

Сравнение полученных составов зерен с данными о платиноидах Киалимской россыпи, расположенной в 70 км к северу от Мало-Иремельской [Зайков и др., 2010], показало, что фигуративные точки составов последней соответствуют полю, полученному для платиноидов россыпи р. Киалим.

Источниками исследованных зерен Мало-Иремельской россыпи являлись хромитовые проявления в северной части Нуралинского гипербазитового массива. Здесь известно Приозерное проявление хромитов с платиноидной минерализацией [Золоев и др., 2001]. Собственные минералы платиноидов встречены в рудах в виде сыпи зерен и агрегатов системы Os-Ru-Ir в тесном парагенезисе с сульфидами и арсенидами. Широкое распространение платиновых минералов в россыпи свидетельствует о том, что должны быть выявлены новые пункты с данной минерализацией в бассейне сноса обломочного материала. Полученные данные свидетельствуют, что оперативный анализ платиноидов может с достаточной достоверностью проводиться методом РФА на спектрометре M1 MISTRAL.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 15-05-00311) и Госзадания Минобрнауки РФ (№ 33.264.2014).

Литература

Зайков В. В., Мурзин В. В., Котляров В. А., Зайкова Е. В. Платиноиды из Киалимской россыпи (Урал) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Мат. VIII межрегион. научно-практ. конф. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2010. С. 127–130.

Золоев К. К., Волченко Ю. А., Коротеев В. А., Малахов И. А., Мардиросьян А. Н., Хрыпов В. Н. Платинметальное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: Департамент природных ресурсов, 2001. 199 с.

Савельев Д. Е., Сначев В. И., Савельева Е. Н., Бажин А. Г. Геология и хромитоносность габбро-гипербазитовых комплексов Южного Урала. Уфа: Гилем, 2008. 319 с.

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

В. В. Зайков^{1,2}, В. А. Котляров¹, Е. В. Зайкова¹, Ю. Д. Крайнев¹

¹ – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс
zaykov@mineralogy.ru

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

Зональные зерна рутения из Мало-Иремельской россыпи (Южный Урал)

При исследовании платиноидов из Мало-Иремельской россыпи выявлены зерна рутения с каймами, сформировавшимися под воздействием наложенных процессов. Цель работы – рассмотрение состава новообразованных кайм и возможных причин их образования.

Объект находится в южной части Миасского россыпного района в левом притоке р. Миасс. Россыпь имеет четвертичный возраст, включает отрезки долинного, террасового и ложкового типов, имеет длину 2500 м и ширину 50–400 м. Золото

крупное с самородками. Из россыпи добыто 2.2 т золота с примесью платиноидов [Иванищев, 2005ф]. Россыпь питается продуктами размыва северной части Нуралинского гипербазитового массива [Савельев и др., 2013]. Наличие в россыпи платиноидов ранее было известно, но состав минералов платиновой группы практически не изучался.

Оптические исследования проведены на микроскопе Olympus B551 в полированных шлифах, в которые были вмонтированы зерна платиноидов. Микрорентгеноспектральный анализ (РСМА) выполнен в Институте минералогии УрО РАН на приборе РЭММА 202М с энергодисперсионной приставкой (аналитик В. А. Котляров). Снимки минералов сделаны в режиме обратно-рассеянных электронов (BSE COMPO). Большинство платиноидов Мало-Ирмельской россыпи представлено твердыми растворами Os-Ru-Ir. В основном, исследованные зерна относятся к рутению иридиево-осмиевому.

Зерно рутения иридиево-осмиевого № 1 Ир1-4-1 вытянутой формы размером 30×800 мкм имеет кайму шириной 40–50 мкм из сложных агрегатов, состоящих из смеси сульфосенидов рутения и иридия. Рутений иридиево-осмиевый Ru-Ir-Os (мас. %: Ru 46, Os 24–25; Ir 22–23; табл. 1, анализы 4–7) образует овальные реликты размером $50–100 \times 150–250$ мкм в ядерных частях агрегатов (рис. 1). Эти ядра окаймлены полосчатыми агрегатами лаурита и ирарсита (табл. 1, анализы 11–14) шириной 4–12 мкм. Внешняя кайма представлена прерывистой каймой лаурита (табл. 1, анализы 16–18) шириной 5–15 мкм. Формирование каймы, судя по наличию минералов гидротермального происхождения, происходило под влиянием гидротермальных растворов.

