

П. В. Гурьева, Е. С. Коваленко, К. М. Подурец, Н. Б. Шалявина,
Е. Ю. Терещенко, И. Е. Зайцева, Е. Б. Яцишина

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДРЕВНЕРУССКИХ СЕРЕБРЯНЫХ ЗЕРНЕННЫХ УКРАШЕНИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ БУСИН ИЗ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ РУСИ¹

Резюме. Впервые проведено рентгеномографическое исследование древнерусских бусин и бусинных височных колец X–XII вв. с проволочными и сплошными каркасами, декорированных зернью из новейших полевых работ Института археологии РАН на памятниках Северо-Восточной Руси. Полученные данные позволили визуализировать особенности конструкции бусин, детализировать способы крепежа гранул зерни на корпусе бусин, в частности, выявить области сохранившегося припоя на всех бусинах. Обращает на себя внимание использование припоя на всех изученных изделиях, включая бусину, по внешнему виду определенную как имитацию зерни. Близкие размеры использованных проволок в изделиях из различных поселений позволяют предположить наличие стандартных инструментов для их изготовления.

Ключевые слова: Древняя Русь, техника зерни, серебряные бусины, рентгеновская томография.

Изучение древних технологий всегда было одним из ключевых направлений археологической науки. Интеграция естественно-научных и гуманитарных исследований, возможность использования современного оборудования для изучения конструкции и состава древних артефактов открывают новые горизонты в археологическом источниковедении. Одним из направлений такой работы стало изучение различных ювелирных техник, применяемых древнерусскими мастерами для изготовления как элитарных украшений из драгоценных металлов, так и предметов массового потребления.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской Федерации 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).

Целью настоящей работы стало изучение древнерусской техники зерни на примере 7 находок из новейших полевых работ Института археологии РАН с учетом опыта авторского коллектива по комплексным исследованиям древнерусских металлических изделий, украшенных чернью и эмалью (*Лобода и др.*, 2021; *Столярова и др.*, 2021; *Зайцева и др.*, 2023). Проанализировано пять фрагментов серебряных бусинных височных колец и две серебряные бусины. Шесть предметов происходят из исследованных Суздальской археологической экспедицией погребальных памятников X–XII вв. Шекшово 9 и Гнездилово 12 в окрестностях Суздаля (*Макаров и др.*, 2023)², одно височное кольцо найдено при раскопках на селище кон. XI – XII в. Чаадаево 5 под Муромом³ (рис. 1).

Эффектные украшения с зернью были очень популярны в Древней Руси. Серебряные декорированные зернью бусины, ширококорогие лунницы и другие подвески скандинавского производства появились на территории Восточной Европы еще в эпоху становления Древнерусского государства. Позднее сложная и кропотливая техника зерни была освоена русскими мастерами-ювелирами, она активно использовалась для отделки драгоценных изделий парадного убора из золота и серебра, находимых в составе кладов: лучевых височных колтов, перстней, металлических обкладок каменных крестов-тельников, бусин, бусинных височных колец (*Корзухина*, 1954; *Рябцева*, 2005. С. 211).

В массовое производство техника зерни практически не проникла – обычные горожане и сельские жители в основном довольствовались литыми украшениями с имитацией зерни. Известны как каменные литейные формы для изготовления таких предметов, так и сами украшения, сделанные преимущественно из легкоплавких сплавов – т. н. ложнозерненные (*Седова*, 1981. С. 14).

Пожалуй, единственной категорией серебряных изделий с настоящей зернью, достаточно часто находимой на городских и сельских памятниках XI–XII вв., являются серебряные бусинные височные кольца – свернутые в кольцо диаметром 2–5 см отрезки проволоки с раскованным и закрученным концом, на которые нанизывались бусины, декорированные зернью и филигранью. Чаще всего на одной дужке располагались три бусины округлой или уплощенной формы, разделенные проволочной обмоткой (трехбусинные), однако встречены изделия и с одной бусиной. На Руси обычно все три бусины на кольце были одинаковыми, на Балканах традиционно центральная бусина украшалась более богато (*Рябцева*, 2005. С. 221–225). Трехбусинные височные кольца известны в погребениях конца X – XII в. по всей древнерусской территории, тем не менее районом их сосредоточения можно считать Северо-Восточную Русь. Наиболее часто они встречаются в женских погребальных комплексах XI в.

Единые по конструкции, височные кольца различаются декором нанизанных на них бусин: со сплошным туловом и с ажурным, узелковым; накладной рисунок состоит из зерни и филигранных нитей или, как в нашем случае, только из шариков зерни. Зернь может располагаться в виде пирамидок с одним крупным шариком в центре или сплошь покрывать тулово бусины. Бусины с плотно

² Благодарим руководителя работ Н. А. Макарова за предоставление материалов для исследований.

³ Благодарим руководителя работ О. В. Зеленцову за возможность изучения предмета.

расположенными рядами зерни известны в киевских кладах 1904 и 1909 гг. (Рябцева, 2005. С. 214). Бусы проволочно-каркасной конструкции из Белоозера и курганов Новгородской земли опубликованы Н. В. Жилиной (Жилина, 2010. С. 120). Овальные или миндалевидные бусины от ожерелий со сплошным туловом, покрытым зерненным декором, – достаточно редкие находки в сельской среде, более характерны они для кладовых комплексов (Жилина, 2014. С. 133).

Исследователей древней зерни интересуют преимущественно два вопроса: как делались сами шарики зерни и как они прикреплялись к изделию? Предложено несколько способов получения сферических гранул в больших количествах. Два из них, на основе работ И. Уолтерса, описаны у В. Дучко в монографии, посвященной филигранным и зерненым изделиям эпохи викингов из шведской Бирки (Duczko, 1985. P. 22–24).

