

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ
ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

УДК 902.01, 543.062

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ И СВИНЦОВО-ИЗОТОПНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛА СЕРЕБРЯНЫХ МОНЕТ БОСПОРА
И ИОНИИ V–I ВВ. ДО Н.Э.

© 2021 г. М. Г. Абрамзон^{1,2,*}, И. А. Сапрыкина^{1,6,**}, А. В. Чугаев³,
Н. Н. Преснякова⁴, Е. Ю. Терещенко^{4,5}

¹ Институт археологии РАН, Москва, Россия

² Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

³ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

⁴ Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, Россия

⁵ Институт кристаллографии им. А.В. Шубникова ФНИЦ “Кристаллография и фотоника” РАН, Москва, Россия

⁶ Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Россия

*E-mail: abramzon-m@mail.ru

**E-mail: dolmen200@mail.ru

Поступила в редакцию 30.05.2021 г.

После доработки 30.05.2021 г.

Принята к публикации 14.06.2021 г.

Рассмотрены результаты изучения элементного состава металла и Pb–Pb-данные серебряных монет Боспора и Ионии из раскопок Фанагории. Выборка включает в себя 21 монету, относящуюся к двум хронологическим группам 494–400 и 120/110–90/80 гг. до н.э. Это чеканки Пантикапея, Синдики, Фанагории и неизвестного центра Ионии (?). Исследование элементного состава металла выполнено методом безэталонового рентгенофлуоресцентного анализа; качественный анализ для части монет выполнен методом растровой электронной микроскопии (СЭМ, ЭРМ) на базе НИЦ “Курчатовский институт”. Изучение изотопного состава Pb в серебре монет проводили методом многоколлекторной масс-спектрометрии с ионизацией вещества в индуктивно связанной плазме. Полученные данные указывают на использование для чеканки боспорских монет в V–I вв. до н.э. серебра из эпитермальных золото-серебряных и серебро-полиметаллических месторождений различных регионов Средиземноморья, а именно: месторождений Лавриона, Македонии, острова Тасос и группы островов архипелага Киклады. Установлено, что высокопробное серебро монет V в. до н.э. дополнительно разбавлялось медью и использовалось для чеканки монет во II–I вв. до н.э.

DOI: 10.1134/S1992722321050022

ВВЕДЕНИЕ

Исследуемое серебро из раскопок Фанагории представлено 20 боспорскими монетами (Пантикапей – 10 экз., Фанагория – 9 экз., Синдика – 1 экз.) и чеканом неизвестного центра Ионии (?) – 1 экз. (рис. 1). Материал делится на две хронологические группы (табл. 1). В раннюю группу входят 10 монет V в. до н.э. (№ 1–8, 21), найденные в слоях поздней архаики–ранней классики на акрополе. Древнейшие из них – триоболы доархеанактидского периода ок. 494–480 гг. до н.э., битые по эгинскому стандарту (№ 1, 2). Эти находки происходят из руин зданий и оборонительных сооружений на акрополе Фанагории, погибших в пожаре ок. 480/479 г. К ним примыкает ранняя серебряная монета неизвестного ионийского (?) центра № 21 (ок. 480–470 гг. до н.э.). Затем следуют пантикапейские монеты 480–450 гг. до н.э.

персидского стандарта (№ 3–7). Замыкают группу диоболы с легендой АПОЛ ок. 438–400 гг. до н.э. аттического стандарта (№ 8, 9) и диобол Синдики ок. 425–400 гг. до н.э. (№ 20) [1, 2].

Вторую группу составляют монеты позднеэллинистического периода, представленные чеканками двух центров: Пантикапея (№ 10) и Фанагории (№ 11–19). Фанагорийские монеты № 11–18 отчеканены ок. 120–110 гг. до н.э.; пантикапейская драхма (№ 10) и фанагорийская гемидрахма (№ 19) принадлежат времени Митридата VI. Таким образом, вторая группа охватывает хронологический отрезок от 120/110 по 90/80 гг. до н.э.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ элементного состава серебра монет ряда боспорских монетных дворов и неизвестного

