of in the collection of the State Russian Museum]. St. Petersburg: Palace Editions. 96 p.
- Rodin A. I., 1954. Payka serebryanymi pripoyami v plameni gazovoy gorelki [Soldering with silver solders in the flame of a gas burner]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatelstvo oboronnoy promyshlennosti. 56 p.
- Saprykina I. A., Gunchina O. L., 2017. Khimicheskiy sostav metalla Bosporskikh staterov Fanagoriyskogo klada 2011 g. [Chemical composition of metal of Bosporan staters from the Phanagoria hoard of 2011]. *Fanagoriya. Rezul'taty arkhеologicheskikh issledovaniy [Phanagoria. Results of archaeological research]*, 5. *Klad pozdnebosporiskikh staterov iz Fanagorii [A hoard of late Bosporan staters from Phanagoria]*. Moscow: IA RAN, pp. 272–483.
- Saprykina I. A., Kichanov S. E., Kozlenko D. P., Lukin E. V., 2018. Vozmozhnosti neytronnoy tomografii v arkhеologii na primere issledovaniya drevnerusskikh ukrasheniy iz Tverskogo klada 2014 g. [The capabilities of neutron tomography in archaeology on an example of the study of Old Russian jewelry from the Tver hoard of 2014]. *RA*, 3, pp. 36–42.
- Strikalov I. Yu., 2022. Isadskiy klad 2021 g. [The Isady hoard of 2021]. *RA*, 2, pp. 154–160.
- Theophilus, 1963. Zapiska o raznykh iskusstvakh [Schedule diversarum artium]. *Soobshcheniya. Vsesoyuznaya tsentral'naya nauchno-issledovatel'skaya laboratoriya po konservatsii i restavratsii muzeynykh khudozhestvennykh tsennostey [Communications. All-Union central scientific research laboratory for conservation and restoration of museum art values]*, 7. Moscow: Sovetskaya Rossiya, pp. 66–184.
- Zhilina N. V., 2014. Drevnerusskie klady IX–XIII vv. Klassifikatsiya, stilistika i khronologiya ukrasheniy [Ancient Russian hoards of IX–XIII cc. Classification, stylistics and chronology of ornaments]. Moscow: LIBROKOM. 400 p.

About the authors

Zaytseva Irina E., Institute of Archaeology Russian Academy of Sciences, ul. Dm. Ulyanova, 19, Moscow, 117292, Russian Federation; e-mail: izaitseva@yandex.ru;

Kovalenko Ekaterina S., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: Kovalenko_ES@nrcki.ru;

Guryeva Polina V., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: poli.b3@gmail.com;

Mandrykina Anastasiya V., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123098, Russian Federation; e-mail: mandrykina_av@mail.ru;

Kondratyev Oleg A., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: edelier@mail.ru;

Ismagulov Artem M., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: ismagulov.art@mail.ru;

Podurets Konstantin M., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: Podurets_KM@nrcki.ru;

Tereschenko Elena Yu., National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: elenatereschenko@yandex.ru;

Yatsishina Ekaterina B. National Research Center «Kurchatov Institute», Akademika Kurchatova pl., Moscow, 123182, Russian Federation; e-mail: Yatsishina_EB@nrcki.ru