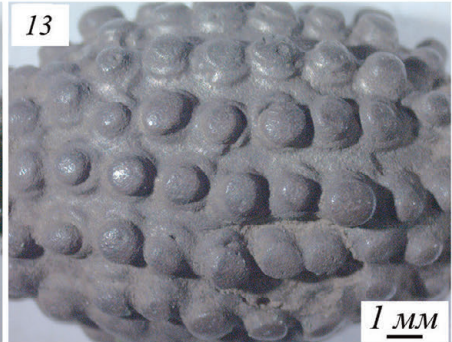
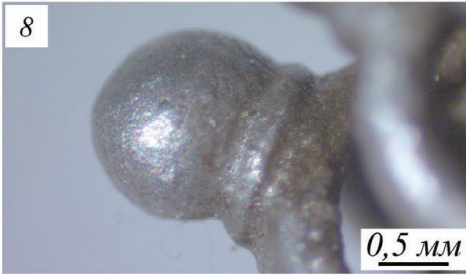
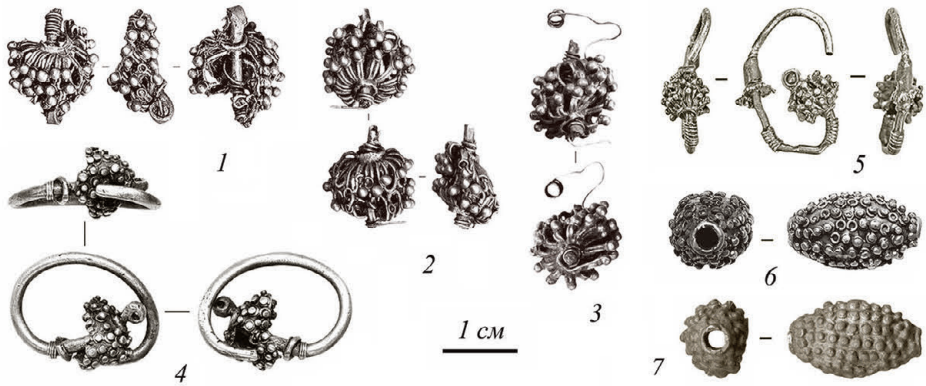
Обрезки металла и проволоки одинакового размера⁴ кладут в тигле на слой порошка древесного угля. Сверху все это засыпается новым слоем порошка древесного угля, на который вновь кладется слой кусочков металла. Тигель герметизируют и помещают в печь на значительное время. При нагревании сосуд надо периодически встряхивать. Затем порошок смывают и собирают зерна одинакового размера и правильной сферической формы.

При другом способе металл расплавляют в тигле и выливают через деревянное сито в воду или на слой порошка древесного угля. В этом случае гранулы имеют неправильный размер, и их форма часто не является идеально сферической (Ibid.). Этот же прием изготовления зерни с помощью разбрызгивания металла через мокрую метелку или решето рассмотрел и Б. А. Рыбаков применительно к древнерусским материалам – на основе сообщений мастеров-кустарей (Рыбаков, 1948. С. 330–334).

Третий способ рассмотрен Н. В. Жилиной, посвятившей зерни и скани Древней Руси отдельную монографию (Жилина, 2010). Крупные гранулы зерни могли нарезать из штампованной (бусинной) проволоки с последующей их подплавкой (Там же. С. 34). Исследовательница указывает, что наличие гранул с плоским основанием является индикатором для определения этого способа изготовления зерни. Такие гранулы образуются вследствие проседания тяжелой капли металла и потери ею правильной сферической формы (Там же. С. 28, 30).

В действительности техника изготовления зерни дошла до наших дней, не претерпев существенных изменений с древних времен. В практике современных ювелиров используется следующий способ получения шариков зерни одинакового размера: проволока нарезается на равные отрезки – можно намотать проволоку на цилиндрический стержень или спицу, а затем образовавшуюся спираль разрезать на одинаковые колечки. Полученные колечки раскладывают в заранее подготовленные углубления на большом куске древесного угля. Далее колечки плавят при помощи паяльной трубки (газовой горелки). При расплавлении металл под действием высокого поверхностного натяжения превращается в шарик и при остывании сохраняет эту форму (Постникова-Лосева и др., 1995. С. 13).

⁴ В известном трактате начала XII в. «Записка о разных искусствах» пресвитер немецкого бенедиктинского монастыря Теофил рекомендует нарезать проволоку на одинаковые колечки (Манускрипт Теофила..., 1963; Минжулин, 1990. С. 236).



В современной практике используется и описанный выше способ плавления равных кусочков проволоки или колечек, пересыпанных золой, в тигле.

Эти два метода являются наиболее эффективными с точки зрения технологии, так как позволяют получить шарики зерна одинакового размера и формы. С этой точки зрения способы разбрызгивания металла, приведенные у В. Дучко и Б. А. Рыбакова, технологически не оправданы.

Таким образом, несмотря на хорошую разработанность темы в литературе, использование возможностей методов естественных наук с помощью оборудования Национального исследовательского центра (НИЦ) «Курчатовский институт» позволяет расширить информационный потенциал предметов с зерной и получить ранее недоступные для ученых данные об этом виде древнерусского ювелирного искусства.

Первоначально отобранные для анализа предметы исследовались с использованием приборной базы ЦКП при ИА РАН. Было выполнено их визуальное изучение методом оптической микроскопии (ОМ) на стереомикроскопе STEMI-2000 (Zeiss) при различных увеличениях для установления следов технологических операций.

По результатам исследований было установлено, что бусины трех фрагментов височных колец из Гнездилово 12 (рис. 1: 1–3) имеют практически одинаковое строение. Внутри бусин сохранились обломки дужек височных колец из круглой волоченой проволоки, на которые они были надеты, а по бокам бусин остатки обмотки дужек тонкой проволокой для их фиксации. В настоящее время бусины деформированы, но можно полагать, что изначально они имели шаровидную или овальную форму диаметром около 12 мм. Тулово бусин ажурное, состоит из двух рядов проволочных петель (проволочно-каркасная конструкция, по Н. В. Жилиной (*Жилина*, 2010. С. 121–123)), спаянных между собой и прикрепленных к валикам, формирующим канал. Такой способ создания тулова бусины также называют «петельным каркасом» (Там же. С. 119). Гранулы располагаются в средней части бусин в 3 ряда с фиксацией на колечках.

