

НУМИЗМАТИКА

DOI: <https://doi.org/10.29039/2413-189X.2022.27.467-490>

ЭВОЛЮЦИЯ ИСТОЧНИКОВ МОНЕТНОГО СЕРЕБРА НА БОСПОРЕ В V–IV ВВ. ДО Н.Э. – II–III ВВ. Н.Э. ПО ДАННЫМ ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА Pb

Андрей Владимирович Чугаев

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук, Москва, Россия
vassachav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0528-3965>*

Ирина Анатольевна Сапрыкина

*Институт археологии Российской академии наук, Москва, Россия;
Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия
dolmen200@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0059-0170>*

Аннотация. Настоящая публикация посвящена обобщению результатов аналитических исследований боспорского монетного серебра, выполненных методом изотопного анализа Pb, и вопросу эволюции источников поступления серебра на территорию Боспора в период с V–IV вв. до н.э. по II–III вв. н.э. Pb-изотопные характеристики монетного серебра, происходящего с территории Боспора (<https://www.archaeolog.ru/ru/data/isoarchmet-iaras>), сравнивались с новейшими данными, полученными для монетного серебра Великой Греции, Карфагена и Рима, что позволило уточнить круг регионов добычи серебра, поступавшего на территорию Боспора в разные хронологические периоды. Так, на раннем этапе монетной чеканки Боспора использовалось серебро из месторождений Лавриона, п-ва Халкидики и Родопских гор. В отличие от греческого монетного серебра, доля месторождений п-ва Халкидики и Родопских гор в боспорской чеканке значительно превышает долю серебра из рудников Лавриона. В период III–I вв. до н.э. боспорская чеканка работала на этом же «старом» серебре, но встречается сырье и из другого источника, сходного с источником для монетного серебра Карфагена (Иберийский п-в); римского монетного серебра на территории Боспора это время пока не фиксируется. В период II–III вв. н.э. основным источником монетного серебра на Боспоре являются римские рудники, расположенные в Дакии (регион Роша Монтанэ); встречается также серебро, добытое на римских рудниках Иберии и Центрального Французского массива.

Ключевые слова: Боспор, Великая Греция, Карфаген, Рим, монеты, серебро, изотопный анализ Pb, рудные источники

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 18-18-00193-П «Начальный период истории денег: переход от полновесной монеты к знаку условной стоимости».

COIN SILVER SOURCE'S EVOLUTION IN BOSPOROS FROM THE FIFTH – FOURTH CENTURIES BC TO THE SECOND – THIRD CENTURIES AD ACCORDING TO Pb-ISOTOPIC ANALYSIS

Andrey V. Chugaev

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
vassachav@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0528-3965>

Irina A. Saprykina

Institute of Archaeology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;
V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
dolmen200@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0059-0170>

Abstract. This article generalizes the results of analytical studies of Bosporan coin silver made by Pb isotope analysis and the researches of the evolution of sources of silver supply to Bosporos the fifth – fourth centuries BC to the second – third centuries AD. Pb-isotope characteristics of coin silver originating from the territory of Bosporos (<https://www.archaeolog.ru/ru/data/isoarchmet-iaras>) have been compared with the latest data obtained for the coin silver of Magna Graecia, Carthage, and Rome, which made it possible to clarify the range of silver mining regions supplying the territory of Bosporos in different chronological periods. This way, at the early stage of the Bosporan coinage, silver was used from the mines of Lavrion, Chalkidiki Peninsula, and the Rhodope Mountains. Unlike Greek coin silver, the share of mines on the Chalkidiki Peninsula and the Rhodope Mountains in Bosporan coinage significantly exceeds the share of silver from the mines of Lavrion. Although from the third to first centuries BC, Bosporan coinage worked on the same “old” silver, the finds also contained raw materials from another source similar to the source for the coin silver of Carthage (Iberian Peninsula); no Roman coin silver have been documented in Bosporos in the period in question. In the second and third centuries AD, the main source of coin silver in Bosporos were the Roman mines located in Dacia (Roşia Montană); there was also silver from the Roman mines of Iberia and the Massif Central in modern France.

Key words: Bosporos, Magna Graecia, Carthage, Rome, coins, silver, Pb-isotopic analysis, ore sources

Acknowledgements: This study was funded by the Russian Science Foundation, project no. 18-18-00193-P (continuation) “The Initial Period of the History of Money: The Transition from a Coin of Full Metallic Value to a Sign of Conventional Value”.

Введение. Одним из важных вопросов в нумизматических исследованиях остается вопрос источников сырья, обеспечивавшего монетную чеканку и работу монетных дворов, особенно, на ранних этапах. Для определения источников монетного сырья часто используются методы определения химического (элементного) состава металла, где одной из целей анализа является выявление и определение микроэлементов (примесей), которые в ряде случаев позволяют идентифицировать источник руд. Сейчас одним из самых распространенных методов анализа монет является РФА, с помощью которого выявляются закономерности по присутствию того или иного элемента в металле (или сплаве) [21]. Этот метод хорошо работает на больших выборках, однако он, как и любой другой метод анализа, является лишь

первой, хотя и необходимой, стадией перед процедурой более точного определения источников добычи металла, в частности, серебра – одного из основных металлов для монетной чеканки древнего мира.

Таким более точным и надежным методом является анализ изотопного состава Pb (Pb-Pb изотопный метод), который изначально зародился, а в дальнейшем нашел широкое использование в геологических науках, прежде всего, в рудной геологии. Метод позволяет получить численные характеристики в виде изотопного состава Pb для объекта исследования и на основе отработанных интерпретационных подходов достаточно надежно устанавливать регионы добычи металла и реконструировать пути его поступления в конкретный исторический период. Применительно к археологии метод, который основывается на постоянно развивающейся приборной базе, позволил выделить для каждого исторического периода макрорегионы добычи руды; современная степень развития этого метода исследования уже позволяет довольно надежно определять не только локальные регионы добычи, но и прослеживать этапы использования «старого» металла и появления свежего сырья на конкретной территории, выделять древние загрязнения серебра свинцом из других месторождений и т.д.

Настоящая статья представляет собой первое обобщение имеющихся в настоящий момент Pb-Pb данных для монетного серебра V–IV вв. до н.э. – II–III вв. н.э., происходящего с территории Боспора, с целью оценки эволюции во времени доступных для этого региона источников драгоценного металла, в сравнении с новыми данными, полученными для монетного серебра Древней Греции и Рима за последние годы.

Pb-Pb изотопный метод в изучении археологического серебра

Начиная с работ [16; 28], в которых были впервые представлены системные результаты изучения изотопного состава Pb в различных по происхождению археологических объектах, среди исследователей до сих пор ведется широкая дискуссия о возможностях Pb-Pb метода в археологии, подходах в интерпретации данных, а также существующих для метода объективных ограничениях [10; 44; 38, р. 311–339; 43; 37; 31; 9; 18]. В этих дискуссиях главный акцент смещен в сторону вопросов идентичности свинцово-изотопных меток металла и источника (руд) его происхождения, а также неизменность изотопного состава Pb в предметах за время их существования. В основе представления о связи изотопного состава Pb металла предметов и источника лежит известный геохимический факт, что свинец является одним из широко распространенных элементов примесей для всех известных типов рудных месторождений, эксплуатировавшихся в древние времена. Например, для серебро-полиметаллических и эпитермальных месторождений, выступавших основной сырьевой базой при производстве серебра [47; 24; 26; 29, р. 198–202; 19], содержание свинца, где он представлен, главным образом, в виде минеральной фазы галенита (PbS), в рудах может достигать 8 вес.%. Многие серебросодержащие минеральные фазы, такие, например, как аргентит (Ag₂S),

пираргирит (Ag_3SbS_3), тетраэдрит, в природе находятся в тесной ассоциации с галенитом. При переработке сложных по минеральному составу руд для извлечения серебра в древней металлургии (как минимум с VII в. до н.э.) [29, р. 205] широко применялась технология купелирования [29, р. 198–202; 19]. Неотъемлемой частью этого процесса являлось использование металлического свинца для финальной очистки серебра. Он попутно извлекался из серебряносодержащих руд [29, р. 204]. В таком производстве неизбежно происходила контаминация (загрязнение) серебра рудным свинцом. При этом оба этих металла имели один и тот же источник. Дополнительно было показано, что не происходит фракционирования изотопов свинца в высокотемпературных металлургических процессах [43]. В целом, это позволило ряду исследователей обосновать предположение, что металл наследует свинцово-изотопные характеристики источника [25; 35; 36; 11]. Следствием этого, стало широкое применение в археологии при интерпретации Pb-Pb данных подхода, известного как метод «свинцово-изотопного происхождения» (lead isotope provenance). Наиболее детальное описание этого метода приведено в работах [43; 25; 42]. Он предполагает прямое сопоставление изотопного состава Pb предмета с таковым в рудах месторождений регионов, в пределах которых в древние времена велась их разработка. Такой подход основывается на существующих различиях месторождений по изотопному составу Pb [49]. Благодаря такому подходу, была создана обширная база данных (Oxford Archaeological Lead Isotope Database) по изотопному составу Pb в месторождениях Европы и Ближнего Востока, а также артефактов различных исторических эпох [43]. Такой подход, несомненно, имеет ряд недостатков. В частности, не для всех уже отработанных месторождений можно получить необходимые Pb-Pb данные, что ограничивает возможности этого подхода. Отчасти это компенсируется тем обстоятельством, что месторождения, локализованные в пределах единой геологической структуры с близким возрастом и генезисом, обладают схожим изотопным составом свинца. Соответственно, необходимые оценки могут быть получены по результатам изучения других аналогичных по геологии месторождений горнорудного региона. К трудным относятся случаи совпадения изотопного состава Pb сразу с несколькими месторождениями, расположенными в разных горнорудных районах. В качестве примера можно привести месторождения Родопских гор (южная часть Болгарии) и Бая-Маре (Румыния), имеющих близкие свинцово-изотопные характеристики [11]. Привлечение дополнительных критериев, например, данных о составе примесных элементов в металле, а также исторических свидетельств о времени эксплуатации месторождений, позволяет более надежно ограничить потенциальные источники металла [42; 2].

