

HISTORY OF THE EAST

Historiography, source critical studies, historical research methods

ИСТОРИЯ ВОСТОКА

Историография, источниковедение, методы исторического исследования

Научная статья

Исторические науки

УДК 930.2(07):24[821.584.6+821.581+821.521]

<https://doi.org/10.31696/2618-7043-2021-4-5-1238-1249>

Исследование химического состава монет Амира Вали методом рентгенофлуоресцентного анализа

Алексей Николаевич Алёшин

АО «РИЦ «Техносфера», Москва, Россия,

alyoshin.a.n@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7342-4638>

Аннотация. В работе методом рентгенофлуоресцентного анализа с помощью портативного спектрометра TRACER 5i исследован химический состав семи монет Амира Вали номиналом 6 дирхемов двух типов, отчеканенных в Астарабаде в 769 и 775 гг. хиджры (1368 и 1374 гг.). Установлены основной состав монетного сплава и количественное содержание характерных микропримесей. Сравнение с составами сплавов монет предыдущих династий показало преемственность технологий чеканки и общность источников сырья, использовавшихся при изготовлении дирхемов в период правления Амира Вали в Астарабаде. На основании литературных данных о составе добываемой в провинции Зенджан галеновой руды высказано предположение об использовании месторождения, расположенного недалеко от города Дамган, в качестве источника сырья для монетной чеканки.

Ключевые слова: рентгенофлуоресцентный анализ; спектрометр; дирхем; купелирование; аффинаж; торговое серебро; микропримеси

Для цитирования: Алёшин А. Н. Исследование химического состава монет Амира Вали методом рентгенофлуоресцентного анализа. *Ориенталистика*. 2021;4(5):1238–1249. <https://doi.org/10.31696/2618-7043-2021-4-5-1238-1249>.

Original article

History studies

<https://doi.org/10.31696/2618-7043-2021-4-5-1238-1249>

Study of the chemical composition of Amir Wali coins by x-ray fluorescent analysis

Alexey N. Alyoshin

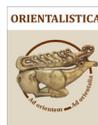
Associate printing-and-publication Centre "Technosfera", Moscow, Russia,

alyoshin.a.n@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7342-4638>

Abstract. The chemical composition of seven coins of Amir Wali of six dirhams par value (two types) minted in Astarabad in 769 and 75 Hijri (1368 and 1374 AD) was



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.





studied by x-ray fluorescent analysis using a portable TRACER 5i spectrometer. There were established the basic composition of the coin alloy and the quantitative content of the trace elements. The performed comparison with the coin alloys compositions of the preceding dynasties demonstrated continuity of minting technologies and similarity of ore sources used in the production of dirhams during the reign of Amir Wali in Astarabad. Based on the literary data of galenic ores composition mined in the Zenjan province, it is suggested that the raw material for coin mintage was extracted from a deposit located near the city of Damgan.

Keywords: x-ray fluorescent analysis; spectrometer; dirham; coupling; refining; trade silver; trace contamination

For citation: Alyoshin A. N. Study of the chemical composition of Amir Wali coins by x-ray fluorescent analysis. *Orientalistica*. 2021;4(5):1238–1249. (In Russ.) <https://doi.org/10.31696/2618-7043-2021-4-5-1238-1249>.

Введение

Нумизматика как наука давно обрела самостоятельность и перестала быть «вспомогательной исторической дисциплиной», неким дополнением к общей, всемирной истории, поскольку оперирует не только уникальными историческими источниками – монетами и штемпелями, но и более общими, зачастую фундаментальными понятиями – денежным обращением, динамикой развития экономик государств прошлого, взаимовлиянием и генезисом денежных систем и, не в последнюю очередь, технологиями производства и уровнями развития металлургии. Монета несет в себе информацию не только о явных признаках – месте чеканки, годе выпуска, государстве, династической принадлежности, именах правителей и их наместников, палеографических и геральдических данных, но и о косвенных – сведениях об уровне производства монетного двора, источниках сырья и состоянии экономики государства в целом.

С развитием современных технологий у нумизматов появляются новые, неразрушающие методы изучения химического состава монет и связанных с их изготовлением артефактов. Скорость проведения таких измерений позволяет исследовать большие массивы монет, что дает возможность глубже изучить технологические аспекты денежного обращения как в целом по династии, так и по конкретным периодам времени нахождения у власти отдельных правителей, и даже по монетным дворам и номиналам. Более того, статистически масштабные измерения позволяют выявить характерные «маркеры», специфические химические элементы (и их концентрации), содержащиеся в материале монет, которые могут помочь в определении источников сырья, их локализации, логистики транспортировки, хронологии их использования монетными дворами, а также времени истощения и прекращения использования.



