

УДК 549.27 (470.5)

СОСТАВ И ФОРМА КРИСТАЛЛОВ ПЛАТИНОИДОВ ИЗ РОССЫПЕЙ ЮЖНОГО УРАЛА

В.В. Зайков, В.А. Попов, Е.В. Зайкова, И.А. Блинов, В.А. Котляров
Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, zaykov@mineralogy.ru

COMPOSITION AND MORPHOLOGY OF CRYSTALS OF PLATINUM GROUP MINERALS FROM PLACERS OF THE SOUTH URALS

V.V. Zaykov, V.A. Popov, E.V. Zaykova, I.A. Blinov, V.A. Kotlyarov
Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, zaykov@mineralogy.ru

Кристаллы платиноидов системы Os–Ir–Ru и Pt–Fe в шлиховых концентратах из россыпей Южного Урала встречаются как зональные по составу, так и сравнительно однородные и могут содержать микровключения сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов и антимонидов элементов платиновой группы. На кристаллах присутствуют фрагменты идиоморфной, индукционной и сколовой поверхностей. Индукционная поверхность кристаллов платиноидов с индивидами породообразующих минералов указывает на их одновременность и участие в эвтектической кристаллизации первичных магм.

Илл. 6. Табл. 2. Библ. 6.

Ключевые слова: платиноиды, рутений, осмий, иридий, форма кристаллов, Южный Урал.

Crystals of platinum group minerals (PGMs) of the Os–Ir–Ru and Pt–Fe systems from placer deposits of the South Urals are zonal and relatively homogenous in composition and can contain inclusions of PGE sulfides, arsenides, sulfarsenides, and antimonides. The crystals are characterized by idiomorphic, compromise growth, and shear surfaces. Compromise growth surface of the PGM crystals with rock-forming minerals is evidence of their simultaneous crystallization in primary magma.

Figures 6. Tables 2. References 6.

Key words: platinum group minerals, ruthenium, osmium, iridium, crystal morphology, South Urals.

Введение

Среди платиноидов из россыпей Южного Урала встречаются зёрна с сохранившимися кристаллографическими формами. Некоторые из них содержат микровключения других минералов. Настоящая статья посвящена морфологической характеристике и аналитическим данным состава кристаллов платиноидов. Материал для исследований из Миасской и Непряхинской россыпных зон в окрестностях городов Миасс и Чебаркуль получен от сотрудников ООО «Миасский прииск» и ООО «Ингул». В пробах шлиховых концентратов установлены минералы системы Os–Ir–Ru и Pt–Fe с микровключениями сульфидов, арсенидов, суль-

фоарсенидов и антимонидов ЭПГ. Минералы в большинстве случаев представлены зёрнами величиной 1–3 мм. Среди них выделяются таблитчатые и изометричные кристаллы. На основании содержания главных элементов, минералы системы Os–Ir–Ru подразделены на три группы: рутений, осмий и иридий (Harris, Cabri, 1991). Состав минералов изучен рентгеноспектральным микроанализом в Институте минералогии УрО РАН на электронных микроскопах Tescan Vega3 sbu (аналитик И.А. Блинов) и РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров). В выборку включены кристаллы, для которых получены объёмные снимки и состав в сечении или на поверхности кристаллов.

Краткая характеристика россыпей Миасской и Непряхинской россыпных зон

Миасская россыпная зона (рис. 1) является наиболее богатой на Южном Урале и располагается на территории Челябинской области и Республики Башкортостан (Рожков, 1948). Золотые россыпи прослеживаются на 120 км с перерывами, начиная от истоков р. Миасс в районе Нуралинских гор на юге до г. Карабаш. В Миасской россыпной зоне изучены кристаллы платиноидов из Малоиремельской, Среднемиасской и Сулейменовской россыпей.

Малоиремельская россыпь приурочена к Нуралинскому гипербазитовому массиву, в котором выявлены проявления платиноидов. Россыпь относится к четвертичному возрасту, включает отрезки долинного и террасового типа, имеет длину 2500 м при ширине 50–400 м. Содержание платиноидов в золотоносном концентрате 3–5 мас. % (Савельев и др., 2017).

Среднемиасская россыпь – делювиально-аллювиальная, четвертичная, её протяжённость 2.5 км, ширина до 350 м. Золото слабо окатанное, учтена добыча 1400 кг.