Височное кольцо из Гнездилово 12 (рис. 1: 4) однобусинное. Дужка кольца свернута из волоченой проволоки. Один ее конец обрублен, а другой – раскован и загнут в колечко. Около завитка с помощью проволочной обмотки зафиксирована бусина, в настоящее время смятая. Изначально она имела, скорее всего, шаровидную форму диаметром около 10 мм. Конструкция бусины отличается от описанных выше: тулово ее сплошное, т. е. изготовлено из пластин. Из-за сильной деформации установить способ скрепления частей тулова не удается. На тулово по всей поверхности были прикреплены шаровидные и уплощенные

Рис. 1 (с. 366). Проанализированные предметы

1, 8 – бусина от височного кольца из Гнездилово 12, 2020 г., № 66 (бусина 1); 2, 9 – бусина от височного кольца из Гнездилово 12, 2020 г., № 67 (бусина 2); 3 – бусина от височного кольца из Гнездилово 12, 2019 г., № 108/33 (бусина 3); 4, 10 – фрагмент височного кольца из Гнездилово 12, 2022 г., № 1 (бусина 4); 5, 11 – фрагмент височного кольца из Чадаево 5, 2021 г., № 2098 (бусина 5); 6, 12 – бусина из Шекшово 2, 2010 г. (бусина 6); 7, 13 – бусина из Шекшово 9, 2014 г., № 13 (бусина 7)

1–7 – фото Суздальской археологической экспедиции ИА РАН; 8–13 – фото И. Е. Зайцевой

гранулы (рис. 1: 10), большинство которых оконтурены свернутыми в кольцо отрезками округлой проволоки. Они образуют подобие рядов.

Трехбусинное височное кольцо из Чаадаево 5 имеет аналогичную предыдущему дужку с проволочными фиксаторами. Около завитка полностью сохранилась одна бусина (рис. 1: 5), остальные утрачены. Бусина имеет овальную (вытянутую в ширину) форму размерами $6,5 \times 5,5$ мм. Тулово бусины выглядит ажурным, шарики зерни расположены в 3 ряда, фиксирующие гранулы проволочные колечки не выявляются. Вокруг каналов выполнены валики. Контур проволоки каркаса и гранул зерни смотрятся «смазанными», как будто подплавленными – из-за отсутствия четкости контуров деталей (рис. 1: 11) было высказано предположение, что бусина литая.

Две бусины от ожерелий из Шекшова (рис. 1: 6, 7) типологически одинаковы. Размеры обоих экземпляров – 17×11 мм. Н. В. Жилина называет такие бусины «овально-коническими в продольном сечении» (Жилина, 2010. С. 148). Тулово бусин сплошное пластинчатое. При увеличении на бусине 6 видно поперечное линейное углубление (рис. 1: 12), предположительно, шов между двумя частями тулова. Вокруг канала располагаются проволочные валики. Все тулово бусин покрыто гранулами зерни. Гранулы довольно неровные, имеют вид таблеток и расположены продольными рядами. Вокруг большинства гранул располагаются проволочные колечки. Припой не выявлен ни на одном из объектов.

В НИЦ «Курчатовский институт» было проведено рентгеномографическое исследование (РТ) находок для визуализации их конструкции, определения способов изготовления зерни и ее крепления к металлу основы. Измерения выполнялись на промышленном рентгеновском томографе X5000 (NSI): напряжение – 200 кВ, ток – 200 мкА, размер фокального пятна – 40 мкм, использовался медный фильтр толщиной 4,2 мм. 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. Время экспозиции одной теневой проекции – 1 с, усиление – 0,25 пФ, шаг поворота вокруг вертикальной оси – $0,24^\circ$. Размер вокселя полученных изображений – $17 \times 17 \times 17$ мкм. Обработка данных проводилась с помощью программного пакета Volume Graphics studio 3.5.

По результатам РТ бусины трех височных колец из Гнездилово 12 (рис. 1: 1–3) имеют одинаковую конструкцию. Каркас этих бусин выполнен из двух рядов проволочных петель (рис. 2: 1, 2, 6, 7, 11, 12), соединенных между собой вблизи каналов бусин при помощи пайки (в зоне контакта наблюдается материал с множественными округлыми пустотами (рис. 2: 4, 9, 14)). Для изготовления каркаса применялась проволока округлого сечения диаметром (d_n) $\sim 0,4$ мм у бусины 1 и $0,4\text{--}0,5$ мм у бусин 2 и 3. Со стороны завитка у каркаса бусины 1 сохранилось 11 петель, с противоположенной стороны – 13. Верхняя и нижняя части каркаса бусин 2 и 3 выполнены из 13 петель. Петли каркаса имеют достаточно протяженные паяные зоны для прочности каркаса и предотвращения расхождения проволок: в основании они спаяны между собой и с соседними петлями. Края петель припаяны к валикам в основании бусин, формирующим