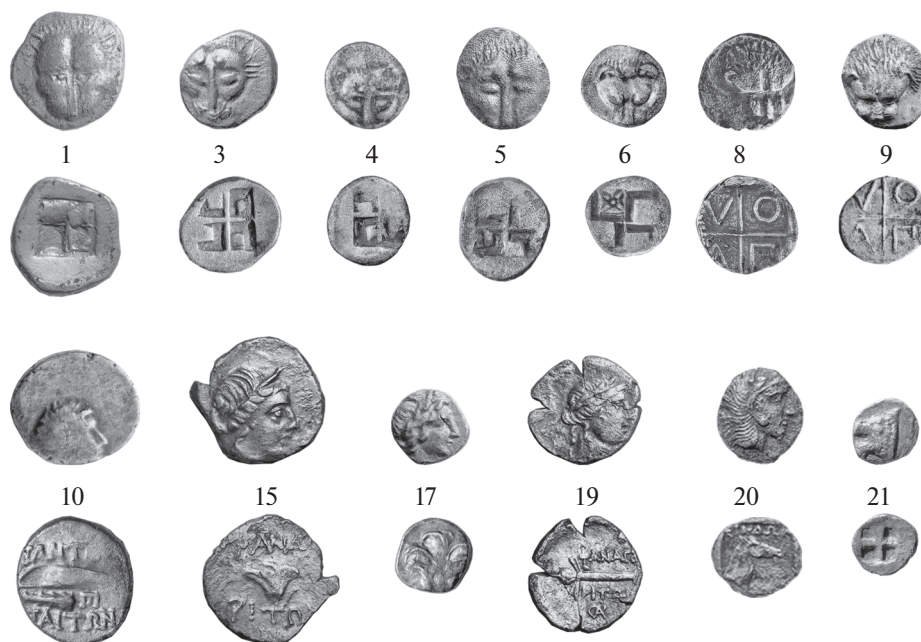


Рис. 1. Серебряные монеты Боспора и Ионии.



Рис. 2. Гистограмма процентного содержания серебра и основных микропримесей в металле монет.

ионийского центра выполняли неразрушающим методом безэталонного рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на спектрометре M1 Mistral (Bruker, Германия); методика исследования монетного серебра опубликована в [3]. Для части монет состав определяли методом растровой электронной микроскопии с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (РЭМ/ЭРМ) на базе НИЦ “Курчатовский институт”. Исследования прово-

дили на двухлучевом растровом электронном микроскопе Versa 3D (Thermo Fisher Scientific), оборудованном энергодисперсионным рентгеновским спектрометром (EDAX) с энергетическим разрешением 128 эВ. Образец с помощью двустороннего диэлектрического углеродного скотча фиксировали на алюминиевом предметном столике, который помещали в камеру прибора. Эксперименты выполняли при ускоряющем

Таблица 1. Список монет выборки из раскопок Фанагории

№	Тип монеты, описание	Код образца	Размер, мм	Вес, г	Литература
РАННИЙ БОСПОР					
1	Триобол, ок. 494–490 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова льва в фас. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на три части	Ф-14-7	16	2.47	[11: № 17]
2	Триобол, к. 490-480 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова льва в фас. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на четыре части	Ф-90-5	13	1.79	[13: № 124]
ПАНТИКАПЕЙ					
3	Триобол, ок. 480–460 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова льва в фас. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на четыре части, рисунок которого напоминает свастику или крылья ветряной мельницы	Ф-12-131	14	2.23	[1, 19: № 7]
4	Диоболы, ок. 480–460 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова льва в фас. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на четыре части, рисунок которого напоминает свастику или крылья ветряной мельницы	Ф-13-68	12	1.25	[10: № 967]
5		Ф-16-6	14	1.89	
6	Диоболы, ок. 460–450 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова льва в фас. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на четыре части, в двух из которых четырехлучевые звезды	Ф-13-135	12	1.52	[11: Taf. 9. 215–227]
7		Ф-13-69	11	1.25	
8	Диоболы, АПОЛ. Ок. 438–400 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова льва в фас. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на четыре части, в каждой из которых по букве: А, П, О, Л	Ф-10-140	13	1.07	[12: № 846]
9		Ф-09-248	13	0.83	
10	Драхма, ок. 110/109–100 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова Аполлона в венке вправо. О.с. Лук в горите; ΠΑΝΤΙΚΑ ΠΑΙΤΩΝ	Ф-10-104	17	3.49	[12: № 928]
ФАНАГОРИЯ					
11	Тетроболы, ок. 120–110 г. до н.э. AR. Л.с. Голова Артемиды вправо, на плече колчан. О.с. Роза; ΦΑΝΑΓΟ ΡΙΤΩΝ	Ф-08-148	15	1.33	[12: № 999]
12		Ф-08-149	14	1.53	
13		Ф-08-150	15	1.61	
14		Ф-09-2	16	2.1	
15		Ф-09-3	17	1.4	
16		Ф-09-86	17	1.9	
17	Фракции (диоболы?) AR. Л.с. Голова Аполлона в венке вправо. О.с. Роза	Ф-86-5	10.5	0.80	[10: № 1167]
18		Ф-96-38	11	0.67	
19	Гемидрахма, ок. 90–80-е гг. до н.э. AR. Л.с. Голова Диониса вправо. О.с. Тирс; ΦΑΝΑΓΟ ΡΙΤΩΝ.	Ф-17-23	15	1.58	[10: № 1178]
СИНДИКА					
20	Диоболы, ок. 425–400 гг. до н.э. AR. Л.с. Голова Геракла в львиной шкуре вправо. О.с. Вдавленный квадрат с головой коня вправо; ΣΙΝΔΩΝ	Ф-83-2	13	1.07	[12: № 1008]
ИОНИЯ, Неизвестный центр					
21	Обол, ок. 480–470 до н. э. AR. Л.с. Голова льва с раскрытой пастью влево. О.с. Вдавленный квадрат, разделенный на четыре сектора	Ф-05-3	9	0.78	[14: Pl. LXXXI. 31–34]