Сулейменовская россыпь объединяет четыре техногенных остаточного-целиковых и две вновь разведанные россыпи долинного типа (Казаков, Салихов, 2006). Протяжённость полигона для дражной разработки 9 км, ширина 40–190 м. Россыпь содержит зёрна платиновых минералов в количестве менее 1 мас. % от тяжёлого концентрата.

Непряхинская россыпная зона располагается в восточном борту Ильменогорской структуры и вмещает несколько россыпей. Общая протяжённость зоны около 70 км.

Байрамгуловская россыпь имеет олигоценный возраст и относится к аллювиальному типу. Протяжённость её 3.5 км при ширине от 40 до 280 м.

Ингульская россыпь миоценового возраста относится к делювиально-пролювиальному типу. Россыпь обрабатывалась ООО «Ингул». Протяжённость россыпи составляет 6.5 км при ширине 20–40 м, мощность торфов 3.5 м, мощность песков 0.5–1.2 м, содержание золота до 1 г/м³ (Иванищев, 2005*ф*). В шлиховом концентрате, полученном от Н.П. Землянского, содержание платиноидов составило около 0.5 мас. %.

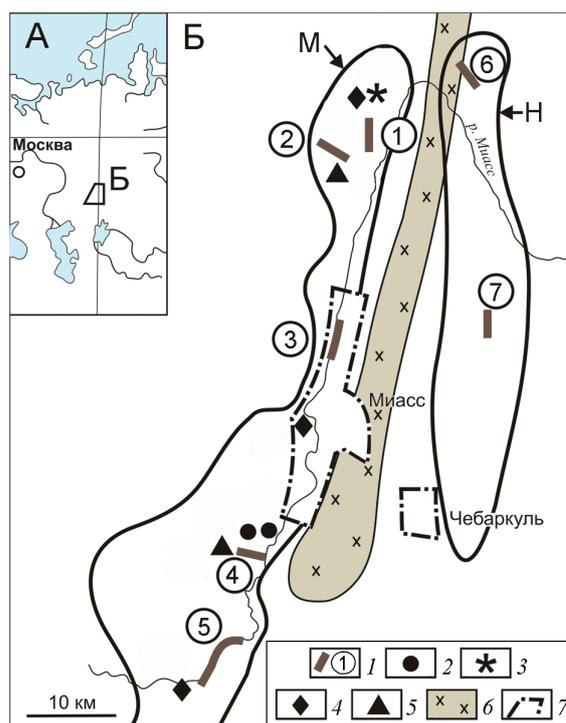


Рис. 1. Географическая позиция (А) и схема расположения исследованных россыпей платиноидов (Б) в контурах Миасской (М) Непряхинской (Н) россыпных зон и ультраосновных массивов на Южном Урале.

1 – россыпи (цифры в кружках): 1 – Нижнекарабашская, 2 – Кялимская, 3 – Среднемиасская, 4 – Малоиремельская, 5 – Сулейменовская, 6 – Байрамгуловская, 7 – Ингульская); 2–5 – месторождения и пункты минерализации: 2 – золото-лиственитовые, 3 – золото-родингитовые, 4 – золото-сульфидные, 5 – платиноидные; 6 – Ильменогорский комплекс с редкометалльной минерализацией; 7 – контуры городов.

Fig. 1. Fig. 1. Geographical position (A) and the scheme of location of the studied deposits of platinoids (B) contours of Miasskaya (M) and Neryakhinskaya (N) of alluvial zones and ultrabasic massifs in the Southern Urals.

1 – alluvial deposits (figures in circles): 1 – Nizhnekarakashskaya, 2 – Kialimskaya, 3 – Srednemiasskaya, 4 – Maloiremelskaya, 5 – Suleimenovskaya, 6 – Bayramgulovskaya, 7 – Ingul'skaya); 2–5 deposits and mineralization points: 2 – gold-listvenite, 3 – gold-rodingites, 4 – gold-sulfide, 5 – platinoid; 6 – Ilmeno complex with rare-metal mineralization; 7 – the contours of cities.

