

№ п/п	n	Шифр изделия	Тип изделия	Характер поверхности	Реставрация	Cu	Pb	As	Sn	Сумма
17	1	Ш/19	Изделие фрагмент	П	Р	98.6	0.1			98.7
	1			Ч	Р	98.9				98.9
	k					1.0				
18	1	Ш/18	Изделие фрагмент	П	Р	99.1	0.1		0.5	99.7
	1			Ч	Р	99.6			0.2	99.9
	k					1.0			2.1	
19	2	Ш/10	Изделие фрагмент	Ч	Н	98.0	0.1		1.9	100.0
20	1	Ш/11	Слиток	Ч	Н	100.0				100.0
21	1	Ш/12	Слиток	Ч	Н	96.5			3.2	99.7
22	1	Ш/13	Слиток	Ч	Н	95.4	0.2		4.2	99.8
23	1	Ш/7	Долото фрагмент	П	Н	99.9				99.9

Примечание. n – количество анализов, k – коэффициент концентрации (даны в строках для соответствующих элементов); характер поверхности: П – патина, Ч – участок защищенной поверхности. Консервация: Р – прошедшие консервацию («чищенные»), Н – не прошедшие консервацию («нечищенные»).

В качестве легирующих компонентов использовались Sn и Pb. Содержания этих компонентов достигают первых процентов. Изредка встречается примесь As, не превышающая 0.5 мас. %.

При патинировании во внешнем слое предметов происходит накопление Pb и Sn, концентрация которых может увеличиваться неравномерно, в среднем, до 2 и 1.8 раз, соответственно. Это обстоятельство следует учитывать при интерпретации данных РФА, полученных с патинированных поверхностей. Предварительно можно констатировать, что консервация патинированной поверхности с использованием бензотриазола не оказывает существенного влияния на результаты РФА.

Работа поддержана грантом РФФИ 17-31-01086-ОГН\18.

Литература

Нелин Д.В. Шибасов 1: Поселение эпохи бронзы в Южном Зауралье // Вестник ЧГПУ. Серия 1. Исторические науки. Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2004. С. 150–181.

М.Н. Анкушев¹, Ф.Н. Петров², И.А. Блинов¹

¹ – ИМин УрО РАН, г. Миасс, *ankushev_maksim@mail.ru*

² – Аркаим, г. Челябинск

Металлургические шлаки и медные руды поселения бронзового века Левобережное (Южный Урал)

Поселение Левобережное (Синташта II) является одним из 23 укрепленных поселений эпохи бронзы, известных к настоящему времени на территории степного Зауралья. Оно расположено в Брединском районе Челябинской области, на левом берегу р. Синташ-

та (бассейн р. Тобол), на окраине пос. Комсомольский. Поселение было открыто в 1989 г. И.М. Батаниной в результате дешифрирования аэрофотоснимков [Макурова, Петров, 2017]. До недавнего времени оно являлось одним из наиболее слабоизученных памятников данного типа. Исследования, проведенные археологической экспедицией заповедника «Аркаим» в 2015–2018 гг., позволили установить, что на раннем, синташтинско-петровском этапе, поселение имело линейную планировку и представляло собой два комплекса жилищ, выстроившихся по двум сторонам центральной улицы и окруженных общей стеной и рвом. На позднем, черкаскульско-межевском этапе, поверх остатков более ранних сооружений был возведен поселек из шести отдельно стоящих жилищ. Хозяйство синташтинско-петровского этапа базировалось на скотоводстве при большой роли металлургии и металлообработки меди и бронзы и при заметном значении изготовления керамики, ткачества, обработки камня, кожи и кости, имевших характер домашних промыслов. Позднее роль металлургии в хозяйстве уменьшилась, но основные его отрасли и орудийный комплекс демонстрируют определенную преемственность, как и жилищная архитектура поселения. На поселении найдены многочисленные следы металлургического производства, а также медные и бронзовые изделия: крюк, стержень, пластина, слитки малых размеров и капли металла. Спектральный и рентгенофлуоресцентный анализ металлических предметов показали, что, в основном, они изготовлены из меди или медно-мышьяковистого сплава [Петров и др., 2018].