напряжении 30 кВ и при токе 2.2 нА. Элементный анализ выполняли в двух режимах — точно и в выделенной области в режиме сканирования. Глубина проникновения электронного пучка, рассчитанная по методу Монте-Карло, составила ~3.5 мкм. Обработку полученных данных осуществляли при помощи программного обеспечения TEAM (EDAX).

Работы по анализу изотопного состава свинца в микропробах состояли из нескольких стадий и основывались на использовании традиционных методик, адаптированных для археологических предметов из металлов [4]. Химическая подготовка включала в себя разложение образца в неорганических кислотах и последующее получение препаратов свинца с помощью ионообменной

Таблица 2. Результаты исследования элементного состава металла монет из выборки

Дата	Центр чеканки	Номер изотопного анализа	Номер по описи	Cu	Sn	Pb	Zn	As	Sb	Bi	Ag	Fe	Au
494–490 гг. до н.э.	Ранний Боспор	Ф-11	Ф-14-7	2.06	0.38	0.16	0.06	0	0	0.02	95.4	0	1.9
490–480 гг. до н.э.	Ранний Боспор	Ф-10	Ф-90-5	0.24	0.31	1.79	2.24	0.03	0	0.11	94.5	0.09	0.7
480–460 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-7	Ф-16-6	0.13	0.25	0.11	0.01	0	0	0.71	97.7	0	1.14
480–460 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-4	Ф-12-131	0.825	0.3	0.12	0	0	0	0.08	98.3	0.08	0.27
480–460 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-3	Ф-13-68	2.36	0.45	2.01	0	0.2	0.06	0.71	93.4	0	0.81
480–470 гг. до н.э.	Иония, неизв. центр	Ф-5	Ф-05-3	1.504	0.4	2.55	0	0.28	0.03	0.56	93.1	0	1.61
460–450 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-8	Ф-13-135	2.85	0.31	3.52	0	0.21	0.01	0.3	92.7	0	0.12
460–450 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-2	Ф-13-69	3.05	0.39	2.75	0	0.08	0	0.12	93.6	0	0.04
438–400 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-6	Ф-10-140	2.99	0.52	4.08	0.42	0.05	0.15	0.6	90.4	0.14	0.64
448–400 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-1	Ф-09-248	1.56	0.183	0.12	1.97	0	0	0.02	95.3	0.84	0.03
425–400 гг. до н.э.	Синдика	Ф-9	Ф-83-2	1.29	0.28	0.52	0.62	0	0	0.09	96.7	0	0.55
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-21	Ф-08-148	1.5	0	0.5	0	0	0	0	96.5	1	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-18	Ф-08-149	3	0	0.5	0	0	0	0	95.5	0.5	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-14	Ф-08-150	4	0	0.5	0	0	0	0	94.5	0.5	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-13	Ф-09-2	8	0	1	0	0	0	0	90	0.5	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-12	Ф-09-3	17	0	1	0	0	0	0	81	0.5	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-15	Ф-09-86	9	0	1	0	0	0	0	89	0.5	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-19	Ф-86-5	10	2	0.5	0	0	0	0.5	86	0.5	0.5
120–110 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-17	Ф-96-38	6.5	1.5	0.5	0	0	0	0.5	90	0.5	0.5
110/109–100 гг. до н.э.	Пантикапей	Ф-20	Ф-10-104	14	0	0.5	0	0	0	0	84.5	0.5	0.5
90–80 гг. до н.э.	Фанагория	Ф-16	Ф-17-23	10	0	0.5	0	0	0	0.5	88.5	0	0.5

