

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ В ЗЕРНАХ ПЛАТИНЫ ИЗ КАЗАНСКОЙ РОССЫПИ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Е.В. Зайкова, И.А. Блинов, В.А. Котляров

*Южно-Уральский научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН,
Институт минералогии, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия; zaykova@mineralogy.ru*

MINERAL INCLUSIONS IN PLATINUM GRAINS FROM THE KAZAN PLACER (SOUTH URALS)

E.V. Zaykova, I.A. Blinov, V.A. Kotlyarov

*South Urals Federal Research Center of Mineralogy and Geoecology UB RAS, Institute of Mineralogy,
Miass, Chelyabinsk district, 456317, Russia; zaykova@mineralogy.ru*

Зерна платины из Казанской россыпи на Южном Урале содержат включения самородных металлов (золота, сплавов группы осмия), а также халькогенидов элементов платиновой группы, представленных сульфидами (лауритом, эрликманитом, бауитом), сульфоарсенидами (ирарситом, холлингвортитом), стибипалладинитом, теллуридом (меренскиитом) и селенидами.

Илл. 5. Табл. 7. Библ. 13.

Ключевые слова: Казанская россыпь, платина, самородное золото, сплавы элементов группы осмия, теллуриды, селениды и сульфиды ЭПГ.

Platinum grains from the Kazan placer in the South Urals contain inclusions of native metals (gold, osmium group alloys), as well as PGE chalcogenides: sulfides (laurite, erlichmanite, bauite), sulfoarsenides (irarsite and hollingworthite), stibiopalladinite, telluride (merenskiite) and selenides.

Figures 5. Tables 7. References 13.

Key words: Kazan player, platinum, native gold, alloys of the osmium group elements, tellurides, selenides, sulfides PGE.

Введение

В настоящее время элементы платиновой группы (ЭПГ) отнесены к категории стратегического сырья (Распоряжение Правительства РФ от 22 декабря 2018 г. № 2914-р «О стратегии развития минерально-сырьевой базы РФ до 2035 г.»). К группе платиновых металлов относится шесть элементов – Ru, Rh, Pd, Os, Ir и Pt. Южный Урал является одним из регионов, где происходит попутная добыча платиноидов из россыпей золота.

Для россыпей Южного Урала характерно неравномерное распределение минералов платиновой группы (МПГ) с переменным составом (Ir-Os-Ru и Pt-Fe) (Зайков и др., 2016а–в). МПГ часто содержат включения других минералов, в том числе халь-

когениды ЭПГ (Зайков и др., 2018). Информация о минеральных формах нахождения ЭПГ вносит существенный вклад в определение источников и условий образования россыпей (Zaykov et al., 2017).

Одним из объектов, где происходит промышленная добыча золота и ЭПГ, являются россыпи Гогинской россыпной зоны, которая находится в 100–150 км к ЮЮВ от г. Магнитогорска (рис. 1). В состав зоны входит 20 россыпей длиной 1.0–3.0 км и шириной 80–200 м. Тип россыпей карстовый и аллювиально-пролювиальный, возраст мезозойский и миоценовый. Гогинская зона относится к россыпям Южного Урала, образование которых связано с эрозионно-структурными депрессиями, заполнявшихся континентальными осадками мезозоя (Сигов и др., 1971; Баранников, 2006).

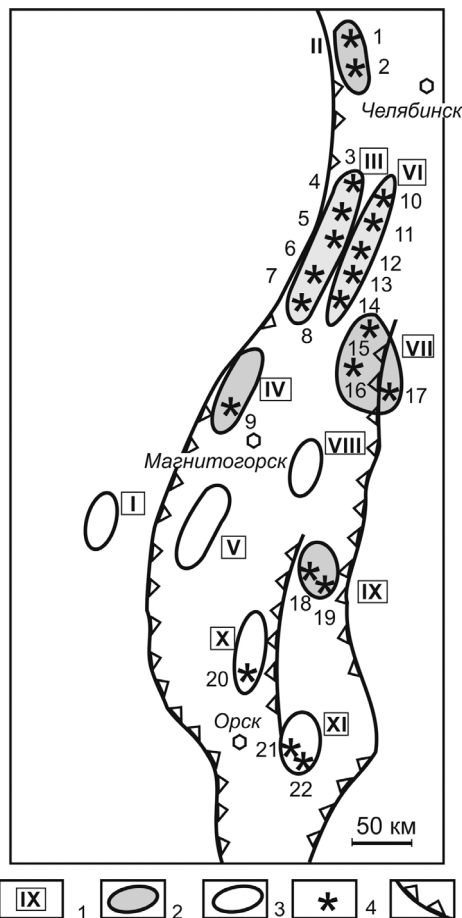


Рис. 1. Схема расположения основных россыпных зон на Южном Урале с данными о составе золота по (Зайков и др., 2016в).

1 – россыпные зоны; 2, 3 – россыпи золота с платиноидами (2) и без платиноидов (3); 4 – места отбора проб; 5 – фрагменты гипербазитовых поясов.

Россыпные зоны: I – Авзяно-Прибельская, II – Кыштымская, III – Миасская, IV – Миндякская, V – Восточно-Ирендыкская, VI – Непряхинская, VII – Кочкарская, VIII – Гумбейская, IX – Гогинская, X – Амамбайская, XI – Суундукская.

Fig. 1. Position of main placer zones in the South Urals with available data on the composition of gold after (Zaykov et al., 2016).

1 – placer zones; 2, 3 – gold placers with (2) and without (3) PGMs; 4 – sampling places; 5 – fragments of ultramafic belts.

Placer zones: I – Avzyan–Pribelskaya, II – Kyshtym, III – Miass, IV – Mindyak, V – East Irendyk, VI – Nepryakhino, VII – Kochkar, VIII – Gumbeyka, IX – Gogino, X – Amambayka, XI – Suunduk.

Казанская россыпь приурочена к Брединской эрозионной депрессии (рис. 2). Россыпь имеет сложное строение и входит в состав одноименного россыпного поля длиной 5 км (Зайков и др., 2016в). На этом поле распространены мезозойские и неоген-

новые золотоносные отложения. В наиболее крупной Владимирской россыпи площадью 0.5×0.8 км золотоносный пласт мелового возраста имеет мощность 1.1 м. Ниже золотоносных пластов залегают карстовые отложения с золотосодержащими «кочками» мощностью до 10 м.

Методы исследований

Материал для исследований в виде платинового концентрата и черного шлиха передан сотрудниками ООО «Миасский прииск» А.Ю. Ивановым и Б.Я. Гисматуллиным. Пробы были отобраны из карьера № 3 Казанской россыпи в июле 2017 г. Обработка проб проводилась К.А. Новоселовым по схеме: 1) классификация по крупности: +2, –2...+1, –1...+0.5, –0.5...+0.25, –0.25 мм; 2) магнитная/электромагнитная сепарация фракций –1...+0.5, –0.5...+0.25, –0.25 мм с помощью магнита Сочнева; 3) разделение немагнитной фракции в бромформе (2.9 г/см^3) с пересисткой класса –0.25 мм.

В пробах встречались зерна золота и ЭПГ, которые были изучены под бинокулярным микроскопом и рассортированы по морфологии В.В. Зайковым. Из нескольких десятков зерен разных морфологических типов были смонтированы полированные брикеты на основе эпоксидной смолы. Состав минералов исследован на растровых электронных микроскопах VEGA3 TESCAN с энергодисперсионной приставкой Oxford Instruments X-act (аналитик А.И. Блинов) и РЭММА 202М ЭДС Link (аналитик В.А. Котляров). При анализе использовался ток 15 нА, ускоряющее напряжение 20 кВ, время набора спектра 120 с. В качестве стандартов использованы чистые металлы ЭПГ и селенид свинца (MINM-25-53 стандарт ASTIMEX, пашка № 01–044).

Результаты исследований

Зерна золота и платины из Казанской россыпи установлены во фракциях –1...+0.5, –0.5...+0.25 и –0.25. Количество платины достигает 73 % от всех исследованных зерен МПГ (рис. 3). Помимо платины встречаются сплавы промежуточного состава Os-Ru-Ir, а также сульфиды и сульфохалькогениды ЭПГ.

Зерна платины имеют уплощенную форму. По химическому составу вся платина относится к ферроплатине или железистой платине (среднее содержание Pt 90.28 мас. %; табл. 1). Резко преобладает платина с содержаниями 89–91 мас. % Pt

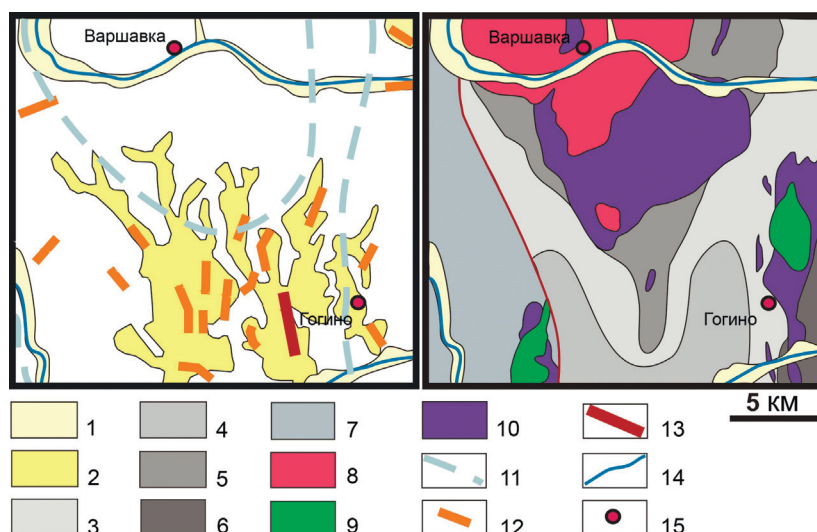


Рис 2. Положение Казанской россыпи в Гогинской россыпной зоне (составлено Е.В. Белогуб по материалам геологической карты листа N-41-XXVG, с упрощениями).