В ходе данного исследования изучено 9 образцов металлургических шлаков и 1 – медной руды, отобранных с поселения Левобережное. Оптические исследования шлифов проводились на микроскопах Axiolab Carl Zeiss и Olympus BX-51. Состав шлака устанавливался на рентгенофлуоресцентном анализаторе INNOV-X- α 400 (режим Process Analytical, время экспозиции – 30 сек, аналитик М.Н. Анкушев). Состав минералов в шлаках и рудах установлен в ИМин УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 с ЭДС Oxford Instruments X-act (аналитик И.А. Блинов). Формулы хромшпинелидов и оливинов рассчитывались анионным методом на 4 атома О. В работе использованы общеизвестные для хромшпинелидов параметры минерала: хромистость $\#Cr$ ($Cr/(Cr + Al)$) и магнезиальность $\#Mg$ ($Mg/(Mg + Fe^{2+})$), рассчитанные по атомным количествам компонентов.

В ходе исследований 2015–2018 гг. на поселении был обнаружен 61 фрагмент шлаковых лепешек и 4 – бесформенного металлургического шлака. Фрагменты, найденные на поселении, относятся к заполнению котлованов жилищ и межжилищному пространству. Найденные фрагменты шлаковых лепешек имеют размеры от 1.4×1.1 см до 5.8×3.5 см и толщину от 0.8 до 1.1 см; они относятся как к центральным частям лепешек, так и окраинным. Некоторые фрагменты можно сложить в практически целые шлаковые лепешки. Цвет шлаков темно-серый, бурый, черный, фрагменты имеют низкую и среднюю степень пористости. Первоначально образцы шлаков были изучены с помощью рентгенофлуоресцентного анализа, показавшего почти во всех изученных фрагментах шлаковых лепешек примеси Cr, а также в некоторых образцах – As и Ni (табл. 1). Это характерно для шлаков, оставшихся после металлургической плавки руд, приуроченных к ультрабазитовым массивам [Зайков и др., 2013]. Примеси As и Ni также фиксируются практически во всех металлических предметах с поселения [Петров и др., 2018].

Структура шлаков порфировая, текстуры пятнистая и паркетовидная. Все изученные образцы относятся к хромитсодержащему минералогическому типу. Подобные шлаки были выявлены ранее на ряде укрепленных поселений Южного Урала, относящихся к синташтинской культуре [Grigoriev et al., 2005; Анкушев и др., 2018].

**Содержания некоторых элементов-примесей
в составе металлургических шлаков
поселения Левобережное, мас. %**

№ /п	№ обр.	Cu	Cr	As	Ni	Fe
1	529	0.70	0.20	0.26	–	34.87
2	560	0.27	0.66	–	–	42.92
3	264	0.13	0.55	–	–	28.87
4	663	0.58	–	–	–	57.74
5	666	0.48	0.74	–	0.04	30.04
6	715	0.29	0.55	–	–	34.73
7	279	2.38	0.21	–	–	44.11
8	709	0.12	0.64	–	–	49.60
9	331	0.15	0.61	–	–	37.06

Примечание. Рентгенофлуоресцентный анализ проведен в Институте минералогии УрО РАН, на портативном анализаторе INNOV-X α 400 (режим Process Analytical, время экспозиции 30с). Аналитик М.Н. Анкушев. LE – элементы легче Ti (не определяются). Прочерк – не обнаружено.