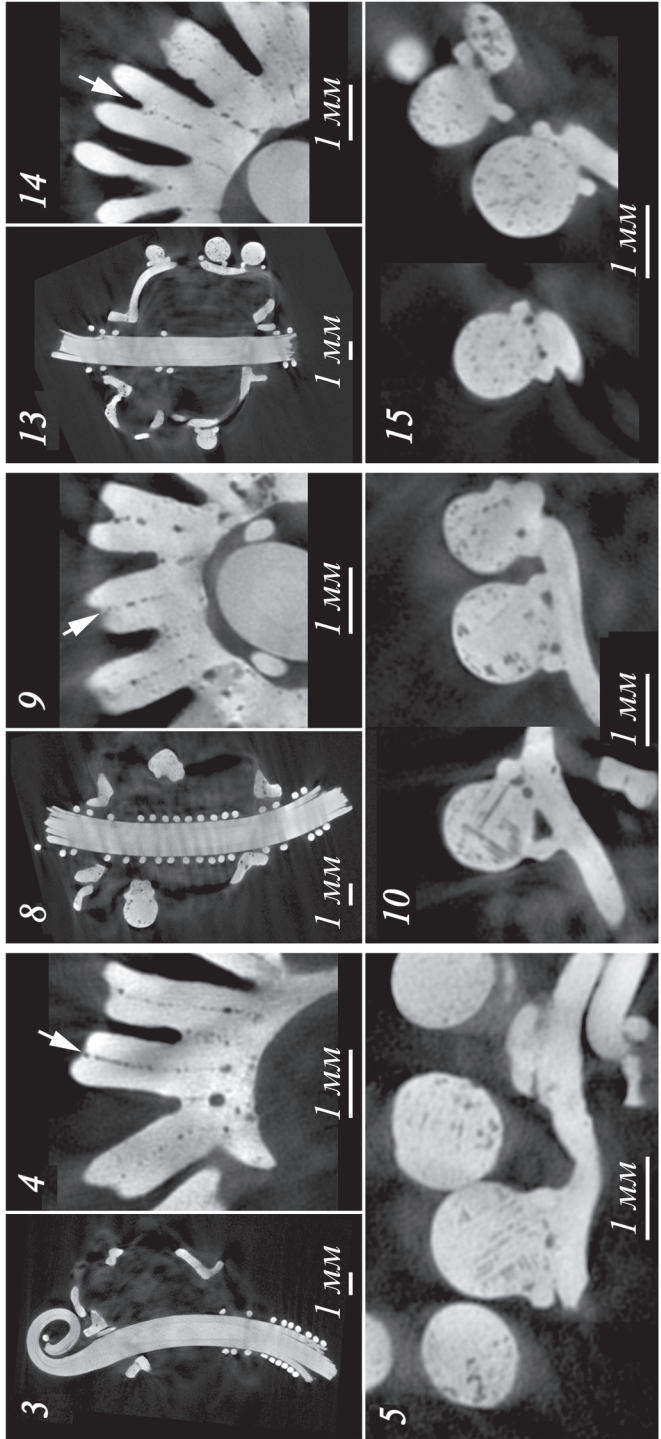
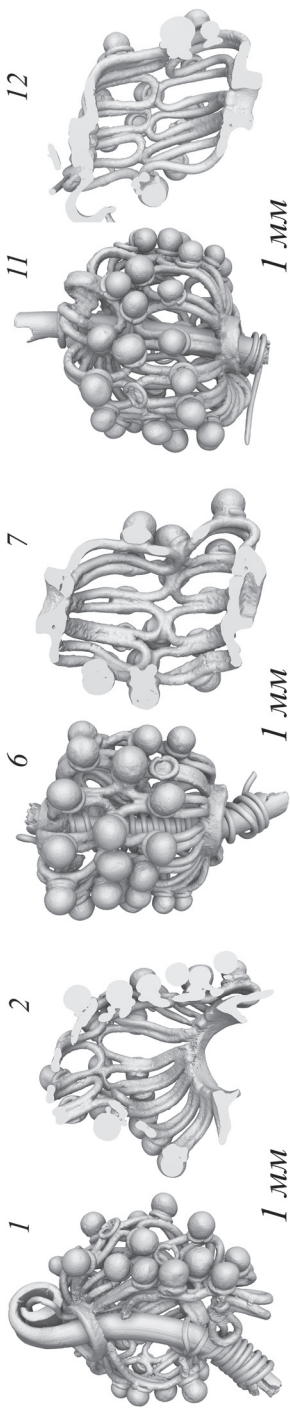
каналы бусин. Валики бусин 1–3 выполнены из проволоки прямоугольного сечения $0,5 \times 0,8$; $0,4 \times 0,7$; $0,5 \times 1,0$ мм соответственно.

На проволоках каркаса в зонах контакта боковых частей петель (примерно на середине длины петли) и в зоне контакта петель верхней и нижней частей корпуса закреплены небольшие проволочные разомкнутые колечки диаметром 1,3–1,5 мм (диаметр сечения проволоки $d_{\text{п}} \sim 0,3$ мм). Внутри колечек располагаются шарообразные гранулы зерни диаметром ($D_{\text{гр}}$) 1,2–1,4; 1,4–1,6 и 1,2–1,6 мм для бусин 1, 2 и 3 соответственно (рис. 2: 1, 6, 11). Зернь содержит многочисленные упорядочено расположенные пустоты (рис. 2: 5, 10, 15), которые образовались, вероятно, в процессе затвердевания гранул из расплава. В зоне контакта нижней части гранул с колечками и каркасом наблюдается материал с множественными округлыми пустотами (рис. 2: 5, 10, 15). Вероятно, гранулы припаявались и к проволоке каркаса, и к колечкам для увеличения площади соприкосновения зерни с основой и предупреждения ее отрыва. Области пайки неконтрастны относительно окружающих элементов конструкции.

Дужки височных колец 1–3 выполнены из проволоки округлого сечения $d_{\text{п}} - 1,6$ мм. Проволока дужек однородна, выраженных пор не наблюдается (рис. 2: 3, 8, 13). Верхняя часть дужки височного кольца 1 утоньшена и загнута в спираль. В зоне утоньшения, а также на обломанном конце этой дужки наблюдаются множественные продольные трещины шириной до 50 мкм (рис. 2: 3). Сохранившийся фрагмент дужки височного кольца 2 не имеет дефектов, кроме трещин на обломанных концах (рис. 2: 8). Дужка височного кольца 3 имеет продольные трещины шириной до 45 мкм (рис. 2: 13). Протяженные продольные трещины в дужках височных колец, вероятно, связаны с волочением проволоки.

Неподвижность бусин на височных кольцах 1–3 обеспечивалась, вероятно, плотной намоткой проволоки округлого сечения $d_{\text{п}} \sim 0,3$ мм вокруг дужки без дополнительной фиксации припоем (рис. 2: 3, 8, 13). Сохранилось 9 витков фиксирующей бусину 1 проволоки, она туго намотана на дужку и продета через завиток (рис. 2: 1, 3). Наблюдается 16 витков фиксирующей проволоки вокруг дужки для височного кольца 2 (рис. 2: 6, 8) и 6 витков – для височного кольца 3 (рис. 2: 11, 13).

В височном кольце 4 из Гнездилово 12 (рис. 1: 4) основой для крепления зерни является металлическая пластина толщиной 0,1–0,2 мм (рис. 3: 1, 2). Из-за фрагментарной сохранности бусины 4 невозможно установить расположение соединительных швов. Края пластины загнуты за валики канала бусины (рис. 3: 3). Валики выполнены из проволоки округлого сечения $d_{\text{п}}$ около 0,9 мм. На поверхности пластины рядами закреплены тонкие круглопроволочные разомкнутые колечки диаметром 1,4–1,6 мм из проволоки $d_{\text{п}} - 0,3$ мм, в центр которых помещены гранулы зерни $D_{\text{гр}} - 0,9-1,0$ мм (рис. 3: 1, 4). Небольшое количество зерни (8 гранул) располагается хаотично по поверхности пластины без проволочных колечек. Гранулы, расположенные вблизи центра бусины, имеют уплощенную форму (рис. 3: 1), что, вероятно, связано с истиранием в результате длительного ношения украшения. Шарообразная форма сохранилась у гранул, прикрепленных вблизи валиков и не подвергшихся истиранию (рис. 3: 1, 3). В гранулах зерни наблюдается упорядочение полостей (рис. 3: 4). В зоне контакта нижней части гранул с каркасом бусины и колечками, а также



в области соединения каркаса с валиками наблюдается вещество с множественными сферическими пустотами диаметром до 0,2 мм (рис. 3: 4), неконтрастное относительно окружающих элементов конструкции.