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2 – неогеновые аллювиальные и пролювиальные отложения; 3 – углеродистые сланцы; 4 – известняки; 5 – слюдяные сланцы; 6 – углисто-глинистые сланцы; 7 – песчаники; 8 – гранитоиды; 9 – габбро; 10 – серпентиниты; 11 – границы Брединской структурно-эрозионной депрессии; 12 – россыпи; 13 – Казанская россыпь; 14 – реки; 15 – населенные пункты.

Fig. 2. Position of the Kazan placer in the Gogino placer zone (simplified by E.V. Belogub after State Geological Map, sheet N-41-XXVG).

1 – Quaternary alluvium; 2 – Neogene alluvium and proluvium; 3 – carbonaceous schists; 4 – limestones; 5 – micaeous schists; 6 – carbonaceous-clayey schists; 7 – sandstones; 8 – granitoids; 9 – gabbro; 10 – serpentinites; 11 – boundary of the Bredy structural erosion depression; 12 – placers; 13 – Kazan placer; 14 – rivers; 15 – settlements.

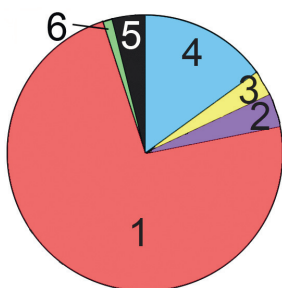


Рис. 3. Содержание отдельных зерен платиноидов различного состава (141 зерно).

1 – платина, изоферроплатина, тетраферроплатина (73 %); 2 – иридий (4 %); 3 – рутений (3 %); 4 – осмий (15 %); 5 – арсениды, сульфиды и сульфоарсениды (4 %); 6 – сростки (1 %).

Fig. 3. Amount of PGM grains of different composition (141 grains in total).

1 – platinum, isoferroplatinum, tetraferroplatinum (73 %); 2 – iridium (3 %); 3 – osmium (15 %); 4 – arsenides, sulfides, sulfoarsenides (4 %); 5 – intergrowths (1 %).

(79 % от количества зерен). В подчиненном количестве встречается платина с содержаниями (мас. %) 92–93 Pt (11 %), 87–88 Pt (6 %), 95 Pt (2 %) и 82 и 76 (1 %). Во всех анализах отмечается примесь Fe: 2.59–9.81 мас. % (среднее содержание Fe

7.36 мас. %). В большинстве анализов определены примеси Cu (0.19–4.02 %), Rh (0.3–4.18 мас. %) и Pd (0.2–2.79 мас. %). Реже отмечаются Os (до 14.64 мас. %), Ir (обычно 1–3 мас. %, в одном случае до 5.62 мас. %), Ru (0.2–2.25 мас. %) и Sb (0.57–3.14 мас. %). Примесь Ni установлена только в трех пробах в концентрациях на пределе чувствительности прибора 0.11–0.12 мас. %.

Зерна платины часто содержат включения других минералов, представленных самородными металлами и халькогенидами ЭПГ.

Самородное золото образует субизометричные включения размером до 20–40 мкм (рис. 4а, б). По химическому составу золото относится к средне- и высокопробному (Петровская, 1973). Для золота характерны примеси Pd (до 3.98 мас. %) и Cu (до 0.58 мас. %) (табл. 2). Содержания Pt обычно не превышают 6 мас. %, в одном анализе достигая 21.16 мас. %. Иногда отмечаются примеси Ir, Fe и Os. Золото из включений в платине резко отличается по составу от свободного комковидного, уплощенного, чешуйчатого золота из россыпи, содержание Ag в котором составляет 5–25 мас. %. Это золото часто окружено прерывистой каймой

Таблица 1
Table 1Состав зерен платины из Казанской россыпи (мас.%)
Chemical composition of platinum grains from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	Проба (зерно)	№ анализа	Кол-во анализ.	Os	Ir	Rh	Ru	Pt	Pd	Sb	Cu	Fe	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	Ка-р2-губ(1)	16140a	1	-	-	-	-	89.45	0.44	-	0.91	8.29	-	99.09	$(Pt_{0.73}Fe_{0.24}Cu_{0.02}Pd_{0.01})_{1.00}$
2	Ка-р2-губ(2)	16140b	1	0.34	-	-	0.09	89.79	0.45	-	0.93	8.39	-	100.00	$(Pt_{0.73}Fe_{0.24}Cu_{0.02}Pd_{0.01})_{1.00}$
3	Ка-р2-губ(3)	16140nv*	2	0.56	-	-	-	89.70	0.14	-	0.93	8.36	-	99.68	$(Pt_{0.73}Fe_{0.24}Cu_{0.02}Os_{0.01})_{1.00}$
4	Ка-р2-губ(4)	16141a	1	-	-	-	-	90.48	0.60	-	1.01	8.06	-	100.15	$(Pt_{0.74}Fe_{0.23}Cu_{0.02}Pd_{0.01})_{1.00}$
5	Ка-р2-губ(5)	16141hm*	2	1.03	-	-	0.26	89.88	-	-	1.25	7.88	-	100.28	$(Pt_{0.73}Fe_{0.23}Cu_{0.03}Os_{0.01})_{1.00}$
6	Ка-р2-губ(6)	16141n	1	-	-	0.98	-	88.81	0.80	-	0.64	7.90	-	99.13	$(Pt_{0.73}Fe_{0.23}Cu_{0.02}Rh_{0.01}Pd_{0.01})_{1.00}$
7	Ка-р2-губ(7)	16141vc'e*	3	1.44	0.71	0.66	0.12	91.23	1.02	-	-	4.53	-	99.70	$(Pt_{0.81}Fe_{0.14}Pd_{0.02}Os_{0.01}Rh_{0.01}Ir_{0.01})_{1.00}$
8	Ка-р2-губ(7)	16141wd*	2	0.19	-	-	-	91.04	0.38	-	-	8.70	-	100.30	$(Pt_{0.74}Fe_{0.25}Pd_{0.01})_{1.00}$
9	Ка-р2-губ(8)	16142c	1	-	-	0.34	-	90.53	1.08	-	2.28	6.73	-	100.97	$(Pt_{0.73}Fe_{0.19}Cu_{0.06}Pd_{0.02})_{1.00}$
10	Ка-р2-губ(9)	16142fh*	2	-	-	-	-	90.86	0.32	-	0.22	8.72	-	100.12	$(Pt_{0.74}Fe_{0.25}Cu_{0.01})_{1.00}$
11	Ка-р2-губ(11)	16142j	1	-	-	1.40	-	94.90	0.56	-	-	2.59	-	99.46	$(Pt_{0.88}Fe_{0.08}Rh_{0.03}Pd_{0.01})_{1.00}$
12	Ка-р2-губ(12)	16143b	1	2.37	-	-	-	89.18	0.77	-	0.40	8.10	-	100.82	$(Pt_{0.73}Fe_{0.23}Os_{0.02}Pd_{0.01}Cu_{0.01})_{1.00}$
13	Ка-р2-губ(13)	16143k	1	-	-	-	-	90.76	0.31	-	0.85	8.36	-	100.28	$(Pt_{0.74}Fe_{0.24}Cu_{0.02})_{1.00}$
14	Ка-р2-губ(14)	16143lp*	2	-	-	-	-	90.50	0.33	-	1.69	7.43	-	99.94	$(Pt_{0.74}Fe_{0.21}Cu_{0.04}Pd_{0.01})_{1.00}$
15	Ка-р2-губ(14)	16143o	1	-	-	-	-	93.38	0.34	-	0.83	4.50	-	99.05	$(Pt_{0.83}Fe_{0.14}Cu_{0.02}Pd_{0.01})_{1.00}$
16	Ка-р2-губ(15)	16143s	1	0.49	-	-	-	89.70	-	-	0.19	8.77	-	99.15	$(Pt_{0.74}Fe_{0.25}Cu_{0.01})_{1.00}$
17	Ка-р2-губ(16)	16143u	1	-	-	-	-	90.45	-	-	0.23	8.35	-	99.03	$(Pt_{0.75}Fe_{0.24}Cu_{0.01})_{1.00}$
18	Ка-р2-губ(17)	16143w	1	-	-	-	-	90.17	0.31	-	0.59	8.24	-	99.32	$(Pt_{0.74}Fe_{0.24}Cu_{0.02})_{1.00}$
19	Ка-р2-губ(18)	16143c'	1	-	-	-	-	90.35	0.22	-	1.13	8.03	-	99.73	$(Pt_{0.74}Fe_{0.23}Cu_{0.03})_{1.00}$
20	Ка-р2-губ(19)	16144a	1	-	-	-	-	90.68	0.27	-	-	9.44	-	100.39	$(Pt_{0.73}Fe_{0.27})_{1.00}$
21	Ка-р2-губ(20)	16144d	1	-	0.89	-	0.27	89.22	0.44	-	0.84	8.14	-	99.80	$(Pt_{0.73}Fe_{0.23}Cu_{0.01}Ir_{0.01}Pd_{0.01}Ru_{0.01})_{1.00}$
22	Ка-р2-губ(22)	16150b	1	14.64	2.82	1.11	1.16	75.58	0.81	-	-	3.17	-	99.29	$(Pt_{0.68}Fe_{0.10}Os_{0.14}Ir_{0.03}Ru_{0.02}Rh_{0.02}Pd_{0.01})_{1.00}$
23	Ка-р2-губ(23)	16150c	1	0.79	1.56	-	-	88.97	-	-	-	8.68	-	100.00	$(Pt_{0.73}Fe_{0.25}Ir_{0.01}Os_{0.01})_{1.00}$
24	Ка-р2-губ(24)	16150j	1	0.44	1.22	0.59	-	88.58	-	-	0.65	7.77	-	99.25	$(Pt_{0.73}Fe_{0.23}Cu_{0.02}Ir_{0.01}Rh_{0.01})_{1.00}$
25	Ка-р2-губ(25)	16150p	1	-	-	-	-	89.76	0.37	-	2.47	7.36	-	99.95	$(Pt_{0.72}Fe_{0.21}Cu_{0.06}Pd_{0.01})_{1.00}$
26	Ка-р2-губ(26)	16150s	1	-	-	-	-	91.42	0.27	-	0.77	8.53	-	100.98	$(Pt_{0.74}Fe_{0.24}Cu_{0.02})_{1.00}$
27	Ка-р2-губ(27)	16150v	1	-	-	-	-	90.94	-	-	0.40	8.66	-	100.00	$(Pt_{0.74}Fe_{0.25}Cu_{0.01})_{1.00}$
28	Ка-р2-губ(28)	16150x	1	-	-	-	-	89.94	0.53	-	0.76	7.80	-	99.04	$(Pt_{0.75}Fe_{0.22}Cu_{0.02}Pd_{0.01})_{1.00}$
29	Ка-р2-ж(3)	16130fg*	2	0.85	-	0.94	-	87.82	1.92	-	2.28	6.11	-	99.92	$(Pt_{0.72}Fe_{0.17}Cu_{0.06}Pd_{0.03}Rh_{0.01}Os_{0.01})_{1.00}$
30	Ка-р2-ж(4)	16130mp*	2	-	-	-	-	91.13	-	-	-	8.87	-	100.00	$(Pt_{0.75}Fe_{0.25})_{1.00}$
31	Ка-р2-ж(5)	16130qr*	2	-	-	-	-	93.90	-	-	-	6.10	-	100.00	$(Pt_{0.82}Fe_{0.18})_{1.00}$
32	Ка-р2-ж(6)	16130w	1	-	-	0.45	-	91.84	-	-	0.98	6.23	-	99.50	$(Pt_{0.78}Fe_{0.18}Cu_{0.03}Rh_{0.01})_{1.00}$