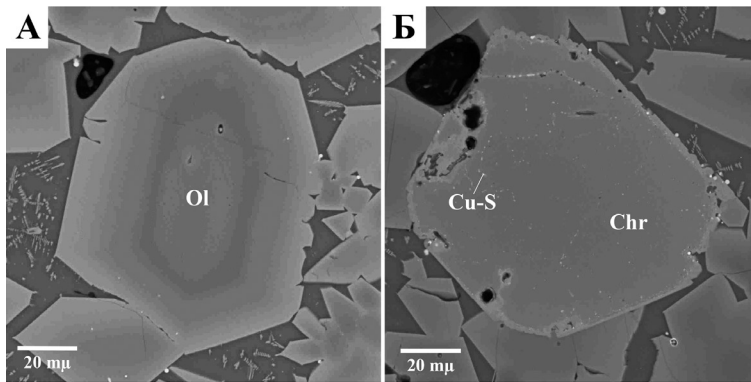


Рис. 1. Минералы древних металлургических шлаков поселения Левобережное.

А – зональный кристалл оливина; Б – хромшпинелид с магнетитовой каймой и субмикронными сульфидными фазами по трещинам. Фото BSE. Обр. Sin II 709. Обозначения минералов: Ol – оливин, Chr – хромшпинелид, Cu-S – сульфидная фаза.

Основную массу составляют новообразованные кристаллы оливина и стекло шлака, реликтовые минералы представлены хромшпинелидами. Соотношение оливина к стеклу от 3:1 до 4:1.

Оливин образует призматические идиоморфные зерна, часто с хорошо выраженной зональностью (рис. 1А), скелетные и цепочечные кристаллы. В отраженном свете по периферии зерен видна более светлая кайма, характеризующаяся повышенным содержанием Fe по сравнению с центральными частями. Минерал представлен фаялитом (табл. 2), однако, в центральных частях кристаллов увеличивается количество форстеритового минала.

Стекло составляет от 10 до 50 % шлака, оно включает большое количество мелких цепочечных и перистых кристаллов оливина. Состав стекла, по результатам СЭМ, весьма непостоянный, в том числе, из-за попадания в область пучка электронов микролитов фаялита, в целом соответствует (мас. %): SiO₂ 40–49, Al₂O₃ 12–18, TiO₂ 0.5–0.8, FeO 20–32, MgO 0–0.6, CaO 5–12, Na₂O 0.3–0.6, K₂O 1.8–3.6, P₂O₅ 0.6–1.1, SO₃ 0–0.6, CuO 0–1.1, редко встречаются примеси As₂O₃ и BaO.

Состав оливинов в металлургических шлаках поселения Левобережное, мас. %

№ п/п	№ обр.	Анализ	SiO ₂	FeO	MgO	CaO	MnO	Cr ₂ O ₃	Сумма	Кристаллохимическая формула	Миналы
1	Sin II 264	17179i	31.54	57.64	9.56	0.36	0.23	0.17	99.50	(Fe _{1,53} Mg _{0,45} Ca _{0,01} Mn _{0,2}) ₂ SiO ₄	Fa _{76,48} Fo _{22,60} La _{0,61} Tf _{0,31}
2	Sin II 529	17178i	32.84	53.83	12.61	0.28	—	0.14	99.71	(Fe _{1,39} Mg _{0,58} Ca _{0,01}) _{1,97} Si _{1,01} O ₄	Fa _{70,22} Fo _{29,31} La _{0,04} Tf _{0,31}
3		17177d	33.90	47.39	19.08	0.21	—	—	100.59	(Fe _{1,16} Mg _{0,84} Ca _{0,01}) _{2,01} SiO ₄	Fa _{58,03} Fo _{41,64} La _{0,33}
4		17177e	30.24	64.26	4.30	0.57	—	—	99.90	(Fe _{1,77} Mg _{0,21} Ca _{0,02} Cr _{0,01}) ₂ Si _{0,99} O ₄	Fa _{88,45} Fo _{10,55} La _{1,01}
5		17177f	33.40	50.61	16.32	0.35	—	—	100.68	(Fe _{1,27} Mg _{0,73} Ca _{0,01}) ₂ SiO ₄	Fa _{63,15} Fo _{36,29} La _{0,56}
6		17177g	32.92	51.30	15.25	0.33	0.20	—	100.00	(Fe _{1,30} Mg _{0,69} Ca _{0,01} Mn _{0,01}) ₂ SiO ₄	Fa _{64,85} Fo _{34,36} La _{0,53} Tf _{0,26}
7	Sin II 709	17177h	33.85	46.67	19.08	0.22	0.18	—	100.00	(Fe _{1,15} Mg _{0,84} Ca _{0,01}) ₂ SiO ₄	Fa _{57,52} Fo _{41,91} La _{0,35} Tf _{0,22}
8		17177i	32.42	53.52	13.63	0.32	0.12	—	100.00	(Fe _{1,37} Mg _{0,62} Ca _{0,01}) _{2,01} Si _{0,99} O ₄	Fa _{68,32} Fo _{31,00} La _{0,52} Tf _{0,16}
9		17177j	30.51	65.09	3.57	0.61	0.22	—	100.00	(Fe _{1,79} Mg _{0,17} Ca _{0,02} Mn _{0,01}) _{1,99} SiO ₄	Fa _{89,83} Fo _{8,78} La _{1,08} Tf _{0,31}
10		17177r	34.49	44.92	20.50	0.24	—	—	100.15	(Fe _{1,09} Mg _{0,89} Ca _{0,01}) _{1,99} SiO ₄	Fa _{54,94} Fo _{44,68} La _{0,38}
11		17177s	30.84	63.91	3.59	0.64	0.16	—	99.15	(Fe _{1,76} Mg _{0,18} Ca _{0,02}) _{1,97} Si _{1,02} O ₄	Fa _{89,65} Fo _{8,97} La _{1,15} Tf _{0,23}

