

DOI: <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2023.2.8>UDC 902/904  
LBC 63.4(2)Submitted: 31.05.2023  
Accepted: 03.10.2023

## STUDY OF THE CHEMICAL AND Pb ISOTOPE COMPOSITION IN DIRHAMS FROM THE PODBOLOTYEVO CEMETERY <sup>1</sup>

**Irina A. Saprykina**

Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Andrey V. Chugaev**Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry  
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation**Olga V. Zelentsova**

Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Bulat A. Bakirov**

Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russian Federation

**Sergey E. Kichanov**

Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russian Federation

**Abstract.** A series of silver dirhams and their imitations, originating from the burials of the Podbolotyev burial ground left by the Muroma tribe, was studied by XRF, neutron diffraction and analysis of the isotopic composition using the Pb-Pb method. The burial ground is located near the city of Murom, Vladimir Region of Russia. The collection obtained from the excavations of this site includes finds of 40 original Arabic silver coins and silver coin replicas. The analyzed sample consists of 34 coins and includes dirhams dating back to the 9<sup>th</sup> century BC which are replicas of the Abassid dirhams; and the main array of coins dates back to the first third of the 10<sup>th</sup> century and the second half of the 10<sup>th</sup> century. The chemical composition studies of the metal by X-ray diffraction method showed that high-grade, “yellow” and multicomponent silver were used for minting dirhams. It was found out that there is a sharp drop in the silver content in the dirhams dating back from the middle to the second half of the 10<sup>th</sup> century, which reflects the general trend in Arabic coinage. It is also noted that in the sample from the Podbolotyev burial ground, dirhams coin replica coins were made of high-grade silver. Silver purity for some of the coins from the analyzed sample was checked by neutron diffraction using a specialized DN-6 diffractometer at the IBR-2 high-flux reactor. The isotopic composition of lead in silver in coins from the analyzed sample was studied by the method of multicollector mass spectrometry with ionization of matter in inductively coupled plasma (MC-ICP-MS). The obtained data on the isotopic composition of Pb in the silver of the coins showed that the precious metal for minting both Arab dirhams at the mints of ash-Shash, Samarkand, Bukhara, and their replicas comes from the deposits in Central Asia. It has been established that the Lashkerek and Ilak deposits turned out to be the source of silver for some dirhams from the Podbolotyev burial ground, however, mixed silver from several deposits was mainly used.

**Key words:** the Volga region, Podbolotyev cemetery, dirhams, silver, XRF, neutron diffraction, Pb-Pb data.

**Citation.** Saprykina I.A., Chugaev A.V., Zelentsova O.V., Bakirov B.A., Kichanov S.E., 2023. Issledovanie himicheskogo i izotopnogo Pb sostava v dirhemah iz Podbolot'evskogo mogil'nika [Study of the Chemical and Pb Isotope Composition in Dirhams from the Podbolotyev Cemetery]. *Nizhnevolzhskiy Arkheologicheskiy Vestnik* [The Lower Volga Archaeological Bulletin], vol. 22, no. 2, pp. 167-185. DOI: <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2023.2.8>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО И ИЗОТОПНОГО РЬ СОСТАВА В ДИРХЕМАХ ИЗ ПОДБОЛОТЬЕВСКОГО МОГИЛЬНИКА<sup>1</sup>

**Ирина Анатольевна Сапрыкина**

Институт археологии РАН, г. Москва, Российская Федерация

**Андрей Владимирович Чугаев**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,  
г. Москва, Российская Федерация

**Ольга Викторовна Зеленцова**

Институт археологии РАН, г. Москва, Российская Федерация

**Булат Айратович Бакиров**

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Российская Федерация

**Сергей Евгеньевич Кичанов**

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна, Российская Федерация

**Аннотация.** Методами РФА, нейтронной дифракции и анализа изотопного состава по методу Рb-Рb изучена серия серебряных дирхемов и их подражаний, происходящих из погребений Подболотьевского могильника, оставленного племенем мурома. Могильник расположен около г. Муром Владимирской области. Коллекция, полученная из раскопок этого памятника, включает в себя находки 40 арабских серебряных монет и подражаний им. Аналитическая выборка состоит из 34 монет и включает в себя дирхемы, датирующиеся IX в. – это подражания абассидским дирхемам, а основной массив монет датируется первой третью X в. и второй половиной X века. Исследования химического состава металла по методу РФА показали, что для чеканки дирхемов было использовано высокопробное и «желтое» серебро, а также многокомпонентное серебро. Было установлено, что в дирхемах, датируемых в период середины – второй половины X в., наблюдается резкое падение содержания серебра, что отражает общий тренд в арабской чеканке. Отмечено также, что в выборке из Подболотьевского могильника монеты-подражания дирхемам были выполнены из высокопробного серебра. Проверка чистоты серебра для части монет из аналитической выборки проводилась методом нейтронной дифракции на специализированном дифрактометре ДН-6 на высокопоточном реакторе ИБР-2. Изотопный состав свинца в серебре монет из аналитической выборки исследовался методом многоколлекторной масс-спектрометрии с ионизацией вещества в индуктивно связанной плазме (МС-ICP-MS). Полученные данные по изотопному составу Рb в серебре монет показали, что драгоценный металл для чеканки как арабских дирхемов на монетных дворах аш-Шаша, Самарканда, Бухары, так и подражаний им происходит из месторождений Центральной Азии. Установлено, что для части дирхемов из Подболотьевского могильника источником серебра оказались месторождения Лашкерек и Илак, но в основном использовалось мешаное серебро из нескольких месторождений.

**Ключевые слова:** Поволжье, Подболотьевский могильник, дирхемы, серебро, РФА, нейтронная дифракция, Рb-Рb данные.

**Цитирование.** Сапрыкина И. А., Чугаев А. В., Зеленцова О. В., Бакиров Б. А., Кичанов С. Е., 2023. Исследование химического и изотопного Рb состава в дирхемах из Подболотьевского могильника // Нижневолжский археологический вестник. Т. 22, № 2. С. 167–185. DOI: <https://doi.org/10.15688/nav.jvolsu.2023.2.8>

Серебряные арабские монеты представляют собой прекрасный объект для изучения источников добычи драгоценного металла и ареала распространения арабского серебра, особенно в пиковые моменты его поступле-

ния на территорию Восточной и Северной Европы [Eniosova, 2012; Ениосова, Митоян, 2015; Kovalev, 2002]. Исследуемые находки серебряных дирхемов происходят из раскопок Подболотьевского (Вербовского) могильника

VII–XI вв., расположенного недалеко от г. Муром Владимирской области на территории Муромского Поочья [Зеленцова, 2014]. Памятник оставлен финноязычным племенем мурома, населявшим эти территории до включения их в состав Древнерусского государства. В ходе раскопок, проводившихся В.А. Городцовым в 1910 г. и О.В. Зеленцовой в 2012–2014 гг., было открыто и изучено 486 погребений. Богатая коллекция археологического материала из могильника, помимо классических для мурома видов находок, содержит также серию находок арабских серебряных монет – 40 единиц, 31 из которых происходят из 21 погребения<sup>2</sup>.

Дирхемы являются отражением широкой торговли, в которую активно были вовлечены и территории Восточной Европы. Считается, что арабские монеты представляли собой один из видов металлического сырья, использовавшегося в цветной металлообработке VIII–XI веков. Период IX–X вв. характеризуется самым значительным объемом находок серебряных дирхемов на широкой территории от Балтики до Ближнего Востока (более 12,5 млн серебряных дирхемов известно только на территории Северной Европы) [Kilger, 2008]. В середине X в. началось истощение серебряных рудников, на сырье которых работали монетные дворы, что нашло свое отражение и в технологии чеканки монет, призванной замаскировать реальное содержание серебра в металле [Merkel, 2020, p. 43]. Одновременно также произошел запуск работы нескольких монетных дворов для обеспечения выпуска тех объемов монет, которые использовались только для торговли с северными землями. Вполне естественно, что этот период мог быть также богат на монеты-подделки, их отличает использование низкопробного серебра, разных техник серебрения поверхности и т. д.

Выборка серебряных дирхемов IX – второй половины X в. из Подболотьевского могильника, чеканенных на разных монетных дворах, была изучена с помощью РФА, нейтронной дифракции и изотопного анализа Pb с целью определения пробности серебра, выявления возможных источников его добычи. Аналитическая выборка состоит из 34 монет и включает в себя дирхемы, датирующиеся

IX в., – это подражания абассидским дирхемам (погр. 39, 67); основной массив, датирующийся первой третью X в. (погр. 115, 146, 154, 155, 160, 164, 181, 191) и второй половине X в. (погр. 3, 172, 173), представляет собой преимущественно саманидские дирхемы, чеканенные на монетных дворах Самарканда, Бухары, аш-Шаша (рис. 1). В выборке также присутствуют четыре монеты-подражания арабским дирхемам IX–X вв., место чеканки которых не определено.