Методы исследования химического состава монет

Исследования химического состава монет предпринимались еще до возникновения нумизматики как таковой. Однако с момента первой пробы монеты «на зуб» до настоящего времени прогресс в инструментарии и точности измерений существенно вырос. В хорошо известной работе Эрла Р. Кейли (см.: [1]) представлены результаты исследований 16 парфянских монет, из которых шесть серебряных драхм исследовались самим автором, а остальные, серебряные и бронзовые, – другими лицами. Недостатками такого подхода являются разрушающие химические методы исследования, не позволяющие в дальнейшем проверить полученные результаты, их недостаточная точность и достоверность измерений. Большая погрешность свойственна и методу гидростатического взвешивания [2], позволяющему определять состав монет, изготовленных из сплава двух, не более, известных компонентов. В специальных работах описаны более современные методы определения химического состава и примесей, такие как нейтронно-активационный анализ (НАА), активационный анализ на быстрых нейтронах (ААБН), протонно-активационный анализ (ПАА) и рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) (см., например: [3]). Эти методы имеют ряд существенных преимуществ, однако требуют дорогостоящего оборудования и работы квалифицированного персонала.

С помощью протонно-активационного анализа (ПАА) были исследованы 38 иранских серебряных монет династий Ильханов и Сефевидов [4, Pîxe]. В результате этих исследований были обнаружены Fe, Cu, Zn, Ag, Au и Pb и их соединения, а группа элементов Cu, Pb, Zn и Au выделена авторами как основная, присутствующая в матрице серебра. На языке более поздней терминологии, это «маркеры», характерные элементы данного периода чеканки. Содержимое серебра варьировалось от 55 до 97%, из чего авторы делают вывод об экономических трудностях, сопровождавших государство в периоды правления данных династий, а также об использовании разного сырья для чеканки монет на разных монетных дворах.

Недостатком таких исследований является то, что после них данные монеты трудно исследовать повторно, например, методами неразрушающего контроля. Этим же методом исследовались серебряные монеты Римской империи и династии Сельджуков [5, Elemental comparison], в которых авторы обнаружили Ag, Au, Pb, Cu, Fe, Ca, Si, Cl, Ti и Bi, выделив медь в качестве компонента, намеренно добавлявшегося в монетный сплав для стабилизации экономики. По характерному содержанию Ti, Bi и Zn был сделан вывод об использовании руды разного происхождения, а по содержанию Pb – о степени совершенства развития металлургии. Аналогичный подход был применен при исследовании средневековых европейских (саксонских) монет, что внесло значительный вклад в изучение центральноевропейского монетного дела, в частности польского (см. работу: [6]).



Появление приборов, основанных на использовании рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), открыло новую эпоху в подобных исследованиях. Доступность по цене и высокая точность измерений позволяют исследовать обширные массивы монет и собирать статистику, данные которой, после их обобщения и анализа, действительно позволяют выявить особенности металлургического процесса, денежного обращения и изменений в экономике всего человечества на основании исследований нумизматического материала и связанных с ним артефактов – штемпелей, тиглей, заготовок под чеканку монет и многого другого. Общее описание метода приведено в ряде статей в специальных журналах [7–12], здесь отмечу лишь специфические особенности данного метода, позволяющие его применение в портативных приборах, поскольку именно они преимущественно используются для исследований.

РФА-метод имеет две разновидности – волнодисперсионные рентгеновские флуоресцентные системы (ВДРФ-системы, WDXRF) и энергодисперсионные системы (ЭД-системы, EDXRF). В первом случае (ВДРФ-система) источником излучения является рентгеновская трубка, облучающая непосредственно образец, а детектором выступает волнодисперсионная система, измеряющая флуоресценцию образца. При этом характеристическое излучение, исходящее от каждого отдельного элемента образца, можно идентифицировать с помощью кристаллов-анализаторов, разделяющих рентгеновские лучи в зависимости от длины волны. Такой анализ можно выполнить путем последовательного или одновременного (в фиксированных положениях) измерения интенсивности рентгеновских лучей с разной длиной волны. Энергодисперсионные системы основаны на том, что рентгеновская трубка облучает образец, а детектор способен измерять значения энергии характеристического излучения, исходящего непосредственно от образца. Детектор способен разделять излучение образца на излучение различных химических элементов, присутствующих в образце, по энергии излучения. Такое разделение называется дисперсией, а ее анализ позволяет получить данные о химическом составе монеты и долях содержащихся в ней химических элементов.