Большая часть зерна Ир3-ср-14 размером 100×200 мкм (рис. 2) сложена рутением иридиево-осмиевым (мас. %): Ru 26–30, Os 31–34, Ir 32–36 (табл. 2). В периферической части зерна развита прерывистая каемка толщиной 5–10 мкм состава (мас. %): Ru 39–45, Os 1–10, Ir 50–57. Налицо изменение первичного состава за счет уменьшения содержания осмия и обогащения иридием на 20 % и рутением на 13–16 %. По морфологии кайма подобна хроммагнетитовым оболочкам хромшпинелидов из кор выветривания Южного Урала [Анкушев и др., 2015].

На Южном Урале основной гипергенез проходил при формировании коры выветривания, начиная с юры по конец мела в течение 120 млн лет [Сигов, 1969]. Реликты коры выветривания отмечены во многих эрозионно-структурных депрессиях [Баранников, 2006], в том числе в Миасской россыпной зоне. Для формирования

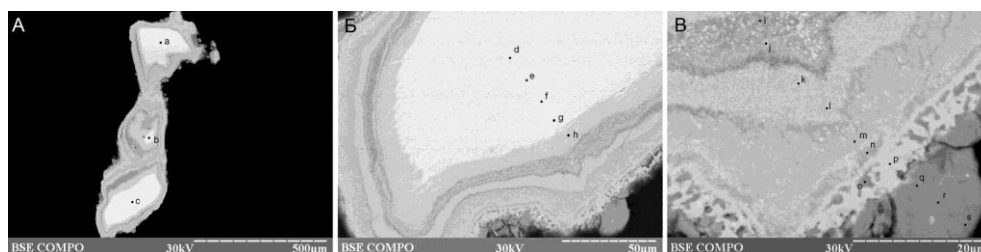


Рис. 1. Зональное зерно рутения иридиево-осмиевого Ир-1-4-1.

А – общий вид зерна: три реликта рутения [Ru-Os-Ir, a-c], окруженного сульфидами; В – ядерная часть южного реликта рутения [Ru-Os-Ir, d-g] (фрагмент В), С – краевая часть южного реликта [Ru-Os-Ir], сульфосениды (h-s). Точки – анализы 22086. Снимки SEM.