Некоторые монеты из аналитической выборки имеют петельки для подвешивания, что говорит о том, что они использовались в составе украшений (ожерелий). Такие монеты найдены в двух женских захоронениях. Так, в погребении № 3 на шею было надето ожерелье, состоящее из бус, 7 дирхемов, 4 денариев и 4 монетовидных подвесок. Еще одна монета-подвеска была в составе ожерелья в захоронении № 154, вторая монета без петельки найдена около правой руки. Остальные 27 исследованных монет не имеют петельки, происходят преимущественно из мужских погребений, где они найдены или в области пояса, или в кошельке. В двух мужских погребениях с монетами найдены предметы, связанные с торговлей – весы с гирьками (погр. 106, 164), еще в двух амулеты из пяточных костей бобра, которые считаются показателями занятий пушной торговлей (погр. 169, 191). Имеются также в коллекции обрезанные дирхемы, которые использовались для более мелкой торговли. Эти наблюдения позволяют делать вывод, что монеты в муромском обществе выступали в качестве платежного средства, и свидетельствуют о включенности мурома в восточную торговлю.

### Методы аналитического исследования

Для аналитической выборки из 34 дирхемов элементный анализ был выполнен методом неразрушающего безэталонного РФА с использованием спектрометра M1 Mistral (Bruker). Метод заключается в получении и обработке спектров выхода флуоресцентного излучения, возбуждаемых рентгеновским излучением. Точность получаемых данных варьируется от 0,001 до 0,01 %, при программной обработке спектров процентное содержа-

ние элементов приводится к 100 %. Анализ выполнялся по 3 точкам, далее результаты суммировались для усреднения; полученные данные приведены в таблице 1.

Исследования фазового состава для 10 дирхемов из выборки для проверки пробы серебра проводились с помощью метода нейтронной дифракции на специализированном дифрактометре для исследования микрообразцов ДН-6 [Kozlenko et al., 2018] на высокопоточном реакторе ИБР-2 (ОИЯИ). Дифракционные спектры измеряли при углах рассеяния  $2\theta = 90^\circ$ . Для данных углов рассеяния разрешение дифрактометра на длине волны  $\lambda = 2 \text{ \AA}$  составляло  $\Delta d/d = 0.025$ . Характерное время измерения одного дифракционного спектра – 10 минут. Анализ дифракционных данных производился с помощью программы FullProf [Rodríguez-Carvajal, 1993].

Изучение изотопного состава Pb в серебре 26 монет проводилось методом многоколлекторной масс-спектрометрии с ионизацией вещества в индуктивно связанной плазме (MC-ICP-MS) на многоколлекторном масс-спектрометре NEPTUNE (Thermo, Германия) в Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН. Аналитические работы по анализу изотопного состава свинца в микропробах состояли из нескольких стадий и основывались на использовании традиционных методик, адаптированных для археологических предметов из металлов [Чугаев, Чернышев, 2012]. Химическая подготовка включала разложение образца в неорганических кислотах и последующее получение препаратов свинца с помощью ионообменной хроматографии. Обработка результатов измерений проводилась с помощью программного обеспечения масс-спектрометра NEPTUNE. Нормирование измеренных изотопных отношений свинца на эффект приборной масс-дискриминации осуществлялось по опорному отношению  $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}=2.3889$  с использованием экспоненциального закона [Чернышев и др., 2007]. Итоговая погрешность измерения изотопных отношений Pb в металле археологических предметов, оцененная по серии (N = 15) параллельных анализов международного стандарта SRM 981 (NBS, США), не превышала 0.02 % ( $\pm 2SD$ ). Результаты измерений представлены в таблице 2.

## Результаты и обсуждение

*Химический состав металла* был исследован методом РФА для 34 дирхемов (табл. 1), из них одна монета оказалась выполненной из свинцовой латуни с содержанием олова в приповерхностном слое в пределах от 17,06 до 21,54 % (табл. 1, № 17). Исключая эту монету, представляющую собой, скорее всего, подделку в подражание саманидскому дирхему X в., изготовленную из сплава на основе меди, где серебряный блеск поверхности дирхема имитировался методом оловянного лужения, остальные 33 монеты были отчеканены из серебра разной пробы [Енисова и др., 2008, с. 132, табл. 2, 11] (рис. 2). Согласно принятой классификации, в выборке из Подболотьевского могильника присутствуют дирхемы, чеканенные из высокопробного серебра, из «желтого» серебра и из многокомпонентного серебра.

В количественном отношении доминируют дирхемы из высокопробного серебра (22 ед., усредненное содержание Ag-96,9 %), они происходят из погр. 3, 67, 98, 106, 112, 115, 118, 143, 146, 155, 160, 164, 169, 172, 173, 178, 181, 191. В этой группе только для 8 дирхемов на данный момент были определены место и дата чеканки<sup>3</sup> – это дирхемы, датирующиеся первой третью X в. (монетные дворы аш-Шаша и Самарканда), второй половиной X в. (монетные дворы Самарканда и Бухары). Большая часть выборки состоит из 12 неопределимых или трудноопределимых монет, которые включают и несколько подражаний арабским дирхемам, датируемым IX–X вв. и X в., а также дирхем, чеканенный в Волжской Булгарии (табл. 1, № 33). Согласно построенной гистограмме, наименьшее содержание серебра в высокопробной группе зафиксировано в дирхеме-подражании IX в. (табл. 1, № 9), а максимальное содержание драгметалла отмечено для неопределимых дирхемов X в. и двух дирхемов, чеканенных в аш-Шаше и в Волжской Булгарии (рис. 3).

Для решения проблемы завышения количественных показателей по содержанию серебра в приповерхностном слое монет, возникающем при проведении анализов по методу РФА, нами был привлечен метод нейтронной дифракции, позволяющей получать дан-

ные о содержании основных элементов в «ядре» исследуемого образца, вне зависимости от объема его коррозии, толщины и других факторов. Расчет значений, проведенный для 8 дирхемов из группы высокопробного серебра (табл. 1, № 9, 25, 26, 29, 30, 32–34), действительно показал имеющееся завышение содержания серебра на приповерхностном слое за счет механизма сегрегации, сопровождаемого уменьшением количества содержания меди и свинца; максимально приближенное к реальному содержание меди и свинца в объеме исследованных монет представлено на гистограмме (рис. 4). Соответственно, приближенное к реальности содержание серебра в дирхемах будет на 2–6 % меньше (в среднем), чем указано в таблице 1<sup>4</sup>, при существенном повышении доли меди и свинца; такие показатели могут косвенно указывать на полиметаллические руды, как один из источников серебра для чеканки, во всяком случае, части монет из выборки. По крайней мере, три дирхема из выборки, судя по данным нейтронной дифракции, не содержат значимой примеси свинца<sup>5</sup>, в частности, два саманидских дирхема 934/935, 938/939 гг. выпуска, чеканки монетного двора Самарканда (рис. 4). Косвенно это может указывать либо на использование смешанного сырья, что было характерно для этого монетного двора [Merkel, 2016, p. 253], либо на применение другого типа руды, такого как «сухие» серебряные руды, то есть состоящие преимущественно из минералов серебра, которые бедны содержанием свинца (пираргерит, акантит [Merkel, 2021]).

Дирхеми из погр. 3, 39, 106, 157, 172, изученные в выборке, были отчеканены из «желтого» и многокомпонентного серебра с содержанием драгметалла в пределах от 54,68 до 87,36 % (11 ед., усредненное содержание Ag-74 %). Дирхеми из погр. 3, найденные в составе ожерелья, выполнены как из «желтого», так и из низкопробного многокомпонентного серебра (7 ед., Ag – т 54,68 до 87,36 %); они датируются второй половиной X в., монетные дворы аш-Шаша, Арраджана ал-Басры и Бухары. Из погр. 39, 106 и 157 происходят подражания дирхемам конца VIII–IX вв. или трудноопределимые резаные фрагменты из серебра 56,54–83,3 % (табл. 1, № 8, 11, 23); из погр. 172 происходит два дирхема, чеканен-

ные на монетном дворе Самарканда (табл. 1, № 27) и Бухары (табл. 1, № 28) в середине X века. Эти два дирхема визуально отличаются от других монет из аналитической выборки: на их поверхности присутствуют крупные участки выхода меди, которые, на первый взгляд, свидетельствуют о наличии серебряного покрытия медной основы (рис. 1, 2, 4, 25). Анализом по методу нейтронной дифракции установлено, что содержание меди в объеме этих двух дирхемов действительно выше, чем у других исследованных, и составляет 4 и 8 % (рис. 4), это указывает на отсутствие серебрения поверхности. Скорее всего, в эвтектической смеси Ag-Cu под влиянием каких-то факторов произошло образование локальных участков оксида меди, в итоге «выпавших» на поверхность [Beck et al., 2004, p. 156]; не ясно, какие условия чеканки или депонирования дирхемов в погр. 172 этому способствовали.