33	Ка-р2-ж(7)	16130с'	1	-	-	-	-	89.89	-	0.81	7.80	-	99.01	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.02} Rh _{0.01}) _{1.00}
34	Ка-р2-ж(8)	16131d	1	-	-	0.35	-	92.14	0.35	2.48	3.02	-	99.05	(Pt _{0.82} Fe _{0.09} Cu _{0.07} Rh _{0.02}) _{1.00}
35	Ка-р2-ж(10)	16131j	1	-	-	-	-	89.38	-	2.44	6.90	-	99.08	(Pt _{0.73} Fe _{0.20} Cu _{0.06} Rh _{0.01}) _{1.00}
36	Ка-р2-ж(13)	16131p	1	-	-	-	-	93.90	-	0.56	3.95	-	99.90	(Pt _{0.84} Fe _{0.12} Rh _{0.03} Pd _{0.01}) _{1.00}
37	Ка-р2-ж(14)	16131twya*	4	-	-	0.34	1.79	88.48	0.09	2.76	6.69	-	100.14	(Pt _{0.71} Fe _{0.19} Cu _{0.07} Rh _{0.01} Sb _{0.02}) _{1.00}
38	Ка-р2-ж(16)	16132kp*	2	-	-	2.54	-	87.23	0.21	1.08	7.46	-	99.64	(Pt _{0.70} Fe _{0.21} Rh _{0.04} Cu _{0.03} Ru _{0.02}) _{1.00}
39	Ка-р2-ж(18)	16132t	1	-	-	0.49	-	94.84	0.45	-	3.44	-	99.22	(Pt _{0.87} Fe _{0.11} Rh _{0.02} Pd _{0.01}) _{1.00}
40	Ка-р2-ж(19)	16132v	1	-	-	0.55	-	89.71	0.60	-	8.40	-	99.26	(Pt _{0.87} Fe _{0.11} Rh _{0.01} Pd _{0.01}) _{1.00}
41	Ка-р2-ж(20)	16132y	1	-	-	1.07	-	92.66	0.38	2.46	3.21	-	99.78	(Pt _{0.74} Fe _{0.24} Cu _{0.07} Rh _{0.02}) _{1.00}
42	Ка-р2-м(1)	16166bc*	2	-	-	0.30	-	89.50	1.10	0.57	8.47	-	99.94	(Pt _{0.73} Fe _{0.24} Pd _{0.02} Cu _{0.01}) _{1.00}
43	Ка-р2-м(3)	16166e	1	-	-	0.97	-	89.43	-	1.99	6.92	-	100.38	(Pt _{0.73} Fe _{0.20} Cu _{0.05} Rh _{0.01} Os _{0.01}) _{1.00}
44	Ка-р2-м(4)	16166l	1	1.07	-	-	-	90.60	-	2.43	6.93	-	99.96	(Pt _{0.74} Fe _{0.20} Cu _{0.06}) _{1.00}
45	Ка-р2-м(6)	16166o	1	-	-	-	-	90.45	0.53	-	9.81	-	100.79	(Pt _{0.72} Fe _{0.27} Cu _{0.01}) _{1.00}
46	Ка-р2-м(7)	16166rs*	2	-	-	-	-	90.72	-	0.39	8.63	-	99.74	(Pt _{0.74} Fe _{0.25} Cu _{0.01}) _{1.00}
47	Ка-р2-м(8)	16166z	1	-	-	-	-	88.81	-	2.51	6.52	-	99.82	(Pt _{0.73} Fe _{0.18} Cu _{0.06} Sb _{0.03}) _{1.00}
48	Ка-р2-м(9)	16167b	1	-	-	-	-	91.45	0.36	-	9.006	-	100.87	(Pt _{0.74} Fe _{0.26}) _{1.00}
49	Ка-р2-м(10)	16167c	1	-	-	-	-	91.67	-	0.30	8.99	-	100.96	(Pt _{0.74} Fe _{0.25} Cu _{0.01}) _{1.00}
50	Ка-р2-м(11)	16167h	1	-	-	-	-	91.04	-	0.98	8.44	-	100.46	(Pt _{0.74} Fe _{0.24} Cu _{0.02}) _{1.00}
51	Ка-р2-м(12)	16167j	1	-	-	-	-	89.31	-	2.32	7.43	-	99.006	(Pt _{0.73} Fe _{0.21} Cu _{0.06}) _{1.00}
52	Ка-р2-м(13)	16167o	1	-	-	-	-	90.43	-	1.28	8.29	-	100.00	(Pt _{0.73} Fe _{0.24} Cu _{0.03}) _{1.00}
53	Ка-р2-м(14)	16167r	1	-	-	-	-	90.97	-	-	9.03	-	100.00	(Pt _{0.74} Fe _{0.26}) _{1.00}
54	Ка-р2-м(15)	16167w	1	-	-	-	-	91.01	-	0.80	8.28	-	100.66	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.02} Sb _{0.01}) _{1.00}
55	Ка-р2-м(17)	16168de*	2	-	-	-	-	90.41	0.42	0.92	8.05	-	99.79	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.02} Pd _{0.01}) _{1.00}
56	Ка-р2-м(18)	16168f	1	-	1.06	0.94	-	88.37	0.50	0.72	8.81	-	100.40	(Pt _{0.70} Fe _{0.25} Cu _{0.02} Rh _{0.01} Ir _{0.01} Pd _{0.01}) _{1.00}
57	Ка-р2-м(19)	16168k	1	-	-	0.48	-	89.82	0.61	1.24	7.50	-	99.65	(Pt _{0.74} Fe _{0.21} Cu _{0.03} Pd _{0.01} Rh _{0.01}) _{1.00}
58	Ка-р2-м(20)	16168l	1	-	-	-	-	91.34	-	0.90	8.44	-	100.67	(Pt _{0.74} Fe _{0.24} Cu _{0.02}) _{1.00}
59	Ка-р2-м(21)	16168s	1	-	-	-	-	90.15	-	1.53	8.32	-	100.00	(Pt _{0.73} Fe _{0.23} Cu _{0.04}) _{1.00}
60	Ка-р2-м(22)	16168t	1	-	-	-	-	90.18	-	0.48	8.80	-	100.09	(Pt _{0.73} Fe _{0.25} Cu _{0.01} Pd _{0.01}) _{1.00}
61	Ка-р2-м(23)	16168b'	1	-	-	-	-	90.69	-	1.04	8.01	-	100.71	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.02} Sb _{0.01}) _{1.00}
62	Ка-р2-м(24)	16175bc*	2	-	-	-	-	90.34	0.27	-	9.11	-	99.72	(Pt _{0.74} Fe _{0.26}) _{1.00}
63	Ка-р2-м(25)	16175e	1	-	-	-	-	91.39	-	1.15	8.05	-	100.59	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.03}) _{1.00}
64	Ка-р2-м(26)	16175f	1	-	-	-	-	91.81	-	-	8.98	-	100.79	(Pt _{0.75} Fe _{0.25}) _{1.00}
65	Ка-р2-м(27)	16175i	1	-	-	-	-	89.83	0.56	0.32	8.58	-	99.30	(Pt _{0.74} Fe _{0.24} Pd _{0.01} Cu _{0.01}) _{1.00}
66	Ка-р2-м(28)	16175j	1	-	-	0.36	-	90.68	0.36	0.79	8.22	-	100.41	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.02} Rh _{0.01}) _{1.00}
67	Ка-р2-м(29)	16175q	1	-	-	-	-	89.81	0.56	0.33	8.64	-	99.34	(Pt _{0.73} Fe _{0.25} Pd _{0.01} Cu _{0.01}) _{1.00}
68	Ка-р2-м(30)	16175r	1	-	-	-	-	90.51	0.61	-	9.60	-	100.72	(Pt _{0.72} Fe _{0.27} Pd _{0.01}) _{1.00}
69	Ка-р2-м(31)	16175v	1	-	-	-	-	90.23	-	0.24	8.69	-	99.16	(Pt _{0.74} Fe _{0.25} Cu _{0.01}) _{1.00}
70	Ка-р2-м(32)	16175w	1	-	-	-	-	90.03	-	1.19	7.88	-	99.10	(Pt _{0.74} Fe _{0.23} Cu _{0.03}) _{1.00}