Немаловажным при выборе инструмента для исследований является программное обеспечение, позволяющее обрабатывать и представлять полученные результаты в удобном для дальнейшего анализа виде.

Экспериментальные исследования методом РФА

Исследований химического состава монет Амира Вали (757–788 г. х. / 1356–1386 гг.) в доступной литературе и прочих источниках обнаружить не удалось. За период своего правления Амир Вали чеканил монеты разных номиналов (6 дирхемов, 4 дирхема, 3 дирхема, 2 дирхема – различных типов). Известны монетные дворы Астарабад (استرآباد) (в 1937 г. был переименован шахом Реза Пехлеви в Горган), Симнан



(سيمنان), Дамган (دامغان), Джаджар (جاجار), Рей (ري), Сабзавар (سبزوار), Варавин (الوراوين) и Джурджан (جرجان). В отличие от распространенной триметаллической системы (золото, серебро, медь), Амир Вали чеканил только серебряные монеты.

В данной работе исследовались семь монет Амира Вали номиналом 6 дирхемов 769 и 775 гг. х. (1368 и 1374 гг.), WD и WF типов, по классификации, приведенной в третьем издании Контрольного списка исламских монет Альбома Стива [13]. Изображения монет обоих типов представлены на рис., а содержание обнаруженных химических элементов всех исследованных монет и их номера в базе восточных монет ЗЕНО¹ сведено в табл.



A, 679AH, WD

B, 775AH, WF

Рис. Фотографии монет Амира Вали 769 и 775 гг. х. WD и WF типов соответственно (A – ZENO 245812, B – ZENO 245815)

Fig. Photos of Amir Wali 769 and 775 Hijrah coins of WD and WF types respectively (A – ZENO 245812, B – ZENO 245815)

Измерения проводились с помощью портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра исследовательского класса TRACER 5i. Особенности этого прибора являются новое программное обеспечение, возможность изменения напряжения и тока рентгеновской трубки на встроенном сенсорном экране, изменение диаметров коллиматоров и фильтров первичного излучения. Измерения можно проводить, управляя прибором от компьютера, выбирая необходимые для обработки результатов измерений калибровки. Диапазон обнаруживаемых элементов в исследуемых образцах – от фтора до урана. Прибор позволяет проводить измерения на воздухе, в вакууме и с использованием гелия, что существенно повышает точность измерений.

Глубина проникновения рентгеновского пучка в материал монеты составляет величину от нескольких микрон до нескольких десятков микрон. Этим объясняются небольшие различия в показаниях приборов разных производителей и моделей, особенно когда перед измерениями

¹ ЗЕНО – онлайн-база восточных монет (<https://zeno.ru>), насчитывающая более 275 тыс. монет с изображениями и описаниями с возможностью комментирования специалистами в области восточной нумизматики.



монеты не очищались до металла-«матрицы», и разнообразие обнаруженных примесей, в значительной мере принадлежащих окисным слоям (патине) и загрязнениям поверхности монеты.

Все шесть монет Амира Вали были подвергнуты предварительной очистке в мыльном растворе для снятия поверхностных загрязнений неорганического происхождения и жира человеческих пальцев, со временем приводящего к появлению характерной желтизны поверхности и специфического «монетного» запаха. После очистки в мыльном растворе все монеты были вымыты в дистиллированной воде для удаления остатков жиров и щелочей, содержащихся в моющем растворе, и высушены при комнатной температуре.