Результаты исследований кристаллов платиноидов

Исследованные кристаллы платиноидов внешне гексагональной формы – рутения, осмия и иридия – имеют таблитчатый или изометричный облик и величину 500–750 мкм. На кристаллах наблюдаются фрагменты идиоморфной, индукционной и

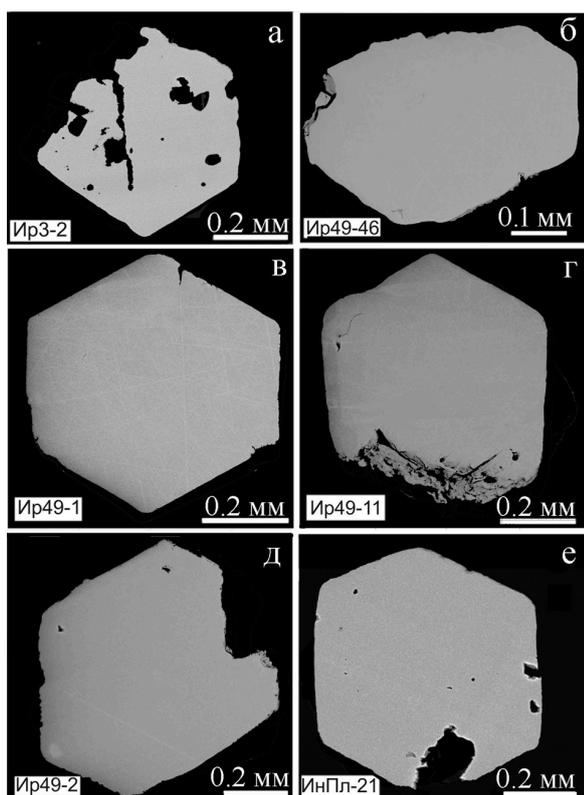


Рис. 2. Однородные кристаллы без микровключений (пояснения в тексте).

Fig. 2. Homogeneous crystals of platinum group metals without micro inclusions (explanation in text).

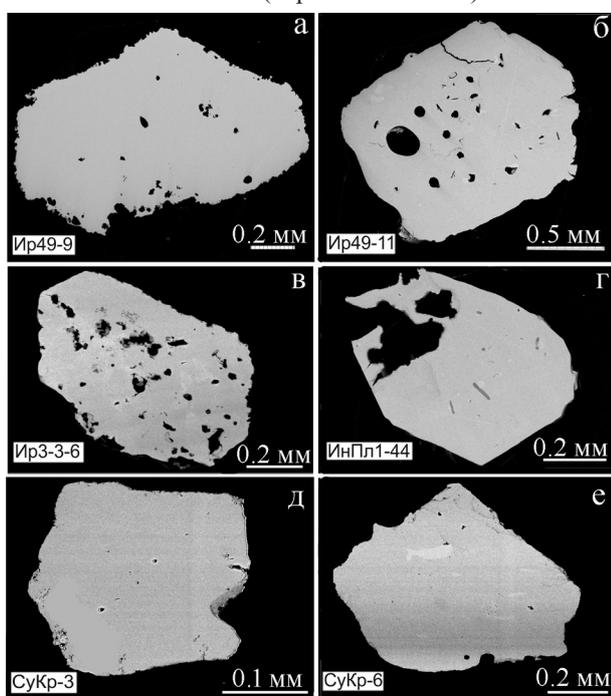


Рис. 4. Неоднородные кристаллы платиноидов (пояснения в тексте).

Fig. 4. Mixed crystals of platinum group metals (explanation in text).

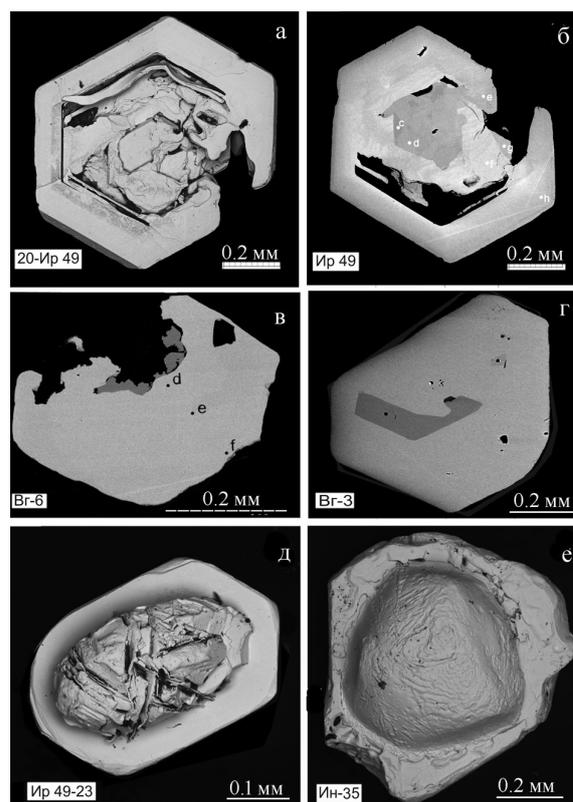


Рис. 3. Однородные кристаллы платиноидов с микровключениями сульфидов, арсенидов, сульфоарсенидов (пояснения в тексте).