Окончание таблицы 1

№ п/п	Проба (зерно)	№ анализа	Кол-во анализ.	Os	Ir	Rh	Ru	Pt	Pd	Sb	Cu	Fe	Ni	Сумма	Кристаллохимическая формула
71	Ка-р2-м(33)	16176а	1	—	—	0.89	—	89.86	0.64	—	4.02	3.63	—	99.03	$(Pt_{0.76}Fe_{0.11}Cu_{0.11}Rh_{0.01}Pd_{0.01})_{1.00}$
72	Ка-р2-м(34)	16176b	1	—	—	—	—	90.89	0.47	—	1.86	7.63	—	100.85	$(Pt_{0.73}Fe_{0.21}Cu_{0.05}Pd_{0.01})_{1.00}$
73	Ка-р2-м(35)	16176j	1	—	—	—	—	90.13	0.76	—	0.22	8.89	—	100.00	$(Pt_{0.73}Fe_{0.25}Pd_{0.01}Cu_{0.01})_{1.00}$
74	Ка-р2-м(36)	16176l	1	—	—	—	—	90.37	1.26	—	3.18	5.19	—	100.00	$(Pt_{0.75}Fe_{0.15}Cu_{0.08}Pd_{0.02})_{1.00}$
75	Ка-2рС-Рт(2)	23229ma*	2	—	—	—	—	91.32	—	1.32	—	7.16	—	99.80	$(Pt_{0.77}Fe_{0.21}Sb_{0.02})_{1.00}$
76	Ка-2рС-Рт(6)	23230e	1	—	—	0.71	—	91.62	—	—	—	7.46	—	99.78	$(Pt_{0.77}Fe_{0.22}Rh_{0.01})_{1.00}$
77	Ка-2рС-Рт(6а)	23231def*	3	—	—	0.23	—	91.48	—	—	—	7.95	—	99.66	$(Pt_{0.77}Fe_{0.23})_{1.00}$
78	Ка-2рС-Рт(7)	23232a	1	—	—	0.68	—	91.25	—	—	—	7.71	—	99.65	$(Pt_{0.76}Fe_{0.23}Rh_{0.01})_{1.00}$
79	Ка-2рС-Рт(8)	23233a	1	—	—	0.39	—	92.27	—	—	—	7.35	—	100.01	$(Pt_{0.78}Fe_{0.22})_{1.00}$
80	Ка-2рС-Рт(9)	23233cd*	2	—	—	0.08	—	91.52	—	0.83	0.68	6.40	—	99.52	$(Pt_{0.78}Fe_{0.19}Cu_{0.02}Sb_{0.01})_{1.00}$
81	Ка-2рС-Рт(12)	23233g	1	—	—	1.14	—	91.03	—	—	—	7.63	—	99.80	$(Pt_{0.76}Fe_{0.22}Rh_{0.02})_{1.00}$
82	Ка-2рС-Рт(14)	23234a	1	—	—	1.45	—	90.29	—	—	—	7.40	—	99.13	$(Pt_{0.76}Fe_{0.22}Rh_{0.02})_{1.00}$
83	Ка-2рС-Рт(2)	23217ab*	2	—	—	1.48	—	92.80	—	—	0.31	4.98	—	99.57	$(Pt_{0.81}Fe_{0.15}Rh_{0.03}Cu_{0.01})_{1.00}$
84	Ка-2рС-Рт(4)	23218a	1	—	—	0.56	—	91.70	—	—	—	7.28	—	99.55	$(Pt_{0.78}Fe_{0.21}Rh_{0.01})_{1.00}$
85	Ка-2рС-Рт(5)	23218e	1	—	—	2.84	—	93.02	—	—	—	4.02	—	99.87	$(Pt_{0.83}Fe_{0.12}Rh_{0.05})_{1.00}$
86	Ка-2рС-Рт(14)	23219a	1	—	—	3.37	—	92.90	—	—	0.39	3.17	—	99.83	$(Pt_{0.83}Fe_{0.10}Rh_{0.06}Cu_{0.01})_{1.00}$
87	Ка-2рС-Рт(15)	23219g	1	—	—	—	—	91.12	—	—	—	8.53	—	99.65	$(Pt_{0.75}Fe_{0.25})_{1.00}$
88	Ка-2рС-Рт(16)	23220a	1	—	—	—	—	92.17	—	—	0.21	7.34	—	99.71	$(Pt_{0.78}Fe_{0.22})_{1.00}$
89	Ка-2рС-Рт(8)	23221a	1	—	—	0.29	—	91.41	—	—	0.72	6.75	—	99.17	$(Pt_{0.78}Fe_{0.20}Cu_{0.02})_{1.00}$
90	Ка-2рС-Рт(9)	23222a	1	—	—	—	—	92.37	—	—	—	7.45	0.04	99.86	$(Pt_{0.78}Fe_{0.22})_{1.00}$
91	Ка-2рС-Рт(10)	23223al*	2	—	—	0.89	—	91.89	—	—	—	7.08	—	99.86	$(Pt_{0.78}Fe_{0.21}Rh_{0.01})_{1.00}$
92	Ка-2рС-Рт(11)	23224ab*	2	—	—	—	—	92.19	—	—	1.39	6.12	—	99.70	$(Pt_{0.78}Fe_{0.18}Cu_{0.04})_{1.00}$
93	Ка-2рС-Рт(12)	23224cf*	2	—	—	0.34	—	92.5	—	—	0.26	6.42	—	99.52	$(Pt_{0.79}Fe_{0.19}Cu_{0.01}Rh_{0.01})_{1.00}$
94	Ка-2рС-Рт(18)	23225b	1	—	—	2.22	—	90.22	—	—	—	7.15	—	99.59	$(Pt_{0.76}Fe_{0.21}Rh_{0.03})_{1.00}$
95	Ка-2рС-Рт(19)	23225f	1	—	—	1.07	—	90.69	—	—	—	7.65	—	99.40	$(Pt_{0.76}Fe_{0.22}Rh_{0.02})_{1.00}$
96	Ка-р2-хр(1)	16139f	1	—	—	—	—	86.57	—	3.14	2.91	7.38	—	100.00	$(Pt_{0.69}Fe_{0.20}Cu_{0.07}Sb_{0.04})_{1.00}$
97	Ка-р2-хр(2)	16139j	1	3.18	5.62	4.18	—	81.54	0.75	—	0.66	4.07	—	100.00	$(Pt_{0.63}Fe_{0.11}Pd_{0.06}Rh_{0.06}Ir_{0.06}Os_{0.03}Cu_{0.02})_{1.00}$
98	Ка-р2-хр(8)	16163i	1	—	—	—	—	90.80	—	—	1.02	8.18	—	100.00	$(Pt_{0.74}Fe_{0.23}Cu_{0.03})_{1.00}$
99	Ка-р2-Аu(2)	16137ef*	2	1.08	—	0.24	0.22	89.20	0.58	—	0.42	8.26	—	100.00	$(Pt_{0.68}Fe_{0.22}Pd_{0.08}Cu_{0.01}Os_{0.01})_{1.00}$
100	Ка-р2-Аu(6)	16137f	1	—	—	—	—	90.10	0.41	—	0.97	8.52	—	100.00	$(Pt_{0.69}Fe_{0.23}Pd_{0.06}Cu_{0.02})_{1.00}$
101	Ка-р2-Аu(6)	16137z	1	—	—	0.62	—	89.07	1.08	—	2.42	6.81	—	100.00	$(Pt_{0.63}Fe_{0.17}Pd_{0.14}Cu_{0.05}Rh_{0.01})_{1.00}$
102	Ка1-ср(5)	22216abc*	3	—	—	—	—	91.33	—	—	—	8.45	0.11	99.88	$(Pt_{0.75}Fe_{0.25})_{1.00}$
103	Ка1-ср(10)	22216hgi*	3	0.16	—	—	—	92.67	—	—	0.50	6.55	0.02	99.90	$(Pt_{0.79}Fe_{0.20}Cu_{0.01})_{1.00}$

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3: формула минерала рассчитана на сумму металлов, равную 1; * – средние значения, количество букв соответствует количеству проанализированных точек.