Дужка височного кольца 4 выполнена из проволоки округлого сечения $d_{\text{п}}$ – 1,7–1,8 мм. Металл дужки однороден, в области расположения бусины вблизи оси проволоки наблюдаются пустоты размером до 150 мкм. Перпендикулярно поверхности дужки на глубину до 0,3 мм распространяются многочисленные трещины шириной до 70 мкм, которые могут быть связаны с особенностями изготовления и сохранности предмета. Материал завитка содержит многочисленные крупные поры (рис. 3: 2) размером до $0,6 \times 0,8$ мм, в то время как основной массив дужки пор практически не имеет. Вероятно, конец первоначального завитка был отломан, и это место подверглось ремонту – новый завиток был наращен из припоя. Для фиксации бусины на дужку была плотно намотана проволока округлого сечения $d_{\text{п}}$ – 0,3 мм, количество сохранившихся витков проволоки – 3. На фиксирующей проволоке наблюдаются следы истирания в результате длительного использования украшения (рис. 3: 2).

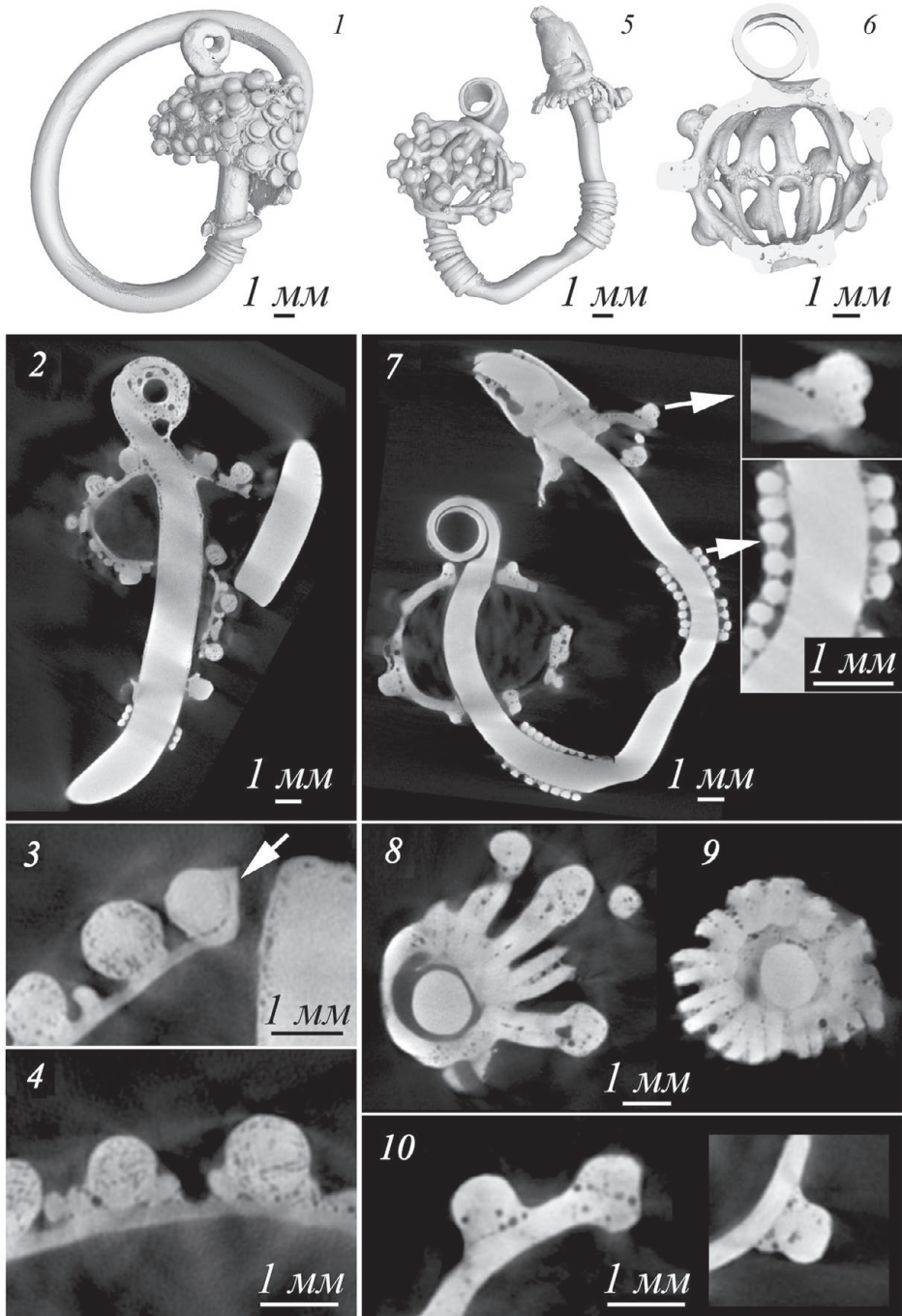
Необычным объектом оказалось височное кольцо из Чаадаево 5 (рис. 1: 5), отсутствие выраженных деталей в конструкции бусины которого, по результатам ОМ, послужило основанием для предположения ее литого характера, т. е. что она ложнозерненная (Седова, 1981. С. 14). В результате РТ установлено, что, как и на бусинах 1–3, каркас для крепления зерни был изготовлен из проволоки округлого сечения $d_{\text{п}}$ около 0,4 мм (рис. 3: 6), сложенной петлями и спаянной в местах соприкосновения с фиксацией на валиках, окружающих канал бусины (рис. 3: 8) и выполненных из проволоки округлого сечения $d_{\text{п}}$ около 0,4 мм. Количество петель верхней и нижней частей корпуса бусины – 12. Гранулы зерни, имеющие вид шариков $D_{\text{гр}}$ – 0,8–1,0 мм, крепились в три ряда на проволочный каркас (рис. 3: 5). Фиксирующие колечки под гранулами не выявляются (рис. 3: 10). Между проволоками каркаса и гранулами зерни наблюдается неконтрастное относительно деталей конструкции вещество, содержащее множественные округлые полости диаметром до 0,4 мм (рис. 3: 10). Вероятно, для изготовления этой бусины было использовано большое количество припоя. Внутри гранул зерни также выявляются многочисленные округлые газовые поры диаметром до 0,3 мм (рис. 3: 8, 10), образующиеся в результате сильного нагрева металла.

