

Таким образом, использование микроанализатора Jeol JSM-7001F позволило установить скрытую зональность первичного микровключения, присутствие в нем тончайших жилок золота и выделить две группы вторичных микровключений: интенсивно- и слабо преобразованных.

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011, и в рамках гранта РФФИ № 15-05-0031.

Литература

Зайков В.В., Котляров В.В., Зайкова В.В. Состав и преобразования микровключений минералов системы Os – Ir – Ru в древних золотых изделиях // Записки РМО, 2015, № 3. С. 106–112.

Зайков В.В., Тауров А.Д., Зайкова Е.В., Юминов А.М., Котляров В.А. Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Центральной Евразии. Челябинск: Каменный пояс, 2016. 320 с.

Craddock P.T. The Platinum Group Element Inclusion // A. Ramage, P. Craddock, King Groesva Gold: Excavations at Sardis, 11) London: Cambridge, 2000. MA. P. 234–244.

Harris D., and Cabri L. Nomenclature of platinum-group-element alloys: Review and revision, Canadian Mineralogist 29, 1991. P. 231–237.

Ogden J.M. Platinum Group Inclusion in Ancient Gold Artifacts, Journal of the Historical Metallurgical Society. 1977. 11.2. P. 53–73.

Whitmore F.E., Young W.J. Application of the Laser Microprobe and Electron Microprobe in the Analysis of Platinum Group Inclusion in Gold // W.Y. Young (ed.). Application of Science in Examination of Art. Boston, 1973. P. 88–95.

Young W.J. The Fabulous Gold of the Pactolus Valley // Bulletin of Boston museum of Fine Arts, 1972. P. 5–13.

В.В. Зайков^{1,2}, А.М. Юминов^{2,1}, Д.М. Галимов², Е.В. Зайкова¹

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

*²Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе
zaykov@mineralogy.ru*

Воздействие расплава золота на микровключения рутения в древних изделиях могильника Филипповка I (Южный Урал)

При изучении древних золотых изделий из могильника Филипповка I был установлен россыпной источник металла и влияние золотого расплава на микровключения платиноидов, содержащихся в золоте [Зайков и др., 2015; 2016]. Оно выражается в появлении по периферии крупных зерен наноразмерных микровключений и выносе из них осмия. Для уточнения этого процесса был использован электронный микроскоп JEOL JSM-7001F (аналитик Галимов Д.М.), позволяющий определять состав частиц размером около 1 мкм и проводить микрогеохимическое картирование. В статье изложены результаты работы, выполненной в Южно-Уральском госуниверситете и Институте минералогии УрО РАН в 2017 г.

Объектами исследования явились предметы из курганов 1 и 4 могильника Филипповка I (рис. 1), информация о которых содержится в работах [Пшеничнюк, 2000; Яблонский, 2008; Блинов и др., 2015].

Золотая нашивка в виде розетки диаметром 2.5 см (курган 1, обр. F13-3) имеет состав (мас. %): Au 95.1; Ag 3.1, Cu 1.8. В ней выявлены микровключения рутения размером 20–

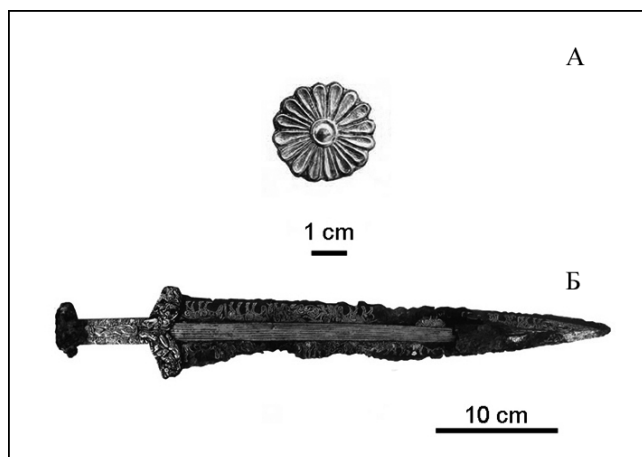


Рис. 1. Изделия из Филипповского могильника.

А – золотая нашивка; Б – железный меч с золотой инкрустацией.