Метод «свинцово-изотопного происхождения» несколько десятилетий главенствовал в археологии при определении источников металла. Однако, такой подход, как это было отмечено в работах [37; 31; 18], не учитывал воздействие таких факторов, как повторная переработка изделия с добавлением новых порций металла, а

также использование металла, полученного из разных источников. Из-за смешения в металлургических процессах происходит усреднение изотопного состава Pb в изделии, что «затушевывает» первичные изотопные «метки» источников. Особенно это актуально для производственных центров средневековья [32; 30]. Хотя повторная переработка «старого» серебра активно использовалась уже и в римской монетной чеканке [39; 48]. К этому времени в Европе сформировалась разветвленная сеть торговых путей и достаточно крупные металлургические центры, для которых могла использоваться обширная по географии ресурсная база. В совокупности это делает практически невозможным идентификацию источника металла, если подразумевать под этим конкретное месторождение или горнорудный район. В этой связи, весьма эффективным подходом, известным как «metal stocks provenance», является увязывание производственных центров с свинцово-изотопными характеристиками предметов и кладов металлического сырья [32; 30; 33]. Клады металлического сырья обладают своими географическими и историческими характеристиками, что дает возможность выявлять пути поступления металла в тот или иной регион и проследить эволюцию источников во времени.

В этой связи, широкие возможности дает изучение серебра монет. Часто они имеют точную привязку не только по времени, но и по месту чеканки. Развитие этого направления в археологии и в нумизматических исследованиях позволило реконструировать, например, не только регионы добычи серебра, но и оценить их индивидуальный вклад при чеканке серебряных монет в центрах Древней Греции [42; 20; 6].

Источники серебра для монетной чеканки в греческий и римский периоды по данным изотопного анализа Pb

Благодаря целенаправленной работе, продолжавшейся на протяжении десятков лет, была установлена существенная (более трети) роль в добыче металла древнегреческого периода таких месторождений, как Лаврион (Аттика, Греция), Родопские горы и месторождения островов архипелага Киклады. Отмечено поступление металла, хотя и в меньших количествах, и из других регионов древнего мира: Малая Азия, юг Иберийского п-ва (Испания), Румыния [43; 25; 45]. Как показали последние исследования, помимо перечисленных выше месторождений, рудники Эвбеи (о-в Эгина) также внесли свой вклад в добычу серебра для чеканки монет древнегреческого периода [42]. Кроме того, установлен существенный вклад месторождений Родопских гор в организацию ранней добычи серебра, по сравнению с долей серебра из разработок в Пангеоне и Палья Кавала (Греция) [45]. Дополнительно было показано, что несмотря на снижение добычи в VII–VI вв. до н.э. на месторождениях Иберийского п-ва из-за потери рынков сбыта [23], их вклад в общее поступление серебра для чеканки монет был сопоставим с вкладом добычи серебра на месторождениях Пангеона, Румынии и острова Тасос. Резко подчиненное значение в греческий период имела добыча серебра на рудниках северо-западной Сардинии, Туниса, Галлии и Британии, и многочисленных серебряных рудопроявлений на Ближнем Востоке [15].

Обобщение полученных данных позволило реконструировать эволюцию источников серебра для греческого и римского периодов. В частности, показано [14 р. 19–20], что, начиная с V в. до н.э. для чеканки серебряных монет использовался металл, поступавший, главным образом, из рудников Лавриона, на которых добыча постепенно снижалась (за исключением короткого всплеска в середине IV в. до н.э.). Выпадающие объемы компенсировались за счет увеличения добычи серебра в других районах Эгейского моря (на месторождениях Халкидики, о-в Сифнос, Кикладского архипелага и др.) и в северо-западной Анатолии. Вполне вероятно, что в этот период уже использовалось переплавленное серебро ранней добычи (из рудников Лавриона и о-ва Сифнос, где добыча прекратилась ок. 500 г. до н.э.). Месторождения южных Родопов (Эссими, Кирки, Тасос) также использовались для добычи монетного серебра [14, р. 21]. Разработку известных рудников Пангеона исторически связывают лишь с деятельностью царя Филиппа II после 356 г. до н.э., однако добыча руды в Пангеоне, особенно на хребте Лекани (горная цепь Палья Кавала), относится исследователями больше к архаическому и классическому периодам. К этому же периоду относится и использование для чеканки монет «старого» (переплавленного) серебра из иберийских месторождений, расцвет добычи на которых приходится на догреческий период (новый пик эксплуатации этих месторождений относится уже к римскому времени). Аналитические исследования последних лет также показали, что для чеканки монет использовалось серебро, полученное из разных, часто удаленных друг от друга, регионов: так, серебряные монеты греческих полисов Малой Азии служили источником металла при чеканке монет в материковой Греции [14, р. 21]. Судя по имеющимся аналитическим данным, для чеканки монеты до Второй пунической войны активно использовалось слитковое серебро, полученное в результате массовой переплавки греческих монет, источник для которых находился преимущественно в месторождениях Великой Греции, разрабатывавшихся в более раннее время [48]. Вторым крупным регионом добычи и поставки серебра в Рим с конца II в. до н.э. стала Испания (зона Пиренейского массива); но определенный массив серебра поступал в Рим в качестве дани и добывался на многочисленных мелких месторождениях Римской империи [13].

В основе этих исследований лежат материалы (серебряные монеты, слитки, изделия из серебра), происхождение которых связано с греческими и римскими производственными центрами, расположенными преимущественно в Южной и Западной Европе. В то же время, за рамками этих работ остался существенный, как по масштабу, так и по значимости, нумизматический материал Северного Причерноморья. В настоящее время получены данные по изотопному составу Pb для нескольких выборок монетного серебра, циркулировавшего на Боспоре в разные хронологические периоды. Сами результаты опубликованы в серии работ и представлены в открытом доступе на платформе Isoarchmet-iaras (<https://www.archaeolog.ru/ru/data/isoarchmet-iaras>).

Аналитическая выборка и метод исследования

Имеющаяся выборка по боспорскому серебру состоит из 78 монет и охватывает период от 494–490 гг. до н.э. по 238–239 гг. н.э. Основная доля проб (49 ед.), дати-

руемая периодом от 494–490 гг. по 425–400 гг. до н.э., приходится на триоболы и диоболы Пантикапея, Синдики и раннего Боспора (или Боспора Киммерийского) из состава Фанагорийского клада 2005 г. [41]. Небольшое количество проб характеризует период от 400–375 гг. до н.э. по 90–80 гг. до н.э. (12 проб; диоболы, тетраболы и гемидрахма Фанагории, драхма Херсонеса, драхма и гемидрахма Пантикапея) [5]. Третью группу, датируемую периодом от 134–138 гг. н.э. по 238–239 гг. н.э., составляет 17 проб, полученных от римских денариев Андриана, Аврелия, Антонина Пия, Семптимия Севера, северокавказских подражаний, статеров Котиса III, Рискупорида IV и Ининфимея [1].

Pb-Pb данные для боспорского монетного серебра были получены в ИГЕМ РАН с помощью высокоточного метода многоколлекторной масс-спектрометрии с ионизацией вещества в индуктивно связанной плазме (MC-ICP-MS) с трассированием проб. В качестве трасера использовался моноэлементный раствор таллия с известным изотопным составом. Измерения проводились в режиме «мокрой» плазмы на масс-спектрометре NEPTUNE (ThermoFinnigan). Итоговая погрешность ($\pm 2SD$) измерения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, оцененная по долговременной воспроизводимости результатов параллельных анализов стандартного образца SRM 981 и стандарта горной породы AGV-2, не превышала 0.03%. Детальное описание применявшихся методик в процессе химической подготовки проб, а также условий, при которых проводились масс-спектрометрические измерения, приведено в работах [3; 4].

Результаты. Изученные выборки боспорских монет демонстрирует высокую степень неоднородности металла по изотопному составу Pb. Значения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ изменяются в широких диапазонах от 18.40 до 19.09, от 15.63 до 15.70 и от 38.48 до 39.10 соответственно. Общий масштаб выявленных вариаций весьма значителен: коэффициент вариации (v , %) для отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ равен 0.54 и 0.24% соответственно. Близкие по масштабу вариации изотопного состава Pb ранее были установлены, например, для выборок дирхемов, датированных IX–X вв. [33], для серебряных монет X–XI вв. из клада Хэдебю [32] и изделий из серебра древнерусских (X–XII вв.) сельских поселений Суздальского Ополья [18]. Во всех приведенных примерах было показано, что высокая степень неоднородности предметов по изотопному составу Pb обусловлена использованием металла из нескольких рудных источников. Внутри изученных выборок боспорских монет, представляющих три хронологических периода: V в. до н.э., III–I вв. до н.э. и II–III вв. н.э., повышенный разброс изотопных отношений Pb ($v_{6/4} = 0.2\text{--}0.4\%$, $v_{8/4} = 0.16\text{--}0.31\%$) сохраняется.

Сопоставление изотопного состава Pb в изученных монетах различных периодов приведено на Pb-Pb изотопных диаграммах в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, а также $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (рис. 1). В целом, не наблюдается контрастных отличий по изотопному составу Pb между металлом монет V в. до н.э., III–I вв. до н.э. и II–III вв. н.э. На $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ диаграмме точки форми-

руют относительно небольшие поля, которые частично перекрываются между собой. Наибольший разброс демонстрируют Pb-Pb данные, полученные для монет V в. до н.э. При этом большая часть точек этой группы монет расположена на графике компактно и только две из них, отвечающие триоболам 490 г. до н.э., по своим изотопным отношениями существенно отличаются, определяя максимальные и минимальные значения изотопных отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Следует отметить, что в общем характере распределения данных на графике проявлена определенная закономерность. Она выражается в корреляции изотопного состава Pb в металле с возрастом предмета. Изотопный состав Pb в монетах V в. до н.э. в среднем обладает более высокими содержаниями радиогенных изотопов ^{206}Pb и ^{207}Pb , тогда как группа монет, датированных II–III вв. н.э., характеризуется в целом низкими $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ отношениями. Напротив, точки монет III–I вв. до н.э. занимают область между ними. Таким образом, на графике поля разных возрастных групп монет последовательно смещены друг относительно друга. Эта закономерность указывает на эволюцию во времени источников серебра боспорских монет.