Note. Here and in Tables 2, 3: the mineral formula is recalculated to metal sum of 1; * – average values, the number of letters correspond to the number of analyzed points.

Таблица 2
Table 2

Состав золота из включений в зернах платины из Казанской россыпи (мас. %)

Chemical composition of gold inclusions in platinum grains from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	№ зерна	№ анализа	Кол-во ан.	Au	Ag	Cu	Pt	Pd	Os	Ir	Fe	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	Ка10ср(10)01	22217d	1	87.04	0.43	1.59	2.61	8.23	—	—	—	99.9	(Au _{0,78} Pd _{0,14} Cu _{0,04} Ag _{0,02} Pt) _{1,00}
2	Ка10ср(10)02	22217e	1	85.86	0.57	1.34	3.76	8.34	—	—	—	99.87	(Au _{0,78} Pd _{0,14} Cu _{0,03} PtAg _{0,02}) _{1,00}
3	Ка10ср(10)03	22217f	1	84.75	0.81	1.47	5.06	7.55	—	—	—	99.64	(Au _{0,77} Pt _{0,13} Pt _{0,05} Cu _{0,04} Ag) _{1,00}
4	Ка10ср(10)04	22217h	1	85.9	0.43	1.34	2.88	9.12	—	—	—	99.67	(Au _{0,78} Pd _{0,15} Pt _{0,03} Ag _{0,03} Cu) _{1,00}
5	Ка10ср(10)05	22217u	1	85.77	—	0.84	—	7.32	6.07	—	—	100.00	(Au _{0,79} Pd _{0,13} Os _{0,06} Cu) _{1,00}
6	Ка0р20м(3)	16166g	1	85.46	—	1.60	4.06	9.48	—	—	0.14	100.75	(Au _{0,76} Pd _{0,16} Cu _{0,04} Pt) _{1,00}
7	Ка0р20м(8)	16166w	1	91.23	—	2.12	3.45	3.76	—	—	—	100.55	(Au _{0,84} Pd _{0,07} Cu _{0,06} Pt) _{1,00}
8	Ка0р20м(11)	16167i	1	86.59	14.37	—	—	—	—	—	—	100.96	(Au _{0,77} Ag _{0,23}) _{1,00}
9	Ка0р20м(15)	16167v	1	89.07	—	1.01	5.81	—	—	—	0.15	100.11	(Au _{0,90} Pt _{0,06} Cu _{0,03} Fe _{0,01}) _{1,00}
10	Ка0р20м(19)	16168j	1	87.21	—	1.21	3.49	—	—	—	—	100.10	(Au _{0,92} Cu _{0,04} Pt) _{1,00}
11	Ка0р20м(25)	16175d	1	89.1	—	2.30	2.28	6.13	—	—	—	99.81	(Au _{0,81} Pd _{0,10} Cu _{0,07} Pt) _{1,00}
12	Ка0р20м(28)	16175k	1	86.23	—	1.22	3.90	9.41	—	—	0.20	100.96	(Au _{0,77} Pt _{0,16} Pt _{0,03} Fe) _{1,00}
13	Ка0р20м(31)	16175u	1	91.21	—	0.49	3.55	3.84	—	—	—	99.08	(Au _{0,88} Pt _{0,07} Cu) _{1,00}
14	Ка0р20м(32)	16175z	1	73.27	—	1.63	18.53	3.34	2.02	—	1.37	100.16	(Au _{0,67} Pt _{0,17} Cu _{0,06} Fe _{0,04} Os) _{1,00}
15	Ка0р20ж(6)	16130v	1	88.75	—	—	—	11.25	—	—	—	100.00	(Au _{0,81} Pd _{0,19}) _{1,00}
16	Ка0р20ж(10)	16131i	1	92.13	—	4.58	—	3.29	—	—	—	100.00	(Au _{0,82} Cu _{0,13} Pd) _{1,00}
17	Ка0р20ж(14)	16131r	1	89.88	—	5.02	—	5.10	—	—	—	100.00	(Au _{0,78} Cu _{0,14} Pd) _{1,00}
18	Ка0р20ж(14)	16131x	1	95.44	—	0.58	—	3.98	—	—	—	100.00	(Au _{0,91} Pd _{0,07} Cu) _{1,00}
19	Ка0р20ж	16132d	1	87.24	1.22	5.50	—	6.04	—	—	—	100.00	(Au _{0,74} Cu _{0,14} Pd _{0,10} Ag _{0,02}) _{1,00}
20	Ка0р20губ(3)	16140k	1	83.32	0.28	1.01	6.3	7.50	0.42	—	0.45	99.28	(Au _{0,76} Pd _{0,13} Pt _{0,06} Cu _{0,03} Fe _{0,01} Ag) _{1,00}
21	Ка0р20губ(3)	16140l	1	85.44	0.31	2.16	5.08	7.23	—	—	0.18	100.39	(Au _{0,76} Pd _{0,12} Cu _{0,06} Pt _{0,05} Fe) _{1,00}
22	Ка0р20губ(3)	16140w	1	84.88	—	1.70	3.89	7.83	1.09	0.36	0.26	100	(Au _{0,76} Pt _{0,13} Cu _{0,05} Pt _{0,04} Os) _{1,00}
23	Ка0р20губ(5)	16141g	1	88.27	2.89	0.43	2.35	5.50	—	—	0	99.43	(Au _{0,82} Pt _{0,10} Ag _{0,05} Pt _{0,02} Cu) _{1,00}
24	Ка0р20губ(5)	16141i	1	87.79	4.87	0.40	0.00	5.91	—	—	0	98.96	(Au _{0,81} Pd _{0,10} Ag _{0,08} Cu) _{1,00}
25	Ка0р20губ(13)	16143i	1	91.94	—	2.23	3.75	2.08	—	—	0	100	(Au _{0,86} Cu _{0,06} Pd _{0,04} Pt) _{1,00}
26	Ка0р20губ(14)	16143m	1	71.76	—	3.44	21.16	3.99	—	—	0.48	100.82	(Au _{0,64} Pt _{0,19} Cu _{0,09} Pd _{0,06} Fe) _{1,00}
27	Ка0р20губ(14)	16143q	1	84.52	0.28	3.58	3.45	8.07	—	—	—	99.90	(Au _{0,74} Pd _{0,13} Cu _{0,10} Pt) _{1,00}
28	Ка0р20губ(15)	16143r	1	91.45	—	0.30	4.73	3.11	—	—	0.16	99.74	(Au _{0,88} Pd _{0,06} Pt _{0,05} Cu) _{1,00}
29	Ка0р20губ(16)	16143t	1	94.43	0.82	—	1.77	2.09	—	—	—	99.11	(Au _{0,95} Pd _{0,04} Pt _{0,02} Ag) _{1,00}
30	Ка0р20губ(23)	16150d	1	87.63	—	0.26	4.27	7.99	—	—	0.24	100.39	(Au _{0,81} Pd _{0,13} Pt _{0,04} Fe _{0,01} Cu) _{1,00}
31	Ка0р20губ(26)	16150r	1	83.51	0.29	1.56	3.40	10.90	—	—	—	99.66	(Au _{0,74} Pt _{0,18} Cu _{0,04} Pt _{0,03} Ag) _{1,00}
32	Ка02пС0Pt(2)	23229jkl*	3	98.12	—	—	—	1.16	—	—	—	99.27	(Au _{0,98} Pd) _{1,00}
33	Ка02пС0Pt(8)	23221b	1	86.64	—	2.78	—	9.92	—	—	—	99.34	(Au _{0,76} Pd _{0,16} Cu) _{1,00}
34	Ка02пС0Pt(8)	23221c	1	87.23	—	3.01	—	9.51	—	—	—	99.74	(Au _{0,76} Pd _{0,16} Cu) _{1,00}
35	Ка02пС0Pt(8)	23221d	1	85.66	—	3.07	—	10.28	—	—	—	99.01	(Au _{0,75} Pd _{0,17} Cu) _{1,00}
36	Ка02пС0Pt(8)	23221ght*	3	86.71	—	3.11	—	9.82	—	—	—	99.63	(Au _{0,76} Pd _{0,16} Cu) _{1,00}
37	Ка02пС0Pt(8)	23221j	1	86.36	—	3.19	—	10.24	—	—	—	99.79	(Au _{0,75} Pd _{0,16} Cu) _{1,00}
38	Ка02пС0Pt(9)	23222f	1	91.70	—	—	—	8.30	—	—	—	100.00	(Au _{0,86} Pd _{0,14}) _{1,00}