30 мкм, одно из которых имеет состав (мас. %): Ru 43–44, Os 34–35, Ir 21–22 (табл. 1, анализы № 2–12). Исследованное микровключение размером 15×25 мкм овальной формы сопровождается ореолом микрочастиц с повышенными содержаниями Ir (рис. 2), что отчетливо видно на карте распределения элементов. По результатам анализа (№ 14), одна из микрочастиц содержит (мас. %) Ru 20, Os 19, Ir 61.

Золотая инкрустация железного меча (курган 4, обр. F17-2) имеет состав (мас. %): Au 97–98; Ag 0.7–0.8, Cu 0.7–1.3. В ней выявлены многочисленные микровключения платиноидов, из которых два зерна рутения были детально изучены (табл. 2). Микровключение F17-2-1 имеет размер 110 × 200 мкм, треугольную сглаженную форму, участками с

Таблица 1

Состав микровключений рутения из золотой нашивки (проба F13-3)

№ п/п	№ анализа	Ru	Rh	Os	Ir	Формула	Минерал
1	2	43.92	–	34.59	21.49		
	3	43.90	–	34.44	21.66		
	4	43.46	–	34.98	21.56		
	5	43.72	–	34.79	21.49		
	6	43.91	–	34.85	21.24		
	7	43.77	–	34.63	21.60		
	8	43.69	–	34.64	21.67		
	9	43.68	–	34.80	21.52		
	10	43.93	–	34.49	21.58		
	11	43.76	–	34.60	21.63		
	12	43.66	–	34.61	21.74		
	Среднее		43.76	0.00	34.67		
2	14	19.50	–	19.20	61.30	$Ir_{0.52}Ru_{0.32}Os_{0.16}$	Иридий осмиево-рутениевый

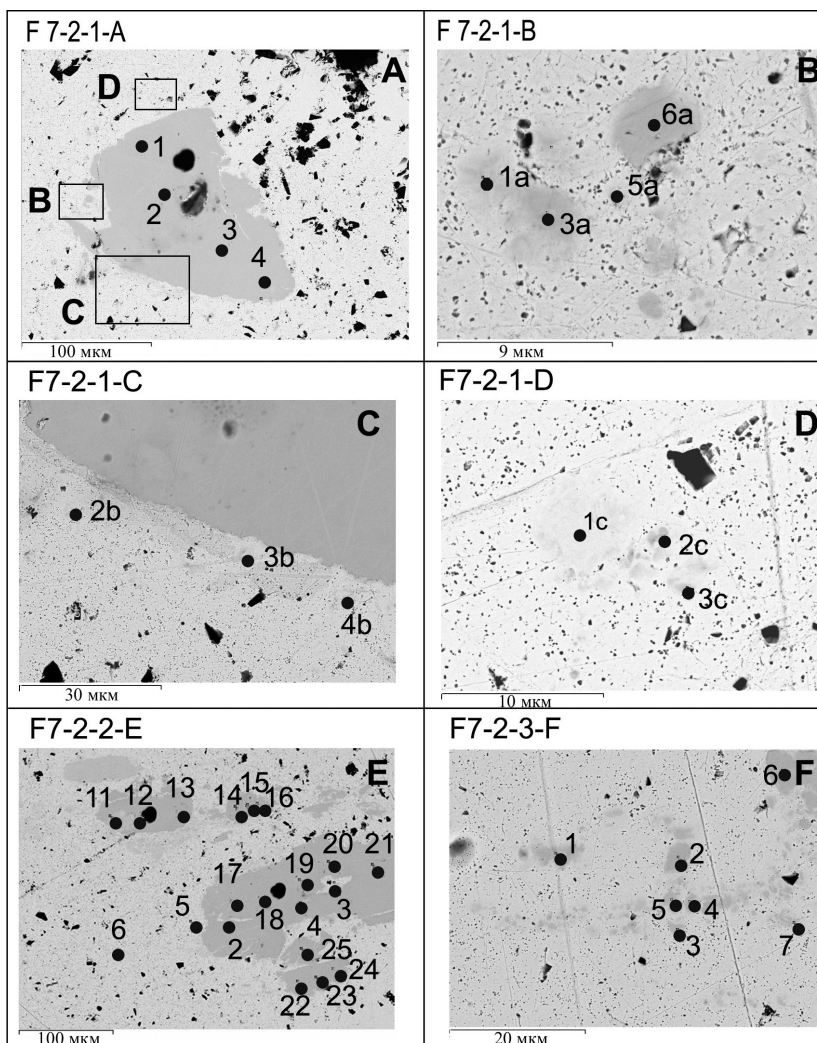


Рис. 2. Первичные и вторичные микровключения платиноидов в золотой нашивке, обр. F13-3, Филипповка I.