хроматографии. Стадия масс-спектрометрического измерения предполагала анализ рабочих растворов образцов, трассированных таллием, на многоколлекторном масс-спектрометре NEPTUNE (Thermo, Германия). Обработку результатов измерений проводили с помощью программного обеспечения масс-спектрометра NEPTUNE. Нормирование измеренных изотопных отношений свинца на эффект приборной масс-дискриминации осуществляли по опорному отношению $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl} = 2.3889$ с использованием экспоненциального закона [5]. Итоговая погрешность измерения изотопных отношений Pb в металле археологических предметов, оцененная по серии ($N = 15$) параллельных анализов международного стандарта SRM 981 (NBS, США), не превышала 0.02% ($\pm 2SD$).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования элементного состава серебра монет. Анализ элементного состава серебра показал следующее. Монеты, датированные периодом от 494–490 по 425–400 гг. до н.э., отчеканены из высокопробного серебра (вариации в пределах 900–980 проб) с примесью меди

(0.13–3.05%); в серебре также зафиксировано присутствие других коренных примесей: олова, свинца, цинка и других элементов, их содержание, за отдельными исключениями, не превышает 1.0% (рис. 2). Металл трех монет из этой выборки характеризуется высоким процентным содержанием золота, которое также является одной из “коренных” примесей в серебре (1.14–1.9%). Содержание этого элемента варьирует в пределах от 0.04 до 1.9% (табл. 2). Такими монетами из выборки являются: трибол раннего Боспора 494–490 гг. до н.э., дибол Пантикапея 480–460 гг. до н.э. и ионийский обол 480–470 гг. до н.э. Помимо золота в оболе установлено повышенное содержание свинца (2.55%); содержание висмута в серебре относительно низкое. Повышенное содержание свинца (1.79–4.08%) фиксируется и в серебре некоторых других монет этой хронологической группы: в триболе раннего Боспора 490–480 гг. до н.э. и в диболах Пантикапея чеканки 480–460, 460–450, 438–400 гг. до н.э. Две монеты из выборки с повышенным свинцом (трибол раннего Боспора 490–480 гг. до н.э.; дибол Пантикапея чеканки 438–400 гг. до н.э.) содержат цинк в пределах 1.97–2.24%.

Таблица 3. Результаты анализа изотопного состава Pb в микропробах металлов античных монет Боспорского царства

Проба	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Ф-1	18.8342	15.6911	38.8858
Ф-2	18.8417	15.6996	38.8830
Ф-3	18.8005	15.6796	38.8567
Ф-4	18.7684	15.6728	38.8493
Ф-5	18.7459	15.6736	38.8465
Ф-6	18.8317	15.6886	38.8765
Ф-7	18.7598	15.6559	38.8028
Ф-8	18.8519	15.6956	38.8885
Ф-9	18.8325	15.6829	38.8572
Ф-10	18.7789	15.6930	38.9096
Ф-11	18.7297	15.6699	38.8220
Ф-12	18.7450	15.6718	38.8195
Ф-13	18.7321	15.6638	38.8060
Ф-14	18.7480	15.6727	38.8387
Ф-15	18.7200	15.6580	38.7839
Ф-16	18.6767	15.6580	38.7497
Ф-17	18.7990	15.6780	38.9930
Ф-18	18.7303	15.6779	38.8511
Ф-19	18.7992	15.6839	39.0089
Ф-21	18.6753	15.6548	38.7335

Примечание. Аналитическая погрешность измерения изотопных отношений Pb не превышала 0.02% (2SD).