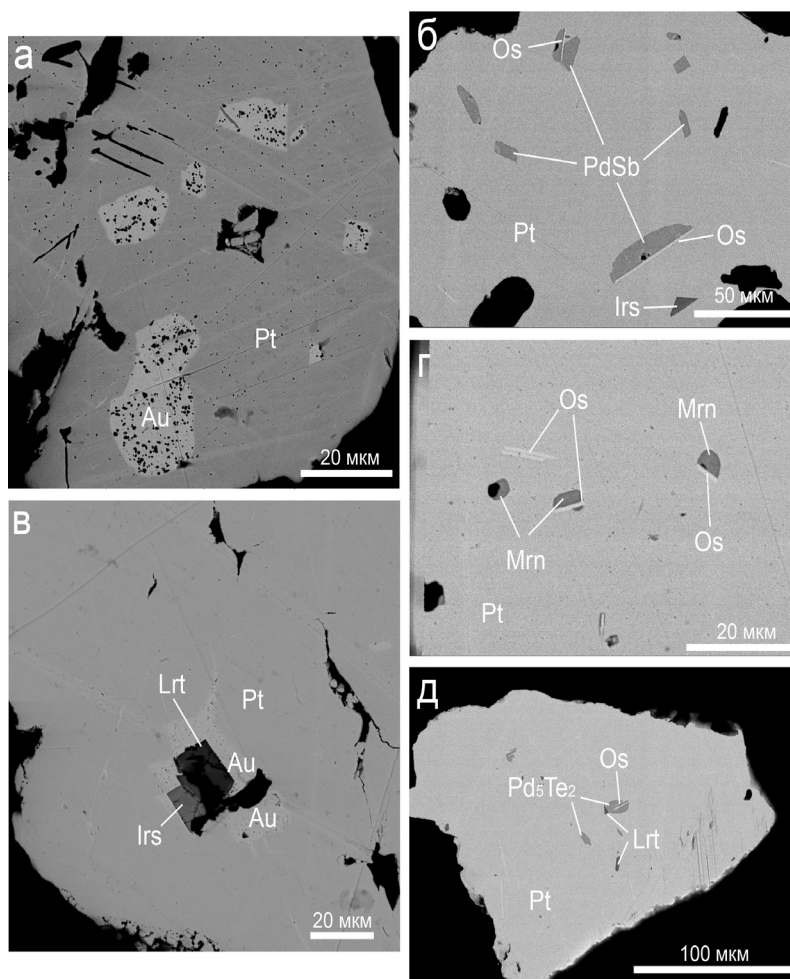


Рис. 4. Минеральные включения в изоферроплатине (Pt).

а – самородное золото (Au); б – сростки осмия (Os) и стибипалладинита (PdSb), зерна ирарсита (Irs); в – сросток золота, ирарсита и лаурита (Lrt); г – сростки осмия и меренскиита (Mrn); д – сростки осмия, лаурита и минерала с идеализированной формулой Pd_5Te_2 .

Fig. 4. Mineral inclusions in isoferroplatinum (Pt).

а – native gold (Au); б – intergrowths of osmium (Os) and stibiopalladinite (PdSb), irarsite grains (Irs); в – intergrowth of gold, irarsite and laurite (Lrt); г – intergrowths of osmium and merenskiite (Mrn); д – intergrowths of osmium, laurite and mineral with idealized formula Pd_5Te_2 .

новообразованного высокопробного золота (Au 96–99 мас. %, Ag 1–2 мас. %). В отдельных случаях в составе золота отмечается примесь Cu (до 0.32 мас. %) (рис. 5).

Самородный осмий встречается в виде кристаллов с удлинёнными сечениями толщиной до 5–10 мкм до 20 мкм в длину (рис. 4б) и ассоциирует с золотом и халькогенидами ЭПГ. Состав минерала сильно варьирует (табл. 3). Содержание Os составляет 43.58–76.68 мас. %. Во всех анализах зафиксирован Ir (15.4–43.67 мас. %). Часто в составе минерала отмечаются Ru (0.57–26.06 мас. %), Rh (0.12–1.01 мас. %) и Fe (0.14–0.7 мас. %). Платина определена только в двух анализах: ее содержания не превышают 1.53 мас. %.

Сульфиды представлены лауритом, эрликманитом, бауитом и не диагностированным точно минералом с формулой, близкой к $(Ir,Os)_3S_2$ (табл. 4).

Лаурит (RuS_2) образует кристаллы, близкие к прямоугольному сечению размером до 10–20 мкм (рис. 4в), и ассоциирует с золотом и сульфоарсенидами ЭПГ. Содержание Os в пределах одного кристалла может варьировать от 23.29 до 27.15 мас. %. Содержит примеси Os, Rh, Pt, Se и As.

Эрликманит встречен в одном образце, где он вместе с богатым Os лауритом образует кайму вокруг платины мощностью до 20–40 мкм. В кайме наблюдаются включения многочисленных кристаллов осмия. В составе минерала отмечаются высокие содержания Ru вплоть до состава лаурита.

Таблица 3
Table 3

Состав включений осмия, иридия, рутения и родия в платине из Казанской россыпи (мас. %) /
Chemical composition of osmium, iridium, ruthenium and rhodium inclusions in platinum from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	Проба (зерно)	№ анализа	Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Pd	Fe	Сумма	Кристаллохимическая формула
1	Ка-р2-губ(3)	16140m	94.78		3.47	1.08	1.04	0.28	—	100.64	(Os _{0.90} Ru _{0.06} Rh _{0.02} Pt _{0.01}) _{1.00}
2	Ка-р2-губ(3)	16140x	96.11	—	0.56	0.36	1.64	0.67	—	99.35	(Os _{0.95} Pt _{0.02} Pd _{0.01} Ru _{0.01} Rh _{0.01}) _{1.00}
3	Ка-р2-губ(4)	16141b	90.79	1.08	0.41	0.63	4.93	0.69	0.52	99.05	(Os _{0.89} Pt _{0.05} Fe _{0.02} Pd _{0.01} Ir _{0.01} Rh _{0.01} Ru _{0.01}) _{1.00}
4	Ка-р2-губ(6)	16141o	88.10	—	0.64	0.53	9.08	—	0.77	99.12	(Os _{0.87} Pt _{0.09} Fe _{0.02} Ru _{0.01} Rh _{0.01}) _{1.00}
5	Ка-р2-губ(7)	16141t	75.83	15.82	2.74	0.60	4.64	—	0.38	100.00	(Os _{0.73} Ir _{0.15} Ru _{0.05} Pt _{0.05} Fe _{0.01} Rh _{0.01}) _{1.00}
6	Ка-р2-губ(13)	16143j*	91.45	6.50	—	0.49	—	0.41	0.28	100.00	(Os _{0.89} Ir _{0.10} Pt _{0.08} Fe _{0.02} Rh _{0.03} Ru _{0.01} Pd _{0.01}) _{1.00}
7	Ка-р2-Au(6)	16137m	76.78	10.63	1.49	1.67	8.49	—	0.94	—	(Os _{0.73} Ir _{0.10} Pt _{0.08} Fe _{0.03} Rh _{0.03} Ru _{0.03}) _{1.00}
8	Ка-р2-Au(13)	16137y	88.92	7.21	2.44	0.37	1.06	—	—	100.00	(Os _{0.87} Ir _{0.07} Ru _{0.04} Pt _{0.01} Rh _{0.01}) _{1.00}
9	Ка-р2-м(3)	16166f	96.50	—	0.55	—	2.63	—	0.28	99.97	(Os _{0.95} Pt _{0.03} Ru _{0.01} Fe _{0.01}) _{1.00}
10	Ка-р2-м(15)	16167u	73.46	2.00	—	—	22.54	—	2.00	100.00	(Os _{0.70} Pt _{0.21} Fe _{0.07} Ir _{0.02}) _{1.00}
11	Ка-р2-м(18)	16168g	85.61	9.68	0.81	0.30	2.58	—	0.21	99.20	(Os _{0.85} Ir _{0.10} Pt _{0.02} Ru _{0.01} Fe _{0.01} Rh _{0.01}) _{1.00}
12	Ка-р2-м(18)	16168h	79.83	14.71	1.90	0.43	3.19	—	0.22	100.28	(Os _{0.78} Ir _{0.14} Ru _{0.03} Pt _{0.03} Rh _{0.01} Fe _{0.01}) _{1.00}
13	Ка-р2-м(21)	16168r	94.54	—	—	—	5.46	—	—	100.00	(Os _{0.95} Pt _{0.05}) _{1.00}
14	Ка-р2-м(23)	16168a'	62.39	28.57	0.46	0.67	6.97	—	0.61	99.68	(Os _{0.61} Ir _{0.28} Pt _{0.07} Fe _{0.02} Rh _{0.01} Ru _{0.01}) _{1.00}
15	Ка-р2-м(29)	16175p	83.39	6.67	1.86	1.00	5.49	—	0.69	99.11	(Os _{0.81} Ir _{0.06} Pt _{0.05} Ru _{0.03} Fe _{0.02} Rh _{0.02}) _{1.00}
16	Ка-р2-ж(3)	16130d	93.17	3.01	0.41	—	2.84	—	—	99.43	(Os _{0.93} Ir _{0.03} Pt _{0.03} Ru _{0.01}) _{1.00}
17	Ка-р2-ж(4)	16130k	87.62		1.26	2.43	8.15		0.54	100.00	(Os _{0.84} Pt _{0.08} Fe _{0.02} Rh _{0.04} Ru _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00}
18	Ка-р2-ж(6)	16130u	66.54	23.00	1.71	0.69	6.71	—	0.45	99.10	(Os _{0.65} Ir _{0.22} Pt _{0.07} Ru _{0.03} Fe _{0.02} Rh _{0.01}) _{1.00}
19	Ка-р2-ж(7)	16130b'	90.13	3.01	1.11	—	5.42	—	0.56	100.24	(Os _{0.88} Pt _{0.05} Ir _{0.03} Ru _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00}
20	Ка-р2-ж(16)	16132j	86.67	2.70	2.57	0.45	6.61	—	0.60	99.59	(Os _{0.84} Pt _{0.06} Ir _{0.05} Fe _{0.02} Rh _{0.01}) _{1.00}
21	Ка-р2-ж(16)	16132o	84.49	3.35	2.66	0.53	7.51	—	0.84	99.38	(Os _{0.81} Pt _{0.07} Ir _{0.05} Fe _{0.03} Rh _{0.01}) _{1.00}
22	Ка-р2-ж(19)	16132u	68.78	7.91	0.44	2.18	18.78	—	1.91	100.00	(Os _{0.65} Pt _{0.17} Ir _{0.07} Fe _{0.06} Rh _{0.04} Ru _{0.01}) _{1.00}
23	Ка-р2-ж(2)	16139h	69.64	23.26	2.14	1.35	3.37	—	0.23	100.00	(Os _{0.68} Ir _{0.22} Pt _{0.03} Rh _{0.02} Fe _{0.01}) _{1.00}
24	Ка-2рС-Пт(6а)	23231a	12.35	74.11	1.04	2.36	9.37	—	0.58	99.81	(Ir _{0.71} Os _{0.12} Pt _{0.09} Rh _{0.04} Ru _{0.02} Fe _{0.02}) _{1.00}
25	Ка-2рС-Пт(6а)	23231b	12.24	75.85	0.74	2.09	8.45	—	—	99.39	(Ir _{0.75} Os _{0.12} Pt _{0.08} Rh _{0.04} Ru _{0.01}) _{1.00}
26	Ка-2рС-Пт(6а)	23231c	11.80	77.09	0.70	1.85	8.41	—	—	99.85	(Ir _{0.76} Os _{0.12} Pt _{0.08} Rh _{0.03} Ru _{0.01}) _{1.00}
27	Ка-2рС-Пт(3)	23217d	88.35	11.47	—	—	—	—	—	99.82	(Os _{0.89} Ir _{0.11}) _{1.00}
28	Ка-2рС-Пт(3)	23217e	82.29	16.95	0.41	—	—	—	—	99.65	(Os _{0.82} Ir _{0.17} Ru _{0.01}) _{1.00}
29	Ка-2рС-Пт(3)	23217f	81.61	16.73	1.49	—	—	—	—	99.83	(Os _{0.81} Ir _{0.16} Ru _{0.03}) _{1.00}
30	Ка-2рС-Пт(4)	23218c	84.41	12.36	2.14	0.31	—	—	—	99.22	(Os _{0.83} Ir _{0.12} Ru _{0.04} Rh _{0.01}) _{1.00}
31	Ка-2рС-Пт(4)	23218d	80.09	18.05	0.49	0.23	—	—	0.6	99.46	(Os _{0.79} Ir _{0.18} Fe _{0.02} Ru _{0.01}) _{1.00}
32	Ка-2рС-Пт(8)	23221e	86.21	12.19	1.49	—	—	—	—	99.89	(Os _{0.85} Ir _{0.12} Ru _{0.03}) _{1.00}