Известно, что примерно с 950/55 гг. происходил процесс обесценивания серебряных дирхемов [Jonsson, 2018]; если рассмотреть изучаемую выборку из Подболотьевского могильника с этой точки зрения, то мы наблюдаем резкое падение пробы серебра в дирхемах с середины X в. (рис. 5) и ее дальнейшее нахождение в пределах, в среднем, 600–800°, за некоторыми исключениями (табл. 1, № 6 – чеканка м/д Самарканда, 30 – чеканка м/д аш-Шаш). В изучаемой выборке присутствуют дирхеми чеканки практически всех важных монетных дворов, работавших на рынок Восточной Европы [Kovalev, 2002]. Анализ изотопного состава свинца в серебре дирхемов арабской чеканки в сочетании с анализом свинца в серебре подражаний позволяет нам уточнить круг вероятных рудных источников, драгоценный металл из которых оседал в Подболотьевском могильнике по пути из Центральной Азии в Северную и Восточную Европу.

*Pb-Pb данные.* Изучение изотопного состава Pb проведено для выборки из 26 монет (табл. 2), которая представляла все разнообразие их как по возрасту, так и по месту чеканки, в том числе и монеты неустановленного места производства. В целом изученная коллекция дирхемов обнаруживает значительную неоднородность по изотопному составу

Pb в них. Измеренные изотопные отношения  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  и  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  варьируют в широких диапазонах: от 17.66 до 18.92, от 15.55 до 15.71 и от 37.93 до 38.95 соответственно. В величинах коэффициента вариаций ( $v$ , %) эта неоднородность изотопных отношений Pb оценивается как  $v_{6/4} = 1.9\%$ ,  $v_{7/4} = 0.28\%$  и  $v_{8/4} = 0.82\%$ . Широкие вариации изотопного состава Pb в арабских дирхемах ранее были отмечены и в других исследованиях [Merkel, 2016; Kershaw, Merkel, 2022]. Например, для дирхемов из клада Хедебю масштаб вариаций изотопных отношений свинца по результатам изучения 48 монет достигает величин  $v_{6/4} = 2.6\%$ ,  $v_{7/4} = 0.43\%$  и  $v_{8/4} = 1.3\%$  [Merkel, 2016]. При сравнении полученных Pb-Pb данных разных возрастных групп дирхемов (например, между монетами IX – первой половины X в. и монетами второй половины X в.) не выявляется значимых различий как по изотопному составу Pb, так и по степени его неоднородности. Обращает на себя внимание тот факт, что монеты, представляющие собой подражание арабским дирхемам конца VIII – X в., место чеканки которых не определено, обладают более гомогенным изотопным составом свинца и средними значениями изотопных отношений Pb.

На диаграммах в координатах  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ , а также  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  точки изотопного состава Pb всех монет образуют хорошо выраженные линейные тренды (рис. 6, *a, b*). При этом наблюдаются высокие величины достоверности линейной аппроксимации ( $R^2$ ), которые равны соответственно 0.88 и 0.98. Наличие линейных трендов на Pb-изотопных диаграммах, высокие величины  $R^2$ , а также относительно равномерное распределение точек дирхемов, отличающихся по времени чеканки и месту их производства позволяют заключить следующее. Установленные тренды представляют собой линии смещения свинца, происходившего вместе с серебром из руд разных месторождений. Соответствие этим линиям дирхемов разного возраста и мест чеканки указывает на единство ресурсной базы серебра, поступавшего в арабские монетные дворы Арраджана, аш-Шаша, Бухары, Самарканда на протяжении IX–X веков. На этих же линиях расположены точки дирхемов-подражаний, а так-

же дирхема из Волжской Булгарии, что свидетельствует, по нашему мнению, об использовании серебра арабских дирхемов для их чеканки. Вероятнее всего, повторным использованием серебра арабских дирхемов объясняется более гомогенный изотопный состав Pb в монетах-подражаниях, для которых не установлено место производства.

Для идентификации региона, с которым связано происхождение серебра дирхемов из Подболотьевского могильника, представляет интерес сопоставить полученные нами Pb-Pb данными с аналогичными результатами детальных исследований дирхемов IX–X вв. из клада Хедебю, представленных в работе С. Меркеля [Merkel, 2016]. Такое сопоставление приведено на рис. 6 (рис. 6, *c, d*). Хорошо видно, что дирхемы как из Подболотьевского могильника, так и из клада Хедебю близки по диапазонам изотопных отношений Pb, а отвечающие им точки на обеих диаграммах расположены вдоль единых трендов (рис. 6, *c, d*). Такое сходство свинцово-изотопных характеристик монет из разных по географическому местонахождению кладов подтверждает их происхождение из одного региона и одних и тех же монетных дворов, обладающих единой ресурсной базой. Согласно ряду работ [Merkel et al., 2013a; Merkel et al., 2013b; Jonsson, 2018], источники серебра для чеканки арабских дирхемов находились в Центральной Азии на территории современного Узбекистана, Таджикистана, Киргизстана, а также в Афганистане. В работах С. Меркеля [Merkel et al., 2013a; Merkel et al., 2013b] приведены Pb-Pb данные для серебросодержащих руд некоторых месторождений этого региона, разработка которых велась, в том числе, и в раннесредневековое время (например, месторождения Лашкерек, Илак на территории Узбекистана). Эти результаты отражены в виде полей изотопного состава рудного Pb в сравнении с Pb-Pb изотопными данными, полученными в настоящей работе для монет из Подболотьевского могильника (рис. 7).

Поля изотопного состава Pb руд месторождений Центральной Азии и Афганистана располагаются вдоль тренда, образованного точками дирхемов Подболотьевского могильника. При этом часть точек попадает в области значений изотопного состава рудного Pb

месторождений Лашкерек и Илак. Наблюдаемое на диаграмме  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  соотношение полей серебросодержащих месторождений и точек дирхемов, с одной стороны, подтверждает вывод о смешанной природе металла дирхемов, то есть серебро на арабские монетные дворы поступало из разных источников, а с другой – определенно указывает на тот факт, что этими источниками являлись преимущественно месторождения Центральной Азии и в меньшей степени других регионов.

### Заключение

Одной из интересных составляющих исследованной коллекции из Подболотьевского могильника является присутствие в ней определенного количества подражаний дирхемам, чеканенным из высокопробного серебра, и монет с трудноопределимым местом чеканки. Такие монеты оказались выполненными из того же драгоценного металла, который использовался для чеканки арабских дирхемов на монетных дворах аш-Шаша, Самарканда, Бухары, где источником драгоценного металла для них являлись месторождения Центральной Азии; единственный дирхем чеканки Волжской Булгарии также не выделяется по своим изотопным характеристикам

свинца в серебре. Общее понижение пробности проанализированных дирхемов из Подболотьевского могильника, зафиксированное для середины X в., отражает общий тренд, в котором находки из муромской земли не стали исключением, а общее увеличение количества находок из серебра во второй половине X в., характерное для этого могильника, демонстрирует высокий уровень вовлеченности региона в международную торговлю.

### ПРИМЕЧАНИЯ

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках НИОКТР № 122011200265-6.

The study was carried out within the framework of research, development and development works No. 122011200265-6.

<sup>2</sup> В рамках данной статьи публикуются дирхемы, прошедшие аналитическую обработку; весь корпус дирхемов, происходящий из Подболотьевского могильника, готовится к отдельной публикации автором раскопок, О.В. Зеленцовой.

<sup>3</sup> Авторы выражают свою глубокую признательность за проведенные определения кандидату исторических наук А.А. Гомзину.

<sup>4</sup> См. также: [Eniosova, 2012, p. 265; Беговатов и др., 2013].