Т а б л и ц а . Химический состав монет Амира Вали чеканки 769 и 775 г. х., полученный методом РФА с использованием рентгенофлуоресцентного спектрометра TRACER 5i

T a b l e . Chemical composition of Amir Wali coins minted in 769 and 775 Hijra by XRF using TRACER 5i X-Ray Fluorescence Spectrometer

Номер в ZENO / No. In ZENO	Содержание химических элементов, % Chemical elements content, %			
	Ag, %	Au, %	Cu, %	Pb, %
769AH, type WD				
245814	94.543±0.266	0.940±0.030	2.934±0.052	1.583±0.039
245812	92.427±0.258	0.720±0.027	5.785±0.070	1.068±0.033
775AH, type WF				
190252	98.165±0.266	0.660±0.024	0.788±0.027	0.387±0.023
245815	97.777±0.271	0.209±0.017	1.802±0.041	0.212±0.020
245817	95.964±0.265	0.528±0.023	2.855±0.050	0.653±0.027
245818	96.451±0.263	0.605±0.024	2.266±0.045	0.678±0.027
245819	95.293±0.259	0.718±0.026	3.325±0.053	0.664±0.027

Из таблицы видно, что качество изготовления монет в 775 г. х. выше, чем монет, отчеканенных в 769 г. х. Если в монетах 769 г. х. содержание серебра составляло около 92–94%, меди 3–5%, а свинца 1–1,5%, то в монетах 775 г. х. содержание серебра увеличилось до 95–98%, а содержание меди уменьшилось до 0,8–3,3%, свинца – 0,2–0,68%. Незначительно уменьшилась и доля золота (с 0,7–0,9% до 0,2–0,7%). Это свидетельствует об улучшении экономического положения государства Амира Вали и (или) технологии изготовления дирхемов на монетном дворе Астарабда. Специфических «маркеров» (в частности, висмута, серы, и других) в сплавах исследованных монет обнаружено не было, что свидетельствует о достаточно высоком уровне технологии очистки руды, применявшейся при их изготовлении, либо об изменении источника сырья.



Обсуждение результатов

Для полного и обоснованного утверждения факта улучшения экономического положения, развития металлургии и монетного дела в государстве Амира Вали полученных данных недостаточно, необходимо комплексное хронологическое исследование химического состава монет всех номиналов вышеперечисленных монетных дворов, что представляет собой предмет дальнейших исследований, однако даже на данном этапе можно сделать некоторые выводы о развитии монетного дела во времена Амира Вали на монетном дворе Астарбада.

Известно, что основные запасы серебра сосредоточены в центральной части Ирана – провинциях Керман, Исфахан и Йезд. Серебро добывалось там с давних пор. Однако ввиду удаленности от северных провинций (останов) использование руды из этих источников, переработка в серебро и транспортировка представляются маловероятными.

Наличие незначительного количества свинца и меди в сплаве исследованных монет Амира Вали наводит на мысль о том, что для их производства использовался традиционный, известный еще со времен Сасанидов, метод получения серебра купелированием (аффинаж) из галеновых руд. Галенит – минерал, основу которого составляет сульфид свинца с примесями серебра, кадмия, селена и других элементов. Технология получения серебра довольно примитивна – галеновую руду помещают в тигель в виде чашки с механическим поддувом воздуха, в результате чего она расплавляется, и свинец окисляется на воздухе, отделяясь от серебра вместе с посторонними примесями. Остаются только серебро, золото и платина, которые и используются в дальнейшем для производства монет.

Возможно, применялся также метод сухого аффинажа серебра, когда сухой хлорид перемешивается с карбонатом натрия в равных пропорциях, после чего нагревается в тигле. Поскольку в ходе реакции выделяется газ и объем смеси увеличивается, тигель первоначально заполняли наполовину. После окончания выделения газа остаток материала в тигле плавился, превращаясь в металлический сплав. После охлаждения сплав расплавляют повторно и отливают в слитки-заготовки для дальнейшего использования. Для еще лучшей очистки полученный сплав серебра могут вторично подвергнуть дополнительному купелированию (аффинажу). Таким образом древние иранские металлурги добывались соотношения серебра и золота в сасанидских драхмах в пропорции 95% серебра – 5% золота [14, 15]. Следует учесть при этом, что большие залежи галеновых руд находятся на территории современной провинции (останы) Зенджан на северо-западе Ирана. Исторические связи этих земель с территориями, находившимися под контролем Амира Вали и Сербедаров (Мазендеран, Голестан и Гилян), а также практическая логистика делают это месторождение наиболее вероятным источником материала для монет, чеканившихся при этих правителях.