Примечание. * – анализ содержит 0.87 мас. % Cu.

Note. * – analysis contains 0.87 wt. % Cu

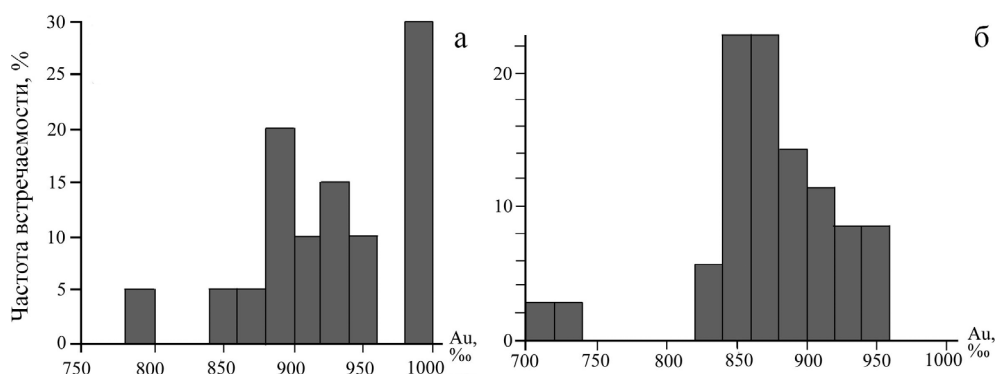


Рис. 5. Пробность золота Казанской россыпи.

а – центральная часть золотин (n = 29); б – включения золота в платине (n = 35).

Fig. 5. Fineness of gold from the Kazan placer.

a – central part of gold (n = 29); б – inclusions of gold in platinum (n = 35).

Баум (Rh_3S_3) (?) выявлен в виде единичного включения размером до 30 мкм с удлинённым сечением в платине. В составе отмечаются высокие содержания Cu (до 23.54 мас. %).

Минерал с формулой, близкой к $(Ir,Os)_3S_2$, образует внешнюю кайму мощностью до 30 мкм вокруг зерна самородного иридия. Соотношение между Ir и Os в минерале слабо варьирует. Отмечаются примеси Fe, Bi и Ru. В настоящее время минерал с такой формулой не известен, однако находки минерала подобного состава известны на месторождении Витватерсранд (ЮАР) (Томас, Murphy, 1978).

Сульфоарсениды представлены ирарситом и холлингуортитом (?) (табл. 5).

Ирарсит найден в двух зернах платины, где он образует кристаллы с треугольным или четырёхугольным сечением размером до 10–15 мкм (рис. 4б). Минерал ассоциирует с золотом, осмием, лауритом и недиагностированными соединениями с формулой, близкой к $Pd_{10}Sb_3Te$. Ирарсит не стехиометричен, что для него типично (mindat.org).

Холлингуортит (?) выявлен в одном зерне платины, где он образует «россыпь» кристаллов трапециевидного сечения размером до 40–50 мкм (рис. 4б). Ассоциирует с самородным осмием и стибнопалладинитом. Подобно ирарситу минерал не стехиометричен.

Минералы Sb представлены стибнопалладинитом и не диагностированным точно соединением с формулой, близкой к $Pd_{10}Sb_3Te$ (табл. 6).

Стибнопалладинит выявлен в одном зерне платины, где вместе с холлингуортитом он образует многочисленные зерна вытянутой прямоугольной формы до 50 мкм в длину (рис. 4б). Часто сростается с осмием. В составе стибнопалладинита от-

мечаются высокие содержания Pt (до 42.63 мас. %) (табл. 6).

Минерал с формулой, близкой к $Pd_{10}Sb_3Te$, выявлен в двух зернах платины в виде включений (рис. 4в). Минерал образует сростки и кристаллы с изометричным сечением размером до 20–40 мкм, ассоциирует с осмием и ирарситом. Соотношения между основными компонентами значительно варьируют даже в пределах одного зерна, отмечаются примеси Pt, Fe и As (табл. 6).

Теллуриды представлены меренскиитом, теллуридом палладия с примерной формулой Pd_5Te_2 и теллуридом платины с формулой, близкой к Pt_5Te_8 (табл. 7).

Меренскиит выявлен в одном зерне платины, где он образует округлые зерна размером до 5–7 мкм (рис. 4г) и ассоциирует с осмием. В составе минерала отмечается примесь Sb.

Минерал с формулой, близкой к Pd_5Te_2 встречен в одном зерне платины (рис. 4д), где он образует округлые зерна размером до 10–15 мкм и ассоциирует с осмием и лауритом. В составе минерала отмечается примесь Sb.

Минерал с формулой, близкой к Pt_5Te_8 выявлен в одном зерне платины, где он образует сростки с осмием и минералом $\sim Pd_{10}Sb_3Te$. Размер сростка достигает 15 мкм, а размер зерна $\sim Pt_5Te_8$ составляет около 7 мкм. В составе минерала отмечается примесь Rh и Pd.

Среди включений в платине также отмечаются сульфиды родия и рутения со значительной примесью селена, вплоть до формального соответствия классу селенидов (Белогуб и др., 2019). В одном случае существенная примесь Se присутствует в теллуриде Pt.