<sup>5</sup> Свинец обладает способностью к ликвации, что означает его концентрацию на поверхности анализируемых изделий.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1. Результаты исследования химического состава металла дирхемов из Подболотьевского могильника методом РФА (аналитик: И.А. Сапрыкина)

Table 1. The results of the chemical composition study by XRF method of the dirhams metal from the Podbolotyev cemetery (analyst: I.A. Saprykina)

N/табл.	Наименование	Погр.	N/o	Cu с(%)	Fe с(%)	Zn с(%)	As с(%)
1	Подвеска-дирхем	погр. 3	37	41,668	0,029	0,414	0,044
2	Подвеска-дирхем	погр. 3	21	28,253	1,545	0,234	0,097
3	Подвеска-дирхем	погр. 3	20(4)	29,141	0,025	0,030	0,032
4	Подвеска-дирхем	погр. 3	20(2)	16,722	0,000	0,000	0,000
5	Подвеска-дирхем	погр. 3	20(1)	14,092	0,000	0,000	0,000
6	Подвеска-дирхем	погр. 3	20	4,601	0,000	0,000	0,000
7	Подвеска-дирхем	погр. 3	19	11,414	0,000	0,000	0,000
8	Дирхем	погр. 39	18	38,119	0,820	1,107	0,000
9	Дирхем	погр. 67	9	1,961	4,062	0,258	0,000
10	Дирхем	погр. 98	4	2,008	0,000	0,000	0,000
11	Дирхем	погр. 106	29(1)	3,350	0,000	0,000	0,000
12	Дирхем	погр. 106	29(2)	2,206	0,188	0,000	0,000
13	Дирхем	погр. 106	29(3)	0,683	0,444	0,000	0,000
14	Дирхем	погр. 106	29(4)	1,317	0,260	0,000	0,000
15	Дирхем	погр. 106	50	3,467	0,000	0,000	0,000
16	Дирхем	погр. 112	6	1,942	0,701	0,000	0,000
17	Дирхем	погр. 113	15	71,499	0,516	1,703	0,169
18	Дирхем	погр. 115	7	1,467	0,13	0,000	0,000
19	Дирхем	погр. 118	6а	1,237	0,565	0,000	0,000
20	Дирхем	погр. 143	6	0,465	0,000	0,000	0,000
21	Дирхем	погр. 146	6	0,592	0,000	0,000	0,000
22	Дирхем	погр. 155	4	1,996	0,000	0,000	0,000
23	Дирхем	погр. 157	3	22,809	1,047	1,033	0,099
24	Дирхем	погр. 160	1	0,564	0,000	0,000	0,000
25	Дирхем	погр. 164	11	1,005	0,000	0,000	0,000
26	Дирхем	погр. 169	29	1,331	0,239	0,000	0,000
27	Дирхем	погр. 172	25(1)	13,962	0,000	0,000	0,000
28	Дирхем	погр. 172	25(2)	20,385	0,000	0,000	0,000
29	Дирхем	погр. 172	8	0,479	0,185	0,000	0,000
30	Дирхем	погр. 173	26	2,654	0,087	0,000	0,000
31	Дирхем	погр. 178	10а	2,824	0,000	0,000	0,000
32	Дирхем	погр. 181	15	0,912	0,000	0,000	0,000
33	Дирхем	погр. 191	10	0,741	0,000	0,150	0,000
34	Дирхем	погр. 191	22	1,708	0,000	0,000	0,000



Окончание таблицы 1

End of Table 1

N/табл	Наименование	Погр.	Ag с(%)	Sn с(%)	Sb с(%)	Pb с(%)	Au с(%)	Bi с(%)
1	Подвеска-дирхем	погр. 3	54,687	0,737	0,091	1,775	0,028	0,527
2	Подвеска-дирхем	погр. 3	61,889	1,618	0,030	5,559	0,207	0,569
3	Подвеска-дирхем	погр. 3	67,490	0,146	0,018	2,281	0,211	0,625
4	Подвеска-дирхем	погр. 3	82,620	0,110	0,000	0,231	0,097	0,220
5	Подвеска-дирхем	погр. 3	83,757	0,088	0,114	1,190	0,187	0,571
6	Подвеска-дирхем	погр. 3	94,105	0,109	0,000	0,695	0,165	0,325
7	Подвеска-дирхем	погр. 3	87,368	0,100	0,000	0,506	0,050	0,562
8	Дирхем	погр. 39	56,540	0,988	0,000	1,604	0,733	0,089
9	Дирхем	погр. 67	91,899	0,097	0,000	0,989	0,608	0,126
10	Дирхем	погр. 98	97,201	0,048	0,000	0,100	0,268	0,375
11	Дирхем	погр. 106	83,303	11,384	0,000	1,173	0,500	0,290
12	Дирхем	погр. 106	97,040	0,000	0,000	0,282	0,084	0,200
13	Дирхем	погр. 106	98,434	0,000	0,000	0,162	0,108	0,170
14	Дирхем	погр. 106	97,494	0,212	0,000	0,333	0,232	0,152
15	Дирхем	погр. 106	94,851	0,084	0,000	0,781	0,226	0,592
16	Дирхем	погр. 112	96,758	0,043	0,000	0,078	0,300	0,178
17	Дирхем	погр. 113	0,250	18,699	0,309	6,853	0,000	0,000
18	Дирхем	погр. 115	97,775	0,038	0,000	0,201	0,198	0,192
19	Дирхем	погр. 118	97,345	0,073	0,000	0,351	0,210	0,220
20	Дирхем	погр. 143	97,642	0,075	0,000	0,596	0,443	0,779
21	Дирхем	погр. 146	97,433	0,061	0,000	0,651	0,471	0,791
22	Дирхем	погр. 155	96,796	0,100	0,000	0,215	0,012	0,881
23	Дирхем	погр. 157	72,916	0,208	0,051	1,403	0,178	0,255
24	Дирхем	погр. 160	98,395	0,061	0,000	0,587	0,317	0,076
25	Дирхем	погр. 164	97,842	0,069	0,000	0,517	0,105	0,463
26	Дирхем	погр. 169	97,862	0,019	0,000	0,179	0,190	0,180
27	Дирхем	погр. 172	85,463	0,095	0,000	0,196	0,115	0,170
28	Дирхем	погр. 172	78,741	0,085	0,000	0,298	0,196	0,295
29	Дирхем	погр. 172	98,717	0,025	0,000	0,228	0,273	0,093
30	Дирхем	погр. 173	95,260	0,041	0,000	0,711	0,000	1,246
31	Дирхем	погр. 178	95,924	0,090	0,000	0,402	0,336	0,424
32	Дирхем	погр. 181	98,191	0,100	0,000	0,252	0,159	0,386
33	Дирхем	погр. 191	98,381	0,120	0,000	0,119	0,322	0,166
34	Дирхем	погр. 191	96,802	0,066	0,000	0,626	0,075	0,723

**Таблица 2. Результаты анализа изотопного состава Pb в микропробах серебра дирхемов Подболотьевского могильника (аналитик: А.В. Чугаев)**

**Table 2. The results of the Pb-isotopic composition analysis of the silver dirham micro-samples from the Podbolotyvevo cemetery (analyst: A.V. Chugaev)**

№ пробы	Паспорт	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Pd10	погр. 3, № 21	18,6665	15,6875	38,8932
Pd11	погр. 3, № 19	17,7763	15,5715	38,0576
Pd14	погр. 3, № 37	17,7771	15,5756	38,0841
Pd20	погр. 3, № 20/2	18,0103	15,6138	38,2694
Pd21	погр. 3, № 20/1	18,4012	15,6751	38,6735
Pd22	погр. 3, № 20	18,4982	15,6715	38,7001
Pd 27	погр. 67, № 9	18,7491	15,6804	38,8995
Pd 29	погр. 98, № 4	18,2897	15,6400	38,5918
Pd 30	погр. 169, № 29	17,9352	15,5802	38,1270
Pd 31	погр. 191, № 22	18,1348	15,6249	38,4459
Pd 32	погр. 191, № 10	18,4067	15,6443	38,5874
Pd 33	погр. 181, № 15	17,9589	15,5806	38,0719
Pd 34	погр. 178, № 10	18,3988	15,6081	38,3870
Pd 35	погр. 172, № 8	18,4584	15,6724	38,7009
Pd 36	погр. 172, № 25/2	18,2319	15,6414	38,5452
Pd 37	погр. 172, № 25/1	17,8260	15,5858	38,1583
Pd 38	погр. 115, № 7	18,7318	15,6642	38,8343
Pd 39	погр. 164, № 11	18,2719	15,6310	38,4976
Pd 40	погр. 160, № 1	18,9213	15,7085	38,9490
Pd 41	погр. 155, № 4	17,6762	15,5528	37,9611
Pd 42	погр. 146, № 6	17,6562	15,5481	37,9255
Pd 43	погр. 106, № 50	18,5901	15,6568	38,8782
Pd 44	погр. 106, № 29/1	18,4265	15,6346	38,5526
Pd 45	погр. 106, № 29/2	18,2374	15,6468	38,5839
Pd 46	погр. 106, № 29/3	18,4817	15,6789	38,7831
Pd 47	погр. 106, № 29/4	18,1906	15,6396	38,4700



