

УДК 902/904

DOI: 10.17223/2312461X/28/10

ИССЛЕДОВАНИЕ СЕРЕБРЯНЫХ АНТИЧНЫХ МОНЕТ МЕТОДАМИ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА И ИЗОТОПНОГО СОСТАВА СВИНЦА (ФОНДЫ АНАПСКОГО АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ)*

Ирина Анатольевна Сапрыкина,
Андрей Владимирович Чугаев,
Михаил Григорьевич Абрамзон,
Андрей Михайлович Новичихин,
Татьяна Николаевна Смекалова

Аннотация. Представлены результаты исследования химического состава серебра монет античной и римской эпох, найденных на территории античного города Горгиппии и в округе современного г. Анапы, а также результаты исследования изотопного состава Pb. Выборка из 23 серебряных монет датируется в широком хронологическом интервале от V–III вв. до н.э. до II–III вв. н.э. Изучение процесса деградации серебра в монетах проводилось методом РФА; монеты V–IV вв. до н.э. изготовлены из высокопробного серебра, монеты III в. до н.э. – II в. н.э. изготовлены из двухкомпонентного высокопробного серебра, монеты II – нач. III вв. н.э. изготовлены из многокомпонентного «желтого» серебра. По результатам изотопного анализа Pb, серебро монет V–III вв. до н.э. было получено из рудных районов Восточного Средиземноморья (архипелаг Киклады, Лаврион, Фракия); серебро монет римского времени было получено путем смешения серебра более ранних хронологических периодов с серебром из разных рудных источников, в том числе, рудников Центрального массива Франции, гор Гарц и Рейнских сланцевых гор.

Ключевые слова: античность, римское время, монеты, серебро, рудные источники, РФА, MC-ICP-MS

Введение

Одним из важных направлений в современных исследованиях археологического металла является изучение в нем изотопного состава свинца. Pb-Pb метод в европейской археологии представляет собой сейчас рутинный подход, который широко применяется для решения задач по идентификации источника металла и путей его поступления в разные исторические периоды (Stos-Gale, Gale 2009; Baron et al. 2011).

* Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 18-18-00193 «Начальный период истории денег: переход от полновесной монеты к знаку условной стоимости».

Накопленный за последние десятилетия опыт в этом направлении, а также высокий уровень надежности и точности получаемых Pb-Pb данных позволяют успешно применять данный метод. Во многом это стало возможно благодаря комплексному подходу, предполагающему при интерпретации результатов анализа свинца использование археологических, геохимических и геологических данных. Благоприятным обстоятельством также является постоянно пополняющаяся база Pb-Pb данных по месторождениям и рудным районам Европы, Средней и Ближней Азии и т.д. (Gale, Stos-Gale 2016). Однако в отечественной практике археологических исследований этот метод анализа пока не получил широкого применения. Хотя в последние годы появляются работы, в основе которых лежат результаты изучения изотопного состава Pb в различных по составу металла артефактах. Этот метод был апробирован в работах по бронзовым изделиям скифского времени (Капитонов и др. 2007), в частности наиболее успешно – при исследовании серебряных изделий ахеменидского периода (Чугаев, Чернышев 2012) и вещей из состава поднепровских кладов V–VII вв. (Сапрыкина и др. 2017). Таким образом, потенциал Pb-Pb метода значителен и дает возможность получить принципиально новую информацию при решении конкретных археологических задач, например по вопросу источников металла античных предметов Северного Причерноморья.

В рамках данной публикации в научный оборот вводятся результаты исследования изотопного состава Pb серебра для небольшой серии серебряных античных монет из собрания Анапского археологического музея (табл. 1). В выборку из 23 монет из серебра разной пробы вошли боспорские статеры III в. н.э. из Анапского клада 1987 г. (раскопки Е.М. Алексеевой; Фролова 1996), а также серебро Пантикапея и Херсонеса, римские денарии и северокавказские подражания денариям из случайных находок разных лет в окрестностях Анапы. Весь этот материал датируется периодом с середины V в. до н.э. по III в. н.э. (табл. 2). Всего исследованию подверглись 18 греческих и 5 римских монет.

Самое раннее в данной выборке – боспорское серебро V–III вв. до н.э. Далее следует херсонесская драхма начала I в. до н.э. Римские денарии принадлежат императорам от Адриана до Септимия Севера. Выпуски Адриана, Антонина Пия (в память Фаустины I), Коммода (в память Марка Аврелия) отчеканены на монетном дворе Рима, денарий Септимия Севера – в Эмесе.

Особую группу составляют северокавказские подражания римским денариям Марка Аврелия (одно с типом погребального костра, два – с типом идущего Марса). Они датируются концом II – началом III в. н.э.

Наконец, выборка включает 9 серебряных статеров боспорских царей Котиса III, Рескупорида IV и Ининфимея (234/235–238/239 гг.) из клада 1987 г., найденного при раскопках Горгииппии, погибшей во вре-

мя пожара вскоре после 238/239 г. Часть этих монет пострадала. Самые поздние – статеры Ининфимея 238/239 г. Отметим, что результаты исследования химического состава серебряных монет из Фанагорийского клада 2011 г. показали, что после правления Ининфимея в металле боспорских статеров начинается падение содержания серебра (Сапрыкина, Гунчина 2017).

Таблица 1

**Список серебряных монет Анапского археологического музея,
подвергшихся исследованию изотопного состава Pb**

Серия	Определение	Инв. №	Диаметр, мм	Вес, г	Датировка	Происхождение, публикация
Ан-1	Северный Кавказ. Подражание денарию Марка Аврелия с типом идущего Марса. Ср. Сергеев 2012, 103, № 347	КМ 13935/39	19	1,59	Начало III в. н.э.	Район Анапы, случайная находка, 2016 г.
Ан-2	Синдика. Диобол. Анохин 1986, № 51	КМ 12233/2	12	1,11	Около 425–400 гг. до н.э.	Окрестности п. Уташ, случайная находка, 2007 г. Новичихин, Галут 2013, 10, рис.
Монеты из Анапского клада 1987 г. Раскоп Заповедник-1987, винодельня, цистерна 1						
Ан-3	Боспорское царство. Котис III. Статер. Фролова 1996, V, 286	КМ 12386/7	20	6,88	529 г. б.э. – 232/233 г. н.э.	Фролова 1996, V, 286
Ан-4	Боспорское царство. Ининфимей. Статер. Фролова 1996, VII, 365	КМ 12386/19	18	5,14	535 г. б.э. – 238/239 г. н.э.	Фролова 1996, VII, 365
Ан-5	Боспорское царство. Котис III. Статер. Фролова 1996, V, 282	КМ 12386/3	19	6,67	525 г. б.э. – 228/229 г. н.э.	Фролова 1996, V, 282
Ан-6	Боспорское царство. Котис III. Статер. Фролова 1996, V, 280	КМ 12386/1	20	6,90	525 г. б.э. – 228/229 г. н.э.	Фролова 1996, V, 280
Ан-7	Боспорское царство. Рискупорид IV. Статер. Фролова 1996, VII, 352	КМ 12386/15	19	7,34	530 г. б.э. – 233/234 г. н.э.	Фролова 1996, VII, 352
Ан-9	Боспорское царство. Рискупорид IV. Статер	КМ 12386/16	20	7,26	530 г. б.э. – 233/234 г. н.э.	Фролова 1996, VII, 353