Таблица 1

Состав платиноидов зонального зерна Ир1-4/1 (№ 1), мас. %

№ п/п	Участок	№ анализа	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe	Ni	S	As	Сумма	Кристаллохимическая формула	Минерал
1	Общий вид (А)	22086а	24.99	22.43	46.25	4.11	1.47	0.31	0.28	–	–	99.84	$Ru_{0.60}Os_{0.17}Ir_{0.15}Rh_{0.05}Pt_{0.01}Fe_{0.01}Ni_{0.01}$	Рутений иридиево-осмиевый
2		22086b	24.56	22.42	46.67	3.72	1.38	0.42	0.24	–	–	99.41	$Ru_{0.61}Os_{0.17}Ir_{0.15}Rh_{0.05}Pt_{0.01}Fe_{0.01}$	
3		22086с	24.21	23.39	46.02	4.14	1.25	0.35	0.36	–	–	99.72	$Ru_{0.59}Os_{0.17}Ir_{0.16}Rh_{0.05}Pt_{0.01}Fe_{0.01}Ni_{0.01}$	
1	Ир1-4/1-1 (В)	22086d	24.67	22.88	46.34	3.81	1.35	0.37	0.33	–	–	99.75	$Ru_{0.60}Os_{0.17}Ir_{0.15}Rh_{0.05}Pt_{0.01}Fe_{0.01}Ni_{0.01}$	
2		22086e	25.08	22.19	45.98	4.01	1.38	0.35	0.31	–	–	99.3	$Ru_{0.60}Os_{0.17}Ir_{0.15}Rh_{0.05}Pt_{0.01}Fe_{0.01}Ni_{0.01}$	
3		22086f	24.37	22.88	45.96	4.02	1.54	0.40	0.27	–	0.28	99.72	$Ru_{0.60}Os_{0.17}Ir_{0.16}Rh_{0.05}Pt_{0.01}Fe_{0.01}$	
4		22086g	25.09	22.84	45.87	3.59	1.59	0.46	0.31	–	–	99.75	$Ru_{0.60}Os_{0.17}Ir_{0.16}Rh_{0.04}Pt_{0.01}Fe_{0.01}Ni_{0.01}$	
5		22086h	3.84	43.11	12.12	2.85	2.36	–	0.13	17.51	17.62	99.54	$(Ir_{0.57}Ru_{0.31}Rh_{0.07}Os_{0.05}Pt_{0.03}Ni_{0.01})_{1.04}(S_{1.40}As_{0.60})_{2.00}$	Ирарсит
6	Ир1-4/1-2 (С)	22086i	4.52	19.26	32.70	2.41	1.15	–	0.28	30.93	8.75	100.00	$(Ru_{0.60}Ir_{0.19}Os_{0.04}Rh_{0.04}Pt_{0.01}Ni_{0.01})_{0.89}(S_{1.78}As_{0.22})_{2.00}$	Лаурит ¹
7		22086j	11.23	16.71	28.4	2.55	0.77	–	–	32.65	7.69	100.00	$(Ru_{0.50}Ir_{0.16}Os_{0.11}Rh_{0.04}Pt_{0.01})_{0.81}(S_{1.82}As_{0.18})_{2.00}$	Лаурит ¹
8		22086k	3.81	38.33	13.98	2.89	3.37	0.51	0.19	21.39	15.53	100.00	$(Ir_{0.46}Ru_{0.32}Rh_{0.06}Os_{0.05}Pt_{0.04}Fe_{0.02}Ni_{0.01})_{0.95}(S_{1.53}As_{0.47})_{2.00}$	Ирарсит
9		22086l	2.36	40.67	14.37	2.9	2.71	0.39	0.14	21.48	14.96	99.98	$(Ir_{0.49}Ru_{0.33}Rh_{0.06}Os_{0.03}Pt_{0.03}Fe_{0.02}Ni_{0.01})_{0.96}(S_{1.54}As_{0.46})_{2.00}$	Ирарсит
10		22086m	4.45	34.82	21.64	2.9	2.08	0.62	0.08	22.50	10.91	100.00	$(Ru_{0.51}Ir_{0.43}Rh_{0.07}Os_{0.06}Pt_{0.03}Fe_{0.03})_{1.11}(S_{1.66}As_{0.34})_{2.00}$	Ирарсит ²
11		22086n	0.97	33.74	24.97	3.23	1.97	1.07	–	21.90	12.16	100.01	$(Ru_{0.58}Ir_{0.42}Rh_{0.07}Fe_{0.05}Pt_{0.02}Os_{0.01})_{1.16}(S_{1.62}As_{0.38})_{2.00}$	Ирарсит ²
12		22086p	0.24	36.46	3.72	9.79	7.03	–	–	18.93	23.36	99.53	$(Ir_{0.42}Ru_{0.08}Rh_{0.21}Pt_{0.08})_{0.80}(S_{1.31}As_{0.69})_{2.00}$	Лаурит ¹
13		22086q	5.25	3.16	44.86	2.77	–	–	–	41.32	1.83	99.19	$(Ru_{0.68}Os_{0.04}Rh_{0.04}Ir_{0.03})_{0.78}(S_{1.96}As_{0.04})_{2.00}$	Лаурит ¹
14		22086r	4.41	2.45	45.33	3.49	–	–	–	41.77	1.71	99.16	$(Ru_{0.68}Rh_{0.05}Os_{0.03}Ir_{0.02})_{0.78}(S_{1.97}As_{0.03})_{2.00}$	Лаурит ¹
15		22086s	3.31	1.14	48.19	3.04	–	–	–	42.61	0.91	99.20	$(Ru_{0.71}Rh_{0.04}Os_{0.03}Ir_{0.01})_{0.79}(S_{1.98}As_{0.02})_{2.00}$	Лаурит ¹

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен. ^{1,2} – по количеству основных элементов можно предположить, что преобладающим минералом в точке анализа были лаурит RuS_2^1 и ирарсит $(Ir Ru Rh Pt)AsS^2$.