Содержание серебра в монетах, датированных периодом от 120–110 до 90–80 гг. до н.э., оказалось различным. Так, часть фанагорийских тетроболов была отчеканена из высокопробного серебра (940–970 пробы) с примесью меди (1.5–4%), а также свинца и золота в качестве микропримесей (табл. 2). Эти монеты чеканки Фанагорийского монетного двора по своему элементному составу серебра хорошо коррелируют с ранней группой исследованных монет чеканки Пантикапея, Синдики и неизвестного центра Ионии. Другая часть исследованных фанагорийских тетроболов, а также диоболы, гемидрахма и пантикапейская драхма II–I вв. до н.э. были выполнены из многокомпонентного “желтого” серебра низкой пробности (800–900). Понижение пробности обусловлено присутствием высокого содержания в металле меди (концентрация меди фиксируется в пределах 6.5–17%), которая, по видимому, добавлялась искусственно. По номенклатуре и содержанию других примесей серебро монет 120–110 – 90–80 гг. до н.э. сопоставимо с монетным серебром ранней хронологической группы. Лишь серебро двух фанагорийских диоболов демонстрирует присутствие олова в

концентрации 1.5–2% – еще одной значимой “коренной” примеси для драгоценного металла наряду с золотом.

Полученные с помощью методов РФА и СЭМ (РЭМ) данные указывают, что для чеканки монет использовалось скорее всего серебро из разных источников. На это указывает разное содержание в ряде монет “коренных” примесей золота и олова, маркирующих определенные генетические группы месторождений. Отметим, что исследованная выборка раннего периода демонстрирует постоянное присутствие примеси золота в металле монет, что дает основание предполагать использование серебра из группы эпитермальных золото-серебряных месторождений. Напротив, серебро второго хронологического периода оказалось “обогащенным” оловом, что свидетельствует об иной генетической группе серебросодержащих месторождений (возможно, из полиметаллических месторождений). На основе результатов изучения элементного состава серебра можно заключить, что при изготовлении монет второй хронологической группы (монетные дворы Фанагории и Пантикапея) использовалось монетное серебро раннего хронологического периода (высокопробное серебро). При этом серебро ранних монет, использовавшихся в качестве сырья для чеканки монет во II–I вв. до н.э., добавлялось медью.

Результаты исследования изотопного состава Pb в серебре монет. Результаты анализа изотопного состава Pb в микропробах представлены в табл. 3. В целом измеренные величины изотопных отношений Pb в микропробах изменяются в относительно широких пределах: для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 18.675 до 18.852, для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 15.655 до 15.700 и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 38.734 до 39.009. Величины коэффициента вариации (v , %) составляют: для отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $v_{6/4} = 0.28\%$, для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $v_{7/4} = 0.086\%$, а для $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $v_{7/4} = 0.17\%$.

По своему масштабу установленные вариации изотопного состава Pb в микропробах существенно (от 4 до 14 раз) превышают аналитическую погрешность метода (2SD = 0.02%). Таким образом, они являются значимыми. Статистический анализ данных показывает, что существует устойчивая корреляция между значениями отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, а также отношениями $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Величины коэффициента корреляции (r) составляют соответственно $r_{6/7} = 0.86$ и $r_{6/8} = 0.70$. При нанесении Pb–Pb-данных на свинцово-изотопные диаграммы обнаруживаются зависимости в расположении точек. На графике в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ наблюдается тенденция, которая может быть хорошо аппроксимирована линией (коэффициент аппроксимации $R^2 = 0.72$) (рис. 3а).