Безусловно, на востоке для чеканки монет издавна использовалось так называемое «торговое серебро» – остатки серебряной посуды и изделий, украшения, серебряные иностранные монеты и монеты прежних династий, не использующиеся уже как средства денежного обращения. Это было показано в работе, где автор на основе следов примесей-маркеров показал, что для чеканки монет Северного Тохаристана использовался металл сасанидских драхм Пероза [14]. В аналогичном направлении проводились исследования, в результате которых было установлено, что метод РФА указывает на возможность содержания серебра в дореформенных «масудбековских» дирхамах на уровне девяти-десятая (девять частей серебра и одна часть лигатуры с примесями), а в пореформенных кепековских дирхамах на уровне десяти-десятая («чистое» серебро) [16]. Исследовался также химический состав 102 монет хана Золотой Орды Шадибека, входивших в Измирский клад, хранящийся в Национальном музее Татарстана, что позволило выявить распределение серебра в этих монетах и содержание примесей в монетном сплаве, использовавшемся для их отливки [17].

Использование метода РФА в изучении нумизматического материала позволяет существенно расширить наши знания о денежном обращении любых эпох, династий, монетных дворов и преемственности монетного дела, лучше понять технологические и хронологические особенности чеканки, а также выявить источники сырья и пути его транспортировки.

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований химического состава монет Амира Вали можно предположить, что для их изготовления использовались технологии получения серебра, известные в Иране со времен Сасанидов, такие как купелирование и аффинаж, а источником сырья, вероятно, были галеновые руды провинции Зенджан, а также «торговое серебро», изготовленное по той же технологии аффинажа серебра из руды, не содержащей посторонних характерных маркеров (металлов типа висмут, олово и др.) [18]. Источником «торгового серебра» для чеканки монет Амира Вали мог быть Дамган, находившийся на Великом шелковом пути и бывший важным узлом пересечения торговых путей средневекового Ирана.

Литература

1. Farnsworth M. [Review by:] Earle R. Caley. Chemical Composition of Parthian Coins. *American Journal of Archaeology*. Jan. 1958;62(1):121. DOI:10.2307/500481.
2. Ласкин Д., Сырескин Е. Определение физических характеристик денежных монет как метод проверки их подлинности. *XVIII научно-практическая конференция учащихся «Наука – основа процветающего общества»*. Секция: «Физи-



ка». 2014 г. 16 с. – <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2016/08/25/opredelenie-fizicheskikh-harakteristik-denezhnyh-monet-kak-metod>

3. Analytical Methods for the Determination of the Chemical Composition of Ancient Coins. In: *Κύπριος Χαρακτήρ – Ιστορία, Αρχαιολογία Και Νομισματική Της Αρχαίας Κύπρου*. – <http://kyprioscharacter.eie.gr/en/t/AQ>. (Accessed 13 May 2021).

4. Sodaei Bita. Pixe Analysis Of Silver Coins From Ilkhanid And Safavid Dynasties In Iran: A Case Study. *Zenodo*, *Zenodo*. Nov. 2016. – doi:10.5281/ZENODO.163771.

5. Masjedi P., Khademi F., Neystani J. Kouhpar S. M. M. Elemental comparison of silver coins of Iranian Seljuk with those of Roman Empire by pixe. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. 2013;13(1):321–328.

6. Pańczyk E. *et al.* The Origin and Chronology of Medieval Silver Coins Based on the Analysis of Chemical Composition. *Nukleonika*. Sept. 2015;6(3):657–663. DOI:10.1515/nuka-2015-0108.

7. Acquafredda P. XRF Technique. *Physical Sciences Reviews*. March 2019;4(8):2018–0171. <https://doi.org/10.1515/psr-2018-0171>.

8. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (author), Chartier D. R. (ed.), McCrone W. (ed.) *Scientific Detection of Fakery in Art II*. 20–21 September 1999. Boston, Massachusetts (Proceedings of Spie – The International Society for Optical Engineering. Vol. 3851). P. 66–74.

9. Janssens K. *et al.* Use of Microscopic XRF for Non-Destructive Analysis in Art and Archaeometry. *X-Ray Spectrometry*. Jan. 2000;29(1):73–91. DOI:10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:13.3.CO;2-D.

10. Mantler M., Schreiner M. X-Ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology. *X-Ray Spectrometry*. Jan. 2000;29(1):3–17. DOI:10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:13.3.CO;2-F.

11. Torrisi L. *et al.* Silver Coins Analyses by X-Ray Fluorescence Methods. *Journal of X-Ray Science and Technology*. 2013;21(3):381–390. DOI:10.3233/XST-130389.

12. Van Ham-Meert, A. *et al.* Sasanian Copper and Billon Coins from the Collections of the Royal Museums of Art and History, Brussels, Belgium–Insights Using Semi-Quantitative Analysis by MXRF. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Sept. 2020;12(10):239. DOI:10.1007/s12520-020-01191-2.