Рис. 1. Дирхемы из погребений Подболотьевского могильника:

1–7 – погр. 3 (№ 19, 20, 20-1, 20-2, 20-4, 21, № 37); 8 – погр. 37 (№ 18); 9 – погр. 67 (№ 9); 10 – погр. 98 (№ 4);  
 11–15 – погр. 106 (№ 50, 29-1, 29-2, 29-3, 29-4); 16 – погр. 112 (№ 6); 17 – погр. 115 (№ 7); 18 – погр. 118 (№ 6a);  
 19 – погр. 146 (№ 6); 20 – погр. 155 (№ 4); 21 – погр. 160 (№ 1); 22 – погр. 164 (№ 11); 23 – погр. 169 (№ 29);  
 24–26 – погр. 172 (№ 25-1, 25-2, 8); 27 – погр. 173 (№ 26); 28 – погр. 181 (№ 15); 29 – погр. 191 (№ 10)  
 (автор: О.З. Зеленцова)

Fig. 1. The dirhams from the burials of the Podbolotyvevo cemetery:

1–7 – burial 3 (No. 19, 20, 20-1, 20-2, 20-4, 21, No. 37); 8 – burial 37 (No. 18); 9 – burial 67 (No. 9); 10 – burial 98 (No. 4);  
 11–15 – burial 106 (No. 50, 29-1, 29-2, 29-3, 29-4); 16 – burial 112 (No. 6); 17 – burial 115 (No. 7); 18 – burial 118 (No. 6a);  
 19 – burial 146 (No. 6); 20 – burial 155 (No. 4); 21 – burial 160 (No. 1); 22 – burial 164 (No. 11); 23 – burial 169 (No. 29);  
 24–26 – burial 172 (No. 25-1, 25-2, 8); 27 – burial 173 (No. 26); 28 – burial 181 (No. 15); 29 – burial 191 (No. 10)  
 (author: O.Z. Zelentsova)

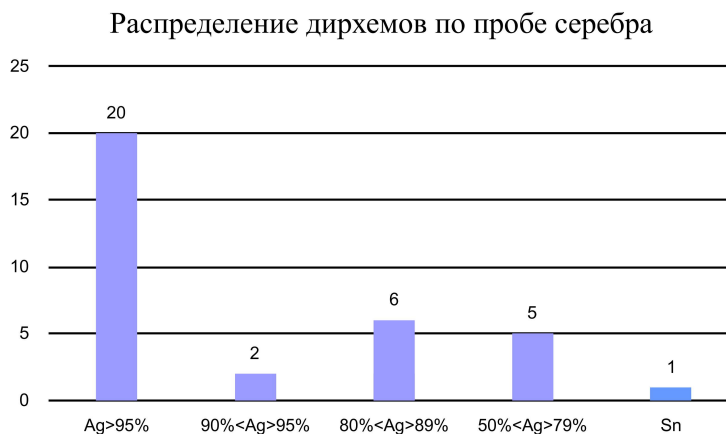


Рис. 2. Гистограмма распределения содержания серебра в металле дирхемов Подболотьевского могильника (автор: И.А. Сапрыкина)

Fig. 2. Histogram of silver content distribution in the dirhams from the Podbolotyeyvo cemetery (author: I.A. Saprykina)



Рис. 3. Гистограмма по содержанию драгоценного металла в группе высокопробного серебра (автор: И.А. Сапрыкина.)

Fig. 3. Histogram of precious metal content in the fine silver sample group (author: I.A. Saprykina)

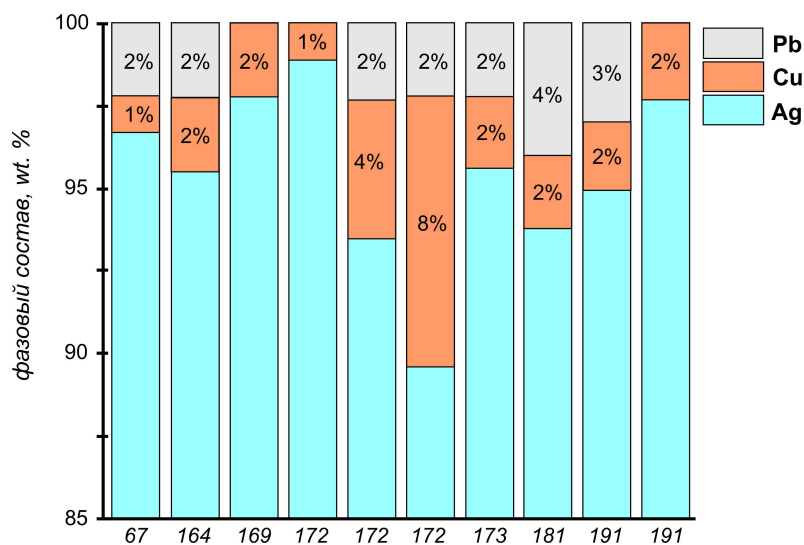


Рис. 4. Гистограмма фазового состава металла дирхемов по данным нейтронной томографии (авторы: Б.А. Бакиров, С.Е. Кичанов)

Fig. 4. Histogram of the metal phase composition in the dirhams according to neutron tomography data (authors: B.A. Bakirov, S.E. Kichanov)

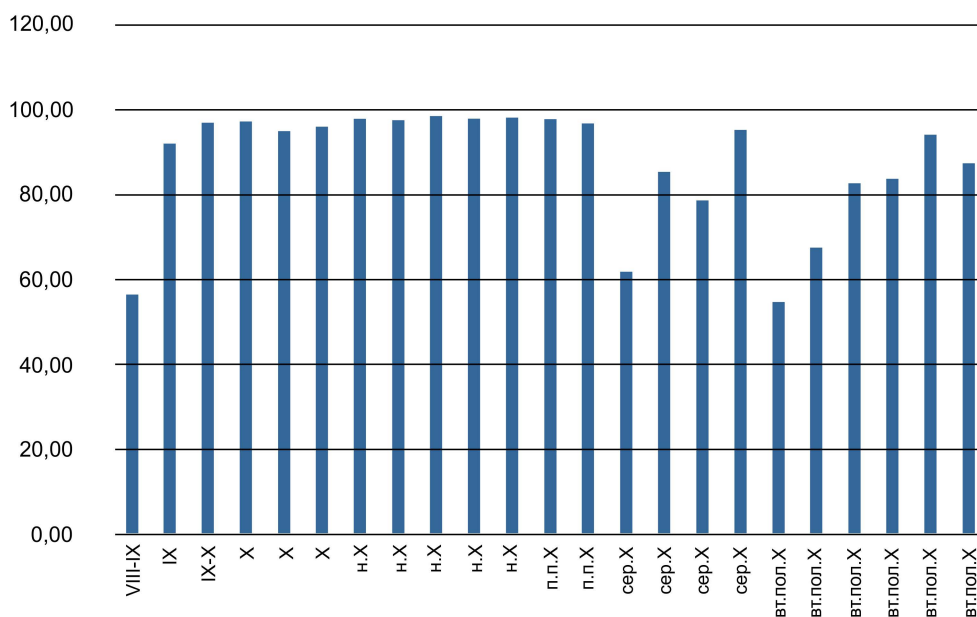


Рис. 5. Динамика деградации серебряных дирхемов из Подболотьевского могильника на хронологическом отрезке VIII – второй половины X в. н.э (автор: И.А. Сапрыкина)

Fig. 5. Silver degradation dynamics in the dirhams from the Podbolotyvevo cemetery in the chronological period of the 8<sup>th</sup> – second half of the 10<sup>th</sup> centuries AD (author: I.A. Saprykina)