На верхней части дужки височного кольца 5 сохранился фрагмент второй бусины, состоящий из 12 парных кусочков проволок каркаса $d_{\text{п}}$ ~ 0,3–0,4 мм, припаянных к крепежному валику из проволоки округлого сечения $d_{\text{п}}$ около 0,4 мм (рис. 3: 5, 7, 9). На остатках каркаса сохранились две гранулы зерни

Рис. 2 (с. 370). Результаты рентгеновской томографии височных колец

1–5 – бусина 1; 6–10 – бусина 2; 11–15 – бусина 3

1, 2, 6, 7, 11, 12 – объемное представление височных колец; 3, 8, 13 – продольные томографические сечения височных колец, проходящие через их дужки; 4, 9, 14 – области пайки проволочного каркаса бусин (отмечены стрелками); 5, 10, 15 – томографические сечения гранул зерни



диаметром 0,9 мм, посаженные на колечки диаметром около 1,2 мм, свернутые из округлой проволоки d_n около 0,3 мм (рис. 3: 5, 7).

Дужка височного кольца 5 выполнена из проволоки округлого сечения ($d_n - 1,3$ мм). В области между бусинами наблюдаются два участка деформации дужки длиной 1,5–1,8 мм, на которых ее толщина уменьшается до 0,8 мм (рис. 3: 7). Это может быть связано как с бытовым предметом (истиранием проволоки), так и с исходными особенностями изготовления. Металл дужки однороден, полостей и трещин не наблюдается. Верхняя часть дужки утоньшена и загнута в спираль (рис. 3: 5, 7). Со стороны обломанного конца наблюдается область ремонта дужки длиной около 3 мм, которая закрыта листом фольги толщиной 100–200 мкм (рис. 3: 7). Между обломанными краями дужки и сохранившимся фрагментом второй бусины дифференцируется вещество, на ~ 10 % слабее поглощающее рентгеновское излучение, чем металл дужки, и содержащее множественные пустоты размерами до 0,5 мм (рис. 3: 7).

Фиксирующая бусины проволока d_n около 0,3 мм расположена на двух участках дужки: со стороны завитка наблюдается 8 витков проволоки, а с противоположного конца – 7 витков. На участке намотки, содержащем 8 витков, сечение фиксирующей проволоки отличается от округлого, что, вероятно, связано с истиранием в процессе использования предмета (рис. 3: 7). Между фиксирующей проволокой и дужкой выявляется вещество, на ~ 10 % слабее поглощающее рентгеновское излучение и содержащее множественные округлые поры диаметром до 0,25 мм (рис. 3: 7). Это вещество (предположительно, припой) совпадает по контрасту с веществом, скрепляющим обломанные края дужки. Вероятно, для дополнительной фиксации бусин проволока была припаяна к дужке в процессе ремонта височного кольца.

Бусины из Шекшово 2 (рис. 1: 6) и Шекшово 9 (рис. 1: 7) имеют схожую конструкцию и размеры. Корпус каждой из этих бусин изготовлен из двух металлических пластин толщиной ~ 0,1 мм, в местах соединения которых выявляются продольные швы (рис. 4: 2, 3, 8, 9), а также вещество с множественными сферическими пустотами (рис. 4: 4), неконтрастное относительно металла пластин. Две части корпуса этих бусин были, вероятно, соединены при помощи пайки. Перекрытие пластин в зонах соединения составляет не более 0,2 мм. Для придания бусинам выпуклой формы перед соединением двух частей корпуса на них выполнялись складки – тиснение пластин на матрицах (рис. 4: 2, 3, 8, 9). Края корпуса обеих бусин загнуты за валики каналов, выполненные из проволоки округлого сечения d_n около 0,8 мм (рис. 4: 5, 10). Внешние диаметры валиков составляют 4,5–4,7 мм для бусины 6 и 4,7 мм для бусины 7.

Рис. 3 (с. 372). Результаты рентгеновской томографии височных колец

1–4 – бусина 4; 5–10 – бусина 5

1, 5, 6 – объемное представление височных колец; 2, 7 – продольные томографические сечения височных колец, проходящие через их дужки; 3 – область крепления пластины каркаса (отмечена стрелкой) на валике, обрамляющем канал бусины 4; 4, 10 – томографические сечения зерни; 8, 9 – области пайки проволочного каркаса сохранившейся бусины 5 (8) и фрагмента второй бусины вблизи зоны ремонта (9)