Анализ Pb-Pb данных боспорских монет с помощью $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ диаграммы показывает наличие двух трендов, отличающихся между собой по наклону. Наиболее крутой тренд ($\text{tg}=2$) образован подавляющим большинством точек боспорских монет V в. до н.э. В стороне от этого тренда лежат только две точки (триоболы 490 г. до н.э.), о которых ранее говорилось при рассмотрении диаграммы в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Второй, более пологий ($\text{tg}=1.4$) тренд представлен точками боспорских монет, датированных II–III вв. н.э. При этом часть точек, формирующих его левую часть, ложатся на тренд боспорских монет V в. до н.э. Точки монет III–I вв. до н.э. не обнаруживают общей закономерности в своем расположении на диаграмме. Большая часть из них попадает на тренд раннего боспорского серебра. Лишь малая часть из них расположена в стороне от описанных трендов. Высокие значения коэффициентов корреляции ($\text{КК}=0.97$) и положение трендов на диаграмме позволяет их рассматривать как линии смещения серебра из нескольких источников. Можно выделить как минимум три основных источника, которые в разных пропорциях присутствуют в большинстве исследованных боспорских серебряных монет. При этом, серебро одного из этих источников фиксируется во всех трех изученных хронологических выборках монет.

Дискуссия. Многочисленные исследования [42; 20] показывают, что уже начиная с классического периода при чеканке монет и изготовлении серебряных украшений мог использоваться металл, происхождение которого было связано с разными географическими регионами. При этом, в зависимости от исторического периода источники поступления металла в производственные центры, а также их число могли существенно меняться. Дополнительным фактором, вносящим неопределенность в интерпретацию Pb-Pb данных, также является повторное использование более древнего («старого») серебра. В этой связи наиболее надежным и информативным является подход, основанный на сравнительном анализе изотопных

характеристик изученных предметов с опорными выборками артефактов, имеющих хорошую культурную, хронологическую и территориальную привязку. Используя такой подход, нами было проведено сравнение Pb-Pb данных боспорских монет с несколькими опорными выборками монетного серебра и ювелирных изделий интересующих нас исторических периодов, происходящих из разных производственных центров Древней Греции и Римской Империи (рис. 2). Наиболее ранняя сравнительная выборка представлена монетным серебром VI–V вв. до н.э., найденного на территории различных древнегреческих городов [6; 14, p. 19–20; 13]. Основным источником металла для них предполагаются серебряные рудники Лавриона. Именно с рудниками Лавриона, эксплуатация которых происходила в VII–V вв. до н.э. с пиком добычи в первой четверти V в. до н.э. [42], связана значительная (ок. 36%) часть объема добычи древнегреческого серебра. Вторая группа сравнения представлена монетным серебром II в. до н.э., чеканка которого происходила в производственных центрах Карфагена и Рима [48; 6]. Для этого периода характерно поступление серебра из нескольких источников, среди которых доминировали месторождения Иберийского полуострова, Центрального массива Франции, Таскании и п-ва Сардиния. Третья группа объединяет Pb-Pb данные, полученные по серебряным предметам из клада «Сокровище Маренго», датированным второй половиной II – первой половиной III в. н.э., а также для монетного серебра Рима периода правления императора Септимия Севера (193–211 гг. н.э.). Большинство исследователей для позднеимперского периода предполагают, что серебро могло иметь разнообразное происхождение. В качестве источника указываются месторождения Центрального массива Франции [8], горнорудных районов Западной Европы – горы Гарц и Рейнские сланцевые горы [36; 22], горы Роша Монтана [12], а также Иберийского п-ва [48]. При этом нет единого мнения о том, какой из источников был доминирующим.

Сравнение результатов изучения боспорского монетного серебра с изотопным составом Pb в металле перечисленных выше опорных выборок представлен на рисунке (рис. 2–3). Как следует из приведенных данных на Pb-Pb диаграммах, существенная часть (~40%) раннего боспорского серебра хорошо согласуется по изотопному составу Pb с дидрахемами и статерами V–IV вв. до н.э. чеканки монетных дворов древнегреческих центров (Метапонт, Сиракузы, Тараз и др.). Точки этой выборки лежат в поле значений отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, а также на линии смешения в координатах $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ боспорского монетного серебра. Однако Pb-Pb данные ранних боспорских монет демонстрируют существенно больший разброс значений по сравнению с выборкой древнегреческих монет из материковой Греции, для которых в качестве основного источника металла рассматриваются, прежде всего, месторождения Лавриона. Этот факт указывает на то, что для большей части боспорских монет месторождения Лавриона не являлись ни единственным, ни основным источником серебра. Согласно имеющимся данным [42], наряду с месторождениями Лавриона, заметный вклад в общей добыче серебра в древнегреческий период принадлежал также месторождениям территорий северной

окраины Эгейского моря (Родопские горы, п-в Халкидики, гора Пангеон), а также некоторых островов архипелага Киклады (например, о-ва Тассос, Сифнос). Вопрос идентификации других источников серебра ранних боспорских монет рассмотрен нами ниже.

В свою очередь, боспорское монетное серебро, датированное III–I вв. до н.э., не согласуется по величинам изотопных отношений Pb с близкими по времени серебряными монетами римского происхождения. Фиксируемые отличия весьма существенны, что полностью исключает связь боспорского серебра с источниками металла, использовавшегося в это время при чеканке монет в римских производственных центрах. Напротив, сходство изотопного состава Pb металла большей части боспорских монет III–I вв. до н.э. с таковым в монетах V в. до н.э. допускает возможность происхождения серебра из одних и тех же источников (например, за счет повторного использования раннего серебра). Исключением являются только три монеты (драхма, II в. до н.э., Херсонес; диабол, II в. до н.э., Фанагория; и гемидрахма, I в. до н.э., Фанагория), свинец которых показывает пониженное содержание ^{207}Pb . В их составе присутствует часть серебра, по происхождению близкого к монетам Карфагена, датированных концом III в. до н.э.

Поздняя группа (II–III вв. н.э.) боспорских монет по своим свинцово-изотопным характеристикам ближе всего к выборке денариев периода правления императора Семптимия Севера (193–211 гг. н.э.). Хотя, по сравнению с римскими денариями, в них отмечается в среднем более высокое отношение $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и на диаграмме в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ vs $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ их точки смещены в сторону значений, характерных для боспорского монетного серебра более ранних периодов. В свою очередь, сонахождение точек позднего боспорского серебра и римских денариев на общем тренде, проявленном на диаграмме в координатах $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ vs $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$, свидетельствует о том, что в этих выборках присутствует существенная часть серебра из одного и того же источника. Однако, доля серебра этого источника меньше в боспорских монетах.

Источники боспорского монетного серебра

Отмеченные выше закономерности в вариациях Pb-изотопных характеристик боспорского монетного серебра и их соотношение с таковыми в монетах и изделиях известных производственных центров Древней Греции и Рима позволяют ограничить возможные регионы происхождения металла, принимая во внимание исторические свидетельства о горнорудных производствах этого периода. Как уже было отмечено выше, ведущим источником серебра в VI–V вв. до н.э. являлись месторождения Восточного Средиземноморья [46]. Данные об изотопном составе Pb в серебро-содержащих рудах основных месторождений этого региона представлены на Pb-Pb диаграммах (рис. 4). Здесь же показаны Pb-Pb данные для боспорского монетного серебра как V, так и III–I вв. до н.э. Объединение этих двух разновременных групп обусловлено близостью изотопного состава Pb в их металле. Это может косвенно указывать на частичное сохранение добычи в этом регионе до I в. до н.э. Однако,

с нашей точки зрения, более предпочтительным объяснением является повторное использование «старого» серебра при чеканке монет второй хронологической группы, поскольку, по имеющимся данным [14], к этому времени многие месторождения региона были истощены, а их разработка в значительной степени была прекращена. Соотношение полей изотопного состава рудного Pb и боспорского монетного серебра подтверждает существующие представления о том, что именно Восточное Средиземноморье являлось главным источником металла для классического периода. Монетное серебро этого периода ближе всего по своим Pb-изотопным характеристикам к рудам месторождений Лавриона, п-ва Халкидики и Родопских гор. Нельзя полностью исключить и долю серебра из других месторождений региона Эгейского моря, о чем свидетельствует некоторое смещение точек монет относительно полей упомянутых месторождений. Однако доля последних была минимальна. В целом, такой вывод согласуется с опубликованными оценками [42] о вкладе месторождений Восточного Средиземноморья в общий баланс поступления серебра для классического периода. В соответствии с ними, месторождения Лавриона, п-ва Халкидики и Родопских гор обеспечили более 70% от общего объема добычи серебра. Из наших данных также видно, что если для монет V в. до н.э. фиксируется серебро месторождений Лавриона, то в выборке III–I вв. до н.э. этот источник уже не проявлен. Большая часть боспорского монетного серебра III–I вв. до н.э. по своему происхождению связана с месторождениями п-ва Халкидики и Родопских гор. Кроме того, фиксируется присутствие небольшой доли серебра неустановленного источника, аналогичного источнику монетного серебра у Карфагена в этот период. Хотя доля этого серебра была незначительной, однако этот факт можно принять во внимание для определения пути получения Боспором части сырья, скорее всего, с периферии Карфагена (в этот период о-в Сардиния и Иберийский п-в являются основными центрами добычи и выплавки «свежего» серебра).

Две монеты из выборки V в. до н.э. обладают аномальным изотопным составом свинца по сравнению с монетами этой выборки. Одна из них демонстрирует минимальные значения изотопных отношений Pb, а другая – напротив, максимальные. В работе [42] показано, что аномально высокий изотопный состав Pb в древнегреческих монетах может быть связан с поступлением небольшого (~2%) количества серебра из Малой Азии. Локализованные в пределах Таврских гор серебро-полиметаллические месторождения обладают сходным с предполагаемым источником «аномально» радиогенным изотопным составом Pb [17]. В нашем случае, источник поступления серебра с низкими отношениями Pb надежно идентифицировать не удалось. В то же время, он весьма близок к колчеданно-полиметаллическим месторождениям Иберийского полуострова, активная разработка которых велась уже в период Римской Империи; соответственно, ранняя боспорская выборка содержит небольшую долю иберийского серебра.

