

## Литература

- Campbell I. H., Naldrett A. J.* The influence of silicate:sulphide ratios on the geochemistry of magmatic sulphides // *Economic Geology*. 1979. Vol. 74. P. 1503–1506.
- Cawthorn R. G.* Pressure fluctuations and formation of the PGE-rich Merensky and chromitite reefs, Bushveld Complex // *Mineralium Deposita*. 2005. Vol. 40. P. 231–235.
- Cousins C. A., Feringa G.* The chromite deposits of the western belt of the Bushveld Complex // in: S.H. Haughton (ed.) *The geology of some ore deposits in Southern Africa*. 1964. P. 183–202.
- Irvine T. N.* Origin of chromitite layers in the Muskox intrusion and other stratiform intrusions: a new interpretation // *Geology*. 1977. Vol. 5. P. 273–277.
- Kinnaird J. A., Kruger F. J., Nex P. A. M. et al.* The chromitite formation – a key to understand processes of formation and platinum enrichment // *Applied Earth Sciences*. 2002. Vol. 111. P. 23–35.
- Mondal S. K., Mathez E. A.* Origin of the UG2 chromitite layer, Bushveld Complex // *Journal of Petrology*. 2007. Vol. 48. P. 495–510.
- Naldrett A. J., Wilson A., Kinnaird J., Yudovskaya M., Chunnett G.* The origin of chromitites and related PGE mineralization in the Bushveld Complex: new mineralogical and petrological constraints // *Mineralium Deposita*. 2012. Vol. 47. P. 209–232.
- Wager L. R., Brown G. M.* Layered igneous rocks. Edinburgh: Oliver & Boyd, 1968. 588 p.

**В. В. Зайков<sup>1, 2</sup>, М. А. Рассомахин<sup>3</sup>, В. А. Котляров<sup>1</sup>, Б. Я. Гисматуллин<sup>4</sup>**  
<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс  
zaykov@mineralogy.ru  
<sup>2</sup> – Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе  
<sup>3</sup> – Ильменский государственный заповедник, г. Миасс  
<sup>4</sup> – ООО «Миасский прииск», г. Миасс

### Состав платиноидов из Мало-Ирмельской россыпи золота (Южный Урал) по данным РФА и РСМА

Мало-Ирмельская россыпь золота входит в состав Миасского россыпного района и находится в левом притоке р. Миасс. Она питается продуктами размыва северной части Нуралинского гипербазитового массива [Савельев и др., 2013]. Наличие в россыпи платиноидов ранее было известно, но состав минералов платиновой группы (МПП) не изучался. В настоящем исследовании приводятся данные о химическом составе МПП из концентрата, полученного при промывке хвостов гидравлической добычи золота.

Оптические исследования проведены с помощью микроскопа Olympus, состав определен рентгенофлуоресцентным (РФА) и рентгеноспектральным (РСМА) анализами. РФА производился без вакуумирования на спектрометре M1 MISTRAL (Bruker Nano GmbH, Германия). В приборе камера заполнена воздухом, что позволяет измерять элементы от 22 номера (титан и более тяжелые); характеристическое излучение более легких элементов поглощается воздухом. Предел обнаружения – 50 г/т. Напряжение рентгеновской трубки 50 кВ, энергетическое разрешение 135 эВ. Измерение проведено по площади диаметром 20 мкм. Для второго метода использован прибор РЭММА 202М с энергодисперсионной приставкой (ИМин УрО РАН,

аналитик В. А. Котляров), диаметр кратера 2 мкм. Исследования выполнены для оценки сходимости результатов, полученных на разных приборах.

Мало-Ирмельская россыпь имеет четвертичный возраст, относится к долинному, террасовому и ложковому типам, имеет длину 2500 м и ширину 50–400 м. Золото крупное с самородками. Из россыпи добыто 2.2 т золота с примесью платиноидов [Иванишев, 2005ф]. Материал для исследований предоставлен ООО «Миасский прииск», нами определен состав 14 зерен. Зерна платиноидов имеют размер 0.1–1.5 мм, среди них выделяются округлые зерна и индивиды со следами граней кристаллов. В некоторых зернах отмечена спайность. Для измерений выбраны зерна без видимых под микроскопом микровключений сульфидов и силикатов. Полученные данные о составе платиноидов показаны в таблице и на диаграмме Os-Ru-Ir-Pt, составленной по методу [Harris, Cabri, 1991] (рис.).