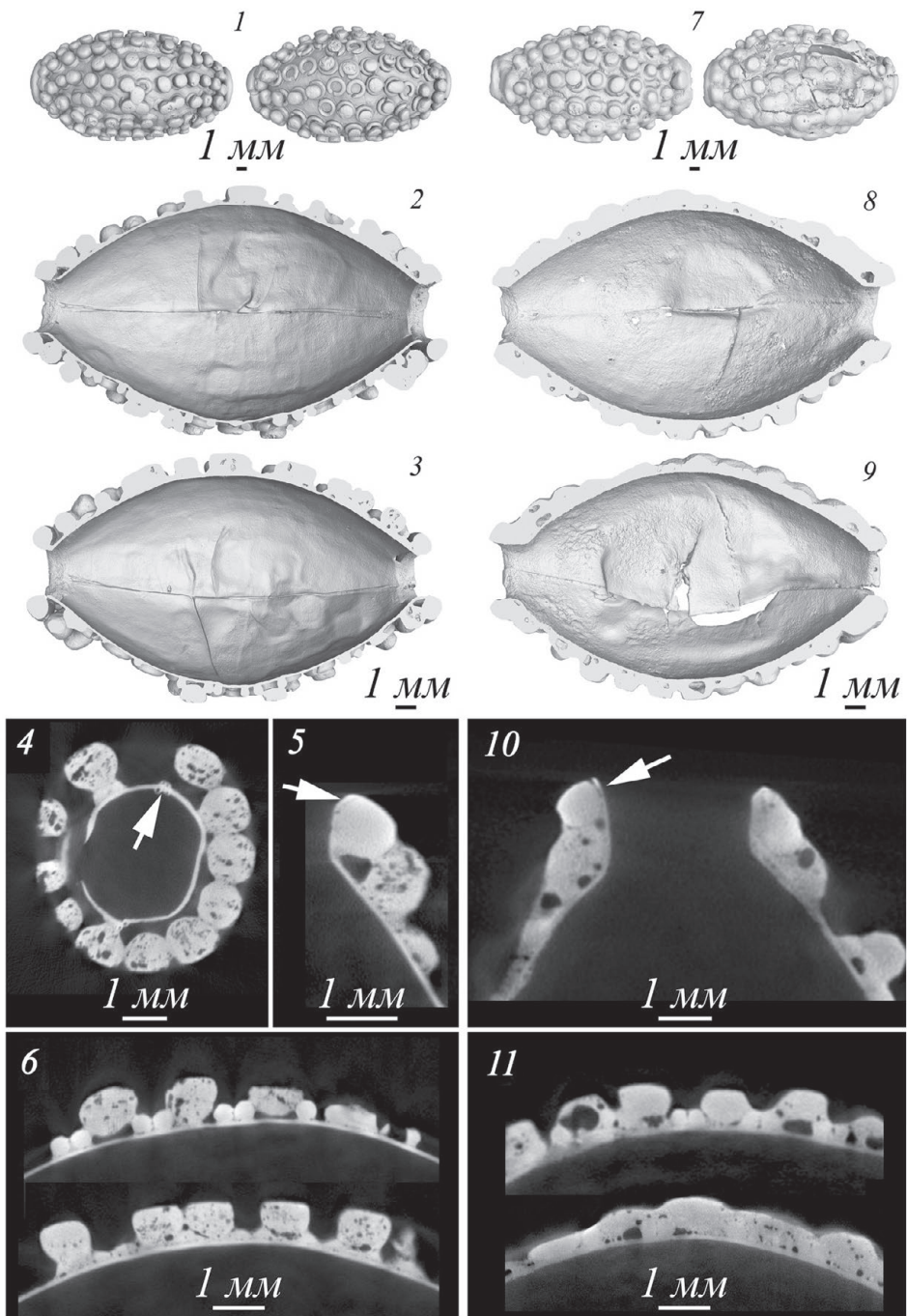


Рис. 4. Результаты рентгеновской томографии бусин

1-6 – бусина 6; 7-11 – бусина 7

1-3, 7-9 – объемное представление бусин; 4 – область пайки двух частей каркаса бусины 6 (отмечена стрелкой); 5, 10 – области крепления пластин каркаса (отмечены стрелками) на валиках, обрамляющих каналы бусин; 6, 11 – томографические сечения зерни

Как и в большинстве изученных бусин, для крепления гранул зерни на корпусе бусин 6 и 7 размещены разомкнутые колечки диаметром 1,5–1,6 и 1,6–1,7 мм соответственно (рис. 4: 1, 7). Колечки выполнены из проволоки округлого сечения $d_n \sim 0,3$ мм у бусины 6 и 0,3–0,4 мм у бусины 7. $D_{гр}$ зерни составляет 1,1–1,2 мм у бусины 6 и 1,0–1,4 мм у бусины 7. Зернь, рядами покрывающая корпус бусин, в основном размещена на проволочных колечках, кроме одного ряда гранул, расположенного вокруг валиков, оформляющих каналы обеих бусин (рис. 4: 4, 10). Гранулы, расположенные на наиболее выступающих участках поверхности бусин, имеют уплощенную форму, что, вероятно, связано с истиранием в результате длительной эксплуатации (рис. 4: 1–3, 7–9). Шарообразная форма сохранилась у гранул, прикрепленных вблизи торцов бусин и не подвергшихся истиранию. В гранулах зерни бусины 6 хорошо просматривается упорядоченная структура полостей (рис. 4: 4, 6). В зоне контакта нижней части гранул с каркасом бусин и колечками, а также в области соединения каркаса с валиками наблюдается большое количество вещества (вероятно, припоя) с множественными пустотами (рис. 4: 4–6, 10, 11), слабоконтрастного относительно окружающих элементов конструкции.

Обращает на себя внимание использование проволоки практически одинакового диаметра для изготовления однотипных элементов конструкции, особенно у височных колец 1–5. На бусинах с проволочным каркасом (1–3, 5) диаметр сечения составляющих его проволок $d_n = 0,4–0,5$ мм. Проволока, применявшаяся для изготовления колечек, расположенных под гранулами зерни, и фиксирующая бусины проволока, навитая на дужки, имеет d_n около 0,3 мм. Дужки височных колец 1–3 выполнены из проволоки $d_n = 1,6$ мм, что незначительно отличается от дужки кольца 4 $d_n = 1,7–1,8$ мм. Учитывая, что проволоки получали методом волочения, можно предположить, что у древних мастеров были унифицированные инструменты (волочила) и методы для формирования проволок.

В большинстве бусин внутри гранул зерни хорошо просматривается упорядоченная структура полостей, характерная для дендритных кристаллов и сформировавшаяся, вероятно, в результате затвердевания гранул из расплава. Поскольку серебро, как правило, кристаллизуется в дендритовидной форме (Минералы..., 1960. С. 31–33), пузырьки газов, выделяющиеся из расплава, выстраиваются вдоль дендритов серебра и образуют упорядоченную структуру. Наблюдается разброс размеров и формы гранул: большинство из них изначально имели шарообразную форму $D_{гр} = 0,8–1,6$ мм, в зонах наиболее вероятного износа поверхности при использовании бусин гранулы имеют уплощенную форму. Начальная шарообразная форма сохранилась только у гранул, прикрепленных к краевым частям бусин и не подвергавшихся истиранию. Зернь крепилась на каркасы бусин при помощи припоя, для областей которого характерны многочисленные газовые поры.

Таким образом, впервые проведенные РТ исследования древнерусских украшений с декором зернью показали высокую эффективность данного метода для выявления специфических особенностей технологии их изготовления. Разрешение РТ позволило уточнить общую конструкцию бусин с зернью и особенности крепления гранул зерни, а также обнаружить зоны припоя по наличию округлых пор в областях контакта различных конструктивных компонентов, как это было определено ранее при исследовании плетеных браслетов с накладными

наконечниками (*Зайцева и др.*, 2023), а в ряде случаев и по контрасту относительно металла зерни и основы. Выявление на всех изученных предметах областей расположения припоя, наличие которого считалось дискуссионным вопросом, является наиболее значимым из полученных результатов.