Период II–III вв. н.э., который представляет третья выборка монет, найденных на территории Боспора, характеризуется существенным разнообразием регионов,

в которых осуществлялась эксплуатация серебряносодержащих месторождений. На рисунке 5 приведены поля изотопных составов Pb наиболее крупных горнорудных регионов, эксплуатация месторождений которых велась как в рассматриваемый, так и в более ранние исторические периоды. Привлечение последних дает возможность выявить случаи повторного использования серебра. Результаты сопоставления показывают, что серебро боспорских монет третьей хронологической группы практически идентично по изотопному составу Pb с Au-Ag месторождениями гор Роша Монтанэ (Румыния), что свидетельствует в пользу происхождения их металла из этого региона. Отметим, что территория Роша Монтанэ, после вхождения ее в состав Римской Империи в начале II в. н.э., стала одним из крупнейших горнодобывающих регионов позднеримского периода. По имеющимся оценкам [27], только золота здесь было добыто более 1500 т, а серебра, как минимум, на порядок больше. В то же время, несколько более крутой наклон тренда изотопного состава Pb руд месторождений Роша Монтанэ, по сравнению с боспорским монетным серебром, предполагает присутствие в некоторых монетах серебра и из другого источника (рис. 5). На продолжении этого тренда находится область значений изотопных отношений $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ колчеданно-полиметаллических месторождений юго-запада Иберийского полуострова. Руды этих месторождений, среди которых присутствуют известные крупные месторождения Монте Ромеро и Рио Тинто, отличаются комплексным составом. В них помимо основных полезных компонентов (Cu, Pb, Zn) в промышленных количествах присутствуют серебро и золото [19; 29]. Основной пик разработки этих месторождений приходится на период с I в. до н.э. по III в. н.э., когда территория Иберийского полуострова вошла в состав Римской Империи [48]. Отметим, что наибольший вклад этого источника устанавливается в собственно римских монетах II–III вв. н.э. [40]. В случае боспорского монетного серебра небольшая доля металла из месторождений юго-западной части Иберийского полуострова фиксируется только в трех исследованных монетах (денарий Антонина Пия, денарий Аврелия и боспорский статер Котиса III). Другим примером присутствия серебра не только из месторождений Роша Монтанэ является римский денарий Адриана (134–138 г. н.э.). При его чеканке могло частично использоваться серебро месторождений Центрального массива Франции. В других изученных монетах из выборки этого периода серебро этого источника полностью отсутствует. Аналогичный вывод можно сделать и в отношении месторождений районов Рейнских гор и Гарц. Свинец в них обладает существенно более низкими изотопными отношениями Pb по сравнению со свинцом боспорских монет.

Заключение. Обобщение имеющихся Pb-Pb данных по боспорскому монетному серебру и их сопоставление с опорными выборками монетного серебра, результаты которых были получены в последние несколько лет, позволяют заключить следующее. На территорию Боспора, в т.ч. для чеканки монет, поступало серебро из нескольких источников, роль которых менялась во времени. Для V в. до н.э. характерна тесная связь Боспорского царства с центрами добычи серебра на матери-

ковой Греции. Как для Боспора, так и для Древней Греции основными источниками серебра в V в. до н.э. являются месторождения Лавриона, полуострова Халкидики и Родопских гор, при этом общая доля серебра из месторождений последних двух регионов превышала долю серебра из месторождений Лавриона. Полученные данные также показывают, что в III–I вв. до н.э. существенных изменений в источниках боспорского серебра не происходило. Оно остается сходным с серебром, полученным, главным образом, из месторождений полуострова Халкидики и Родопских гор, что может как косвенно указывать на сохранение добычи серебра в этих регионах, так и на активную переработку «старого» серебра, использовавшегося для обеспечения боспорской чеканки. Особенностью данного периода на Боспоре является полное исчезновение (вымывание) серебра, добытого на месторождениях Лавриона, а также присутствие небольшого количества серебра, аналогичного по происхождению монетному серебру Карфагена (основные месторождения, контролировавшиеся Карфагеном, находились на Иберийском п-ве и на о-ве Сардиния). Что важно, для этого периода пока не фиксируется присутствие серебра, добытого на месторождениях, находившихся в этот период под контролем Рима.

Радикальное изменение в источниках поступления серебра на территорию Боспорского царства фиксируется для выборки монетного серебра II–III вв. н.э.; при этом, не ясно, на каком этапе произошло это изменение, поскольку в аналитической выборке пока присутствует существенный хронологический разрыв, попадающий на период вхождения Боспора в сферу влияния Римской империи. Корреляция изотопного состава Pb между римскими и боспорскими монетами II–III вв. н.э. уже свидетельствует о наличии тесных взаимоотношений между Боспорским царством и Римской Империей. Основным источником боспорского монетного серебра II–III вв. н.э. являлась крупнейшая горнорудная провинция того времени – Роша Монтанэ (территория Дакии). Хотя отмечается поступление серебра в небольших количествах и из месторождений Иберийского полуострова, уже перешедших под контроль Рима; серебро из еще одного центра, обеспечивавшего работу римских монетных дворов – Центральный массив Франции, встречается единично на территории Боспора в этот период. «Старое» монетное серебро, характерное для более ранних периодов, встречается в выборке в единичных случаях (варварские подражания римским денариям) [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

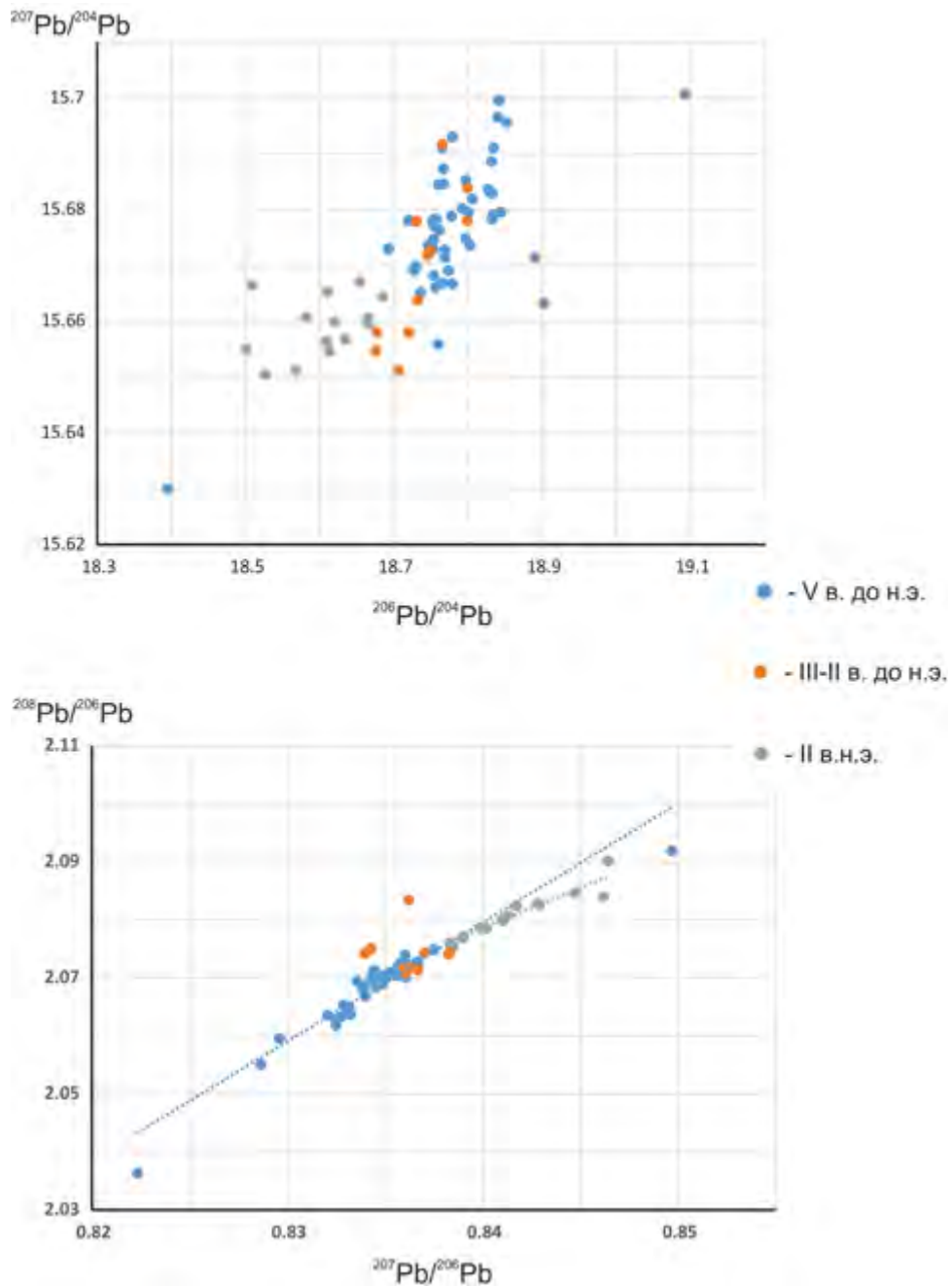


Рис. 1. Сопоставление изотопного состава Pb в монетном серебре V в. до н.э. – II–III вв. н.э. с Боспора [41; 5; 1]

Fig. 1. Comparison of isotopic composition of Pb in coin silver from the fifth century BC to the second and third centuries AD from Bosphoros [41; 5; 1]