Т а б л и ц а

Состав платиноидов из Мало-Ирмельской россыпи, мас. %

№ обр.	Os	Ru	Ir	Rh	Pt	Fe	Сумма	Кристаллохимические формулы
Ир1-1-1	–	–	–	<u>3.04</u> 2.44	<u>90.81</u> 85.43	<u>5.92</u> 10.27	<u>99.77</u> 98.14	Pt <sub>0.77</sub> Fe <sub>0.18</sub> Rh <sub>0.05</sub>
Ир1-1-2	<u>43.18</u> 44.72	<u>14.65</u> 13.81	<u>38.41</u> 40.74	<u>1.60</u> 0.00	<u>1.29</u> 0.00	<u>0.36</u> 0.73	<u>99.49</u> 100.00	Os <sub>0.38</sub> Ir <sub>0.33</sub> Ru <sub>0.24</sub> Rh <sub>0.03</sub> Pt <sub>0.01</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-1-4	–	–	<u>0.00</u> 0.83	<u>3.01</u> 2.10	<u>90.78</u> 87.16	<u>5.58</u> 8.67	<u>99.37</u> 98.76	Pt <sub>0.78</sub> Fe <sub>0.17</sub> Rh <sub>0.05</sub>
Ир1-3-1	<u>55.41</u> 54.82	<u>4.00</u> 3.41	<u>39.62</u> 41.17	–	–	<u>0.46</u> 0.61	<u>99.49</u> 100.00	Os <sub>0.53</sub> Ir <sub>0.38</sub> Ru <sub>0.07</sub> Fe <sub>0.02</sub>
Ир1-3-2	<u>50.75</u> 50.40	<u>13.64</u> 11.75	<u>34.09</u> 36.58	<u>0.25</u> 0.14	<u>0.46</u> 0.00	<u>0.62</u> 1.14	<u>99.81</u> 100.00	Os <sub>0.45</sub> Ir <sub>0.30</sub> Ru <sub>0.23</sub> Fe <sub>0.02</sub> Rh <sub>0.004</sub> Pt <sub>0.004</sub>
Ир1-5-6	<u>54.79</u> 53.19	<u>5.68</u> 4.69	<u>38.78</u> 39.90	<u>0.27</u> 0.60	–	<u>0.40</u> 1.62	<u>99.92</u> 100.00	Os <sub>0.52</sub> Ir <sub>0.36</sub> Ru <sub>0.1</sub> Fe <sub>0.01</sub> Rh <sub>0.005</sub>
Ир1-6-6	<u>56.24</u> 54.58	<u>5.78</u> 8.23	<u>37.28</u> 36.45	<u>0.12</u> 0.00	–	<u>0.42</u> 0.74	<u>99.84</u> 100.00	Os <sub>0.53</sub> Ir <sub>0.35</sub> Ru <sub>0.1</sub> Fe <sub>0.01</sub> Rh <sub>0.002</sub>
Ир1-6-7	<u>29.19</u> 30.08	<u>35.04</u> 31.51	<u>27.38</u> 29.26	<u>3.47</u> 2.06	<u>4.35</u> 5.61	<u>0.38</u> 1.49	<u>99.81</u> 100.00	Ru <sub>0.49</sub> Os <sub>0.22</sub> Ir <sub>0.2</sub> Rh <sub>0.05</sub> Pt <sub>0.03</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-6-8	<u>53.87</u> 53.40	<u>9.57</u> 8.54	<u>35.19</u> 36.75	<u>0.80</u> 0.00	–	<u>0.36</u> 1.31	<u>99.79</u> 100.00	Os <sub>0.49</sub> Ir <sub>0.32</sub> Ru <sub>0.16</sub> Rh <sub>0.01</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-6-9	<u>38.28</u> 38.65	<u>23.88</u> 20.92	<u>33.84</u> 35.75	<u>2.07</u> 0.83	<u>1.40</u> 2.96	<u>0.51</u> 0.88	<u>99.98</u> 99.99	Ru <sub>0.36</sub> Os <sub>0.31</sub> Ir <sub>0.27</sub> Rh <sub>0.03</sub> Pt <sub>0.01</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-6-11	<u>37.64</u> 38.61	<u>24.20</u> 21.38	<u>34.26</u> 37.91	<u>1.52</u> 0.71	<u>1.80</u> 0.00	<u>0.51</u> 1.18	<u>99.93</u> 99.79	Ru <sub>0.37</sub> Os <sub>0.31</sub> Ir <sub>0.27</sub> Rh <sub>0.02</sub> Pt <sub>0.01</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-6-12	<u>28.64</u> 29.93	<u>40.67</u> 35.85	<u>25.15</u> 28.60	<u>3.50</u> 1.78	<u>1.22</u> 2.37	<u>0.31</u> 0.96	<u>99.49</u> 99.49	Ru <sub>0.55</sub> Os <sub>0.21</sub> Ir <sub>0.18</sub> Rh <sub>0.05</sub> Pt <sub>0.01</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-6-13	<u>56.30</u> 56.13	<u>1.87</u> 2.18	<u>41.43</u> 40.48	–	–	<u>0.33</u> 1.21	<u>99.93</u> 100.00	Os <sub>0.55</sub> Ir <sub>0.4</sub> Ru <sub>0.03</sub> Fe <sub>0.01</sub>
Ир1-6-14	<u>35.62</u> 36.37	<u>27.59</u> 24.44	<u>31.71</u> 33.77	<u>2.23</u> 0.83	<u>2.63</u> 4.12	<u>0.17</u> 0.48	<u>99.95</u> 100.00	Ru <sub>0.41</sub> Os <sub>0.28</sub> Ir <sub>0.25</sub> Rh <sub>0.03</sub> Pt

Примечание. Числитель – содержание элемента по данным РСМА; знаменатель – то же, по данным РФА. Прочерк – элемент не обнаружен. Формулы рассчитаны по данным РСМА на сумму металлов.