Серия	Определение	Инв. №	Диаметр, мм	Вес, г	Датировка	Происхождение, публикация
Ан-10	Боспорское царство. Рискупорид IV. Статер. Фролова 1996, VII, 354	КМ 12386/17	19	7,00	530 г. б.э. – 233/234 г. н.э.	Фролова 1996, VII, 354
Ан-11	Боспорское царство. Ининфимей. Статер. Фролова 1996, VII, 366	КМ 12386/18	1,9	7,17	535 г. б.э. – 238/239 г. н.э.	Фролова 1996, VII, 366
Ан-13	Боспорское царство. Котис III. Статер. Фролова 1996, V, 284	КМ 12386/5	19	6,67	528 г. б.э. – 231/232 г. н.э.	Фролова 1996, V, 284
Случайные находки						
Ан-14	Пантикапей. Анохин 1986, № 21	КМ 13548/10	6	0,21	460–450 гг. до н.э.	Пос. Чубово, 2014 г. Оп. 13.
Ан-15	Римская империя. Денарий. Антонин Пий. В память Фаустины I. RIC III, 71, no. 362?	КМ 8365/22496	18	2,96	После 141 г н. э.	Юровка (Первомайка), случайная находка, 1961 г. Салов 1968, 203
Ан-16	Римская империя. Денарий. Марк Аврелий. Посмертный чекан. RIC III, 398, no. 267	КМ 8365/22497	18	2,14	180 г. н.э.	Хут. Иваново, случайная находка, 1961 г. Салов 1968, 203
Ан-17	Северный Кавказ. Подражание денарию Марка Аврелия с типом идущего Марса. Ср. Сергеев 2012, 94, № 304	КМ 8365/22500	2	2,99	Конец II – начало III н.э.	Хут. Бужор, случайная находка, 1968 г.
Ан-18	Римская империя. Эмеса. Денарий. Септимий Север. RIC IV, 143, no. 389	КМ 8365/22501	18	2,36	194–195 гг. н.э.	Анапа, случайная находка, 1968 г.
Ан-19	Северный Кавказ. Подражание денарию с типом погребального костра. Ср. Сергеев 2012, 90–91, 285–288	КМ 8365/22502	18	2,66	Конец II в. н.э.	Ст. Раевская, случайная находка, 1976 г.
Ан-20	Пантикапей. Гемидрахма. Анохин 1986, № 93	КМ 13029/28	13	2,52	400–375 гг. до н.э.	УБ-4-2001, кв. 16, шт. 3, оп. 46
Ан-21	Херсонес. Драхма. Анохин 1977, XII, 191	КМ 8365/11389	17	2,67	100–90 гг. до н.э.	Хут. Суворово-Черкесский, случайная находка, 1980 г.

Серия	Определение	Инв. №	Диаметр, мм	Вес, г	Датировка	Происхождение, публикация
Ан-23	Пантикапей. Драхма. Анохин 1986, № 159	КМ 8365/11714	15	2,54	Последняя треть III в. до н.э.	Горг.-74, из осыпи, оп. 7г.
Ан-24	Римская империя. Денарий. Антонин Пий. В память Фаустины I. RIC III, 71, no. 362?	КМ 8365/11842	17	2,14	После 141 г н.э.	Зап.-II-79, пл. 9, оп. 81. Фролова 1980. С. 126, № 18
Ан-25	Римская империя. Денарий. Адриан. RIC II, 374, no. 299	КМ 8365/12306	18	2,54	134–138 гг. н.э.	Анапа, берег моря напротив заповедника «Горгиппия», случайная находка, 1983 г.
Ан-26	Пантикапей. Диобол. Frolova 2004, no. 219	КМ 13548/1	12	1,38	460–450 гг. до н.э.	Пос. Чубово, 2014 г. Оп. 1.

Т а б л и ц а 2

Pb-Pb данные для серии Ан

№	Образец	Датировка	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
1	Ан-14	460–450 гг. до н.э.	18,8273	15,6837	38,8579
2	Ан-26	460–450 г. до н.э.	18,8398	15,6966	38,9022
3	Ан-2	425–410 гг. до н.э.	18,8322	15,6783	38,8405
4	Ан-20	400–375 гг. до н.э.	18,8338	15,6791	38,8322
5	Ан-23	Посл. треть III в. до н.э.	18,7650	15,6917	39,0950
6	Ан-21	100–90 гг. до н.э.	18,7060	15,6512	38,7461
7	Ан-25	134–138 гг. н.э.	18,5088	15,6664	38,6854
8	Ан-15	После 141 г. н. э.	18,6095	15,6564	38,7227
9	Ан-24	После 141 г. н. э.	18,5010	15,6550	38,5558
10	Ан-16	180 г. н.э.	18,5266	15,6505	38,6212
11	Ан-18	194–195 гг. н.э.	18,6106	15,6653	38,7542
12	Ан-5	228/229 г н. э.	18,6652	15,6607	38,7703
13	Ан-6	228/229 г. н.э.	18,6654	15,6595	38,7643
14	Ан-13	231/232 г. н.э.	18,6849	15,6644	38,7909
15	Ан-3	232/233 г. н.э.	18,5681	15,6512	38,6702
16	Ан-7	233/234 г. н.э.	18,6130	15,6546	38,7121
17	Ан-9	233/234 г. н.э.	18,6344	15,6567	38,7326
18	Ан-10	233/234 г. н.э.	18,6538	15,6671	38,7739
19	Ан-4	238/239 г н. э.	18,6202	15,6599	38,7319
20	Ан-11	238/239 г. н.э.	18,5815	15,6607	38,7019
21	Ан-19	Конец II в. н.э.	18,7513	15,6768	38,8360
22	Ан-1	Начало III в. н.э.	18,7560	15,6768	38,8546
23	Ан-17	Начало III в. н.э.	18,7651	15,6806	38,8894

Методика исследования

Прежде всего исследовался химический состав серебра монет для определения количественного содержания свинца в металле. Изначально из фондов Анапского археологического музея (ААМ) было исследовано 26 монет, однако в трех из них, визуально похожих на серебряные, серебра не оказалось вообще. Химический состав оставшихся 23 монет был изучен методом неразрушающего безэталоного РФА-анализа на спектрометре M1 Mistral (Bruker, Германия). Исследования этим методом химического состава античных серебряных монет показали достаточно хорошую сходимость с данными, полученными другими методами исследования (Сапрыкина и др. 2017; Равич, Сапрыкина 2019). Стандартное время измерения составило 30 с, напряжение 50кV; данный тип спектрометра позволяет проводить измерения поверхности на глубину до 10 микрон, а также выполнять анализ на наличие покрытий (Сапрыкина, Гунчина 2017: 273–274). С поверхности каждой из монет были получены по 2–3 пробы; после обработки спектров рассчитано среднее значение по содержанию основных элементов сплавов, данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты исследования химического состава серебра из коллекции Анапского археологического музея

№	Датировка	Серия Ан	Cu	Pb	Sn	Zn	Fe	Ag	As	Au	Sb
1	460–450 гг. до н.э.	14	0	0,19	0,19	0	1,84	97,68	0	0,1	0
2	460–450 гг. до н.э.	26	0,53	1,18	0,28	0	0	97,62	0	0,39	0
3	425–410 гг. до н.э.	2	1,56	1,37	0,44	0	0	95,98	0	0,65	0
4	400–375 гг. до н.э.	20	0,6	0,14	0,23	0	0,35	98,4	0	0,28	0
5	Последняя треть III в. до н.э.	23	4,98	0,23	0,23	0	0	93,26	0	1,11	0,19
6	100–90 гг. до н.э.	21	28,53	0,53	0,34	0,17	1,28	68,51	0	0,43	0,21
7	134–138 гг. н.э.	25	3,59	0,42	0,25	0	0	95,73	0	0,01	0
8	После 141 г. н. э.	15	2,77	0,53	0,19	0	0,47	95,98	0	0,06	0
9	После 141 г. н. э.	24	25,26	0,61	0,19	3,38	0	70,13	0	0,43	0
10	180 г. н.э.	16	4,21	0,81	0,86	2,15	0,3	90,86	0	0,81	0
11	194–195 гг. н.э.	18	29,97	0,84	1,73	1,34	0,14	65,31	0	0,57	0,1
12	228/229 г. н. э.	5	18,42	0,21	0,41	0,13	0	65,82	0	15,01	0
13	228/229 г. н.э.	6	6,9	4,64	0,27	0,05	0	66,13	0	22,01	0
14	231/232 г. н.э.	13	5,99	2,43	0,36	0	0	63,85	0,05	27,32	0
15	232/233 г. н.э.	3	7,7	1,48	0,52	0	0	83,99	0	6,31	0
16	233/234 г. н.э.	7	14,82	1,74	0,45	0	0	77,15	0	5,84	0
17	233/234 г. н.э.	9	22,45	1,3	0,27	0,03	0,07	71,02	0	4,86	0
18	233/234 г. н.э.	10	28,34	1,1	0,28	0	0	65,35	0	4,91	0,02
19	238/239 г. н.э.	11	20,76	1,23	0,34	0	0	76,41	0	1,23	0,03
20	238/239 г. н. э.	4	15,56	2,06	0,48	0	0	78,7	0	3,2	0
21	Конец II в. н.э.	19	11,29	1,03	0,2	5,2	0,18	81,49	0	0,61	0
22	Начало III в. н.э.	1	11,41	2,21	1,03	4,87	0,28	79,3	0	0,79	0,11
23	Начало III в. н.э.	17	12,23	1,15	0,21	4,43	0,27	80,99	0	0,72	0