Fig. 3. Homogeneous crystals of platinum group metals with micro-inclusions of sulfides, arsenides, sulfoarsenides (explanation in text).

сколовой поверхности (рис. 2–4). По фрагментам идиоморфной поверхности определены грани простых форм $\{0001\}$, $\{10\bar{1}0\}$, $\{10\bar{1}1\}$. Сечение в препаратах близко пинакoidу $\{0001\}$. Состав кристаллов осмий-иридиево-рутениевый (табл. 1, 2).

Кристаллы с включениями сульфидов и арсенидов имеют субизометричный облик и размер до 1650 мкм. На гранях кристаллов, в большинстве случаев, развиты индукционные поверхности совместного роста с первичными породообразующими силикатами, хромитом и с аксессуарными минералами. Микровключения величиной 5–50 мкм представлены изоферроплатиной, железистой и медистой платиной, сперрилитом, родарсенидом, годлевскитом, хизлевудитом, ирарситом. Три кристалла (11-Ир49-11, Ин-пл1-44, Су-кр6) относятся к рутению, три (Ир3-3-6, 11-Ир49-9, Су-кр3) – к осмию (см. табл. 1).

Таблица 2

Состав (мас. %) кристаллов платиноидов из россыпей Байрамгуловской (Br), Ингульской (Ин) и Малоиремельской (Ир)

Table 2

The composition (wt. %) of crystals of platinum-group metals from placers Bayramgulova (Br), Ingul (Ин) and Maloiremelskaya (Ир)

Проба	Анализ	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe	Ni	Сумма	Формула
Br3	15392i	36.78	62.21	0.42	–	–	0.32	0.15	99.88	$Ir_{0.61}Os_{0.37}Fe_{0.01}Ru_{0.01}$
	15392j	36.18	62.14	0.95	0.26	–	0.37	–	99.90	$Ir_{0.61}Os_{0.36}Ru_{0.02}Fe_{0.01}$
	Br3-ц	36.48	62.18	0.69	0.13	–	0.35	0.08	99.89	$Ir_{0.61}Os_{0.36}Ru_{0.02}Fe_{0.01}$
	Br3-п	56.37	41.58	1.61	–	–	0.53	–	100.09	$Os_{0.55}Ir_{0.40}Ru_{0.03}Fe_{0.02}$
Br6	24265a	25.82	68.7	0.72	0.16	3.32	0.91	0.17	99.8	$Ir_{0.67}Os_{0.25}Pt_{0.03}Fe_{0.03}Ru_{0.01}Ni_{0.01}$
	24265b	25.34	69.17	0.49	0.37	3.19	0.90	0.18	99.63	$Ir_{0.67}Os_{0.25}Pt_{0.03}Fe_{0.03}Ru_{0.01}Rh_{0.01}$
	24265c	25.55	68.85	0.78	0.20	3.16	0.76	0.11	99.42	$Ir_{0.67}Os_{0.25}Pt_{0.03}Fe_{0.03}Ru_{0.02}$
	Br6-ц	25.57	68.91	0.66	0.24	3.22	0.86	0.15	99.62	$Ir_{0.67}Os_{0.25}Pt_{0.03}Fe_{0.03}Ru_{0.01}Ni_{0.01}$
	24265d	56.09	42.06	0.8	0.14	–	0.46	–	99.55	$Os_{0.55}Ir_{0.41}Ru_{0.02}Fe_{0.02}$
	24265e	54.71	42.82	1.32	0.17	–	0.50	–	99.52	$Os_{0.54}Ir_{0.42}Ru_{0.02}Fe_{0.02}$
	24265f	56.96	41.08	0.63	0.09	–	0.36	–	99.10	$Os_{0.57}Ir_{0.41}Ru_{0.02}Fe_{0.02}$
	Br6-п	55.92	41.99	0.92	0.13	–	0.44	0.00	99.39	$Os_{0.55}Ir_{0.41}Ru_{0.02}Fe_{0.02}$
Ин-к1	17070c	47.68	27.60	24.72	–	–	–	–	100.00	$Os_{0.39}Ru_{0.38}Ir_{0.23}$
	17070d	38.94	26.17	34.53	–	–	–	–	100.00	$Ru_{0.50}Os_{0.30}Ir_{0.20}$
	17070e	55.54	23.45	21.01	–	–	–	–	100.00	$Os_{0.47}Ru_{0.33}Ir_{0.20}$
	Ин-К1-3-ц	47.39	25.74	26.75	–	–	–	–	100.00	$Ru_{0.41}Os_{0.38}Ir_{0.21}$
	17070f	52.42	39.78	7.29	–	–	0.52	–	100.01	$Os_{0.49}Ir_{0.37}Ru_{0.13}Fe_{0.01}$
	17070g	52.93	40.96	6.10	–	–	–	–	99.99	$Os_{0.50}Ir_{0.39}Ru_{0.11}$
	Ин-К1-3-п	52.68	40.37	6.70	–	–	0.26	–	100.00	$Os_{0.50}Ir_{0.37}Ru_{0.12}Fe_{0.01}$
Ир49-2	17081c	56.3	–	35.22	7.31	–	0.30	–	99.13	$Ru_{0.48}Os_{0.41}Rh_{0.10}Fe_{0.01}$
	17081d	60.86	–	30.75	7.56	–	0.27	–	99.44	$Os_{0.46}Ru_{0.43}Rh_{0.10}Fe_{0.01}$
	Ир49-2-ц	58.58	–	32.98	7.44	–	0.28	–	99.285	$Ru_{0.46}Os_{0.43}Rh_{0.10}Fe_{0.01}$
	17081e	66.58	–	24.97	7.33	–	0.46	–	99.33	$Os_{0.52}Ru_{0.36}Rh_{0.11}Fe_{0.01}$
	17081f	77.13	–	15.23	7.68	–	0.30	–	100.34	$Os_{0.64}Ru_{0.23}Rh_{0.12}Fe_{0.01}$
	17081g	65.95	–	26.55	7.06	–	–	–	99.56	$Os_{0.51}Ru_{0.39}Rh_{0.10}$
	17081h	69.42	–	22.58	8.00	–	–	–	100.00	$Os_{0.55}Ru_{0.33}Rh_{0.12}$
	Ир49-2-п	69.77	–	22.33	7.52	–	0.19	–	99.81	$Os_{0.55}Ru_{0.33}Rh_{0.11}Fe_{0.01}$