А, В – точки анализов, С–F – распределение элементов на микрогеохимических картах.

неровными ограничениями, состав (мас. %): Ru 35–36, Os 42, Ir 21, Rh 1. Микровключе- ние рассечено тончайшими прожилками золота, смыкающимися с окружающим металлом (рис. 3). По периферии присутствуют мельчайшие зерна рутения размером 5–10 мкм, име- ющие сходный состав (мас. %): Ru 36–39, Os 38–43, Ir 16–20, Rh 1–3. В неровностях уста- новлены вторичные микровключения двух типов. К первому отнесены частицы размером 2–4 мкм состава (мас. %): Ru 29–46, Os 21–28, Ir 20–48, Rh 2, ко второму – более мелкие фрагменты, содержащие (мас. %) Ru 80, Os 11, Ir 3, Rh 7. Микровключение F17-2-2 имеет размер 120×300 мкм, его краевая часть раздроблена на блоки размером 20–60 мкм. Состав (мас. %): Ru 32–33, Os 31–33, Ir 33–35, Pt 1. Единичные вторичные микровключения имеют состав (мас. %): Ru 44, Os 5, Ir 51.

Таблица 2

Состав микровключений рутения из золотой инкрустации железного меча (проба F7-2)

№ п/п	№ ан.	Ru	Rh	Os	Ir	Pt	Fe	Формула	Минерал
Микровключение F7-2-1									
3	1	35.94	0.93	41.86	21.28	–	–		
	2	36.40	1.05	41.78	20.76	–	–		
	3	35.88	1.12	41.79	21.22	–	–		
	4	35.57	1.53	41.95	20.95	–	–		
	5-6	39.94	1.93	41.95	16.18	–	–		
Среднее		36.75	1.31	41.87	20.08	–	–	$Ru_{0.52}Os_{0.31}Ir_{0.15}Rh_{0.02}$	Рутений иридиево-осмиевый
4	1-6	39.43	3.31	38.21	19.05	–	–		
	4-6	36.40	1.03	42.30	20.27	–	–		
	3-а	38.14	1.43	42.85	17.58	–	–		
	6-а	36.08	1.54	42.37	20.01	–	–		
Среднее		37.51	1.83	41.43	19.23		–	$Ru_{0.53}Os_{0.31}Ir_{0.14}Rh_{0.02}$	Рутений иридиево-осмиевый
5	2-6	29.14	1.76	20.72	48.37	–	–	$Ru_{0.43}Ir_{0.38}Os_{0.16}Rh_{0.03}$	Рутений осмиево-иридиевый
6	3-6	49.84	2.23	27.70	20.22	–	–	$Ru_{0.64}Os_{0.19}Ir_{0.14}Rh_{0.03}$	Рутений иридиево-осмиевый
7	1-а	45.77	2.21	23.59	28.43	–	–	$Ru_{0.61}Ir_{0.20}Os_{0.16}Rh_{0.03}$	Рутений осмиево-иридиевый
8	5-а	79.54	6.56	10.88	3.03	–	–	$Ru_{0.85}Rh_{0.07}Os_{0.06}Ir_{0.02}$	Рутений
9	1в	1.19	1.96	–	96.85	–	–	$Ir_{0.94}Rh_{0.04}Ru_{0.02}$	Иридий
10	2в	62.35	2.01	–	35.64	–	–	$Ru_{0.75}Ir_{0.23}Rh_{0.02}$	Рутений иридиевый
11	3в	65.13	3.61	–	31.26	–	–	$Ru_{0.77}Ir_{0.19}Rh_{0.04}$	Рутений иридиевый
Микровключения F7-2- 2									
12	11	31.65	–	33.36	33.16	1.66	–		
	12	31.78	–	33.05	33.99	0.99	–		
	13	31.84	–	33.17	33.92	1.05	–		
	14	31.69	–	33.44	33.38	1.23	–		
	15	32.32	–	32.95	33.64	0.93	–		
	16	31.78	–	33.38	34.16	0.63	–		
	17	32.24	–	32.40	34.35	0.82	–		
	18	31.72	–	33.11	33.24	1.79	–		
	19	32.13	–	32.89	33.97	1.05	–		
	20	32.42	–	32.86	33.97	0.51	–		
	21	32.28	–	33.04	34.01	0.47	–		
	22	31.61	–	33.21	34.46	0.57	–		
	23	32.22	–	32.33	34.39	0.95	–		
	24	32.72	–	30.56	35.02	1.49	–		
	25	34.61	–	27.84	36.25	1.15	–		
Среднее		32.20	–	32.51	34.13	1.02	–	$Ru_{0.47}Ir_{0.26}Os_{0.26}Pt_{0.01}$	Рутений осмиево-иридиевый
13	7	44.35	–	4.98	50.50	–	–	$Ru_{0.60}Ir_{0.36}Os_{0.04}$	Рутений иридиевый
Микровключения F7-2-3									
14	1	35.70	–	25.35	36.71	2.11	0.12		
	2	35.56	–	26.29	36.11	1.93	0.11		
	3	33.91	–	29.52	34.62	1.85	0.10		
	4	33.80	–	30.26	28.93	6.96	0.05		
	5	34.31	–	29.07	31.02	5.46	0.14		
	6	33.00	–	29.21	35.45	2.12	0.22		
Среднее		34.38	–	28.28	33.81	3.41	0.12	$Ru_{0.50}Ir_{0.26}Os_{0.22}Pt_{0.02}$	Рутений осмиево-иридиевый