MC-ICP-MS метод анализа изотопного состава Pb. Изучение изотопного состава Pb в серебре монет проведено в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН с помощью высокоточного анализа, основанного на применении метода многоколлекторной масс-спектрометрии с ионизацией вещества в индуктивно связанной плазме (MC-ICP-MS). Метод предполагает определение распространенностей изотопов Pb в образцах с нормированием результатов измерений изотопных отношений свинца по внутреннему стандарту – отношению $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$, равного $2,3889 \pm 1$ (Чернышев, Чугаев, Шатагин 2007).

Анализировались микронавески массой 0,01–0,02 г, локально отобранные из не окисленных участков металла. Отбор сопровождался оптическим контролем. Химическое разложение микронавесок проводилось в смеси концентрированных чистых (содержание Pb < 2×10^{-3} нг/мл) кислот $\text{HNO}_3 + \text{HBr}$ в соотношении 3:1. Все операции по растворению осуществлялись в герметично закрывающихся флаках из низкпористого PFA-пластика. В смеси кислот пробы выдерживались в течение 12–14 ч при температуре 120–130°C. Далее раствор упаривался, а полученный солевой осадок обрабатывался 1 мл 1M HBr.

Ионообменная хроматография микропроб проводилась по одностадийной схеме (Чугаев и др. 2013). В качестве сорбента использовался анионит AG 1×8 (Bio RAD) с размером частиц 200–400 меш. Отделение свинца от элементов матрицы образца осуществлялось на хроматографической микроколонке из PFA-пластика, заполненной 100–120 мкл смолы. Сорбция свинца на анионите проводилась в 1M HBr, а десорбция – в 0,25 M HNO_3 . Полученный препарат растворялся в 3%-й HNO_3 до концентрации свинца в растворе 200–600 нг/мл. Непосредственно перед масс-спектрометрическим измерением в растворы образцов добавлялся индикаторный элемент – таллий. Уровень лабораторного загрязнения при химической подготовке проб не превышал 0,1 нг.

Измерения изотопного состава Pb проводились на 9-коллекторном масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (MC-ICP-MS) NEPTUNE согласно методике, подробно описанной в работе (Чернышев и др. 2007). Правильность получаемых данных контролировалась по результатам параллельных анализов стандарта изотопного состава Pb SRM-981. Итоговая погрешность ($\pm 2\text{SD}$) измерения отношений $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ при анализе не превышала $\pm 0,03\%$.

Обсуждение результатов

Результаты исследования химического состава металла, проведенные методом РФА-анализа, показали, что выборка характеризуется присутствием монет из высокопробного серебра преимущественно V–IV вв. до н.э., монет из двухкомпонентного высокопробного серебра,

датированного от III в. до н.э. до II в. н.э., и монет из многокомпонентного «желтого» серебра II – начала III вв. н.э. (см. табл. 3). Аналитическая выборка включает в себя результаты исследования серебра 6 монет Северного Причерноморья (Херсонес и Боспор), 5 римских денариев, 9 боспорских статеров и трех северокавказских подражаний римским денариям. Общая динамика изменения содержания серебра в металле монет из выборки, в зависимости от хронологической даты, представлена на гистограмме (рис. 1).



Рис. 1. Гистограмма содержания серебра в металле 23 монет из исследованной выборки

Если рассмотреть каждую группу монет в отдельности, то мы получим следующие результаты. Группа монет Северного Причерноморья (табл. 3, № 1–6) изготовлена из двухкомпонентного высокопробного серебра и из двухкомпонентного «желтого» серебра; на графике хорошо виден переход от высокопробного серебра к серебряному сплаву, «состоявшийся» в районе последней трети III в. до н.э. (рис. 2). Серебро монет раннего хронологического периода содержит в себе на уровне микропримесей такие элементы, как свинец (0,14–1,3%), медь, золото, олово, железо; здесь мы фиксируем повышенное содержание свинца (до 1,3%), перешедшее в серебро, вероятно, в процессе его «купелизации», что косвенно свидетельствует в пользу того, что серебро для этих монет относится к категории так называемого чистого металла. В серебряном сплаве монет II–II вв. до н.э. уже фиксируется, в том числе, присутствие таких сопутствующих меди элементов, как цинк и сурьма; это чеканка монетных дворов Пантикапея и Херсонеса (см. табл. 1, Ан-21, -23), причем падение серебра зафиксировано на монетах чеканки Боспорского царства (Пантикапей).

Группа денариев Адриана, Антонина Пия, Марка Аврелия, Септимия Севера демонстрирует наличие в исследуемой выборке нескольких типов серебра: высокопробного двухкомпонентного серебра (чеканка

Адриана и Антонина Пия), многокомпонентного «желтого» серебра – серебряного сплава с небольшой присадкой латуни (чеканка Марка Аврелия) и многокомпонентного низкопробного серебра – серебра, разбавленного присадкой двух- и трехкомпонентной латуни (денарии Антонина Пия и Септимия Севера) (рис. 3).

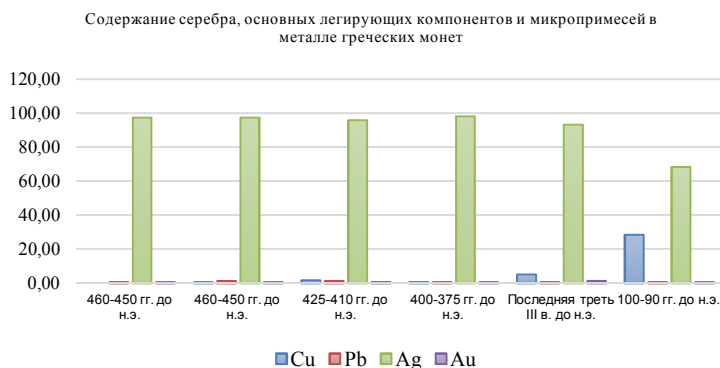


Рис. 2. Гистограмма содержания серебра, основных легирующих компонентов и микропримесей в металле греческих монет из выборки (табл. 1, Ан-2, -14, -20, -21, -23, -26)

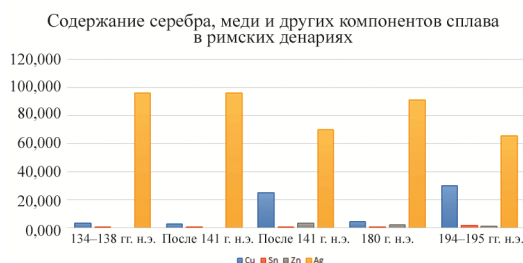


Рис. 3. Гистограмма содержания серебра, меди, олова и цинка в металле римских денариев из анализируемой выборки

В качестве микропримесей в серебре денариев зафиксировано присутствие свинца, олова, железа и золота (набор «материнских» примесей, как и в серебре греческих монет); в серебряном сплаве присутствует также микропримесь сурьмы, сопутствующая меди. Обращает на себя внимание как наличие высокопробного серебра в выборке II в. н.э., так и эмиссия монет в период правления Антонина Пия, чеканенных как из высокопробного, так и из низкопробного серебра, что, вероятно, отражает определенную нехватку серебра на рынке металлов в этот период. Скорее всего, в этот период монеты чеканились из серебра, в которое дополнительно вводились другие металлы и сплавы, в том числе на основе меди: об этом свидетельствуют монеты (чеканка по-

сле 141 г. н.э.), серебро которых, по-видимому, было разбавлено латунью (CuZn, CuZnSn).