Примечание. РЭММА-2М, аналитик В.А. Котляров.

Note. РЭММА-2М, analyst V.A. Kotlyarov.

В зональных кристаллах выделяется центральная часть, окружённая наружной каймой иного состава (см. рис. 3). В зёрнах Br-6 и Br-3 центр сложен иридием, а периферия – осмием. В зёрнах Ир-49 и Ин-К1 центр сложен рутением, а периферия – осмием. Величина таких кристаллов от 450 до 900 мкм, в изученных сечениях центральная часть занимает их треть.

Среди исследованных зёрен преобладают незональные («однородные») в сечении кристаллы (см. рис. 2, 4). Результаты анализа однородных кристаллов и кристаллов с микровключениями показаны на диаграмме Os-Ru-Ir (рис. 5). Состав однородных зёрен с низкими содержаниями рутения (0–10 %) занимает нижнюю часть диаграммы. В эту область попали кристаллы из трёх россыпей: Малоиремельской, Среднеиасской и Ингульской. Точки анализов кристаллов с микровключениями из

Малоиремельской, Сулейменовской и Ингульской россыпей находятся в центральной части диаграммы вблизи рутениевого тренда, и в них количество рутения 20–50 ат. %. Результаты рентгенофлуоресцентных анализов платиноидов Ингульской россыпи приведены ранее (Рассомахин, Зайков, 2017).

Во вторую диаграмму (рис. 6) включены фигуративные точки состава кристаллов, в которых выделяется центральная часть и периферия. Две нижние точки относятся к кристаллам из Байрамгуловской россыпи. В них установлена смена от иридия в центральной части зерна к осмию в периферической зоне при минимальных содержаниях рутения (см. табл. 2). В верхних точках зафиксирована смена рутения в центральной части осмием на периферии. Такой же тренд изменения состава установлен ранее в массивах альпийской формации Корякского нагорья (Рудашевский и др., 1999).