Т а б л и ц а 2

Состав зерен платиноидов из Мало-Ирмельской россыпи, мас. %

№ п/п	№ анализа	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула	Минерал
1	22207p	31.67	32.76	25.88	2.51	1.77	–	–	99.56	$Ru_{0.41}Ir_{0.27}Os_{0.27}Rh_{0.04}Pt_{0.01}$	Рутений осмиево-иридиевый
2	22207d	33.93	31.64	29.64	2.00	2.59	–	–	99.81	$Ru_{0.44}Os_{0.27}Ir_{0.24}Rh_{0.03}Pt_{0.02}$	
3	22207n	3.59	57.08	34.66	1.38	–	2.02	0.54	99.27	$Ru_{0.48}Ir_{0.41}Os_{0.03}Rh_{0.02}Fe_{0.05}Ni_{0.01}$	Рутений иридиевый
4	22207o	1.66	49.78	44.79	1.02	–	1.51	0.35	99.10	$Ru_{0.59}Ir_{0.34}Os_{0.01}Rh_{0.01}Fe_{0.04}Ni_{0.01}$	
5	22207c	9.90	51.70	33.85	1.49	–	1.75	0.57	99.25	$Ru_{0.47}Ir_{0.38}Os_{0.07}Rh_{0.02}Fe_{0.05}Ni_{0.01}$	
6	22207b	30.99	36.13	28.53	2.76	1.28	–	–	99.69	$Ru_{0.42}Ir_{0.28}Os_{0.25}Rh_{0.04}Pt_{0.01}$	Рутений осмиево-иридиевый

П р и м е ч а н и е. Зерно Ир3-ср/14. Прочерк – элемент не обнаружен. Первичные платиноиды – анализы 1, 2, 6; вторичная кайма – анализы 3–5.

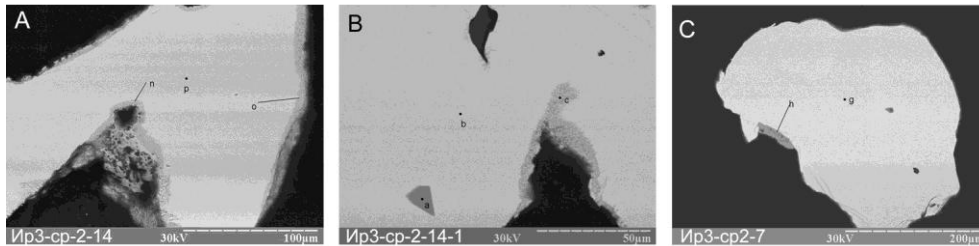


Рис. 2. Платиноиды Мало-Ирмельской россыпи, испытавшие воздействие гипергенных и гидротермальных процессов.

А, В – платиноид [Ir-Os-Ru, b, p] с каймой [Ir-Ru, c, o, n], фрагменты зерна Ир3-ср-14; С – платиноид [Os- Ir-Ru, g] с жилкой лаурита RuS (h), зерно Ир3-ср2-7. Точки – местоположение анализов 22207.

россыпей важное значение имела предшествующая линейно-площадная кора выветривания. Изменение состава платиноидов, характеризующихся значительной инертностью, фиксируется очень редко. Известен сходный случай с пониженными содержаниями осмия в краевой части зерна платины из россыпи реки Малый Емех на Среднем Урале [Уточкина, 2014].

Ранее вынос осмия из платиноидов был зафиксирован в микровключениях из древних золотых изделий и объяснялся «...окислительными процессами. Возможность окисления мелко раздробленных частиц платиноидов известна [Краткая..., 1964]. Реальность такого явления для исследованных древних золотых изделий подтверждается наличием микропор размером 0.1–0.4 мкм. Раскаленный воздух, содержащийся в микропорах, вызывал окисление минералов системы Os–Ir–Ru и последующую ассимиляцию продуктов окисления в расплав. Следы такого явления выражены повышенными содержаниями осмия в золоте, вмещающем раздробленные микровключения (1–2 мас. %)» [Зайков и др., 2015, с. 111–112].