Особняком в рассматриваемой выборке стоит третья группа монет – серия серебряных боспорских статов эмиссий 228/229–238–239 гг. н.э. из Анапского клада 1987 г. (см. табл. 1, Ан-3, -4, -5, -6, -7, -9, -10, -11, -13). На уровне микропримесей зафиксировано наличие олова, цинка, железа, единично присутствие мышьяка и сурьмы (вероятно, их концентрация в сплаве значительно ниже порога чувствительности метода исследования); медь, свинец и золото здесь – одни из легирующих компонентов сплава (рис. 4, 1). На гистограмме отчетливо видно присутствие золота в сплаве монет в достаточно высоких концентрациях: его максимальная концентрация отмечается для монет эмиссий 228/229–231/232 гг. н.э., далее содержание золота не столь высоко, хотя заметно отличается от фоновых концентраций этого элемента во всей остальной выборке (рис. 4, 2). Скорее всего, в составе клада 1987 г. присутствовали статы Котиса III, при чеканке которых использовался лом: в качестве сырья могли использовать золотые и серебряные монеты (украшения?), в том числе более ранних хронологических периодов.

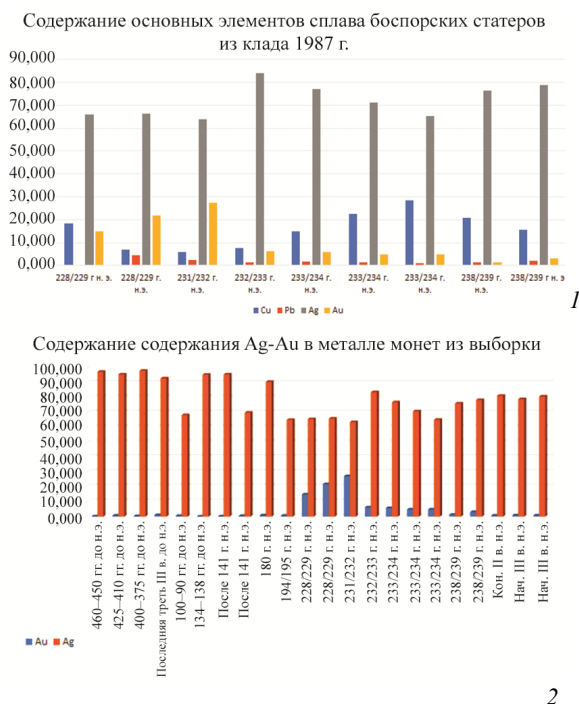


Рис. 4. Гистограмма содержания золота: 1 – в серебряном сплаве боспорских статов из клада 1987 г. из Горгииппии; 2 – соотношение содержания серебра и золота в металле всех монет из исследуемой выборки

Еще одной группой «местных» монет из анализируемой выборки являются северокавказские подражания римским денариям конца II – начала III вв. н.э. (табл. 1, Ан-1, -17, -19). По содержанию серебра и золота они разительно отличаются от металла боспорских статеров изклада 1987 г., но по своим характеристикам совпадают с данными по серебру, меди и цинку, полученными при исследовании химического состава металла римских денариев II в. из выборки (рис. 5). Отличительной их чертой (хотя выборка статистически крайне мала) пока можно назвать стабильное относительно высокое содержание серебра и цинка (4–5%).



Рис. 5. Гистограмма содержания меди, свинца, цинка и золота в серебре римских денариев II в. н.э. и кавказских подражаний им конца II – начала III вв. н.э.

Результаты исследования изотопного состава Pb в серебре монет. Результаты изучения изотопного состава Pb в металле серебряных монет представлены в табл. 2. В целом измеренные значения изотопных отношений Pb варьируют в следующих пределах: для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 18,50 до 18,84, для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 15,65 до 15,70 и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 38,56 до 39,10. Из приведенных диапазонов видно, что изученная коллекция весьма неоднородна по изотопному составу Pb. Это следует также и из величин коэффициента вариации (v , %). Значения v для всех трех изотопных отношений Pb существенно (в 4–29 раз) превышают аналитическую погрешность ($\pm 0,02\%$, 2SD) и равны: для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $v_{6/4} = 0,57\%$, для $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $v_{7/4} = 0,085\%$, а для $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ $v_{7/4} = 0,28\%$. Повышенный разброс значений изотопных отношений Pb может быть обусловлен наличием в изученной серии нескольких групп монет, отличающихся по времени и месту чеканки. Допустимо, что металл этих групп мог происходить из разных рудных регионов. В этой связи представляется необходимым провести сопоставление Pb-Pb данных для каждой из групп монет. Ранние монеты Северного Причерноморья (группа 1) обладают наиболее радиогенным изотопным составом Pb (прежде всего, по содержанию изотопа ^{206}Pb). Для большинства образцов значения изменяются в узких диапазонах: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18,77\text{--}18,84$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,68\text{--}15,70$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38,83\text{--}39,10$. За пределами указанных диапа-

зонов находятся только значения изотопных отношений Pb монеты (образец Ан-21), датируемой 100–90 гг. до н.э. Римские денарии, выделяемые во вторую группу, напротив, в целом характеризуются более примитивным изотопным составом Pb. Измеренные для них значения отношений варьируют соответственно: для $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 18,50 до 18,61, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 15,65 до 15,67 и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от 38,55 до 38,75.

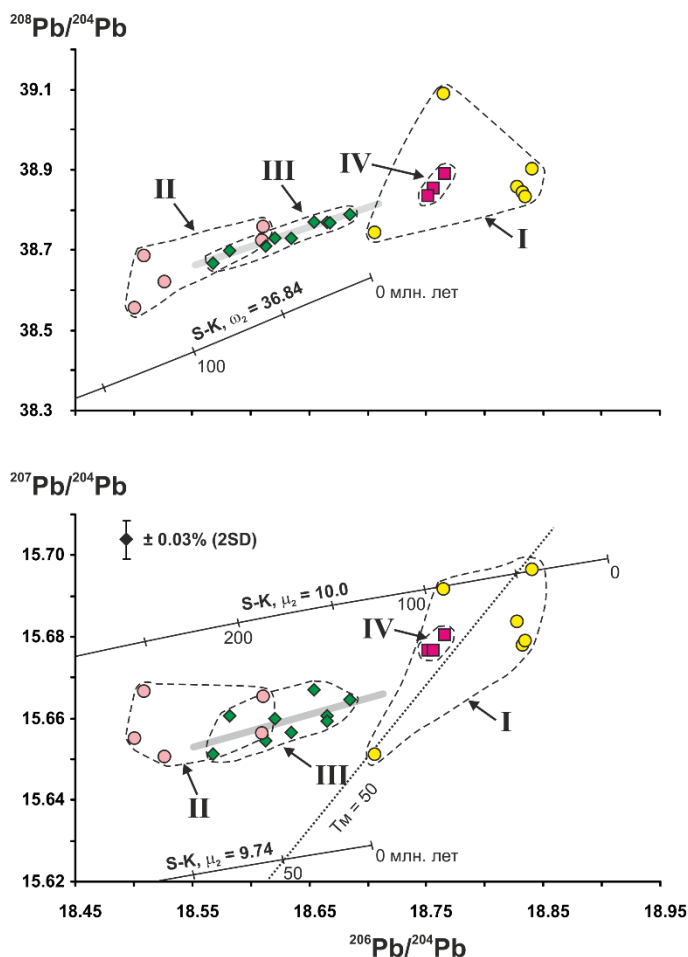


Рис. 6. Pb-Pb изотопные диаграммы для античных монет V в. до н.э. – III в. н.э. Северного Причерноморья. Римские цифры на диаграммах соответствуют монетам: I – раннее серебро (V–I вв. до н.э.), II – римские денарии (II в. н.э.); III – статеры Горгиипии (начало III в. н.э.); IV – северокавказские подражания римским денариям (конец II – начало III в. н.э.). На диаграммах приведены эволюционные кривые изотопного состава Pb по модели Стейси–Крамерса (Stacey, Kramers 1975)

Третья наиболее представительная группа, объединяющая боспорские статеры из клада 1987 г. из Горгиппии, по изотопному составу Pb оказалась ближе всего к римским денариям. Значения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ лежат в интервалах: 18,57–18,68, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,65\text{--}15,67$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38,67\text{--}38,79$. Приведенные диапазоны для поздних боспорских статеров частично или полностью (как в случае отношения $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) перекрываются с диапазонами соответствующих отношений Pb в римских денариях. Четвертая группа монет, представляющих собой кавказские подражания римским денариям и датируемые II–III в. н.э., оказались весьма однородны по изотопному составу Pb ($(^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{ср}} = 18,757 \pm 7$, $(^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{ср}} = 15,678 \pm 2$ и $(^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb})_{\text{ср}} = 38,86 \pm 3$). Они близки к раннему боспорскому серебру Северного Причерноморья.