Примечание. Анализы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SBU. Аналитик И.А. Блинов. Прочерк – не обнаружено.

Состав хромшпинелидов в металлургических шлаках поселения Левобережное, мас. %

№ п/п	№ обр.	Анализ	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	ΣFeO	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	Сумма	Кристаллохимическая формула	Cr#	Mg#
1	Sin II 17179d	17179d	43.77	19.38	9.55	25.93	0.48	0.26	—	99.37	(Fe ²⁺ _{0,59} Mg _{0,46}) _{1,05} (Cr _{1,12} Al _{0,74} Fe ³⁺ _{0,11} Ti _{0,01} V _{0,01}) ₂ O ₄	0.60	0.44
2	264	17179e*	46.20	9.50	2.78	39.38	0.45	1.51	—	100.00	(Fe ²⁺ _{0,95} Mg _{0,15} Ca _{0,01}) _{1,1} (Cr _{1,29} Al _{0,4} Fe ³⁺ _{0,22} Ti _{0,01} V _{0,008}) ₂ O ₄	0.77	0.13
3	Sin II 17178c	17178c	40.70	17.13	5.00	35.18	0.87	0.56	—	99.45	(Fe ²⁺ _{0,82} Mg _{0,25}) _{1,08} (Cr _{1,09} Al _{0,68} Fe ³⁺ _{0,17} Ti _{0,02} V _{0,03}) ₂ O ₄	0.61	0.23
4	Sin II 17178n	17178n	51.49	13.35	10.04	23.44	0.29	0.35	0.35	99.22	(Fe ²⁺ _{0,54} Mg _{0,5} Mn _{0,01}) _{1,05} (Cr _{1,35} Al _{0,52} Fe ³⁺ _{0,11} Ti _{0,01} V _{0,01}) ₂ O ₄	0.72	0.48
5	17178o	17178o	53.45	2.04	0.67	42.46	0.98	0.39	—	100.00	(Fe ²⁺ _{1,08} Mg _{0,04}) _{1,12} (Cr _{1,6} Al _{0,09} Fe ³⁺ _{0,12} Ti _{0,03} V _{0,002}) ₂ O ₄	0.95	0.03
6	17177k	17177k	49.24	14.66	8.94	26.55	0.28	0.34	—	100.00	(Fe ²⁺ _{0,62} Mg _{0,44}) _{1,06} (Cr _{1,29} Al _{0,57} Fe ³⁺ _{0,12} Ti _{0,01} V _{0,002}) ₂ O ₄	0.69	0.42
7	Sin II 17177i	17177i	44.32	6.87	1.54	45.51	0.70	1.06	—	100.00	(Fe ²⁺ _{1,07} Mg _{0,08}) _{1,16} (Cr _{1,29} Al _{0,3} Fe ³⁺ _{0,33} Ti _{0,02} V _{0,006}) ₂ O ₄	0.81	0.07
8	17177m	17177m	50.13	14.88	9.40	25.01	0.21	0.36	—	100.00	(Fe ²⁺ _{0,59} Mg _{0,46}) _{1,05} (Cr _{1,3} Al _{0,58} Fe ³⁺ _{0,11} Ti _{0,01} V _{0,002}) ₂ O ₄	0.69	0.44