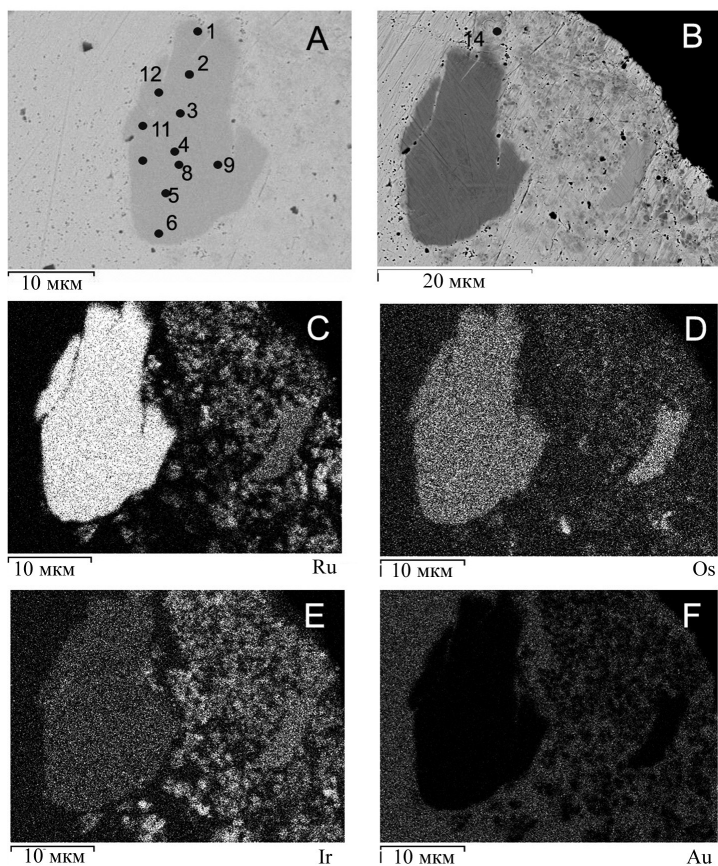


Рис. 3. Первичные и вторичные микровключения платиноидов в золотой инкрустации железного меча. Филипповка I. Обр. F7-2,

A–D микровключение F7-2-1: A – общий вид, B–D детали; E – микровключения F7-2-2-E; F – микровключения F7-2-3-F.