Сопоставление изотопного состава Pb в изученных группах монет также показано на Pb-Pb изотопных диаграммах (рис. 6, а, б). Соответствующие им поля на обоих графиках расположены выше и вдоль среднекоровой эволюционной кривой по модели Стейси–Крамерса. Точки монет первой группы расположены в правой части диаграмм. На графике с ураногенными изотопами свинца они с разбросом лежат вдоль Pb-Pb изохроны с возрастом 50 млн лет (рис. 6, б). Здесь же лежат и точки четвертой группы. Вместе с точками раннего серебра Северного Причерноморья они образуют единое поле. В свою очередь, поля изотопного состава Pb римских денариев и боспорских статеров из клада 1987 г. из Горгиппии находятся ближе к оси ординат и частично перекрываются между собой. При этом особенностью в расположении точек боспорских статеров отчетливо проявлена линейная зависимость. На обоих графиках она выражается в виде коротких трендов, лежащих между полем римских денариев и объединенным полем монет первой и четвертой групп (рис. 6, а, б). В отношении других групп монет аналогичная зависимость в расположении точек на диаграммах не обнаруживается.

Дискуссия

Соотношения полей изотопного состава Pb изученных групп монет, приведенные на рис. 6, свидетельствуют о том, что металл для них мог иметь разное происхождение. Наиболее отчетливо это видно при сравнении Pb-изотопных характеристик серебра древних монет Северного Причерноморья и римских денариев. Именно эти группы наиболее контрастны по изотопному составу свинца. В случае серебра северокавказских подражаний римским денариям, то их источник, учитывая полученные Pb-Pb данные, оказался идентичен источнику ранних монет Северного Причерноморья. Отличительной особенностью изотопного состава Pb монет из клада 1987 г. из Горгиппии, как было отмечено ранее,

является наличие положительных корреляционных зависимостей между отношениями $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, а также $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, что на изотопных диаграммах выражается в виде линейных трендов. Принимая во внимание однородность данной группы монет по возрасту и месту находки, выявленные тренды могут быть интерпретированы как линии смещения свинца источников, отличающихся по изотопному составу Pb. В этом случае вариации изотопных отношений Pb в монетах, сокрытых в кладе из Горгиппии, обусловлены переплавлением в различных пропорциях серебра, поступавшего из разных рудных регионов. Из положений трендов на изотопных диаграммах можно заключить, что при изготовлении монет из Горгиппии, вероятней всего, использовалось, с одной стороны, серебро, близкое по своему происхождению к серебру римских денариев, а с другой – серебро, источник которого идентичен с источником серебра для ранних монет Северного Причерноморья.

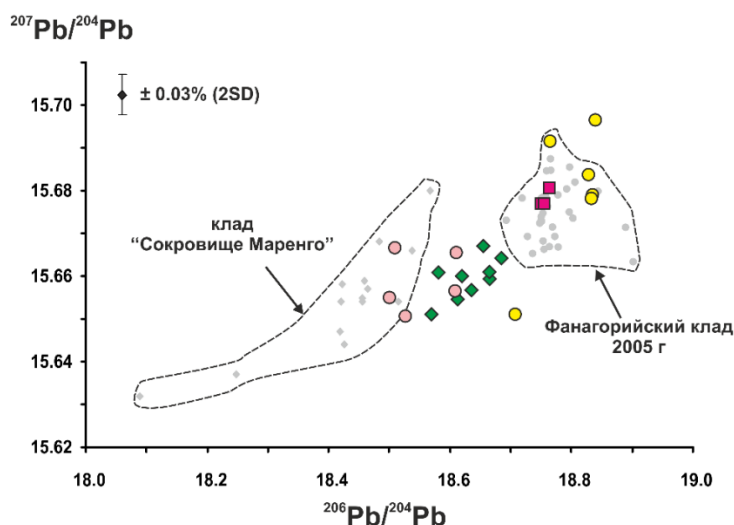


Рис. 7. Диаграмма в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ – $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, на которой приведено сопоставление результатов изучения античных монет Северного Причерноморья с серебряными предметами из Фанагорийского клада 2005 г. (Сапрыкина и др. 2020) и клада «Сокровище Маренго» (Angelini et al. 2019)

При идентификации потенциальных источников металла для изученной серии монет представляет интерес сравнение полученных нами Pb-Pb данных с результатами аналогичных исследований других известных кладов, в составе которых присутствовали серебряные изделия близких исторических эпох. Такое сопоставление приведено на рис. 7, на котором показаны поля изотопного состава Pb триоболов и драхм из Фанагорийского клада 2005 г., датируемых концом V в. до н.э. (Сапры-

кина и др. 2020), а также серебряных изделий уникального клада «Сокровище Маренго», включающего предметы поздней (вторая половина II в. – начало III в. н.э.) римской эпохи (Angelini et al. 2019). На диаграмме в поле предметов Фанагорийского клада попадает большинство точек наиболее древних (V–III вв. до н.э.) из изученных нами монет. Исключение – проба Ан-21, датируемая началом I в. до н.э.

Таким образом, новые и опубликованные ранее данные позволяют заключить, что серебро на территорию Северного Причерноморья, по крайней мере, с V по III в. до н.э. преимущественно поступало из одного региона. В свою очередь, контрастное отличие по изотопному составу Pb образца Ан-21 свидетельствует о том, что с I в. до н.э. мог появиться и другой источник металла. Сопоставление Pb-Pb данных римских денариев и серебра из клада «Сокровище Маренго» показывает, что три (Ан-15, Ан-16, Ан-24) из пяти монет схожи по изотопному составу Pb с рядом предметов из этого клада. Такая согласованность изотопных данных допускает происхождение металла указанных римских денариев из того же источника, что и серебро из «Сокровища Маренго». Другие два денария (Ан-18, Ан-25) обладают более высокими значениями отношения $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$. Этот факт может указывать на другой источник металла. Однако положение их точек на графике вблизи линии смещения изотопного состава Pb монет из клада в Горгииппии не исключает и другую интерпретацию: при их изготовлении использовался металл из нескольких источников. При этом одним из них являлся источник серебра, отмеченный для предметов из клада «Сокровище Маренго». Точки северокавказских подражаний римским денариям расположены в пределах поля Фанагорийского клада. Учитывая исторические аспекты, такое их положение, вероятнее всего, свидетельствует в пользу переработки серебра, поступавшего в Северное Причерноморье в период Античности.

Результаты Pb-Pb изотопных исследований серебряных монет Фанагорийского клада показали, что металл преимущественно поступал из рудных районов восточной части Средиземноморья, а именно с рудников, расположенных на островах архипелага Киклады и Лавриона (Аттика). Этот результат хорошо согласуется с полученным ранее выводом о Лаврионском происхождении серебра для чеканки ранних монет Боспора, сделанном на основании зафиксированной стабильно низкой примеси золота в составе серебряного сплава и его сходстве с материалом Афинских монет конца V – середины III вв. до н.э. (Смекалова, Дюков 2001: 72). Сопоставление Pb-Pb данных изученных нами монет с изотопным составом свинца руд указанных древних горнодобывающих районов, а также некоторых прилегающих территорий приведено на рис. 8, а. Значительную часть изотопной диаграммы занимает поле изотопного состава Pb (поле 1) серебро-полиметаллических руд архипелага Киклады.