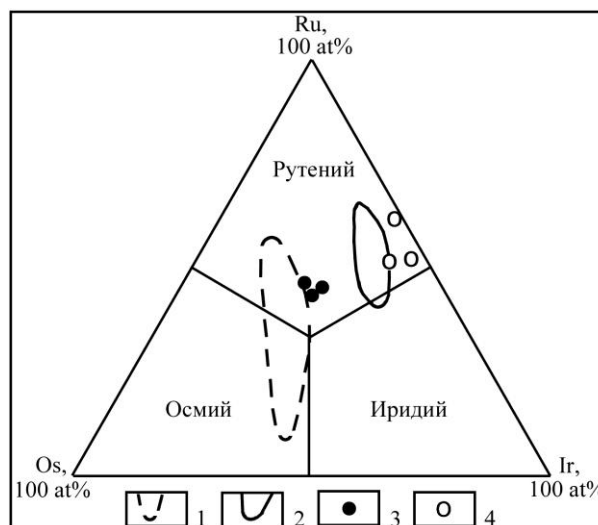


Рис. 3. Тройная диаграмма по [Harris, Cabri, 1991], иллюстрирующая изменение состава платиноидов под воздействием гипергенных процессов.

1, 2 – фигуративные точки составов платиноидов: 1 – первичных, 2 – гипергенной каймы; 3 – траектории изменения состава; 4, 5 – основные поля фигуративных точек составов микровключений платиноидов из древних золотых изделий: 4 – первичных, 5 – вторичных.

Можно полагать, что некоторая аналогия подобного процесса, обусловленная длительным воздействием агентов окисления, характерна и для кор выветривания. На рисунке 3 дано сравнение позиции фигуративных точек составов платиноидов, подверженных изменению в двух названных случаях.

Авторы благодарны Е. В. Белогуб, В. А. Попову и В. В. Мурзину за консультации и О. Л. Бусловской за помощь в оформлении статьи. Исследования поддержаны РФФИ (проект № 15-05-00311) и Минобрнауки (госзадание № 33.2644.2014к).

Литература

Анкушев М. Н., Зайков В. В., Бахшиев И., Котляров В. А. Микровключения хромшпинелидов в древних металлургических шлаках поселения Аксар (Башкортостан) // *Геоархеология и археологическая минералогия*–2015. Миасс: ИМин УрО РАН. С. 102–107.

Баранников А. Г. Золотоносность Гогинского рудно-россыпного района (Южный Урал). Екатеринбург: УГГУ, 2006. 197 с.

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.

Краткая химическая энциклопедия. Т. 3. М.: Советская энциклопедия, 1964. 1112 с.

Савельев Д. Е., Сначев В. И., Савельева Е. Н., Бажин А. Г. Геология и хромитоносность габбро-гипербазитовых комплексов Южного Урала. Уфа: Гилем, 2008. 319 с.

Сигов А. П. Металлогения мезозоя и кайнозоя Урала. М.: Недра, 1969. 296 с.

Уточкина Н. В., Азовскова О. Б., Некрасова А. А. Особенности состава платиноидов из золото-платиновой россыпи Малый Емех (Средний Урал) // *Проблемы минералогии, петрографии и металлогении*. Научн. чт. пам. П. Н. Чирвинского. Пермь, 2014. Вып. 17. С. 45–51.

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

Р. С. Паламарчук

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,

г. Санкт-Петербург

palamarchuk22@yandex.ru

Особенности минералов платиновой группы из элювиально-делювиальных россыпей, связанных с хромит-платиновыми зонами Светлоборского массива, Средний Урал (научный руководитель А. В. Козлов)

Светлоборский и Вересовоборский клинопироксенит-дунитовые массивы послужили источниками для крупной Иосовско-Турьинской системы платиновых россыпей. Общее количество добытой из них платины приближается к 220 т. За долгую историю добычи основное внимание уделялось наиболее важным в промышленном плане аллювиальным и ложковым россыпям [Высоцкий, 1913; Билибин, 1955; Степанов и др., 2015]. В последнее время активно изучается коренная платиноносность дунитов Светлоборского массива [Телегин и др., 2009; Толстых и др., 2011; Козлов и др. 2011; Малич и др., 2015; Степанов и др., 2015], но малоизученным остается промежуточное звено в системе коренной источник – элювиально-делювиальные россы-