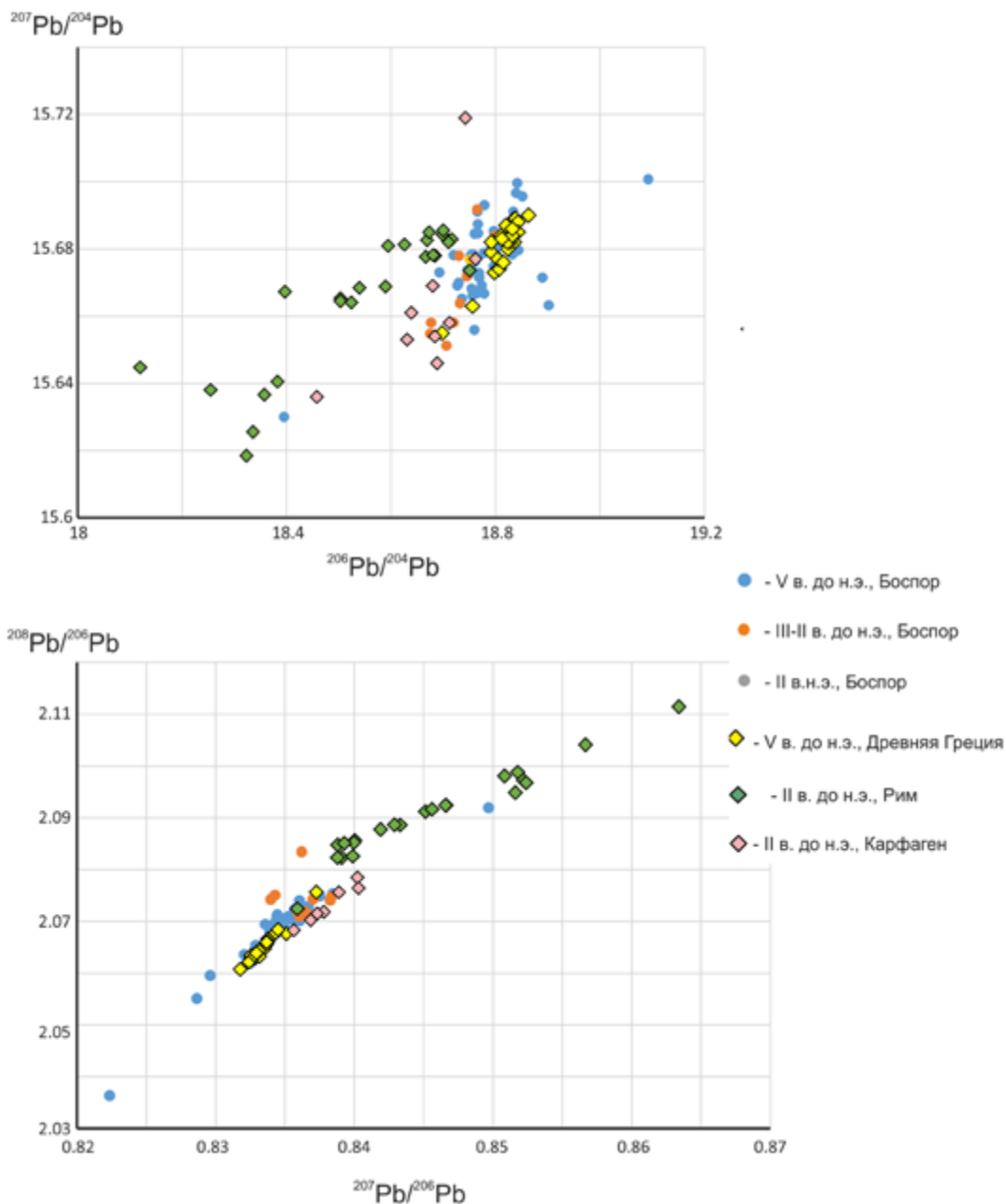


Рис. 2. Сопоставление изотопного состава Pb в монетном серебре Боспорского царства [41; 5; 1], Древней Греции [14; 13], Рима и Карфагена [48; 40; 7]

Fig. 2. Comparison of isotopic composition of Pb in coin silver from the Bosporan Kingdom [41; 5; 1], Magna Graecia [14; 13], Rome, and Carthage [48; 40; 7]

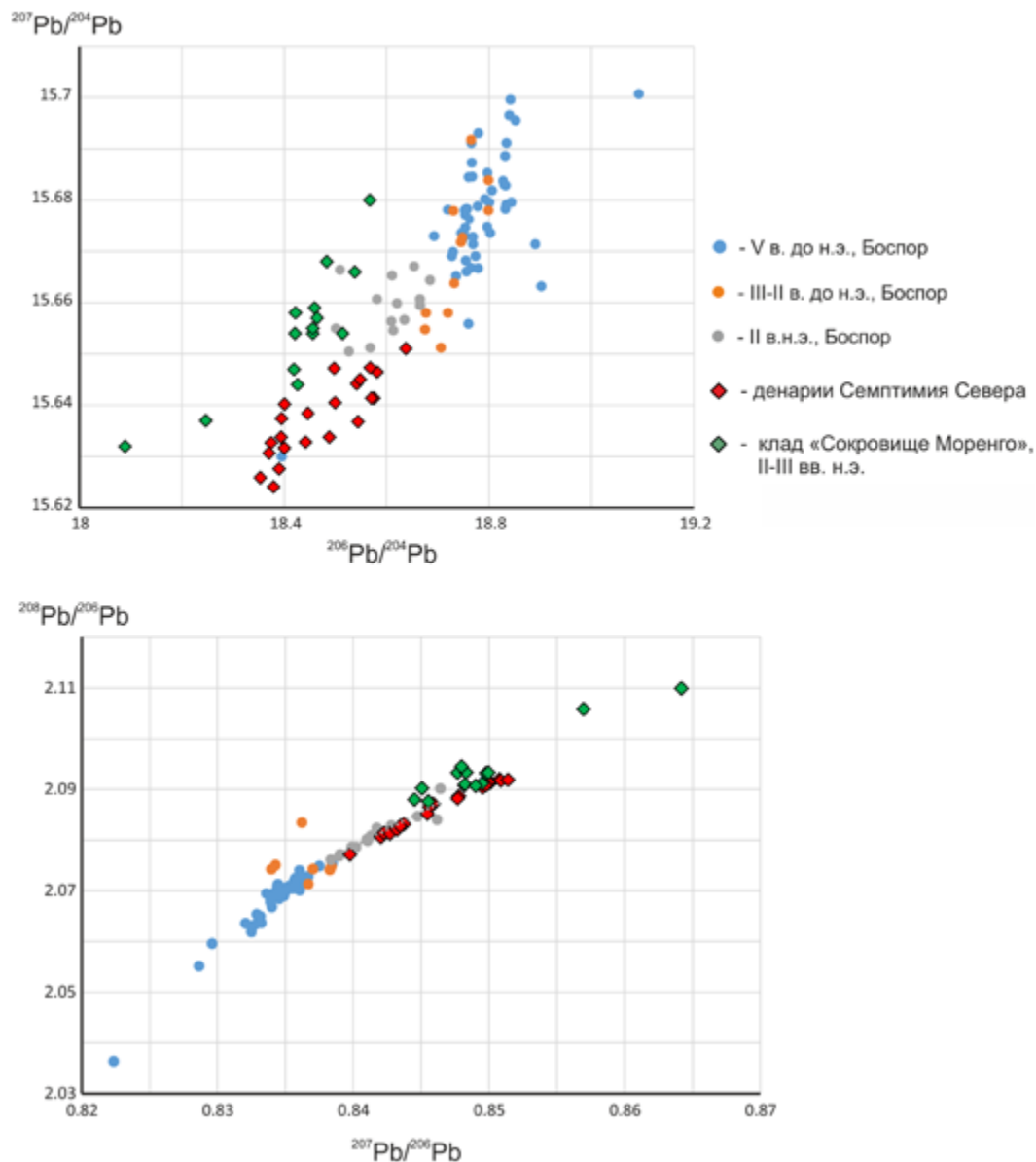


Рис. 3. Сопоставление изотопного состава Pb в монетном серебре Боспорского царства [41; 5; 1] и серебряных монетах II в. н.э. римских монетных дворов [40]

Fig. 3. Comparison of isotopic composition of Pb in coin silver from the Bosphoran Kingdom [41; 5; 1] and the second-century AD silver coins of the Roman mints [40]

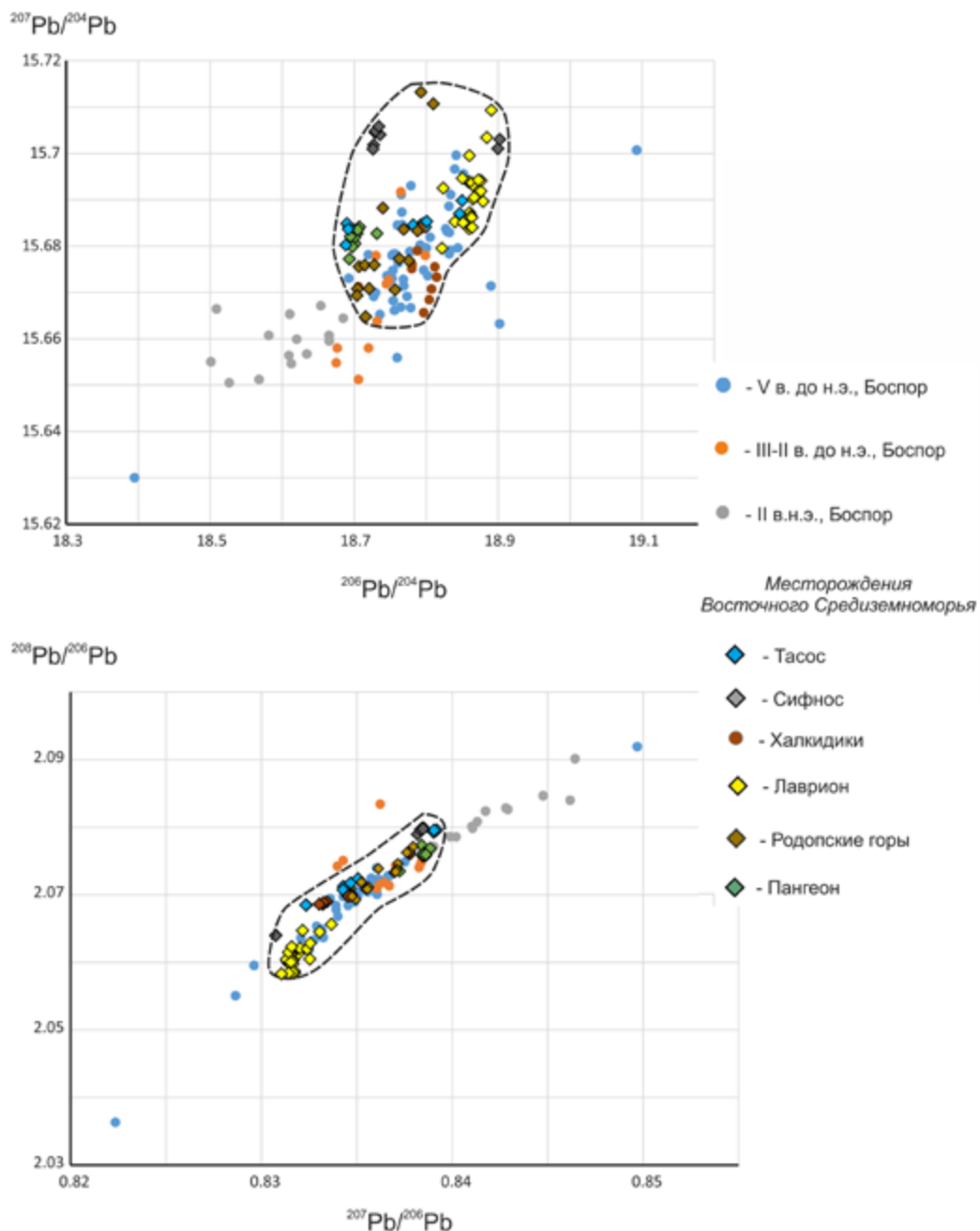


Рис. 4. Сопоставление изотопного состава Pb монетного серебра Боспорского царства [41; 5; 1] и серебросодержащих руд месторождений главных горнодобывающих регионов Древней Греции [43; 46]
Fig. 4. Comparison of isotopic composition of Pb in coin silver from the Bosphoran Kingdom [41; 5; 1] and silver ores of the main mining regions of the Magna Graecia [43; 46]