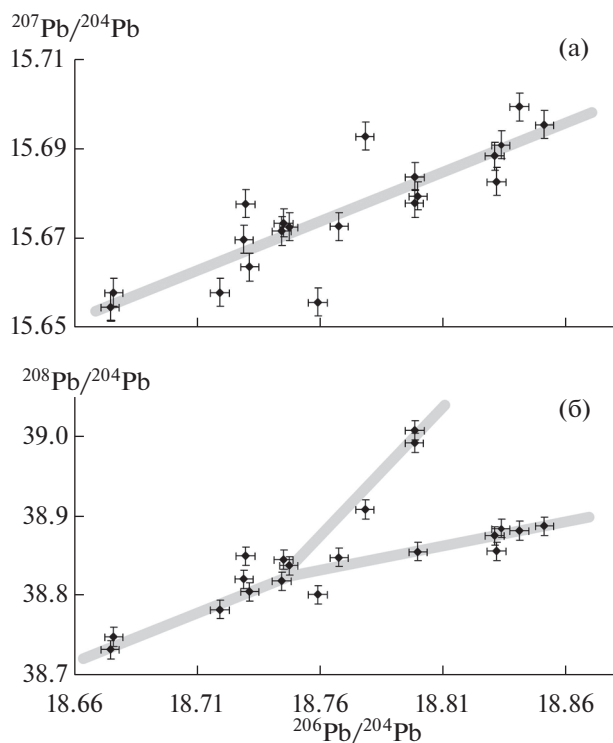


Рис. 3. Изотопные диаграммы Pb–Pb, на которых приведены результаты анализа изотопного состава Pb в микропробах металла, отобранных из античных монет Боспорского царства. На диаграммах серым цветом приведены аппроксимации линейных зависимостей вариации изотопного состава Pb.

На диаграмме в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ наблюдается более сложное распределение точек (рис. 3б). Их положение может быть описано тремя линейными зависимостями, сходящимися в одной области.

На основе статистического анализа Pb–Pb-данных выделено три группы проб, контрастно различающихся по средним величинам отношения $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$. Наиболее многочисленная из них, включающая в себя 10 проб (Ф – 4, 5, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 18), характеризуется средней величиной отношения $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.0715 \pm 0.0014$ (SD). Самая низкая средняя величина отношения $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.0638 \pm 0.0008$ получена для группы, объединяющей соответственно пробы Ф – 1, 2, 6, 8, 9. Высоким средним значением $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ (2.0745 ± 0.0005) обладает группа микропроб Ф – 16, 17, 19, 21. Ни в одну из этих групп не попала микропроба Ф – 3, для которой получено промежуточное значение $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.0668$.

Высокие значения коэффициента корреляции между величинами изотопных отношений Pb, а также близкий к линейному характер распределения точек на изотопных Pb–Pb-диаграммах дает основание заключить, что установленные вариации

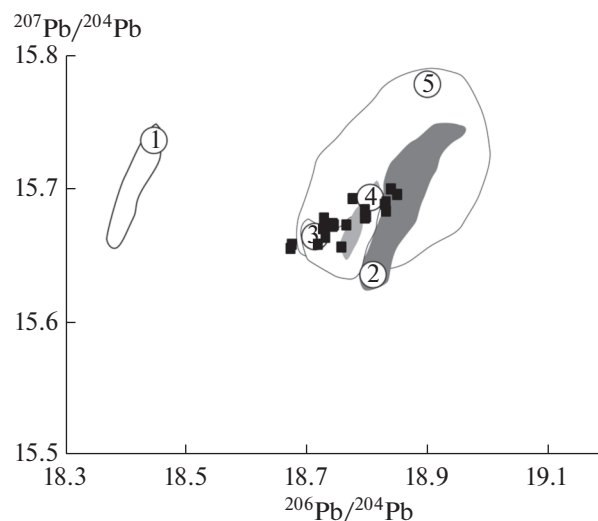


Рис. 4. Сопоставление изотопного состава Pb металла античных монет Боспорского царства (черные квадраты) и серебряных месторождений территорий восточного Средиземноморья [6]: 1 – полуостров Пелопоннес (Греция), 2 – Лаврион (Греция), 3 – Македония (Греция), 4 – о-в Тасос (Греция), 5 – архипелаг Киклады (Греция).

ции изотопного состава Pb в изученных микропробах монет вероятнее всего отражают смешение металла, добытого из месторождений нескольких (как минимум двух) рудных провинций. Имеющиеся базы данных по изотопному составу свинца эпитермальных золото-серебряных и серебро-полиметаллических месторождений различных регионов Средиземноморья [6] позволяют на основе сопоставления выделить наиболее вероятные территории – источники металла монет. Такое сопоставление приведено на рис. 4 для отдельных наиболее известных территорий восточного Средиземноморья, в пределах которых добыча металла осуществлялась в античные времена. Практически все точки изотопного состава Pb изученных микропроб лежат внутри области, отвечающей месторождениям Лавриона, Македонии, острова Тасос и группе островов архипелага Киклады. Наблюдаемое соответствие изотопного состава Pb монет и месторождений, указанных выше территорий, позволяет их выделить в качестве наиболее вероятных районов происхождения металла.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Небольшая исследованная выборка монет V–I вв. до н.э., в которую вошли монеты разных монетных дворов Боспора, позволяет сделать несколько важных выводов. Как показывает серия предыдущих исследований, на Боспор (в частности, в Фанагорию) в V в. до н.э. серебро поступало