Примечание. Анализы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SBU. Аналитик И.А. Блинов. Прочерк – не обнаружено. * - в составе присутствует 0.17 мас. % CaO.

Отличительной чертой шлаков поселения Левобережное является крайне ограниченное распространение магнетита, или же полное его отсутствие. В образцах с других укрепленных поселений магнетит распространен повсеместно.

Реликтовые минеральные включения представлены хромшпинелидами размером 25–100 мкм, которые чаще встречаются в виде идиоморфных зерен. Зачастую наблюдаются трещиноватые и пористые выделения. По периферии обычно развивается тонкая сплошная или прерывистая хроммагнетитовая кайма, обогащенная V_2O_3 до 1–1.5 мас. %. Состав минерала варьирует в широком диапазоне (табл. 3), это зависит от типа хромшпинелидов: неизменные реликты, хроммагнетитовая кайма, сильно преобразованное пористое зерно. По трещинам в зернах хромшпинелидов развиваются субмикронные включения сульфидных фаз (рис. 1Б).

Расплавные включения в металлургических шлаках с поселения Левобережное весьма разнообразны по морфологии и составу (рис. 2, табл. 4). Однофазные включения представлены мелкими (5–15 мкм) корольками меди с примесью железа, и мышьяковых бронз с примесью железа (табл. 4, ан. 2, 13–14). Однофазные включения встречаются как в стекле шлака, так и в кристаллах оливина. Двухфазные включения представлены зональными корольками с периферией из сульфида меди и ядром из Cu-As-Ni сплава (табл. 4, ан. 3–4), также обнаружены срастания CuAs-CuS фаз (рис. 2А, табл. 4, ан. 11–12). Трехфазные включения представлены как просто срастаниями трех различных сульфидов и арсенидов (рис. 2Б, табл. 4, ан. 5–7), так и сложными включениями с сульфидной основой, вращением ламелей другого состава и мелкими интерстициями сульфоарсенидного состава с большим количеством никеля (рис. 2В, табл. 4, ан. 8–10).

На поселении обнаружено 4 фрагмента медной руды, один из них был найден в ходе подъемных сборов, а остальные три – в заполнении котлована жилища и межжилищном пространстве. Наиболее крупный фрагмент имеет размеры $3.8 \times 3.3 \times 3.0$ см.

Минеральный состав фрагмента представлен кварцем, малахитом и мусковитом, акцессорные минералы – хризоколла и монацит (рис. 3). Подобная минеральная ассоциация может быть свойственна прожилково-вкрапленным медным месторождениям и рудопроявлениям, приуроченным к гранитным и щелочным массивам. Ранее находки медных руд этой минеральной ассоциации на поселениях бронзового века на Южном Урале не были известны.

Таким образом, металлургические шлаки поселения Левобережное по минеральному и химическому составу, основным элементам-примесям и текстурно-структурным особенностям аналогичны шлакам укрепленных поселений синташтинской культуры, например, поселению Сарым-Саклы, а также синташтинским горизонтам многослойных поселений, таких как Каменный Амбар.