13. Album S. *Checklist of Islamic coins*. Third edition. Stephen Album Rare Coins. Santa Rosa CA 95407, 2011. 330 p. ISBN 978-0-615-56244-5. – <http://db.stevealbum.com/php/albumcat.php>

14. Алёшин А. Н. Химический состав монет-подражаний из Северного Тохаристана (Кобадиян и Чаганиан) сасанидским драхмам Пероза I и Хосро I. *III Международная научная конференция «РАСМИР: Восточная нумизматика»*. Сборник научных трудов. Одесса, Украина, 1–3 августа. Одесса: Одесский нац. ун-т им. И. И. Мечникова; 2016. С. 10–16. ISBN 978-966-288-139-4.

15. Begovatov E. *et al.* The Chemical Composition of 10th-Century Silver Coins from the I Semyonovo Unfortified Site (Republic of Tatarstan). *Povolzhskaya Arkheologiya (The Volga River Region Archaeology)*. Sept. 2013;3(5):169–174. DOI:10.24852/ra2013.3.5.169.174.

16. Байтанаев Б. А., Петров П. Н., Шайхутдинова Е. Ф. Монетная реформа Кепек хана в свете результатов исследования состава монетного серебра мето-



дом РФА. *Поволжская археология*. 2019;4(30):43–54. – <https://doi.org/10.24852/ра2019.4.30.43.54>

17. Bugarchev A., Shaykhutdinova E., Singatullina A., Sitdikov A. About the Golden Horde silver coins of khan Shadibek from Ismeri treasure (Russia). *6th SWS International Scientific Conference on Arts and Humanities 2019. Conference Proceedings*. 2019;6(1):159–166. – <http://doi.org/10.5593/SWG.ISCAH.2019.1>

18. Butts A. *Copper, The Science and Technology of the Metal, its Alloys and Compounds* (Chap. “Machining characteristics”). Am. Chem. Soc. monographs series, New York: Cambridge University Press; 1954. 702 p.

References

1. Farnsworth M. [Review by:] Earle R. Caley. Chemical Composition of Parthian Coins. *American Journal of Archaeology*. Jan. 1958;62(1):121. DOI:10.2307/500481.

2. Laskin D., Syreskin E. Determination of Physical Characteristics of Money Coins as a Method of Authenticity Testing. *XVIII Scientific-Practical Conference of Students “Science – the Basis of Prosperous Society”, Section: “Physics”*. 2014. 16 p. – <https://nsportal.ru/ap/library/drugoe/2016/08/25/opredelenie-fizicheskikh-harakteristik-denezhnyh-monet-kak-metod>

3. Analytical Methods for the Determination of the Chemical Composition of Ancient Coins. In: *Κύπριος Χαρακτήρ – Ιστορία, Αρχαιολογία Και Νομισματική Της Αρχαίας Κύπρου*. – <http://kyprioscharacter.eie.gr/en/t/AQ>. (Accessed 13 May 2021).

4. Sodaei Bita. Pixe analysis of silver coins from Ilkhanid and Safavid Dynasties in Iran: A Case Study. *Zenodo, Zenodo*. Nov. 2016. – DOI:10.5281/ZENODO.163771.

5. Masjedi P., Khademi F., Neystani J. Kouhpar S. M. M. Elemental comparison of silver coins of Iranian Seljuk with those of Roman Empire by pixe. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*. 2013;13(1):321–328.

6. Pańczyk E. *et al.* The Origin and Chronology of Medieval Silver Coins Based on the Analysis of Chemical Composition. *Nukleonika*. Sept. 2015;6(3):657–663. DOI:10.1515/nuka-2015-0108.

7. Acquafredda P. XRF Technique. *Physical Sciences Reviews*. March 2019;4(8):2018–0171. <https://doi.org/10.1515/psr-2018-0171>.

8. Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (author), Chartier D. R. (ed.), McCrone W. (ed.) *Scientific Detection of Fakery in Art II*. 20–21 September 1999. Boston, Massachusetts (Proceedings of Spie – The International Society for Optical Engineering. Vol. 3851). P. 66–74.

9. Janssens K. *et al.* Use of Microscopic XRF for Non-Destructive Analysis in Art and Archaeometry. *X-Ray Spectrometry*. Jan. 2000;29(1):73–91. DOI:10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:13.3.CO;2-D.