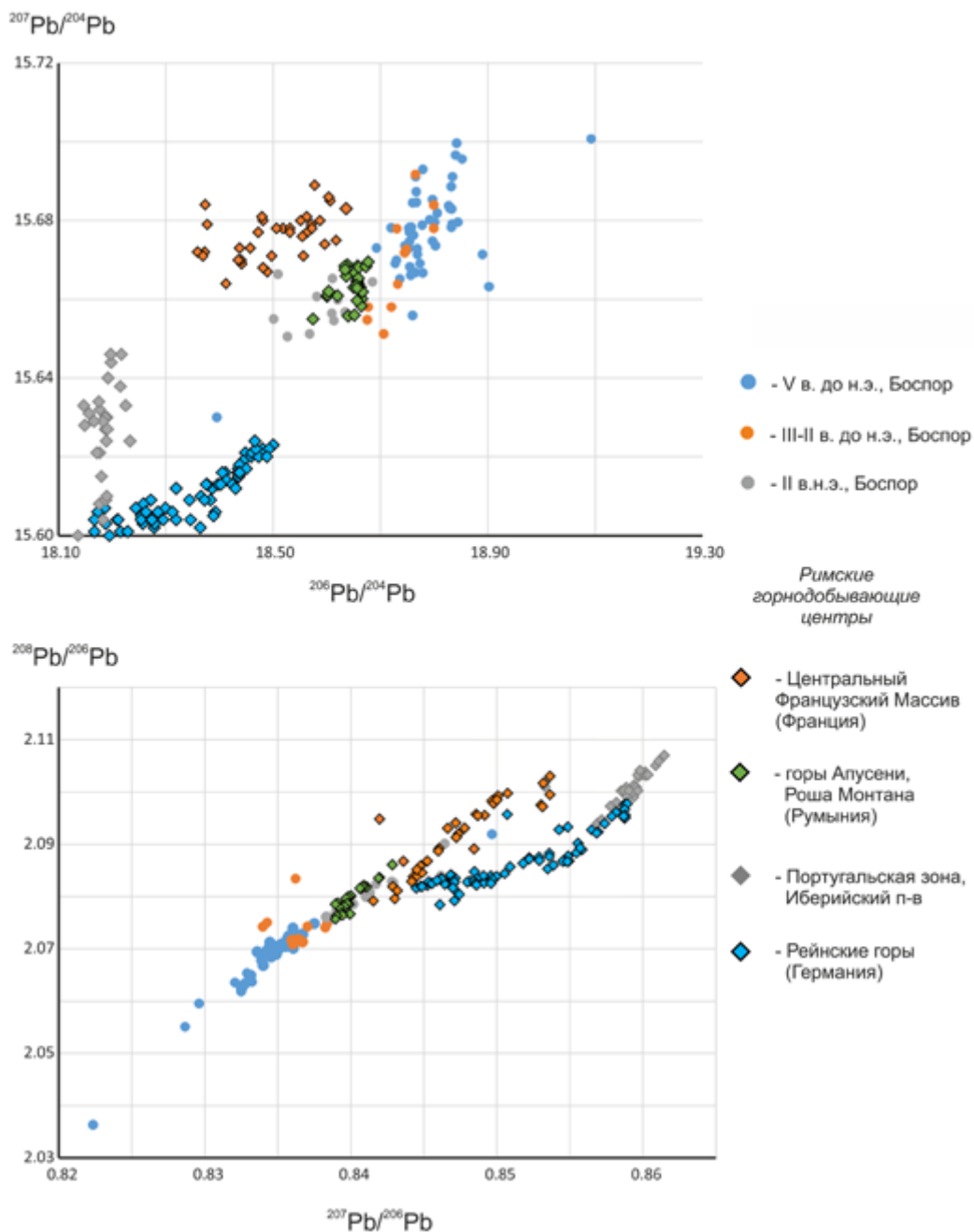


Рис. 5. Сопоставление изотопного состава Pb монетного серебра Боспорского царства [41; 5; 1] и серебро-содержащих руд месторождений главных горнодобывающих регионов Древнего Рима [11; 8; 22; 34]

Fig. 5. Comparison of isotopic composition of Pb in coin silver from the Bosphoran Kingdom [41; 5; 1] and silver ores of the main mining regions of the Roman Imperia [11; 8; 22; 34]

1. Сапрыкина И.А., Чугаев А.В., Абрамзон М.Г., Новичихин А.М., Смекалова Т.Н. Исследование серебряных античных монет методами РФА и изотопного состава Pb (фонды Анапского археологического музея) // Сибирские исторические исследования. История. 2020. № 2. С. 148–169. <https://doi.org/10.17223/2312461X/28/10>.
2. Сапрыкина И.А., Чугаев А.В., Пельгунова Л.А., Родинкова В.Е., Столярова Д.А. К проблеме источников поступления серебра на территорию Поднепровья в раннесредневековое время (по материалам клада из Суджи-Замостья) // *Stratum plus*. 2017. № 5. С. 41–56.
3. Чернышев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н. 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*. 2007. № 11. С. 1155–1168.
4. Чугаев А.В., Чернышев И.В., Лебедев В.А., Еремина А.В. Изотопный состав свинца и происхождение четвертичных лав вулкана Эльбрус (Большой Кавказ, Россия): данные высокоточного метода MC-ICP-MS // *Петрология*. 2013. Т. 21(1). С. 20–33.
5. Abramzon M.G., Saprykina I.A., Chugaev A.V., Presnyakova N.N., Tereschenko E.Yu. Chemical and Pb-Isotopic Characteristics of Metal of Silver Coins of the Bosphorus and Ionia Dated from the 5th to 1st centuries BC // *Nanobiotechnology Reports*. 2021. Vol. 16 (5). P. 616–622.
6. Albarède F., Blichert-Toft J., de Callataÿ F., Davis G., Debernardi P., Gentelli L., Gitler H., Kemmers F., Klein S. From Commodity to Money: the Rise of Silver Coinage around the Ancient Mediterranean (sixth – first centuries BCE) // *Archaeometry*. 2021. Vol. 63(1). P. 142–155.
7. Albarède F., Blichert-Toft J., Rivoal M., Telouk P. A glimpse into the Roman finances of the Second Punic War through silver isotopes // *Geochemical Perspectives Letters*. 2016. Vol. 2. P. 127–137.
8. Angelini I., Canovaro C., Venturino M., Artioli G. The Silver Treasure of Marengo: Silver Provenancing and Insights into Late Antiquity Roman and Gallo-Roman Hoards // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2019. Vol. 11(9). P. 4959–4970.
9. Artioli G., Canovaro C., Nimis P., Angelini I. LIA of Prehistoric Metals in the Central Mediterranean Area: A Review // *Archaeometry*. 2020. Vol. 62(5). P. 1079–1079.
10. Barnes I.L., Gramlich J.W., Diaz M.G., Brill R.H. The Possible Change of Lead Isotope Ratios in the Manufacture of Pigments: A Fractionation Experiment // *Archaeological Chemistry-II*. 1978. Vol. 171. P. 273–277.
11. Baron S., Carignan J., Laurent S., Ploquin A. Medieval Lead Making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): Tracing Ore Sources Using Pb Isotopes // *Applied Geochemistry*. 2006. Vol. 21(2). P. 241–252.
12. Baron S., Tămaş C.G., Cauuet B., Munoz M. Lead Isotope Analyses of Gold-silver Ores from Roşia Montană (Romania): a First Step of a Metal Provenance Study of Roman Mining Activity in Alburnus Maior (Roman Dacia) // *Journal of Archeological Science*. 2011. Vol. 38(5). P. 1090–1100.
13. Birch T., Kemmers F., Klein S., Seitz H.-M., Höfer H.E. Silver for the Greek Colonies: Issues Analysis and Preliminary Results from a Large-scale Coin Sampling Project // *Mines, Metals, and Money. Ancient World Studies in Science, Archaeology and History* / Eds. K.A. Sheedy, G. Davis. The Royal Numismatic Society. Special Publication No. 56. London, 2020. P. 102.
14. Birch T., Westner K.J., Kemmers F., Klein S., Höfer H.E., Seitz H.-M. Retracing Magna Graecia's silver: coupling lead isotopes with a multi-standard trace element procedure // *Archaeometry*. 2019. Vol. 62(5). P. 1–28.
15. Blichert-Toft J., Callataÿ F., Telouk P., Albarède F. Origin and fate of the greatest accumulation of silver in ancient history // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2022. Vol. 14. Article 64.
16. Brill R.H., Wampler J.M. Isotope Studies of Ancient Lead // *American Journal of Archaeology*. 1967. Vol. 71(1). P. 63–77.
17. Ceyhan N. Lead Isotope Geochemistry of Pb-Zn Deposits from Eastern Taurides, Turkey // Master's Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University, Ankara, Turkey. Ankara, 2003. P. 55–62.
18. Chugaev A., Merkel S., Zaytseva I.E. Lead Isotopic Characteristics and Metal Sources for the Jewelry