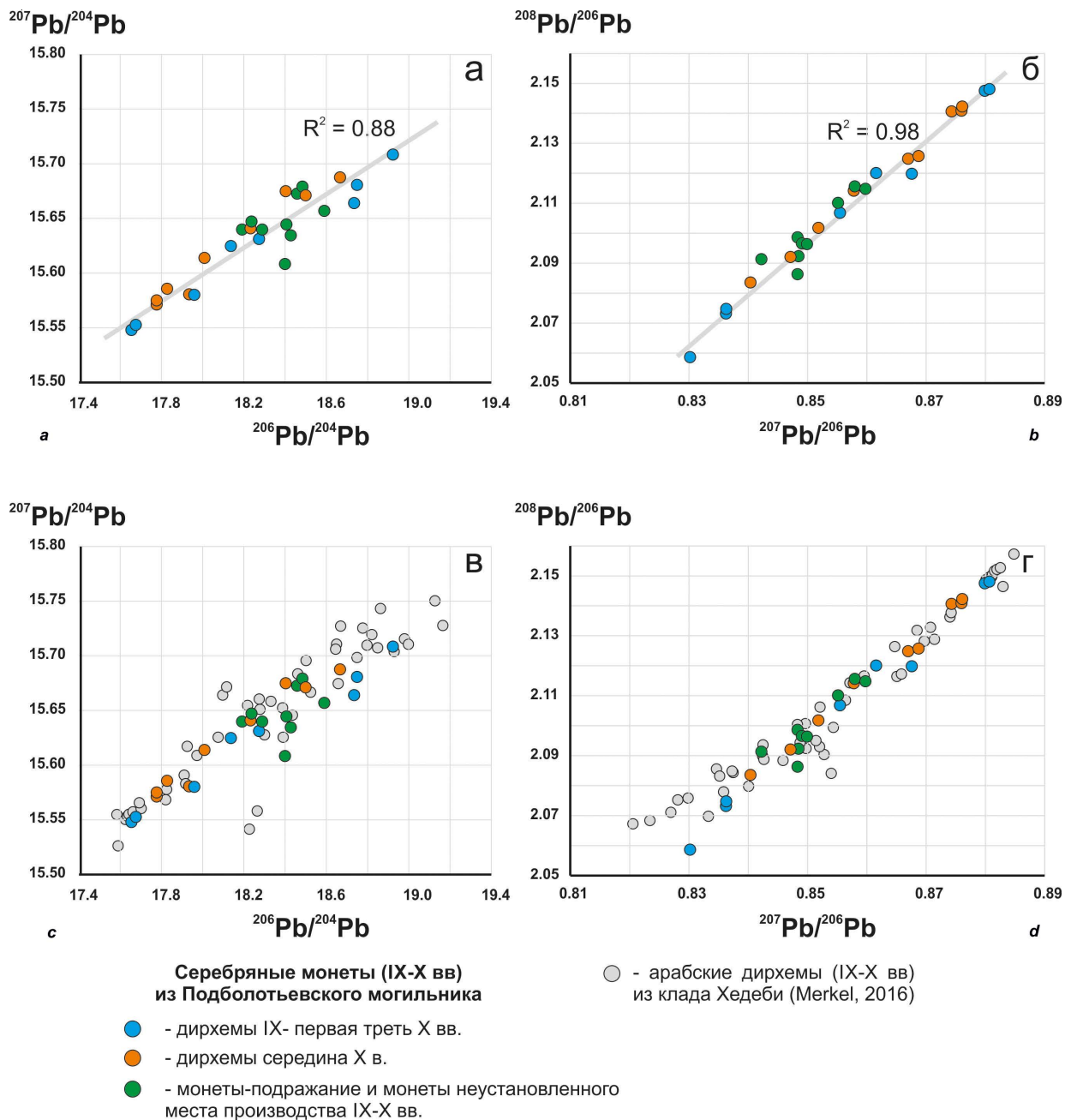


Рис. 6. Pb-Pb изотопные диаграммы, на которых показаны результаты изучения изотопного состава Pb в серебряных монетах из Подболотьевского могильника (a, b), а также для сравнения приведены Pb-Pb данные, полученные для арабских дирхемов IX–X вв. из клада Хедеби (c, d) (расчетные данные по: [Merkel, 2016]) (автор: А.В. Чугаев)

Fig. 6. Pb-Pb Isotope Diagrams reflecting the results of Pb isotopic composition study in the silver coins from the Podbolotyvevo cemetery (a, b); Pb-Pb data obtained for the 9<sup>th</sup>–10<sup>th</sup> centuries Arab dirhams from the Hedeby hoard are provided for comparison (c, d) (calculated according to: [Merkel, 2016]) (author: A.V. Chugaev)

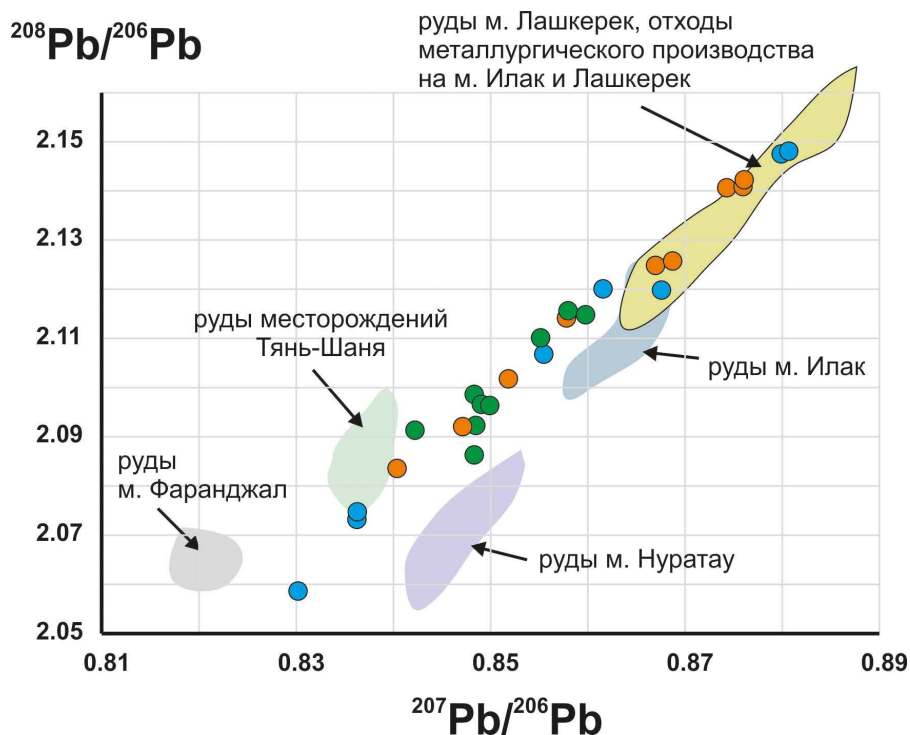


Рис. 7. Диаграмма с результатами изучения изотопного состава Pb в серебряных монетах из Подболотьевского могильника. На диаграмме для сравнения приведены Pb-Pb данные для серебросодержащих руд Центральной Азии и Афганистана, а также для отходов металлургического производства (расчетные данные по: [Chiaradia et al., 2006; Brill et al., 1997; Pavlova, Borisenko, 2009; Merkel et al., 2013a; 2013b]) (автор: А.В. Чугаев)