из нескольких “классических” для ранней античности месторождений – это прежде всего Лаврион (Аттика), Македония (восточная ее часть), остров Тасос и группа островов архипелага Киклады [7, 8]. По своим основным изотопным и элементным характеристикам серебро монет V в. до н.э. из исследованной выборки соотносится с серебром монет Фанагорийского клада 2005 г. [9]. Судя по всему, на Боспор поступало уже мешаное серебро, полученное путем сплавления металла из различных, доступных на конкретный момент, рудных источников. Это же серебро, как показали результаты изотопного исследования Pb в серебре, использовалось для чеканки монет во II–I вв. до н.э. Серебро в этот период, хотя еще сохраняет свою высокую пробность (900–980 проба), уже демонстрирует начало процесса “порчи” монеты (понижение пробности) путем введения дополнительной меди в процессе переплавки металла.

Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант № 18-18-00193П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамзон М.Г., Завойкин А.А., Кузнецов В.Д., Сапрыкина И.А.* // Нурапис. 2019. Вып. 1. С. 5.
2. *Абрамзон М.Г., Завойкин А.А., Кузнецов В.Д., Сапрыкина И.А.* // Нурапис. 2020. Вып. 2. С. 5.
3. *Сапрыкина И.А., Гунчина О.Л.* Химический состав металла боспорских статеров Фанагорийского клада 2011 г. / Ред. Абрамзон М.Г., Кузнецов В.Д. Клад позднебоспорских статеров из Фанагории М.: Институт археологии РАН, 2017. (Фанагория. Т. 5). С. 272.
4. *Чугаев А.В., Чернышев И.В.* // Влияния ахеменидской культуры в Южном Приуралье (V–III вв. до н.э.) / Ред. Трейстер М.Ю., Яблонский Л.Т. 2012. Т. 1. С. 239.
5. *Чернышев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н.* // Геохимия. 2007. № 11. С. 1155.
6. *Gale N., Stos-Gale Z.* OXALID: Oxford Archaeological Lead Isotope Database from the Isotrace Laboratory. UK. 2016. <http://oxalid.arch.ox.ac.uk/TheDatabase.htm>
7. *Сапрыкина И.А., Чугаев А.В., Гунчина О.Л., Пельгунова Л.А.* // Клад позднеархаических монет из Фанагории / Ред. Кузнецов В.Д., Абрамзон М.Г. 2020. Фанагория. Т. 8. С. 66.
8. *Абрамзон М.Г., Завойкин А.А., Кузнецов В.Д., Сапрыкина И.А.* // Нурапис. 2020. Т. 2. С. 5.
9. *Сапрыкина И.А., Чугаев А.В., Гунчина О.Л., Пельгунова Л.А.* Химический состав металла и изотопный анализ Pb в серебряных монетах из клада // Ред. Кузнецов В.Д., Абрамзон М.Г. 2020. Фанагория. Т. 8. С. 79.
10. *Анохин В.А.* Античные монеты Северного Причерноморья. Каталог. 2011. 328 с.
11. *Frolova N.A.* Die frühe Münzprägung vom Kimmerischen Bosporos (Mitte 6. bis Anfang 4. Jh. v. Chr.). Die Münzen der Städte Pantikapaion, Theodosia, Nymphaion und Phanagoria sowie der Sinder. 2004. 96 s.
12. *SNG BM I – Sylloge Nummorum Graecorum Great Britain. Vol. IX. British Museum. Pt. I. Price M. The Black Sea.* 1993.
13. *Кузнецов В.Д., Абрамзон М.Г.* Клад позднеархаических монет из Фанагории // Фанагория. 2020. Т. 8. 160 с.
14. *Babelon E.* Traité des monnaies grecques et romaines. 2ème partie. Description historique. Т. 1. Comprenant les monnaies grecques depuis les origines jusqu'au guerres médiéves. 1907.