- in the Medieval Rural Settlements from the Suzdal Region (Kievan Rus') // *Metalla, History*. 2020. Vol. 25(2). P. 101–125.
19. Craddock P. Production of Silver across the Ancient World // *ISIJ International*. 2014. Vol. 54(5). P. 1085.
 20. Davis G. The Rise of Silver Coinage in the Ancient Mediterranean. 2021. URL: <https://www.asor.org/onetoday/2021/12/rise-of-silver-coinage>.
 21. Davis G., Gore D.B., Sheedy K.A., Albarède F. Separating silver sources of Archaic Athenian coinage by comprehensive compositional analyses // *Journal of Archaeological Science*. 2020. Vol. 114. P. 105068. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105068>.
 22. Durali-Mueller S., Brey G.P., Wigg-Wolf D., Lahaye Y. Roman Lead Mining in Germany: its Origin and Development through Time Deduced from Lead Isotope Provenance Studies // *Journal of Archaeological Science*. 2007. Vol. 34(10). P. 1555–1567.
 23. Eshel T., Erel Y., Yahalom-Mack N., Tirosh O., Gilboa A. From Iberia to Laurion: Interpreting Changes in Silver Supply to the Levant in the Late Iron Age Based on Lead Isotope Analysis // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2022. Vol. 14. Article 120.
 24. Forbes R.J. *Metallurgy in Antiquity: A Notebook for Archaeologists and Technologists*. Brill, Leiden, 1950. 480 p.
 25. Gale N.H., Stos-Gale Z. Lead and Silver in the Ancient Aegean // *Scientific American*. 1981. Vol. 244(6). P. 176–193.
 26. Gale N.H., Stos-Gale Z.A. Cycladic lead and silver metallurgy // *Annual of British School at Athens*. 1981. Vol. 76. P. 169–224.
 27. Gold-Silver-Telluride Deposits of the Golden Quadrilateral, South Apuseni Mts., Romania. Guidebook of the International Field Workshop of IGCP project 486, Alba Iulia, Romania, 31st August – 7th September 2004 / Eds. N.J. Cook, C.L. Ciobani. 2014. 266 p. (IAGOD Guidebook Series, 12).
 28. Grögler N., Geiss J., Grünenfelder M., Houtermans F.C. Isotopenuntersuchungen zur Bestimmung der Herkunft römischer Bleirohre und Bleibarren // *Zeitschrift für Naturforschung*. 1966. Bd. 21a. S. 1167–1172.
 29. Kassianidou V. Extraction of silver from complex poly-metallic ores. The evidence from Monte Romero // *Mining and Metal Production through the Ages* / Eds. P. Craddock, J. Lang. London: The British Museum Press, 2003. P. 198–206.
 30. Kershaw J., Merkel S.W., Oravisjärvi J., Kooijman E., Kielman-Schmitt M. The scale of dirham imports to the Baltic in the ninth century: New evidence from archaeometric analyses of early Viking-Age silver // *Fornvännen. Journal of Swedish Antiquarian Research*. 2021. Bd. 116(3). P. 185–204.
 31. Merkel S.W. Provenancing Viking Age silver: methodological and theoretical considerations and a case study // *Silver, Butter, Cloth: Monetary and Social Economies in the Viking Age* / Eds. J. Kershaw, G. Williams. Oxford: University Press, 2019. P. 206–226.
 32. Merkel S., Hauptmann A., Hilberg V., Lehmann R. Isotopic analysis of silver from Hedeby and some nearby hoards // *Viking Worlds. Things, spaces and movement* / Ed. M.H. Eriksen, U. Pedersen, B. Rundberget, I. Axelsen, H. Berg. Oxford: Oxbow, 2015. P. 193–210.
 33. Merkel S., Sverchkov L., Hauptmann A., Hilberg V., Bode M., Lehmann R. 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*. 2013. P. 62–66.
 34. Milot J., Blichert-Toft J., Sanz M.A., Malod-Dognin C., Télouk P., Albarède F. Silver isotope and volatile trace element systematics in galena samples from the Iberian Peninsula and the quest for silver sources of Roman coinage // *Geology*. 2022. Vol. 50. P. 422–426.
 35. Monna F., Hamer K., Lévêque J., Sauer M. Pb isotopes as a reliable marker of early mining and smelting in the Northern Harz province (Lower Saxony, Germany) // *Journal of Geochemical Exploration*. 2000. Vol. 68(3). P. 201–210.
 36. Niederschlag E., Pernicka E., Seifert T., Bartelheim M. The Determination of Lead Isotope Ratios by Multiple Collector Icp-MS: A Case Study of Early Bronze Age Artefacts and their Possible Relation with Ore Deposits of the Erzgebirge // *Archaeometry*. 2003. Vol. 45(1). P. 61–100.

37. Pernicka E. Provenance Determination of Archaeological Metal Objects // *Archaeometallurgy in Global Perspective. Methods and Syntheses. Chapter: Provenance Determination of Archaeological Metal Objects* / Eds. B.W. Roberts, C. Thornton. Springer, 2014. P. 239–268.
38. Pollard A.M., Heron C. *Archaeological Chemistry*. Cambridge: RSC Publishing, 2008. 437 p. <https://doi.org/10.1039/9781847558299>.
39. Ponting M.J. Recycling and Roman Silver Coinage // *Recycling and Reuse in the Roman Economy* / Eds. C.N. Duckworth, A. Wilson. Oxford: University Press, 2020. P. 265–284.
40. Ponting M., Evans J.A., Pashley V. Fingerprinting of Roman mints using laser-ablation MC-ICP-MS lead isotope analysis // *Archaeometry*. 2003. Vol. 45(4). P. 591–597.
41. Saprykina I.A., Chugaev A.V., Gunchina O.L., Pelgunova L.A. XRF- and Pb-Pb Isotopic Analyses of the Hoard Coins // *The Beginning of Coinage in the Cimmerian Bosphorus (a Hoard from Phanagoria)* / Eds. V.D. Kuznetsov, G.R. Tsetskhladze. Leuven, Paris, Bristol: Peeters Publ., 2021. P. 59–80. (*Colloquia Antiqua*, 34).
42. Stos-Gale Z.A., Davis G. The Minting/Mining Nexus: New Understandings of Archaic Greek Silver Coinage from Lead Isotope Analysis // *Mines, Metals, and Money. Ancient World Studies in Science, Archaeology and History* / Eds. K.A. Sheedy, G. Davis. London, 2020. P. 87–100. (*Metallurgy in Numismatics*, 6).
43. Stos-Gale Z., Gale N. Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID) // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2009. Vol. 1. P. 195–213.
44. Tite M.S. In defence of lead isotope analysis // *Antiquity*. 1996. Vol. 70(270). P. 959–962.
45. Vaxevanopoulos M., Blichert-Toft J., Davis G., Albarède F. New findings of ancient Greek silver sources // *Journal of Archaeological Science*. 2021. Vol. 137. P. 03375078. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105474>.
46. Vaxevanopoulos M., Davis G., Milot J., Blichert-Toft J., Malod-Dognin C., Albarède F. Narrowing provenance for ancient Greek silver coins using Ag isotopes and Sb contents of potential ores // *Journal of Archaeological Science*. 2022. Vol. 145. P. 105645. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105645>.
47. Wertime T.A. *The Beginnings of Metallurgy: A New Look* // *Sciences. New Series*. 1973. Vol. 182(4115). P. 883.
48. Westner K.J., Birch T., Kemmers F., Klein S., Höfer H.E., Seitz H.-M. Rome's rise to power. Geochemical analysis of silver coinage from the Western Mediterranean (fourth to second centuries BCE) // *Archaeometry*. 2020. Vol. 62(3). P. 577–592.
49. Zartman R.E. Lead isotopic provinces in the cordillera of the western United States and their geologic significance // *Economic Geology*. 1974. Vol. 69. P. 792–805.

REFERENCES

1. Saprykina I.A., Chugaev A.V., Abramzon M.G., Novichikhin A.M., Smekalova T.N. Investigating Ancient Silver Coins Via XRF Analysis and Pb-Isotopic Method (Anapa Archaeological Museum Collections). *Sibirskie istoricheskie issledovaniia* [Siberian Historical Research], 2020, vol. 2, pp. 148–169. <https://doi.org/10.17223/2312461X/28/10>.
2. Saprykina I.A., Chugaev A.V., Pel'gunova L.A., Rodinkova V.E., Stoliarova D.A. On the sources of silver imports into the Dnieper region in the Early Middle Ages (based on the materials of the Sudzha-Zamostie collection of finds). *Stratum plus*, 2017, vol. 5, pp. 41–56.
3. Chernyshev I.V., Chugaev A.V., Shatagin K.N. High-Precision Pb Isotope Analysis by Multicollector-Icp-Mass-Spectrometry Using $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$ Normalization: Optimization and Calibration of the Method for the Studies of Pb Isotope Variations. *Geochemistry*, 2007, vol. 11, pp. 1155–1168.
4. Chugaev A.V., Chernyshev I.V., Lebedev V.A., Eremina A.V. Lead Isotope Composition and Origin of the Quaternary Lavas of Elbrus Volcano, the Greater Caucasus: High-Precision Mc-Icp-Ms Data. *Petrology*, 2013, vol. 21(1), pp. 20–33.
5. Abramzon M.G., Saprykina I.A., Chugaev A.V., Presnyakova N.N., Tereschenko E.Yu. Chemical and