Fig. 7. Isotope Diagrams reflecting the results of Pb isotopic composition study in the silver coins from the Podbolotyeyvo cemetery. Pb-Pb data obtained for the silver-bearing ores of Central Asia and Afghanistan and for waste from metallurgical production are provided for (calculated according to: [Chiaradia et al., 2006; Brill et al., 1997; Pavlova, Borisenko, 2009; Merkel et al., 2013a; 2013b]) (author: A.V. Chugaev)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беговатов Е. А., Лебедев В. П., Храменкова Р. Х., 2013. Химический состав серебряных монет X века I Семеновского селища (Республика Татарстан) // Поволжская археология. № 3 (5). С. 169–174.
- Ениосова Н. В., Митоян Р. А., 2015. Об особенностях производства куфических дирхамов VIII–X вв. // Эпоха викингов в Восточной Европе в памятниках нумизматики VIII–XI вв. : материалы докладов и сообщений II Междунар. нумизмат. конф. СПб. : Знакъ. С. 69–76.
- Ениосова Н. В., Митоян Р. А., Сарачева Т. Г., 2008. Химический состав ювелирного сырья эпохи средневековья и пути его поступления на территорию Древней Руси // Цветные и драгоценные металлы и их сплавы на территории Восточной Европы в эпоху средневековья. М. : Вост. лит. С. 121–132.
- Зеленцова О. В., 2014. Новые исследования Подболотьевского могильника // КСИА. Вып. 236. С. 219–230.
- Чернышев И. В., Чугаев А. В., Шатагин К. Н., 2007. Высокоточный изотопный анализ Pb методом многоколлекторной ICP-масс-спектрометрии с нормированием по 205Tl/203Tl : оптимизация и калибровка метода для изучения вариаций изотопного состава Pb // Геохимия. № 11. С. 1155–1168.
- Чугаев А. В., Чернышев И. В., 2012. Источники поступления серебра для изделий из погребений ранних кочевников Южного Приуралья по результатам изучения изотопного состава Pb высокоточным методом MC-ICP-MS // Влияния ахеменидской культуры в Южном Приуралье (V–III вв. до н.э.). Т. 1. М. : ТАУС. С. 239–246.
- Beck L., Bosonnet S., Revellion S., Eliot D., Pilon F., 2004. Silver Surface Enrichment of Silver-Copper Alloys : A Limitation for the Analysis of Ancient Silver Coins by Surface Techniques // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (NIM B). Vol. 226. P. 153–162.
- Brill R. H., Felker-Dennis C., Shirahata H., Joel E. C., 1997. Lead Isotope Analyses of Some Chinese and Central Asian Pigments // Conservation of Ancient Sites on the Silk Road. Los-Angeles : Getty Conservation Institute. P. 369–378.
- Chiaradia M., Konopelko D., Seltmann R., Cliff R. A., 2006. Lead Isotope Variations Across Terrane Boundaries of the Tien Shan and Chinese Altay // Miner Deposita. Vol. 41. P. 411–428.
- Eniosova N. V., 2012. Tracing the Routes of Silver Procurement to the Early Urban Centre Gnězdovo in the 10<sup>th</sup> / Early 11<sup>th</sup> Centuries // Die Archäologie der Frühen Ungarn: Chronologie, Technologie und Methodik. RGZM-Tagungen. Bd. 17. Mainz : Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseum. P. 261–276.
- Jonsson E., 2018. Metal analyses of Viking-Age Coins // Metallanalyser Av Mynt/Metal Analyses of Coins. Vol. 1. P. 1–30. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:su:diva-164778>
- Kershaw J., Merkel S. W., 2022. Silver Recycling in the Viking Age : Theoretical and Analytical Approaches // Archaeometry. Vol. 64 (Suppl. 1). P. 116–133. DOI: <https://doi.org/10.1111/arc.12709>
- Kilger Ch., 2008. Kaupang from Afar : Aspects of the Interpretation of Dirham Finds in Northern and Eastern Europe between the Late 8<sup>th</sup> and Early 10<sup>th</sup> Centuries // Means of Exchange : Dealing with Silver in the Viking Age. Kaupang Excavation Project Publication Series. Vol. 2. Norske Oldfunn XXIII. Aarhus : Aarhus University Press. P. 199–252.
- Kovalev R.K., 2002. Dirham Mint Output of Samanid Samarqand and Its Connection to the Beginnings of Trade with Northern Europe (10<sup>th</sup> Century) // Histoire et Mesure. Vol. 17/3-4. P. 197–216.
- Kozlenko D., Kichanov S., Lukin E., Savenko B., 2018. The DN-6 Neutron Diffractometer for High-Pressure Research at Half a Megabar Scale // Crystals. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. Vol. 8 (8). 331 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst8080331>
- Merkel S. W., Sverchkov L., Hauptmann A., Hilberg V., Bode M., Lehmann R., 2013a. Analysis of Slag, Ore and Silver from the Tashkent and Samarkand Areas : Medieval Silver Production and the Coinage of Samanid Central Asia // Archäometrie und Denkmalpflege. Metalla. Sonderheft 6. Bochum : Bergbau-Museum Bochum. P. 62–66.
- Merkel S. W., Bräutigam B., Klein S., Hauptmann A., 2013b. The Analysis of Slag from the Panjhor Mining Region, Afghanistan : An Investigation of (Medieval) Silver Production Technology // Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan. Vol. 45. P. 231–249.
- Merkel S. W., 2016. Appendix I. Analysis of Slag and Ore from the Tashkent and Samarkand Areas : Medieval Silver Extraction and the Coinage of Samanid Central Asia // Merkel S. W. Silver and the Silver Economy at Hedeby.



- Raw Materials, Innovation, Technology of Ancient Cultures. RiTaK 2. Bochum : VML Verlag Marie Leidorf. P. 231–254.
- Merkel S. W., 2020. The Richness of Silver Ore in the Middle Ages : A Comparative Study of Historical Descriptions and the Archaeological Evidence // *Mittelalterliche Bergbautechnik in historischen und archäologischen Quellen. Ein Workshop zur interdisziplinären Arbeit in der montanhistorischen Forschung. Der Anschnitt Beiheft 45.* Bochum : Verlag Marie Leidorf. P. 39–44.
- Merkel S.W., 2021. Evidence for the Widespread Use of Dry Silver Ore in the Early Islamic Period and Its Implications for the History of Silver Metallurgy // *Journal of Archaeological Science.* Vol. 135. P. 1–13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105478>
- Pavlova G., Borisenko A., 2009. The Age of Ag-Sb Deposits of Central Asia and Their Correlation with Other Types of Ore Systems and Magmatism // *Ore Geology Reviews.* Vol. 35. P. 164–185.
- Rodríguez-Carvajal J., 1993. Recent Advances in Magnetic Structure Determination by Neutron Powder Diffraction // *Physica B: Condensed Matter.* Vol. 192. P. 55–69.

### REFERENCES

- Begovatov E.A., Lebedev V.P., Hramchenkova R.H., 2013. Himicheskiy sostav serebryanyh monet X veka I Semenovskogo selishcha (Respublika Tatarstan) [Chemical Composition of Coins Complex of the X Century from the I Semenov Settlement (Tatarstan Republic)]. *Povolzhskaya arheologiya* [The Volga River Region Archaeology], no. 3 (5), pp. 169-174.
- Eniosova N.V., Mitoyan R.A., 2015. Ob osobennostyah proizvodstva kuficheskikh dirhamov VIII–X vv. [On the Features of the Production of Kufic Dirhams of the VIII–X Centuries]. *Epoha vikingov v Vostochnoy Evrope v pamyatnikah numizmatiki VIII–XI vv.: materialy dokladov i soobshcheniy II Mezhdunar. numizmat. konf.* [The Viking Age in Eastern Europe in the Numismatic Monuments of the VIII–XI Centuries. Materials of Reports and Communications. II International Numismatic Conference]. Sankt Peterburg, Znack Publ., pp. 69-76.
- Eniosova N.V., Mitoyan R.A., Saracheva T.G., 2008. Himicheskiy sostav yuvelirnogo syr'ya epohi srednevekov'ya i puti ego postupleniya na territoriyu Drevney Rusi [The Chemical Composition of Jewelry Raw Materials of the Middle Ages and the Ways of its Entry into the Territory of Ancient Rus']. *Konovalov A.A., Eniosova N.V., Mitoyan R.A., Saracheva T.G. Tsvetnye i dragotsennyye metalla i ih splavy na territorii Vostochnoy Evropy v epohu srednevekov'ya* [Non-Ferrous and Precious Metals and Their Alloys in Eastern Europe in the Middle Ages]. Moscow, Vost. lit. Publ., pp. 121-132.
- Zelentsova O.V., 2014. Novye issledovaniya Podbolot'evskogo mogil'nika [New Research of Podbolotyev Cemetery]. *Kratkie soobshcheniya institute arkheologii* [Brief Communications of the Institute of Archaeology], vol. 236, pp. 219-230.
- Chernyshev I.V., Chugaev A.V., Shatagin K.N., 2007. Vysokotochnyy izotopnyy analiz Pb metodom mnogokollektornoy ICP-mass-spektrometrii s normirovaniem po 205Tl/203Tl: optimizatsiya i kalibrovka metoda dlya izucheniya variatsiy izotopnogo sostava Pb [High-Precision Pb Isotope Analysis by Multicollector-ICP-Mass-Spectrometry Using 205Tl/203Tl Normalization: Optimization and Calibration of the Method for Studies of Pb Isotope Variations]. *Geohimiya* [Geochemistry International], vol. 45, no 11, pp. 1155-1168.
- Chugaev A.V., Chernyshev I.V., 2012. Istochniki postupleniya serebra dlya izdeliy iz pogrebeniy rannih kochevnikov Yuzhnogo Priural'ya po rezul'tatam izucheniya izotopnogo sostava Pb vysokotochnym metodom MC-ICP-MS [Sources of Silver for Artifacts from Burials of Early Nomads in the Southern Urals Based on the Results of Studying the Pb Isotope Composition Using the High-Precision MC-ICP-MS Method]. *Vliyaniya achemenidskoy kul'tury v Yuzhnom Priural'e (V–III vv. do n.e.)* [Influences of the Achaemenid Culture in the Southern Urals (V–III Centuries BC)], vol. 1. Moscow, Taus Publ, pp. 239-246.
- Beck L., Bosonnet S., Revellion S., Eliot D., Pilon F., 2004. Silver Surface Enrichment of Silver-Copper Alloys: A Limitation for the Analysis of Ancient Silver Coins by Surface Techniques. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research (NIM B)*, vol. 226, pp. 153-162.
- Brill R.H., Felker-Dennis C., Shirahata H., Joel E.C., 1997. Lead Isotope Analyses of Some Chinese and Central Asian Pigments. *Conservation of Ancient Sites on the Silk Road.* Los-Angeles, Getty Conservation Institute, pp. 369-378.