10. Mantler M., Schreiner M. X-Ray Fluorescence Spectrometry in Art and Archaeology. *X-Ray Spectrometry*. Jan. 2000;29(1):3–17. DOI:10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:13.3.CO;2-F.

11. Torrisi L. *et al.* Silver Coins Analyses by X-Ray Fluorescence Methods. *Journal of X-Ray Science and Technology*. 2013;21(3):381–390. DOI:10.3233/XST-130389.

12. Van Ham-Meert, A. *et al.* Sasanian Copper and Billon Coins from the Collections of the Royal Museums of Art and History, Brussels, Belgium–Insights Using



Semi-Quantitative Analysis by MXRF. *Archaeological and Anthropological Sciences*. Sept. 2020;12(10):239. DOI:10.1007/s12520-020-01191-2.

13. Album S. *Checklist of Islamic coins*. Third edition. Stephen Album Rare Coins. Santa Rosa CA 95407, 2011. 330 p. ISBN 978-0-615-56244-5. – <http://db.stevealbum.com/php/albumcat.php>

14. Alyoshin A. N. Chemical composition of coins imitating from Northern Tokharistan (Kobadian and Chaganian) to the Sassanid drachms of Peroz I and Khosro I. *III International Scientific Conference "RASMI: Eastern Numismatics"*. Odessa, Ukraine, 1–3 August, 2016. Odessa: Odesskii nats. un-t im. I. I. Mechnikova; 2016. С. 10–16. ISBN 978-966-288-139-4

15. Begovatov E. et al. The Chemical Composition of 10th-Century Silver Coins from the I Semyonovo Unfortified Site (Republic of Tatarstan). *Povolzhskaya Arkheologiya (The Volga River Region Archaeology)*. Sept. 2013;3(5):169–174. DOI:10.24852/ra2013.3.5.169.174.

16. Байтанаев Б. А., Петров П. Н., Шайхутдинова Е. Ф. Монетная реформа Кепек хана в свете результатов исследования состава монетного серебра методом РФА. *Поволжская археология*. 2019;4(30):43–54. – <https://doi.org/10.24852/ra2019.4.30.43.54>

17. Bugarchev A., Shaykhutdinova E., Singatullina A., Sitdikov A. About the Golden Horde silver coins of khan Shadibek from Ismeri treasure (Russia). *6th SWS International Scientific Conference on Arts and Humanities 2019. Conference Proceedings*. 2019;6(1):159–166. – <http://doi.org/10/5593/SWG.ISCAH.2019.1>

18. Butts A. *Copper, The Science and Technology of the Metal, its Alloys and Compounds* (Chap. "Machining characteristics"). Am. Chem. Soc. monographs series, New York: Cambridge University Press; 1954. 702 p.

Информация об авторе

Алёшин Алексей Николаевич – кандидат физико-математических наук, доцент, заместитель главного редактора журнала «Наноиндустрия», АО «РИЦ «Техносфера», Москва, Россия; <https://orcid.org/0000-0001-7342-4638>, e-mail: alyoshin.a.n@yandex.ru

Information about the author

Alexey N. Alyoshin – Cand. of Sci. (Phys. and Mathem.), Docent, Deputy Chief Editor of Nanoindustry journal, Associate printing-and-publication Centre "Technosphaera", Moscow, Russia; <https://orcid.org/0000-0001-7342-4638>, e-mail: alyoshin.a.n@yandex.ru

Author's Links



Раскрытие информации о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Disclosure

The author declares that there is no conflict of interest.



Информация о статье

Поступила в редакцию: 14 мая 2020
Одобрена после рецензирования: 03 ноября 2021
Принята к публикации: 25 ноября 2021
Опубликована: 27 декабря 2021

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Информация о рецензировании

«Ориенталистика» благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за согласие на публикацию (размещение) текстов рецензий на сайте журнала и передачу (размещение) в Научную электронную библиотеку eLIBRARY.RU. Размещенные материалы, исключая персональные данные о рецензентах, являются публичными и доступны пользователям в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

Article info

Submitted: May 14, 2020
Approved after peer reviewing: November 03, 2021
Accepted for publication: November 25, 2021
Published: December 27, 2021

The author has read and approved the final manuscript.

Peer review info

Orientalistica thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish (place) of the review on the journal's website and transfer (place) to the Scientific Electronic Library eLIBRARY.RU. The posted materials, excluding personal data about the reviewers, are public and freely available on the Internet.