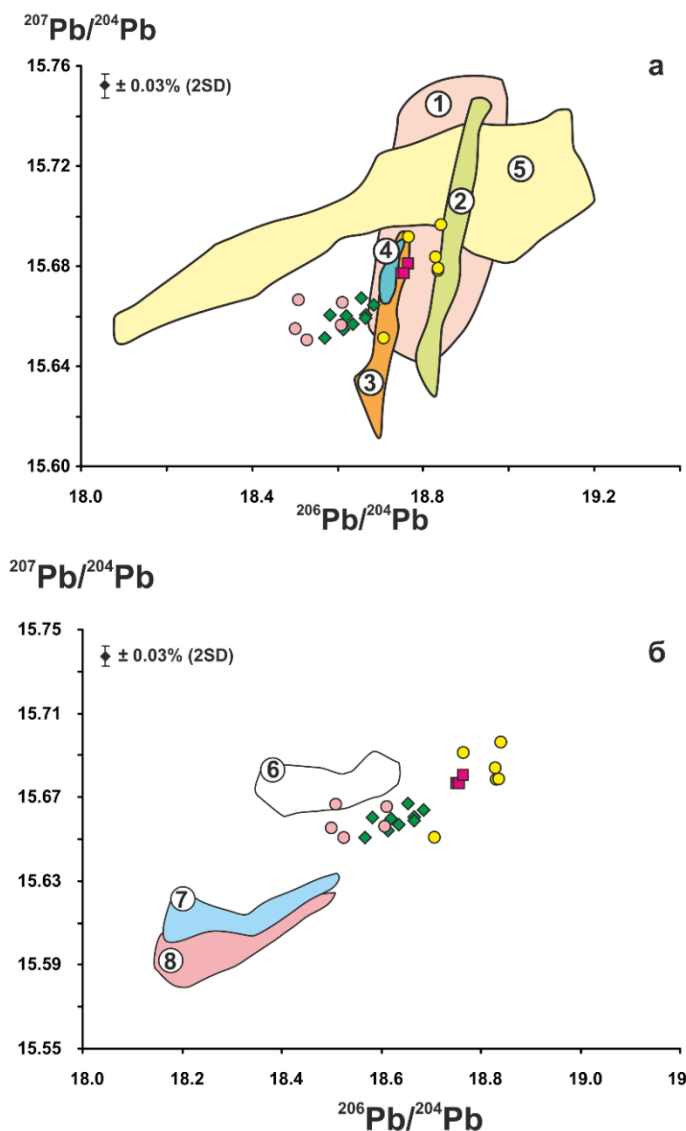


Рис. 8. Диаграммы в координатах $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, на которых приведено сопоставление результатов изучения античных монет Северного Причерноморья с изотопным составом Pb месторождений рудных районов: 1 – архипелаг Киклады (Gale, Stos-Gale 2016); 2 – Лаврион (Gale, Stos-Gale 2016); 3 – Восточной Македонии и Фракии (Gale, Stos-Gale 2016); 4 – Родопских гор (Gale, Stos-Gale 2016); 5 – Центральных и Юго-Восточных Таврских гор (Ceyhan 2003: 55–62); 6 – Центральный массив Франции (Baron et al. 2006), 7 – горы Гарц (Niederschlag et al. 2003); 8 – Рейнские сланцевые горы (Durali-Mueller et al. 2007)

В его пределах расположены все точки раннего серебра Северного Причерноморья, а также северокавказских подражаний римским денари-

ям. В этой же части диаграммы расположены поля руд месторождений Лавриона (поле 2), Восточной Македонии и Фракии (поле 3) и Родопских гор (поле 4), которые частично перекрываются с полем руд архипелага Киклады. Точки образцов Ан-2, Ан-14 и Ан-20 попадают в области перекрытия полей архипелага Киклады и Лавриона. В свою очередь, точки образцов Ан-21 и Ан-23, а также точки кавказских подражаний лежат в области перекрытия полей месторождений архипелага Киклады и Восточной Македонии и Фракии.

Таким образом, эти три региона могут рассматриваться в качестве потенциальных источников серебра для Северного Причерноморья. Более сложное соотношение на графике демонстрирует образец Ан-26. Его точка лежит в области пересечения сразу трех полей: месторождений архипелага Киклады, Лавриона и Центральных и Юго-Восточных Таврских гор (поле 5); поступление металла с месторождений Центральных и Юго-Восточных Таврских гор исторически вполне допустимо.

Точки римских денариев и большинства статеров из клада в Горгииппии находятся за пределами полей рассматриваемых регионов, что указывает на происхождение серебра этих изделий из другого источника. Согласно работе (Angelini et al. 2019), основным источником металла для позднеримских предметов из клада «Сокровище Маренго» являлись серебряносодержащие руды месторождений Центрального массива Франции. На рис. 8, б оконтурено поле изотопного состава Pb этих месторождений (Baron et al. 2006). Здесь же приведены Pb-Pb данные для месторождений двух других известных горнорудных районов Западной Европы позднеримского периода – гор Гарц и Рейнских сланцевых гор (Niederschlag et al. 2003; Durali-Mueller et al. 2007). По изотопному составу Pb римские денарии оказались идентичны (образец Ан-18 и Ан-25) или близки к рудам месторождений Центрального массива. К полю месторождений Центрального массива также тяготеют и точки статеров из Горгииппии.

Наблюдаемые соотношения величин $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ и $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ дают основание заключить, что серебро изученных нами римских денариев преимущественно имеет происхождение из этого региона. В свою очередь при изготовлении более поздних статеров из клада в Горгииппии, датированных началом III в., металл из месторождений Центрального массива мог использоваться лишь частично. Как следует из положения тренда смещения, в них также присутствует часть серебра, идентичного по своему происхождению серебру Северного Причерноморья античного периода.

Заключение

Проведенное исследование небольшой выборки серебряных монет из фондов Анапского археологического музея является важной вехой в

исследовании монетного дела Северного Причерноморья. Изученная выборка, включающая в себя монеты разного периода и мест чеканки, позволяет использовать ее при решении нескольких важнейших исторических задач: прежде всего, она дает возможность получить сведения об этапах «деградации» серебра в монетах и об источниках серебра для Северного Причерноморья в период с V–III вв. до н.э. по II–III вв. н.э. Для раннего периода (V–III вв. до н.э.) основным источником поступления серебра можно считать рудные районы восточной части Средиземноморья; в этот период для чеканки монет использовалось высокопробное серебро, имеющее относительно «чистые» изотопные характеристики Pb. Серебро римского периода, циркулировавшее на территории Северного Причерноморья, скорее всего, имеет различные источники своего происхождения; в целом, монетное серебро первых веков нашей эры, в том числе и по данным РФА-анализа, сильно перемешанное. Вполне может быть, что для боспорской чеканки этого периода использовалось, в том числе, серебро ранних боспорских монет. Гипотетические предположения наших предшественников об использовании в боспорской чеканке в качестве сырья монет предыдущих выпусков сейчас получили свое документальное подтверждение.

Литература

- Анохин В.А. Монетное дело Херсонеса (IV в. до н.э. – XII в. н.э.). Киев, 1977.
- Анохин В.А. Монетное дело Боспора. Киев: Наукова думка, 1986.
- Капитонов И.Н., Лохов К.И., Бережная Н.Г., Матуков Д.И., Боковенко Н.А., Зайцева Г.И., Хаврин С.В., Чусунов К.В., Скотт Е.М. Комплексные изотопные исследования бронзовых изделий скифской эпохи из различных памятников Центральной Азии // Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях. (Материалы конференции, посвященной 50-летию радиоуглеродной лаборатории ИИМК РАН, 9–12 апреля). СПб.: ИИМК РАН, 2007. С. 274–282.
- Новичихин А.М., Галут О.В. Золото Горгииппии. Научно-популярный альбом-каталог. Анапа; Краснодар, 2013.
- Равич И.Г., Сапрыкина И.А. Особенности состава и техники изготовления боспорских монет, происходящих из клада, найденного в Фанагории // Исследования в консервации культурного наследия: материалы Международной научно-методической конференции, Москва, 24–26 октября 2017 г. М.: Принт, 2019. Вып. 5. С. 213–222.
- Салов А.И. Случайные находки в Анапе и ее окрестностях // Советская археология. 1968. № 3. С. 202–206.
- Сапрыкина И.А., Гунчина О.Л. Химический состав металла боспорских статеров Фанагорийского клада 2011 г. // Фанагория. Результаты археологических исследований / под общ. ред. В.Д. Кузнецова. Т. 5: Абрамзон М.Г., Кузнецов В.Д. Клад позднебоспорских статеров из Фанагории. М.: Институт археологии РАН, 2017. С. 272–483.
- Сапрыкина И.А., Пельгунова Л.А., Гунчина О.Л., Равич И.Г., Кичанов С.Е., Козленко Д.П., Назаров К.М. Некоторые замечания о технике изготовления боспорских статеров из Фанагорийского клада 2011 г. // Фанагория. Результаты археологических исследований / под общ. ред. В.Д. Кузнецова. Т. 5: Абрамзон М.Г., Кузнецов В.Д. Клад позднебоспорских статеров из Фанагории. М.: Институт археологии РАН, 2017. С. 484–493.