Тот факт, что в большинстве бусин количество припоя не превышает необходимое для фиксации колечек и гранул, а также других функциональных деталей, и располагается строго в зоне контакта, объясняет феномен «невидимого» припоя, отмечавшийся рядом исследователей.

Особо можно отметить, что одна из изученных бусин, которая по внешнему виду рассматривалась как образец литой ложной зерни, оказалась ажурной бусиной с зернью, поверхность которой была покрыта толстым слоем припоя.

Выявленные уплощенные формы гранул зерни в основном обусловлены их истиранием в процессе бытования украшений. Исходная форма зерни, в большинстве случаев, была именно шарообразной, она сохранилась в области контакта гранул с корпусом, что подтверждается результатами РТ.

Проведенные на качественно новом уровне исследования предметов древнерусского ювелирного искусства Средней Руси позволили впервые получить детальную информацию о технологических нюансах изготовления украшений с зернью, что дало новые сведения об уровне развития ювелирного ремесла в Древней Руси.

ЛИТЕРАТУРА

- Жилина Н. В.*, 2010. Зернь и скань Древней Руси. М.: ИА РАН. 260 с.
- Жилина Н. В.*, 2014. Древнерусские клады IX–XIII вв. Классификация, стилистика и хронология украшений. М.: Либроком. 400 с.
- Зайцева И. Е., Коваленко Е. С., Гурьева П. В., Мандрыкина А. В., Кондратьев О. А., Исмагулов А. М., Подурец К. М., Терещенко Е. Ю., Яцишина Е. Б.*, 2023. Три браслета из Исадского клада 2021 г.: технология изготовления и состав металла // КСИА. № 272. С. 356–376.
- Корзухина Г. Ф.*, 1954. Русские клады IX–XIII вв. М.; Л.: АН СССР. 227 с.
- Лобода А. Ю., Мандрыкина А. Н., Зайцева И. Е., Терещенко Е. Ю., Яцишина Е. Б.*, 2021. Древнерусская чернь: экспериментальное моделирование и исследование микроструктуры // Российские нанотехнологии. Т. 16. № 5. С. 635–643.
- Макаров Н. А., Красникова А. М., Зайцева И. Е.*, 2023. Погребальный обряд, хронология, странственная организация // Археология Суздальской земли: в 2 т. Т. 2 / Отв. ред. Н. А. Макаров, сост. Н. Д. Угулава. М.; Вологда: Древности Севера. С. 9–26.
- Манускрипт Теофила «Записка о разных искусствах» / Ред. и примеч. А. В. Винера // Сообщения ВЦНИЛКР. Вып. 7. 1963. С. 66–184.
- Минералы: Справочник. Т. 1. Самородные элементы. Интерметаллические соединения. Карбиды, нитриды, фосфиды. Арсениды, антимониды, висмутиды. Сульфиды, селениды, теллуриды / Ред.: Э. М. Бонштедт-Куплетская, Ф. В. Чухров. М.: АН СССР, 1960. 617 с.
- Минжулин А. И.*, 1990. Технология зерни // СА. № 4. С. 231–240.
- Постникова-Лосева М. М., Платонова Н. Г., Ульянова Б. Л.*, 1995. Золотое и серебряное дело XV–XX вв. Территория СССР. М.: ЮНВЕС: ТРИО. 376 с.
- Рыбаков Б. А.*, 1948. Ремесло Древней Руси. М.: АН СССР. 792 с.
- Рябцева С. С.*, 2005. Древнерусский ювелирный убор: основные тенденции формирования. СПб.: Нестор-История. 384 с.
- Седова М. В.*, 1981. Ювелирные изделия древнего Новгорода (X–XV вв.). М.: Наука. 195 с.
- Столярова Е. К., Коваленко Е. С., Мурашев М. М., Подурец К. М., Зайцева И. Е., Грешиников Э. А., Преснякова Н. Н., Глазков В. П., Борисова П. А., Светогоров Р. Д., Ениосова Н. В., Гогин А. А.*

2021. Двусторонняя эмалевая иконка из Суздальского Ополя: технологическое исследование 2021 // Средневековые искусства и ремесла: к 90-летию со дня рождения Т. И. Макаровой / Отв. ред. Н. В. Жилина. М.: ИА РАН. С. 185–213.

Duczko W., 1985. The filigree and granulation work of the Viking Period. Stockholm: Kungliga Vitterhets, historie och antikvitets akademien: Almqvist & Wiksell. 118 p. (Birka; V.)

Сведения об авторах

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

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

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

Шальявина Наталья Борисовна, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, 1, Москва, 123182; Россия; e-mail: shaliavina.n@gmail.com;

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

Зайцева Ирина Евгеньевна, Институт археологии РАН, ул. Дмитрия Ульянова, 19, Москва, 117292, Россия, Москва, 123182; Россия; e-mail: izaitseva@yandex.ru;

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

P. V. Guryeva, E. S. Kovalenko, K. M. Podurets, N. B. Shalyavina,
E. Yu. Tereschenko, I. E. Zaytseva, E. B. Yatsishina

THE MEDIEVAL RUSSIAN SILVER GRANULATION TECHNOLOGY BASED ON THE RESULTS OF INTERNAL COMPOSITION VISUALIZATION OF THE BEADS FROM NORTHEASTERN MEDIEVAL RUSSIA

Abstract. For the first time an X-ray tomographic study of medieval beads and beaded temporal rings of the 10–12 centuries with granulation from the latest field work of the Institute of Archaeology of RAS on the rural sites of Northeastern Rus' was carried out. The data obtained provided an opportunity to visualize specific features of the bead composite structure, work out in detail techniques of adhering granules to the metal surface of the bead bodies, especially, identify where the preserved solders were positioned in all beads.

Keywords: Medieval Russia, granulation, silver beads, X-ray tomography.

REFERENCES

- Korzukhina G. F., 1954. Russkie klady IX–XIII vv. [Russian hoards of IX–XIII cc.]. Moscow; Leningrad: AN SSSR. 227 p.
- Loboda A. Yu., Mandrykina A. N., Zaytseva I. E., Tereshchenko E. Yu., Yatsishina E. B., 2021. Drevnerusskaya chern': eksperimental'noe modelirovanie i issledovaniya mikrostruktury [Ancient Russian niello: experimental modeling and microstructure studies]. *Rossiyskie nanotekhnologii [Russian nanotechnology]*, vol. 16, no. 5, pp. 635–643.