- Pb-Isotopic Characteristics of Metal of Silver Coins of the Bosphorus and Ionia Dated from the 5th to 1st centuries BC. *Nanobiotechnology Reports*, 2021, vol. 16(5), pp. 616–622.
6. Albarède F., Blichert-Toft J., de Callatay F., Davis G., Debernardi P., Gentelli L., Gitler H., Kemmers F., Klein S. From Commodity to Money: the Rise of Silver Coinage around the Ancient Mediterranean (sixth – first centuries BCE). *Archaeometry*, 2021, vol. 63(1), pp. 142–155.
 7. Albarède F., Blichert-Toft J., Rivoal M., Telouk P. A glimpse into the Roman finances of the Second Punic War through silver isotopes. *Geochemical Perspectives Letters*, 2016, vol. 2, pp. 127–137.
 8. Angelini I., Canovaro C., Venturino M., Artioli G. The Silver Treasure of Marengo: Silver Provenancing and Insights into Late Antiquity Roman and Gallo-Roman Hoards. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2019, vol. 11(9), pp. 4959–4970.
 9. Artioli G., Canovaro C., Nimis P., Angelini I. LIA of Prehistoric Metals in the Central Mediterranean Area: A Review. *Archaeometry*, 2020, vol. 62(5), pp. 1079–1079.
 10. Barnes I.L., Gramlich J.W., Diaz M.G., Brill R.H. The Possible Change of Lead Isotope Ratios in the Manufacture of Pigments: A Fractionation Experiment. *Archaeological Chemistry-II*, 1978, vol. 171, pp. 273–277.
 11. Baron S., Carignan J., Laurent S., Ploquin A. Medieval Lead Making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): Tracing Ore Sources Using Pb Isotopes. *Applied Geochemistry*, 2006, vol. 21(2), pp. 241–252.
 12. Baron S., Tămaş C.G., Cauuet B., Munoz M. Lead Isotope Analyses of Gold-silver Ores from Roşia Montană (Romania): a First Step of a Metal Provenance Study of Roman Mining Activity in Alburnus Maior (Roman Dacia). *Journal of Archeological Science*, 2011, vol. 38(5), pp. 1090–1100.
 13. Birch T., Kemmers F., Klein S., Seitz H.-M., Höfer H.E. Silver for the Greek Colonies: Issues Analysis and Preliminary Results from a Large-scale Coin Sampling Project. Sheedy K.A., Davis G. (Eds.), *Mines, Metals, and Money. Ancient World Studies in Science, Archaeology and History*, London, 2020, p. 102.
 14. Birch T., Westner K.J., Kemmers F., Klein S., Höfer H.E., Seitz H.-M. Retracing Magna Graecia's silver: coupling lead isotopes with a multi-standard trace element procedure. *Archaeometry*, 2019, vol. 62(5), pp. 1–28.
 15. Blichert-Toft J., Callatay F., Telouk P., Albarède F. Origin and fate of the greatest accumulation of silver in ancient history. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2022, vol. 14, article 64.
 16. Brill R.H., Wampler J.M. Isotope Studies of Ancient Lead. *American Journal of Archaeology*, 1967, vol. 71(1), pp. 63–77.
 17. Ceyhan N. Lead Isotope Geochemistry of Pb-Zn Deposits from Eastern Taurides, Turkey. *Master's Thesis, Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University, Ankara, Turkey*, Ankara, 2003, pp. 55–62.
 18. Chugaev A., Merkel S., Zaytseva I.E. Lead Isotopic Characteristics and Metal Sources for the Jewelry in the Medieval Rural Settlements from the Suzdal Region (Kievan Rus'). *Metalla, History*, 2020, vol. 25(2), pp. 101–125.
 19. Craddock P. Production of Silver across the Ancient World. *ISIJ International*, 2014, vol. 54(5), pp. 1085.
 20. Davis G. *The Rise of Silver Coinage in the Ancient Mediterranean*. 2021. URL: <https://www.asor.org/aneetoday/2021/12/rise-of-silver-coinage>.
 21. Davis G., Gore D.B., Sheedy K.A., Albarède F. Separating silver sources of Archaic Athenian coinage by comprehensive compositional analyses. *Journal of Archaeological Science*, 2020, vol. 114, p. 105068. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.105068>.
 22. Durali-Mueller S., Brey G.P., Wigg-Wolf D., Lahaye Y. Roman Lead Mining in Germany: its Origin and Development through Time Deduced from Lead Isotope Provenance Studies. *Journal of Archaeological Science*, 2007, vol. 34(10), pp. 1555–1567.
 23. Eshel T., Erel Y., Yahalom-Mack N., Tirosh O., Gilboa A. From Iberia to Laurion: Interpreting Changes in Silver Supply to the Levant in the Late Iron Age Based on Lead Isotope Analysis. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2022, vol. 14, article 120.
 24. Forbes R.J. *Metallurgy in Antiquity: A Notebook for Archaeologists and Technologists*. Brill, Leiden, 1950, 480 p.
 25. Gale N.H., Stos-Gale Z. Lead and Silver in the Ancient Aegean. *Scientific American*, 1981, vol. 244(6),

- pp. 176–193.
26. Gale N.H., Stos-Gale Z.A. Cycladic lead and silver metallurgy. *Annual of British School at Athens*, 1981, vol. 76, pp. 169–224.
 27. Cook N.J., Ciobani C.L. (Eds.), *Gold-Silver-Telluride Deposits of the Golden Quadrilateral, South Apuseni Mts., Romania. Guidebook of the International Field Workshop of IGCP project 486, Alba Iulia, Romania, 31st August – 7th September 2004*. 2014, 266 p. (IAGOD Guidebook Series, 12).
 28. Grögler N., Geiss J., Grünenfelder M., Houtermans F.C. Isotopenuntersuchungen zur Bestimmung der Herkunft römischer Bleirohre und Bleibarren. *Zeitschrift für Naturforschung*, 1966, Bd. 21a, pp. 1167–1172.
 29. Kassianidou V. Extraction of silver from complex poly-metallic ores. The evidence from Monte Romero. Craddock P., Lang J. (Eds.), *Mining and Metal Production through the Ages*, London, The British Museum Press, 2003, pp. 198–206.
 30. Kershaw J., Merkel S.W., Oravsjärvi J., Kooijman E., Kielman-Schmitt M. The scale of dirham imports to the Baltic in the ninth century: New evidence from archaeometric analyses of early Viking-Age silver. *Fornvännen. Journal of Swedish Antiquarian Research*, 2021, Bd. 116(3), pp. 185–204.
 31. Merkel S.W. Provenancing Viking Age silver: methodological and theoretical considerations and a case study. Kershaw J., Williams G. (Eds.), *Silver, Butter, Cloth: Monetary and Social Economies in the Viking Age*, Oxford University Press, 2019, pp. 206–226.
 32. Merkel S., Hauptmann A., Hilberg V., Lehmann R. Isotopic analysis of silver from Hedeby and some nearby hoards. Eriksen M.H., Pedersen U., Rundberget B., Axelsen I., Berg H. (Eds.), *Viking Worlds. Things, spaces and movement*, Oxford, Oxbow Publ., 2015, pp. 193–210.
 33. Merkel S., Sverchkov L., Hauptmann A., Hilberg V., Bode M., Lehmann R. 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*, 2013, pp. 62–66.
 34. Milot J., Blichert-Toft J., Sanz M.A., Malod-Dognin C., Télouk P., Albarède F. Silver isotope and volatile trace element systematics in galena samples from the Iberian Peninsula and the quest for silver sources of Roman coinage. *Geology*, 2022, vol. 50, pp. 422–426.
 35. Monna F., Hamer K., Lévêque J., Sauer M. Pb isotopes as a reliable marker of early mining and smelting in the Northern Harz province (Lower Saxony, Germany). *Journal of Geochemical Exploration*, 2000, vol. 68(3), pp. 201–210.
 36. Niederschlag E., Pernicka E., Seifert T., Bartelheim M. The Determination of Lead Isotope Ratios by Multiple Collector Icp-MS: A Case Study of Early Bronze Age Artefacts and their Possible Relation with Ore Deposits of the Erzgebirge. *Archaeometry*, 2003, vol. 45(1), pp. 61–100.
 37. Pernicka E. Provenance Determination of Archaeological Metal Objects. Roberts B.W., Thornton C. (Eds.), *Archaeometallurgy in Global Perspective. Methods and Syntheses. Chapter: Provenance Determination of Archaeological Metal Objects*, Springer, 2014, pp. 239–268.
 38. Pollard A.M., Heron C. *Archaeological Chemistry*. Cambridge, RSC Publishing, 2008, 437 p. <https://doi.org/10.1039/9781847558299>.
 39. Ponting M.J. Recycling and Roman Silver Coinage. Duckworth C.N., Wilson A. (Eds.), *Recycling and Reuse in the Roman*, Oxford University Press, 2020, pp. 265–284.
 40. Ponting M., Evans J.A., Pashley V. Fingerprinting of Roman mints using laser-ablation MC-ICP-MS lead isotope analysis. *Archaeometry*, 2003, vol. 45(4), pp. 591–597.
 41. Saprykina I.A., Chugaev A.V., Gunchina O.L., Pelgunova L.A. XRF- and Pb-Pb Isotopic Analyses of the Hoard Coins. Kuznetsov V.D., Tsetskhladze G.R. (Eds.), *The Beginning of Coinage in the Cimmerian Bosphorus (a Hoard from Phanagoria)*, Leuven, Paris, Bristol, Peeters Publ., 2021, pp. 59–80. (*Colloquia Antiqua*, 34).
 42. Stos-Gale Z.A., Davis G. The Minting/Mining Nexus: New Understandings of Archaic Greek Silver Coinage from Lead Isotope Analysis. Sheedy K.A., Davis G. (Eds.), *Mines, Metals, and Money. Ancient World Studies in Science, Archaeology and History*, London, 2020, pp. 87–100. (Metallurgy in Numismatics, 6).
 43. Stos-Gale Z., Gale N. Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope

- database (OXALID). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2009, vol. 1, pp. 195–213.
44. Tite M.S. In defence of lead isotope analysis. *Antiquity*, 1996, vol. 70(270), pp. 959–962.
45. Vaxevanopoulos M., Blichert-Toft J., Davis G., Albarède F. New findings of ancient Greek silver sources. *Journal of Archaeological Science*, 2021, vol. 137, 03375078. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2021.105474>.
46. Vaxevanopoulos M., Davis G., Milot J., Blichert-Toft J., Malod-Dognin C., Albarède F. Narrowing provenance for ancient Greek silver coins using Ag isotopes and Sb contents of potential ores. *Journal of Archaeological Science*, 2022, vol. 145, 105645. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2022.105645>.
47. Wertime T.A. The Beginnings of Metallurgy: A New Look. *Sciences. New Series*, 1973, vol. 182(4115), P. 883.
48. Westner K.J., Birch T., Kemmers F., Klein S., Höfer H.E., Seitz H.-M. Rome's rise to power. Geochemical analysis of silver coinage from the Western Mediterranean (fourth to second centuries BCE). *Archaeometry*, 2020, vol. 62(3), pp. 577–592.
49. Zartman R.E. Lead isotopic provinces in the cordillera of the western United States and their geologic significance. *Economic Geology*, 1974, vol. 69, pp. 792–805.

Информация об авторах

Чугаев А. В. – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории изотопной геохимии и геохронологии Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Researcher ID J-6713-2018, Scopus ID 57214957595.

Сапрыкина И. А. – кандидат исторических наук, старший научный сотрудник Отдела сохранения археологического наследия Института археологии РАН, Researcher ID F-3875-2014, Scopus ID 55513038300.

Authors information

Chugaev A. V. – Candidate of Science (Geology and Mineralogy), Leading Researcher of the Laboratory of Isotope Geochemistry and Geochronology of the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of RAS, Researcher ID J-6713-2018, Scopus ID 57214957595.

Saprykina I. A. – Candidate of Science (History), Senior Researcher, Department of Archaeological Heritage Conservation of the Institute of Archeology of RAS, Researcher ID F-3875-2014, Scopus ID 55513038300.