- Сапрыкина И.А., Чугаев А.В., Пельгунова Л.А., Родинова 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.
- Сапрыкина И.А., Чугаев А.В., Гунчина О.Л., Пельгунова Л.А. Химический состав металла и изотопный состав Pb в серебряных монетах из клада // *Фанагория. Результаты археологических исследований* / под общ. ред. В.Д. Кузнецова. Т. 8: В.Д. Кузнецов, М.Г. Абрамзон. Клад позднеархаических монет из Фанагории. М.: Институт археологии РАН, 2020. С. 66–89.
- Сергеев А.Я. Монеты варварского чекана на территории от Балкан до Средней Азии. Каталог коллекции А.Я. Сергеева в ГИМ. М., 2012.
- Смекалова Т.Н., Дюков Ю.Л. Монетные сплавы государств Причерноморья: Боспор, Ольвия, Тира. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001.
- Фролова Н.А. Уникальный клад боспорских монет III в. до н.э. – 238 г. н.э. из древней Горгииппии (Анапа, 1987 г.) // *Вестник древней истории*. 1996. № 2. С. 44–72.
- Фролова Н.П. Монеты из раскопок Горгииппии 1973–1977 гг. // *Горгиппия. I. Материалы Анапской археологической экспедиции* / под общ. ред. И.Т. Кругликовой. Краснодар: Краснодар. книж. изд-во, 1980. С. 122–135.
- Чернышев И.В., Чугаев А.В., Шатагин К.Н. Высокоточный изотопный анализ Pb методом многоколлекторной ICP-масс-спектрометрии с нормированием по $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$: оптимизация и калибровка метода для изучения вариаций изотопного состава Pb // *Геохимия*. 2007. № 11. С. 1155–1168.
- Чугаев А.В., Чернышев И.В. Источники поступления серебра для изделий из погребенных ранних кочевников Южного Приуралья по результатам изучения изотопного состава Pb высокоточным методом MC-ICP-MS // *Влияния ахеменидской культуры в Южном Приуралье (V–III вв. до н.э.)* / под ред. М.Ю. Трейстера, Л.Т. Яблонского. М.: ТАУС, 2012. Т. 1. С. 239–246.
- 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.
- 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. № 11 (9). P. 4959–4970.
- Baron S., Tămaș C.G., Cauuet B., Munoz M. Lead Isotope Analyses of Gold-silver Ores from Roșia Montană (Romania): a First Step of a Metal Provenance Study of Roman Mining Activity in Alburnus Maior (Roman Dacia) // *Journal of Archeological Science*. 2011. № 38 (5). P. 1090–1100.
- 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. № 21 (2). P. 241–252.
- Ceyhan N. Lead Isotope Geochemistry of Pb-Zn Deposits from Eastern Taurides, Turkey: Master Thesis. Ankara, 2003.
- 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.
- 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. Berlin, 2004.
- Gale N., Stos-Gale Z. OXALID: Oxford Archaeological Lead Isotope Database from the Isotrace Laboratory. UK. 2016. URL: <http://oxalid.arch.ox.ac.uk/TheDatabase.htm>
- Niederschlag E., Pernicka E., Seifert Th., 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. № 45 (1). P. 61–100.
- Stacey J.S., Kramers I.D. Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a Two-Stage Model // *Earth and Planetary Science Letters*. 1975. Vol. 26, № 2. P. 207–221.
- Stos-Gale Z., Gale N. Metal Provenancing Using Isotopes and the Oxford Archaeological Lead Isotope Database (OXALID) // *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2009. № 1. P. 195–213.
- Yener K., Sayre E., Joel E., Özbal H., Barnes I., Brill R. Stable Lead Isotope Studies of Central Taurus Ore Sources and Related Artifacts from Eastern Mediterranean Chalcolithic and Bronze Age Sites // *Journal of Archaeological Science*. 1991. № 18. P. 541–577.

Статья поступила в редакцию 20 апреля 2020 г.

Saprykina Irina A., Chugaev Andrey V., Abramzon Mikhail G., Novichikhin Andrey M., and Smekalova Tatiana N.

INVESTIGATING ANCIENT SILVER COINS VIA XRF ANALYSIS AND Pb-ISOTOPIC METHOD (ANAPA ARCHAEOLOGICAL MUSEUM COLLECTIONS)*

DOI: 10.17223/2312461X/28/10

Abstract. The article presents the results of a study into the isotopic composition of Pb and chemical composition of silver, contained in Classical Antiquity and Roman coins, found in the territory of the ancient city of Gorgippia and around the contemporary city of Anapa (Krasnodar region). Our database consisted of 23 silver coins dated between the 5th to the 3rd centuries BC and the 2nd to the 3rd centuries AD. Silver degradation was analyzed by the XRF method. This method allowed us to establish that: a) the coins dated to the 5th to the 4th centuries BC contain fine silver, b) the coins dated to the 3rd century BC to the 2nd century AD had been made of two-component silver, with high silver content, and c) the coins dated to the 2nd to the early 3rd centuries AD had been produced using multicomponent silver-based alloys. Pb isotopic composition analysis using MC-ICP-MS revealed that silver in the coins dated to the 5th to the 3rd centuries BC originated from Eastern Mediterranean ore deposits (Cyclades, Lavrion, and Thrace). Silver contained in the Roman coins had been produced by mixing silver of earlier periods with silver from different ore sources, including silver ore deposits in the Massif Central (France), the Harz Mountains and the Rhenish Slate Mountains (Germany).

Keywords: Classical Antiquity, Roman period, coins, silver, ore deposits, XRF, MC-ICP-MS.

*The research was supported by the Russian Science Foundation (RNF), project No. 18-18-00193, titled ‘The early period in the history of money: From real to conventional value’.

References

- Anokhin V.A. *Monetnoe delo Hersoneses (IV v. do n.e. – XII v. n.e.)* [Coin business of Chersonesus (IV century BC – XII century AD)]. Kiev, 1977.
- Anokhin V.A. *Monetnoe delo Bospora* [The production of coins in Bosporus]. Kiev: Naukova Dumka, 1986.
- Kapitonov I.N., Lokhov K.I., Berezhnaia N.G., Matukov D.I., Bokovenko N.A., Zaitseva G.I., Khavrin S.V., Chugunov K.V., Skott E.M. Kompleksnye izotopnye issledovaniia bronzovykh izdelii skifskoi epokhi iz razlichnykh pamiatnikov Tsentral'noi Azii [Comprehensive isotopic research on bronze artifacts of the Scythian period from different Central Asian sites]. In: *Radiouglerod v arkheologicheskikh i paleoekologicheskikh issledovaniakh*. (Materialy konferentsii, posviashchennoi 50-letiiu radiouglerodnoi laboratorii IIMK RAN, 9-12 apreliia) [Radiocarbon in archaeological and paleo-ecological research:

- Proceedings of the Conference dedicated to the 50th Anniversary of the IIMK RAN Radiocarbon Laboratory (9 to 12 April)]. St. Petersburg: IIMK RAN, 2007, pp. 274–282.
- Novichikhin A.M., Galut O.V. *Zoloto Gorgippii. Nauchno-populiarnyi al'bom-katalog* [The gold of Gorgippia. The research catalogue]. Anapa-Krasnodar, 2013.
- Ravich I.G., Saprykina I.A. Osobennosti sostava i tekhniki izgotovleniia bosporskikh monet, proiskhodiashchikh iz klada, naidennogo v Fanagorii [The composition and technology of making Bosphorus coins from the Phanagoria collection of finds]. In: *Issledovaniia v konservatsii kul'turnogo nasledii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-metodicheskoi konferentsii*, Moskva, 24–26 oktiabria 2017 g. [Research in the conservation of cultural heritage. Proceedings of International research conference]. Vol. 5. Moscow: OOO «Print», 2019, pp. 213–222.
- Salov A.I. Sluchainye nakhodki v Anape i ee okrestnostiakh [Some finds in Anapa and its larger area], *Sovetskaiia arkheologiya*, 1968, no. 3, pp. 202–206.
- Saprykina I.A., Gunchina O.L. Khimicheskii sostav metalla bosporskikh staterov Fanagoriiskogo klada 2011 g. [The chemical composition of the metal contained in Bosphorus coins of the Phanagoria collection of finds of 2011]. In: *Fanagoriia. Rezul'taty arkheologicheskikh issledovaniia* [Phanagoria. Archaeological research results]. Ed. by V.D. Kuznetsov. Vol. 5. Abramzon M.G., Kuznetsov V.D. Klad pozdnobosporskikh staterov iz Fanagorii [The collection of late Bosphorus coins from Phanagoria]. Moscow: Institut arkheologii RAN, 2017, pp. 272–483.
- Saprykina I.A., Pel'gunova L.A., Gunchina O.L., Ravich I.G., Kichanov S.E., Kozlenko D.P., Nazarov K.M. Nekotorye zamechaniia o tekhnike izgotovleniia bosporskikh staterov iz Fanagoriiskogo klada 2011 g. [Notes on the making of Bosphorus coins from the Phanagoria collection of finds of 2011]. In: *Fanagoriia. Rezul'taty arkheologicheskikh issledovaniia* [Phanagoria. Archaeological research results]. Ed. by V.D. Kuznetsov. Vol. 5. Abramzon M.G., Kuznetsov V.D. Klad pozdnobosporskikh staterov iz Fanagorii [The collection of late Bosphorus coins from Phanagoria]. Moscow: Institut arkheologii RAN, 2017, pp. 484–493.
- Saprykina I.A., Chugaev A.V., Pel'gunova L.A., Rodinkova V.E., Stoliarova D.A. K probleme istochnikov postupleniia serebra na territorii Podneprov'ia v rannesrednevekovoe vremia (po materialam klada iz Sudzhi-Zamost'ia) [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, no. 5, pp. 41–56.
- Saprykina I.A., Chugaev A.V., Gunchina O.L., Pel'gunova L.A. Khimicheskii sostav metalla i izotopnyi sostav Pb v serebrianykh monetakh iz klada [The chemical composition of the metal and the Pb isotopic composition of silver coins in the Phanagoria collection of finds]. In: *Fanagoriia. Rezul'taty arkheologicheskikh issledovaniia* [Archaeological research results]. Ed. by V.D. Kuznetsov. Vol. 8. Kuznetsov V.D., Abramzon M.G. Klad pozdnearkhaicheskikh monet iz Fanagorii [The collection of late-archaic coins from Phanagoria]. Moscow: Institut arkheologii RAN, 2020, pp. 66–89.
- Sergeev A.Ia. *Monety varvarskogo chekana na territorii ot Balkan do Srednei Azii. Katalog kollektsii A.Ia. Sergeeva v GIM* [Coins of barbarian production found in the territory from the Balkans to Central Asia. The catalogue of the collection of A.Ya. Sergeev]. Moscow, 2012.
- Smekalova T. N., Diukov Iu. L. *Monetnye splavy gosudarstv Prichernomor'ia: Bospor, Ol'viia, Tira* [Coin alloys in the Black Sea states of Bosphorus, Olviya, and Tira]. St. Petersburg: Izd-vo SPbGU, 2001.
- Frolova N.A. Unikal'nyi klad bosporskikh monet III v. do n.e. – 238 g. n.e. iz drevnei Gorgippii (Anapa, 1987 g.) [The unique collection of Bosphorus coins of the 3rd century BC to the year 238 AD from the ancient town of Gorgippia (Anapa, 1987)], *Vestnik drevnei istorii*, 1996, no. 2, pp. 44–72.
- Frolova N.P. Monety iz raskopok Gorgippii 1973–1977 gg. [Coins from the excavated town of Gorgippia, 1973–1977]. In: *Gorgippiia. I. Materialy Anapskoi arkheologicheskoi ek-*

- speditsii* [Gorgippia. I. Materials of the Anapa archaeological expedition]. Ed. by I.T. Kruglikova. Krasnodar: Krasnodarskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1980. S. 122–135.
- Chernyshev I.V., Chugaev A.V., Shatagin K.N. Vysokotochnyi izotopnyi analiz Pb metodom mnogokollektornoj ICP-mass-spektrometrii s normirovaniem po $^{205}\text{Tl}/^{203}\text{Tl}$: optimizatsiia i kalibrovka metoda dlia izucheniia variatsii izotopnogo sostava Pb [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], *Geokhimiia*, 2007, no. 11, pp. 1155–1168.
- Chugaev A.V., Chernyshev I.V. Istochniki postupleniia serebra dlia izdelii iz pogrebenii rannikh kochevnikov luzhnogo Priural'ia po rezul'tatam izucheniia izotopnogo sostava Pb vysokotochnym metodom MC-ICP-MS [The sources of silver contained in the artifacts from the early nomad burial mounds in the region of the South Urals, based on the analysis of Pb isotopic composition using the MC-ICP-MS method]. In: *Vliianiia akhemenidskoi kul'tury v luzhnom Priural'e (V–III vv. do n.e.)* [The influence of the Achaemenid culture in the region of the South Urals (from the 5th to the 3rd centuries BC)]. Eds. M.Iu. Treister, L.T. Iablonskiy. Vol. 1. Moscow: TAUS. 2012, pp. 239–246.
- Chugaev A.V., Chernyshev I.V., Lebedev V.A., Eremina A.V. Izotopnyi sostav svintsia i proiskhozhdenie chetvertichnykh lav vulkana El'brus (Bol'shoi Kavkaz, Rossiia): dannye vysokotochnogo metoda MC-ICP-MS [The isotope composition of lead and the origin of the quaternary lavas of Elbrus Volcano, the Greater Caucasus: High-precision MC-ICP-MS data], *Petrologiia*, 2013, Vol. 21, no. 1, pp. 20–33.
- 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, no. 38(5), pp. 1090–1100.
- 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, no. 21(2), pp. 241–252.
- Ceyhan N. *Lead Isotope Geochemistry of Pb-Zn Deposits from Eastern Taurides*, Turkey: Master Thesis. Ankara, 2003.
- 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, no. 10, pp. 1555–1567.
- 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. Berlin, 2004.
- Gale N., Stos-Gale Z. *OXALID: Oxford Archaeological Lead Isotope Database from the Isotope Laboratory*. UK. 2016. URL: <http://oxalid.arch.ox.ac.uk/TheDatabase.htm>
- Niederschlag E., Pernicka E., Seifert Th., 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, no. 45(1), pp. 61–100.
- Stacey J.S., Kramers I.D. Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a Two-Stage Model, *Earth and Planetary Science Letters*, 1975, Vol. 26, no. 2, pp. 207–221.
- Stos-Gale Z., Gale N. Metal Provenancing Using Isotopes and the Oxford Archaeological Lead Isotope Database (OXALID), *Archaeological and Anthropological Sciences*, 2009, no. 1, pp. 195–213.
- Yener K., Sayre E., Joel E., Özbal H., Barnes I., Brill R. Stable Lead Isotope Studies of Central Taurus Ore Sources and Related Artifacts from Eastern Mediterranean Chalcolithic and Bronze Age Sites, *Journal of Archaeological Science*, 1991, no. 18, pp. 541–577.