- Chiaradia M., Konopelko D., Seltmann R., Cliff R.A., 2006. Lead Isotope Variations Across Terrane Boundaries of the Tien Shan and Chinese Altay. *Miner Deposita*, vol. 41, pp. 411-428.
- Eniosova N.V., 2012. Tracing the Routes of Silver Procurement to the Early Urban Centre Gnëzdovo in the 10<sup>th</sup> / Early 11<sup>th</sup> Centuries. *Die Archäologie der Frühen Ungarn: Chronologie, Technologie und Methodik. RGZM-Tagungen*, Bd 17. Mainz, Verlag des Römisch-Germanischen Zentralmuseum, pp. 261-276.
- Jonsson E., 2018. Metal Analyses of Viking-Age Coins. *Metallanalyser Av Mynt/Metal Analyses of Coins*, vol. 1, pp. 1-30. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:su:diva-164778>
- Kershaw J., Merkel S.W., 2022. Silver Recycling in the Viking Age: Theoretical and Analytical Approaches. *Archaeometry*, vol. 64 (Suppl. 1), pp. 116-133. DOI: <https://doi.org/10.1111/arc.12709>
- Kilger Ch., 2008. Kaupang from Afar: Aspects of the Interpretation of Dirham Finds in Northern and Eastern Europe between the Late 8<sup>th</sup> and Early 10<sup>th</sup> Centuries. *Means of Exchange: Dealing with Silver in the Viking Age. Kaupang Excavation Project Publication Series*, vol. 2. Norske Oldfunn XXIII. Aarhus, Aarhus University Press, pp. 199-252.
- Kovalev R.K., 2002. Dirham Mint Output of Samanid Samarqand and its Connection to the Beginnings of Trade with Northern Europe (10<sup>th</sup> Century). *Histoire et Mesure*, vol. 17/3-4, pp. 197-216.
- Kozlenko D., Kichanov S., Lukin E., Savenko B., 2018. The DN-6 Neutron Diffractometer for High-Pressure Research at Half a Megabar Scale. *Crystals. Multi-disciplinary Digital Publishing Institute*, vol. 8 (8). 331 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst8080331>
- Merkel S.W., Sverchkov L., Hauptmann A., Hilberg V., Bode M., Lehmann R., 2013a. Analysis of Slag, Ore and Silver from the Tashkent and Samarkand Areas: Medieval Silver Production and the Coinage of Samanid Central Asia. *Archäometrie und Denkmalpflege. Metalla*. Sonderheft 6. Bochum, Bergbau-Museum Bochum, pp. 62-66.
- Merkel S.W., Bräutigam B., Klein S., Hauptmann A., 2013b. The Analysis of Slag from the Panjhor Mining Region, Afghanistan: An Investigation of (Medieval) Silver Production Technology. *Archäologische Mitteilungen aus Iran und Turan*, vol. 45, pp. 231-249.
- Merkel S.W., 2016. Appendix I. Analysis of Slag and Ore from the Tashkent and Samarkand Areas : Medieval Silver Extraction and the Coinage of Samanid Central Asia. *Merkel S.W. Silver and the Silver Economy at Hedeby. Raw Materials, Innovation, Technology of Ancient Cultures*. RiTaK 2. Bochum, VML Verlag Marie Leidorf, pp. 231-254.
- Merkel S.W., 2020. The Richness of Silver Ore in the Middle Ages: A Comparative Study of Historical Descriptions and the Archaeological Evidence. *Mittelalterliche Bergbautechnik in historischen und archäologischen Quellen. Ein Workshop zur interdisziplinären Arbeit in der montanhistorischen Forschung*. Der Anschnitt Beiheft 45. Bochum, Verlag Marie Leidorf, pp. 39-44.
- Merkel S.W., 2021. Evidence for the Widespread Use of Dry Silver Ore in the Early Islamic Period and its Implications for the History of Silver Metallurgy. *Journal of Archaeological Science*, vol. 135, pp. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105478>
- Pavlova G., Borisenko A., 2009. The Age of Ag-Sb Deposits of Central Asia and Their Correlation with Other Types of Ore Systems and Magmatism. *Ore Geology Reviews*, vol. 35, pp. 164-185.
- Rodríguez-Carvajal J., 1993. Recent Advances in Magnetic Structure Determination by Neutron Powder Diffraction. *Physica B: Condensed Matter*, vol. 192, pp. 55-69.

### Information About the Authors

**Irina A. Saprykina**, Candidate of Sciences (History), Senior Research Fellow, Department for the Preservation of Archaeological Monuments, Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Dm. Ulyanova St, 19, 117292 Moscow, Russian Federation, [dolmen200@mail.ru](mailto:dolmen200@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0059-0170>

**Andrey V. Chugaev**, Candidate of Sciences (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Laboratory of Isotope Geochemistry and Geochronology, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Staromonetny Lane, 33, 119017 Moscow, Russian Federation, [vassachav@mail.ru](mailto:vassachav@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0528-3965>

**Olga V. Zelentsova**, Candidate of Sciences (History), Senior Research Fellow, Department for the Preservation of Archaeological Monuments, Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Dm. Ulyanova St, 19, 117292 Moscow, Russian Federation, [olgazelentsova2010@yandex.ru](mailto:olgazelentsova2010@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7458-7874>

**Bulat A. Bakirov**, Trainee Researcher, Laboratory of Neutron Physics named after Ilya M. Frank, Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie St, 6, 141980 Dubna, Russian Federation, [bulatbakirov4795@gmail.com](mailto:bulatbakirov4795@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8526-7091>

**Sergey E. Kichanov**, Doctor of Science (Engineering), DN-12 Group Leader, Laboratory of Neutron Physics named after Ilya M. Frank, Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie St, 6, 141980 Dubna, Russian Federation, [ekich@nf.jinr.ru](mailto:ekich@nf.jinr.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2324-3051>

### Информация об авторах

**Ирина Анатольевна Сапрыкина**, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник отдела сохранения археологического наследия, Институт археологии РАН, ул. Дм. Ульянова, 19, 117292 г. Москва, Российская Федерация, [dolmen200@mail.ru](mailto:dolmen200@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0059-0170>

**Андрей Владимирович Чугаев**, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории изотопной геохимии и геохронологии, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Старомонетный переулок, 33, 119017 г. Москва, Российская Федерация, [vassachav@mail.ru](mailto:vassachav@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0528-3965>

**Ольга Викторовна Зеленцова**, кандидат исторических наук, старший научный сотрудник отдела сохранения археологического наследия, Институт археологии РАН, ул. Дм. Ульянова, 19, 117292 г. Москва, Российская Федерация, [olgazelentsova2010@yandex.ru](mailto:olgazelentsova2010@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-7458-7874>

**Булат Айратович Бакиров**, стажер-исследователь лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жюлио-Кюри, 6, 141980 г. Дубна, Российская Федерация, [bulatbakirov4795@gmail.com](mailto:bulatbakirov4795@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-8526-7091>

**Сергей Евгеньевич Кичанов**, доктор технических наук, начальник группы ДН-12, лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка, Объединенный институт ядерных исследований, ул. Жюлио-Кюри, 6, 141980 г. Дубна, Российская Федерация, [ekich@nf.jinr.ru](mailto:ekich@nf.jinr.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2324-3051>