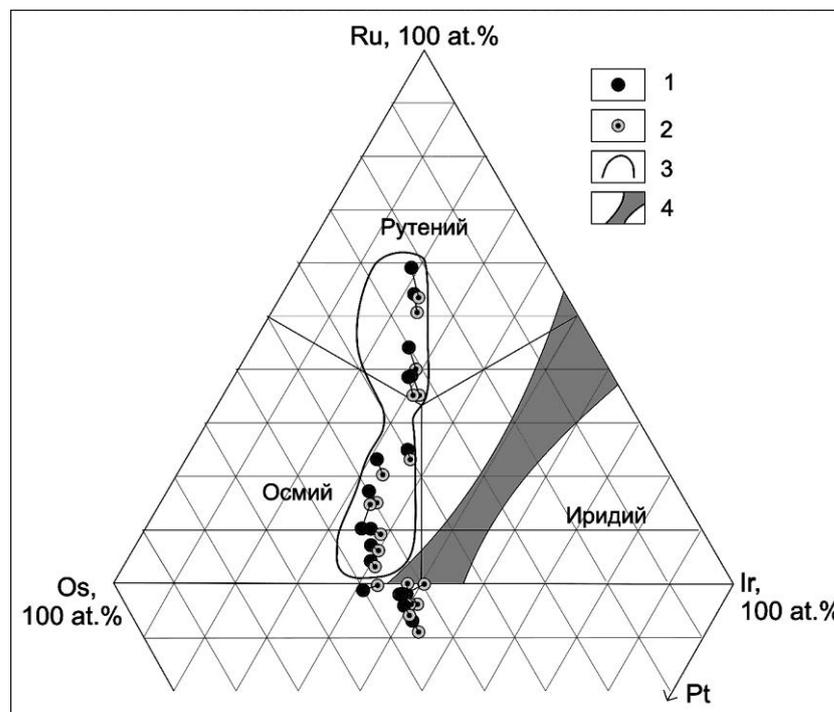


Рис. Тройная диаграмма составов платиноидов из Мало-Иремельской россыпи золота. 1 – анализ методом РСМА; 2 – анализ методом РФА; 3 – поле составов платиноидов Киалимской россыпи; 4 – поле несмесимости системы Os-Ir-Ru.

По результатам анализа установлено три минерала: рутений, осмий и платина. К рутению отнесено пять зерен, фигуративные точки которых образуют рутениевый тренд, к осмию – семь, к платине – два зерна. Для большинства анализов характерно превышение содержаний Ru по РСМА над РФА до 4.8 мас. %, но отдельные анализы показывают превышение РФА над РСМА до 2.4 мас. %. Для анализов с содержанием Os выше 50 мас. % РСМА показывает превышение над РФА до 1.7 мас. %, для содержаний ниже 50 мас. % наоборот, РФА превышает РСМА до 1.5 мас. %, но конкретной зависимости разницы анализов от содержания Os нет. Для Ir характерна обратная корреляция относительно Rh, РФА в большинстве анализов превышает РСМА до 3.6 мас. %, в отдельных анализах РСМА над РФА – на 0.9 мас. %.

На диаграмме Os-Ru-Ir-Pt эти различия выглядят как смещение точки (анализ РФА) вправо-вниз от точки анализа РСМА. По данным РСМА Rh показывает постоянное превышение над РФА до 1.7 мас. %. Только в одном анализе значение РФА превышает РСМА на 0.3 мас. %. Железо во всех анализах РСМА меньше, чем РФА от 0.1 до 1.2 мас. % в системе Os-Ru-Ir и до 4.3 мас. % в системе Pt-Fe.

Родий и платина при низких содержаниях (до 1.8 мас. %), определенных РСМА, иногда не определяются методом РФА, что может быть объяснено малым временем набора спектра. При этом медь и никель при содержаниях 0.05–0.46 мас. %, а также палладий с содержанием до 1.5 мас. % определяются на РФА в нескольких анализах, а на РСМА никель определен только в одном анализе.

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. Платинометальное 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<sup>1,2</sup>, В. А. Котляров<sup>1</sup>, Е. В. Зайкова<sup>1</sup>, Ю. Д. Крайнев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> – Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс  
zaykov@mineralogy.ru

<sup>2</sup> – 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