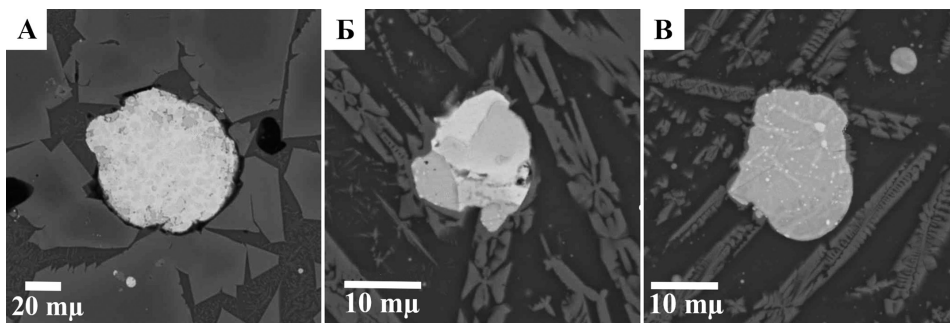


Рис. 2. Расплавные включения в древних металлургических шлаках поселения Левобережное.

А – двухфазное CuAs-CuS включение (обр. Sin II 709); Б – трехфазное CuAs-CuS-CuAsNi включение (обр. Sin II 529); В – трехфазное включение сложного состава (обр. Sin II 529). Фото BSE.

**Состав металлических и сульфидных фаз в металлургических шлаках
поселения Левобережное мас. %**

№ п/п	№ обр.	Анализ	Характеристика		Cu	Fe	Ni	As	S	Сумма
1	Sin II 264	17179i	Включение в стекле шлака		68.00	8.10	–	–	23.90	100.00
2		17179k	Включение в кристалле оливина		89.92	5.97	–	4.11	–	100.00
3	Sin II 529	17178a	Двухфазное включение	Периферия	72.53	4.95	0.58	0.24	21.45	99.75
4		17178b		Ядро	30.14	3.13	28.54	38.19		100.00
5		17178f	Трехфазное включение	Фаза 1	74.83	4.33	–	0.57	19.95	99.68
6		17178g		Фаза 2	77.82	2.95	–	15.64	3.59	100.00
7		17178h		Фаза 3	34.78	4.77	23.96	36.50		100.00
8		17178k	Трехфазное включение	Основа	59.66	13.35	0.32	0.82	25.15	99.30
9		17178l		Ламели	68.73	7.77	0.18	0.35	22.96	100.00
10		17178m		Интерстиции	27.69	20.25	9.96	35.48	6.63	100.00
11	Sin II 709	17177a	Двухфазное включение	Фаза 1	68.85	0.49	0.29	30.36		100.00
12		17177b		Фаза 2	78.81	0.71	–	–	19.79	99.31
13		17177o	Включение в стекле шлака		95.41	4.59	–	–	–	100.00
14		17177p	Включение в стекле шлака		83.35	5.90	0.91	9.56	–	99.71

Примечание. Анализы выполнены в Институте минералогии УрО РАН на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega 3 SBU. Аналитик И.А. Блинов. Прочерк – не обнаружено.

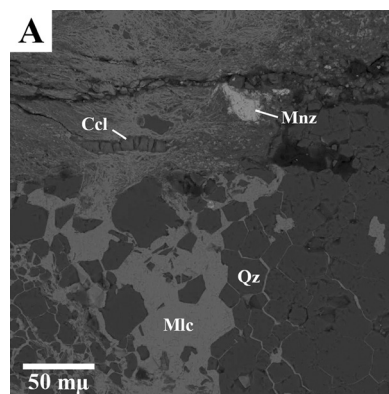


Рис. 3. Минералы фрагмента медной руды с поселения Левобережное.

Фото BSE. Обр. 709C/857. Обозначения минералов: Qz – кварц, Mlc – малахит, Ccl – хризоколлa, Mnz – монацит.

Присутствие реликтов хромшпинелидов, примеси As, Ni, Co в металлических включениях в шлаке и металлических изделиях, обнаруженных на поселении, свидетельствует о широком использовании в металлургическом процессе медных руд, приуроченных к ультрабазитовым массивам.