Заключение

По результатам анализов незональных в сечении кристаллов установлено, что фигуративные точки состава кристаллов без включений (Ирмельская, Среднемиасская и Ингульская россыпи) практически не содержат рутения, и чаще всего в них преобладает осмий над иридием. Они располагаются вдоль иридий–осмиевого тренда. Большинство точек кристаллов с микровключениями (Ирмельская, Сулейменовская и Ингульская россыпи) находится в центре диаграммы вдоль рутениевого тренда.

Зональные кристаллы платиноидов обнаружены в Байрамгуловской, Малоиремельской и Ингульской россыпях. Во всех случаях отмечено увеличение от центра к периферии содержание осмия: в Байрамгуловской – за счёт уменьшения содержания иридия, а в Малоиремельской и Ингульской – за счёт уменьшения содержания рутения. Возможно, это указывает на особенность изменения состава кристаллизационной жидкости.

Широкое присутствие индукционных поверхностей у платиноидов с первичными породообразующими и акцессорными минералами ультрамафитов указывает на синхронную или частично синхронную их кристаллизацию и на участие в кристаллизации эвтектических жидкостей (магм).

Авторы благодарят В.А. Котлярова и Ю.Д. Крайневу за частичное выполнение и обработку рентгеноспектрального анализа, а также Ю.А. Иванову, Б.Я. Гисматуллину, Н.П. Землянского – за предоставленный для исследований материал.

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011.

Литература

Иванищев А.В., Сазонов В.Н., Савельева К.П., Баранников А.Г., Вишев И.И., Жиганов А.А., Михайлов И.Г., Плохих Н.А. (2005ф) Систематизация и разбраковка золоторудных месторождений Свердловской и Челябинской областей. Екатеринбург–Челябинск, фонды «Уралнедра», 280 с.

Рассомахин М.А., Зайков В.В. (2017) Состав платиноидов Ингульской россыпи (Южный Урал) // Металлогения древних и современных океанов-2017. Дифференциация и причины разнообразия рудных месторождений. Миасс: ИМин УрО РАН, 119–124.

Рожков И.С. (1948) Уральские россыпные месторождения золота / 200 лет золотой промышленности Урала. Свердловск, УФАН СССР, 401–509.

Рудашевский Н.С., Костоянов А.И., Рудашевский В.Н. (1999) Минералогические и изотопные свидетельства происхождения массивов альпинотипной формации (на примере Усть-Бельского массива, Корякское нагорье). *Записки РМО*, 128(4), 11–28.

Савельев Д.Е., Зайков В.В., Котляров В.А., Зайкова Е.В., Крайнев Ю.В. (2017) Хромшпинелиды и акцессорная минерализация в хромититах и ультрамафитах Нуралинского массива (Южный Урал). *Записки РМО*, 146(1), 59–83.

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

References

Ivanishchev, A.V., Sazonov V.N., Savel'eva K.P., Barannikov, A.G., Vishev I.I., Zhiganov A.A., Mikhailov I.G., Plokhikh N.A. (2005f) Systematization and classification of gold deposits in Sverdlovsk and Chelyabinsk regions. Yekaterinburg–Chelyabinsk, funds «Uralnedra», 280 p.

Rassomahin M.A., Zajkov V.V. (2017) [Part of Ingulsky PGE placer (southern Urals)] *Metallogeniya drevnih i sovremennyh okeanov-2017. Differenciatsiya i prichiny raznoobraziya rudnykh mestorozhdenij* [Metallogeny of ancient and modern oceans-2017]. Miass, IMin UrO RAN, 119–124. (in Russian)

Rozhkov I.S. (1948) [The Ural placer deposits of gold]. In: *200 let zolotoj promyshlennosti Urala* [200 years of the gold industry of the Urals]. Sverdlovsk, UF AN SSSR, 401–509. (in Russian)

Rudashevskij N.S., Kostoyanov A.I., Rudashevskij V.N. (1999) [Stopnye and mineralogical evidence for the origin of Alpine-type massifs formations (on the example of Ust-Bel massif, Koryak highlands)]. *Zapiski RMO* [Proceedings of Russian Mineralogical Society], 128(4), 11–28. (in Russian)

Saveliev D.E., Zaykov V.V., Kotlyarov V.A., Zaykova E.V., Krajev YU.V. (2017) [Chromspinelides are accessory mineralization in chromitites and associated with ultramafites Orlinkiego massif (South Ural)]. *Zapiski RMO* [Proceedings of Russian Mineralogical Society], 146(1), 59–83. (in Russian)

Поступила в редакцию 12 декабря 2017 г.