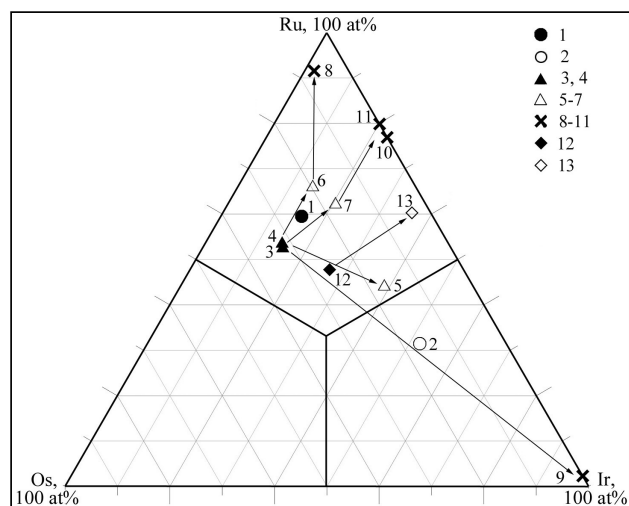


Рис. 4. Составы микровключений рутения на диаграмме Os-Ru-Ir [Harris, Cabri, 1991]

1, 2 – микровключения F13-3: 1 – первичное, 2 – вторичное слабо преобразованное; 3–5 – микровключения F7-2-1: 3, 4 – первичное, 5, 6, 7 – вторичные слабо преобразованные, 8–11 – вторичные интенсивно преобразованные; микровключения F7-2-2: 12 – первичное, 13 – вторичное интенсивно преобразованное. Анализы выполнены на микроанализаторе Jeol JSM-7001F в Южно-Уральском университете, аналитик Д.М. Галимов, 2017 г.

Полученные данные нанесены на диаграмму Os-Ru-Ir [Harris, Cabri, 1991], на которой отражена тенденция изменения состава микровключений рутения под воздействием золотого расплава (рис. 4). По образцу F13-3 получена позиция первичного состава (точка 1) в центре сектора рутения и позиция вторичного микровключения (точка 2) в верхней части сектора иридия.

В образце F7-2-1 основное микровключение и отторгнутые частицы имеют одинаковый состав и занимают позицию в левой части рутениевого сектора (точки 3, 4). Вторичные микровключения разделяются на слабо преобразованные (точки 5, 6, 7) и интенсивно преобразованные (точки 8–11) вдоль линии Ir-Ru с разной позицией точек составов на диаграмме по удалению от состава первичных. Микровключение F7-2-2 охарактеризовано точками первичного (точка 12) и вторичного составов (точка 13) в той же тенденции, что и составы микровключения F7-2-1.

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашения № 02.A03.21.0011, и в рамках гранта РФФИ № 15-05-00311.

Литература

Блинов И.А., Анкушев М.Н., Яблонский Л.Т., Халыгина О.А. Состав золотых, серебряных и бронзовых изделий из могильника Филиповка I (курган 1, погребение 2) // Археология и археологическая минералогия-2014. Миасс: ИМин УрО РАН, 2014. С. 84–92.

Зайков В.В., Котляров В.В., Зайкова В.В. Состав и преобразования микровключений минералов системы Os – Ir – Ru в древних золотых изделиях // Записки РМО, 2015, № 3. С. 106–112.

Зайков В.В., Яблонский Л.Т., Дашиковский П.К., Котляров В.А., Зайкова Е.В., Юминов А.М. Микровключения платиноидов группы осмия в древних золотых изделиях Сибири и Урала // Археология. Этнография. Антропология Евразии, 2016, Т. 44, № 1. С. 51–61.

Пшеничнюк А.Х. Олени Филиповки // Золотые олени Евразии. Санкт-Петербург: Гос. Эрмитаж, 2003. С. 9–12.

Яблонский Л.Т. Сарматы Южного Приуралья // Сокровища сарматских вождей (материалы раскопок Филиповских курганов). Оренбург: Печатный дом Димур, 2008. С. 17–32.

Harris D., Cabri L. Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision // Canadian Mineralogist, 1991. V.29. P. 231–237.

***В.В. Зайков^{1,2}, М.Н. Анкушев¹, В.М. Рыжков¹,
И.А. Блинов¹, Е.В. Зайкова¹, М.А. Рассомахин³***

¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

² – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе

*³ – Ильменский государственный заповедник, г. Миасс
zaykov@mineralogy.ru*

О взаимодействии микровключений рутения с расплавом золота по экспериментальным данным

При исследовании древних золотых изделий раннего железного века, выявленных на Южном Урале и в античном городе Фанагория (Северное Причерноморье), установлено изменение состава зерен платиноидов, попавших в расплав при изготовлении украшений. В обоих случаях оно выражается в формировании по периферии включений платиноидов