Единичная находка фрагмента кварц-малахитового прожилка с мусковитом, хризоколлой и монацитом может говорить об использовании на поселении руд с различных типов месторождений, либо обмелу и торговле рудами или пробными плавками нового типа руд на поселении.

Работа поддержана проектом РФФИ № 17-31-01086-ОГН «Развитие горно-добывающей и металлургической промышленности на протяжении бронзового века на Южном Урале».

Литература

- Анкушев М.Н., Артемьев Д.А., Блинов И.А. Элементы-примеси в зональных оливинах металлургических шлаков бронзового века на Южном Урале // *Минералогия*. 2018. Т. 4(1). С. 55–67.
- Зайков В.В., Юминов А.М., Анкушев М.Н., Ткачев В.В., Носкевич В.В., Епимахов А.В. Горно-металлургические центры бронзового века в Зауралье и Мугоджарах // *Известия Иркутского государственного университета*. Сер. «Геоархеология, этнология, антропология». 2013. № 1 (2). С. 174–195.
- Макурова М.Р., Петров Ф.Н. Аркаим – «Страна городов». Путеводитель по «бронзовому кольцу России». Заповедник «Аркаим». Челябинск: АБРИС, 2017. 55 с.
- Петров Ф.Н., Анкушев М.Н., Медведева П.С. Материальные свидетельства технологических процессов в культурном слое поселения Левобережное (Синташта II): опыт функционального подхода // *Magistra Vitae: электронный журнал по историческим наукам и археологии*. 2018. № 1. С. 112–147.
- Grigoriev S.A., Dunaev A.Yu., Zaykov V.V. Chromites: an indicator of copper ore source for ancient metallurgy // *Doklady Earth Sciences*. 2005. Vol. 400(1). P. 95–98.

Д.А. Артемьев, В.В. Зайков

ИМин УрО РАН, г. Муасс, artemyev@mineralogy.ru

Элементы-примеси в самородной платине из россыпей Южного Урала: результаты ЛА-ИСП-МС анализа

Самородная платина и минералы платиновой группы (МПП) широко распространены в россыпных зонах Урала, связанных с ультрабазитовыми массивами. При этом МПП как попутный компонент концентрируются в золотопродуктивных россыпях, что характерно для зоны Главного Уральского разлома. Также МПП часто встречаются в виде включений в древних золотых изделиях, имеющих возраст от бронзового века до средневековья. Этот факт является индикатором использования в древности золота из россыпей с ультрабазитовым субстратом [Зайков, Баранников, 2015; Зайков, Таиров, 2017; Jansen et al., 2016].

Установление источников золота, используемого в древности, и его миграции является одним из важных направлений в геоархеологии и археометрии. Однако, в большинстве случаев, данных по составу золота недостаточно для этого. Хорошим источником информации является выявление микровключений, содержащихся в золотых изделиях [Зайков и др., 2017]. Среди микровключений отдельной группой выделяются МПП, которые могут стать хорошим критерием для определения источников золота для изготовления древних артефактов [Zaykov et al., 2017]. Но в связи с широким изоморфизмом основных компонентов в МПП, часто и эта информация бывает недостаточна.

Важным маркером в установлении источников МПП могут стать элементы-примеси, содержащиеся в них. Ранее при изучении элементов-примесей в МПП применялись методы атомно-силовой микроскопии [Tamana et al., 1994], затем на смену им пришли единичные попытки измерений с помощью метода ЛА-ИСП-МС [Becker et al., 2001], калибровка масс-спектрометра при этом осуществлялась на растворах. Ограниченность исследований по измерению элементов-примесей в самородных металлах, отсутствие международных стандартов с матрицей, близкой исследуемым минералам, в настоящее время являются препятствием для широкого внедрения метода ЛА-ИСП-МС в практику изучения металлов и самородных элементов. В этом исследовании авторами была проведена работа по постановке методики ЛА-ИСП-МС анализа платиноидов с помощью твердых стандартных образцов, и сделана попытка выявления маркирующих элементов-примесей в самородной платине.