Таблица 4
Table 4

Состав сульфидов ЭПГ из Казанской россыпи (мас. %)
Chemical composition of PGE sulfides from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	№ анализа	S	Fe	Ni	Cu	As	Se	Ru	Rh	Os	Pd	Ir	Pt	Bi	Сумма	Кристаллохимическая формула
Лаурит																
1	16141k	35.78	—	—	—	2.76	—	51.12	5.23	1.86	—	2.98	0.26	—	99.98	$(Ru_{0.88}Rh_{0.09}Ir_{0.03}Os_{0.02})_{1.01}(S_{1.94}As_{0.06})_{2.00}$
2	16166t	29.24	—	—	—	2.34	5.93	35.54	3.40	23.29	—	—	0.65	—	100.39	$(Ru_{0.69}Os_{0.23}Rh_{0.06}Pt_{0.01})_{1.00}(S_{1.79}Se_{0.15}As_{0.06})_{2.00}$
3	16166u	29.03	—	—	—	2.41	5.17	32.50	3.18	27.15	—	—	0.56	—	100.00	$(Ru_{0.64}Os_{0.23}Rh_{0.06}Pt_{0.01})_{0.99}(S_{1.81}Se_{0.13}As_{0.06})_{2.00}$
4	23225d	38.34	—	—	—	—	—	50.71	10.94	—	—	—	—	—	100.00	$(Ru_{0.84}Rh_{0.18}Ir_{0.10})_{2.00}S$
5	23225g	38.28	—	—	—	—	—	55.78	5.94	—	—	—	—	—	100.00	$(Ru_{0.92}Rh_{0.10}Ir_{0.10})_{2.00}S$
6	23226k	30.86	—	—	—	—	—	22.64	1.09	40.77	—	4.60	—	—	99.96	$(Ru_{0.46}Os_{0.45}Ir_{0.05}Rh_{0.02})_{0.98}S_{2.00}$
Эричманит																
7	23226e	30.35	—	—	—	—	—	18.54	—	39.03	—	11.80	—	—	99.71	$(Os_{0.43}Ru_{0.39}Ir_{0.13}Rh_{0.05})_{2.00}S$
8	23226f	25.02	—	—	—	—	—	12.23	0.51	45.89	—	15.72	—	—	99.38	$(Os_{0.62}Ru_{0.31}Ir_{0.21}Rh_{0.01})_{1.15}S_{2.00}$
Баунит																
9	22232a	36.03	0.42	0.35	17.73	—	—	—	45.47	—	—	—	—	—	100.00	$(Rh_{1.18}Cu_{0.75}Fe_{0.02}Ni_{0.02})_{1.96}S_{3.00}$
10	22232b	35.68	0.58	0.10	17.51	—	—	—	45.86	—	0.27	—	—	—	100.00	$(Rh_{1.20}Cu_{0.75}Fe_{0.03}Pd_{0.01})_{1.99}S_{3.00}$
11	22232c	36.28	—	—	21.09	—	—	—	42.59	—	—	—	—	—	100.00	$(Rh_{1.09}Cu_{0.89}Ir_{0.98})_{3.00}S$
12	22232d	35.77	—	—	23.54	—	—	—	40.69	—	—	—	—	—	100.00	$(Rh_{1.06}Cu_{1.00})_{2.06}S_{3.00}$
Минерал состава Ir ₃ S ₂																
13	23226b	10.42	0.58	—	—	—	—	2.27	0.00	35.14	—	50.38	—	0.45	99.24	$(Ir_{1.60}Os_{1.13}Ru_{0.14}Fe_{0.06}Bi_{0.01})_{2.94}S_{2.00}$
14	23226c	9.65	—	—	—	—	—	—	—	33.03	—	56.06	—	0.64	99.37	$(Ir_{1.92}Os_{1.14}Bi_{0.02})_{3.08}S_{2.00}$

Примечание. Формулы минералов рассчитаны на два (лаурит и эричманит) и три (баунит) аниона. Прочерк – элемент не определен.
Note. The formulas are recalculated to two (laurite and erlichmanite) and three (baurite) anions. Dash – not determined.

Таблица 5
Table 5

Химический состав сульфосарсенидов ЭПГ Казанской россыпи (мас. %)
Chemical composition of PGE sulfoarsenides from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	№ анализа	S	As	Se	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Сумма	Кристаллохимическая формула
Ирарсит												
1	23229g	14.79	24.32	—	1.26	17.14	—	5.42	36.93	—	99.85	$(Ru_{0.03}Os_{0.06}Rh_{0.36}Ir_{0.42}As_{0.70})_{1.00}S$
2	16141j	11.38	37.90	1.61	1.72	13.2	0.28	1.17	31.71	0.58	99.56	$(Pt_{0.01}Pd_{0.01}Ir_{0.46}Os_{0.02}Ru_{0.05}Rh_{0.36})_{0.91}(Se_{0.06}As_{1.42})_{1.48}S_{1.00}$
Холлингуртит												
3	16141d	16.48	32.51	2.78	8.95	21.9	—	8.65	8.03	0.81	100.13	$(Pt_{0.01}Ir_{0.08}Os_{0.09}Ru_{0.17}Rh_{0.41})_{0.76}(Se_{0.07}As_{0.84})_{0.91}S_{1.00}$
4	16141e	14.96	37.94	2.05	5.50	26.55	0.33	5.25	7.60	0.79	100.98	$(Pt_{0.01}Pd_{0.01}Os_{0.06}Ir_{0.08}Ru_{0.12}Rh_{0.05})_{0.83}(Se_{0.06}As_{1.08})_{1.14}S_{1.00}$

Примечание. Формулы минералов рассчитаны на один атом серы.
Note. The formulas are recalculated to one S atom.

Таблица 6
Table 6

Состав минералов Sb из Казанской россыпи (мас. %)

Chemical composition of Sb minerals from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	№ ан.	Fe	Cu	As	Ru	Rh	Pd	Sb	Te	Pt	Ag	Сумма	Кристаллохимическая формула
Стибиопалладинит													
1	23229b	—	—	—	—	—	41.42	26.71	—	31.31	—	99.44	(Pt _{1,47} Pd _{3,57} Sb _{5,04}) _{2,00}
2	23229c	—	—	—	—	—	42.35	27.21	—	28.53	1.49	99.57	(Ag _{0,12} Pt _{1,31} Pd _{3,58} Sb _{5,02}) _{2,00}
3	23229d	—	—	—	—	—	42.63	27.07	—	27.95	2.07	99.73	(Ag _{0,17} Pt _{1,29} Pd _{3,63} Sb _{5,09}) _{2,00}
4	23229e	—	—	—	—	—	40.43	26.82	—	30.20	1.73	99.18	(Ag _{0,15} Pt _{1,41} Pd _{3,47} Sb _{5,02}) _{2,00}
5	23229f	—	—	—	—	—	42.75	26.88	—	30.05	—	99.68	(Pt _{1,40} Pd _{3,66} Sb _{5,06}) _{2,00}
6	23229h	—	—	—	—	—	42.22	26.71	—	30.28	—	99.21	(Pt _{1,42} Pd _{3,64} Sb _{5,06}) _{2,00}
7	23229i	—	—	—	—	—	42.27	26.64	—	30.86	—	99.78	(Pt _{1,45} Pd _{3,65} Sb _{5,10}) _{2,00}
~Pd ₁₀ Sb ₃ Te													
8	16140d	—	—	0.50	—	—	60.19	23.57	5.76	9.97	—	100.00	(Pt _{0,77} Pd _{8,52} As _{0,10} Sb _{2,90}) _{3,00} Te _{0,68}
9	16140f	0.39	—	—	—	—	59.02	22.1	6.59	11.9	—	100.00	(Fe _{0,12} Pt _{1,01} Pd _{9,22} As _{0,10} Sb _{3,00}) _{3,00} Te _{0,85}
10	16140g	0.97	0.22	—	—	—	56.98	18.77	7.69	15.37	—	100.00	(Cu _{0,07} Fe _{0,34} Pt _{1,54} Pd _{10,48} As _{0,10} Sb _{3,00}) _{3,00} Te _{1,17}
11	16140h	—	—	—	0.18	—	59.79	23.35	6.11	9.71	—	99.14	(Ru _{0,03} Pt _{0,78} Pd _{8,84} As _{0,10} Sb _{3,00}) _{3,00} Te _{0,75}
12	16140i	—	—	—	—	—	61.03	22.17	8.35	8.78	—	100.34	(Pt _{0,74} Pd _{9,51} As _{0,10} Sb _{3,00}) _{3,00} Te _{1,08}
13	16140j	0.40	—	—	—	0.46	57.84	20.66	10.34	10.12	—	99.83	(Rh _{0,08} Fe _{0,13} Pt _{0,92} Pd _{9,67} As _{0,10} Sb _{3,00}) _{3,00} Te _{1,43}
14	16141c	—	—	2.56	—	0.39	62.9	20.92	8.08	5.26	—	100.11	(Rh _{0,06} Pt _{0,39} Pd _{8,66} As _{0,10} Sb _{3,00}) _{3,00} Te _{0,92}
15	16141f	—	—	1.87	—	—	63.25	21.03	7.44	5.43	—	99.02	(Pt _{0,42} Pd _{9,07} As _{0,38} Sb _{2,62}) _{3,00} Te _{0,88}

Примечание. Формулы стибиопалладинита рассчитана на два аниона, минерала с идеализированной формулой Pd₁₀Sb₃Te — на сумму (Sb + As), равную 3.
Note. The formulas of stibiorpalladinite are recalculated to two anions. The formulas of the idealized mineral Pd₁₀Sb₃Te are recalculated to Sb + As sum of 3.

Таблица 7
Table 7

Состав теллуридов ЭПГ Казанской россыпи (мас. %)

Chemical composition of PGE tellurides from the Kazan placer (wt. %)

№ п/п	№ ан.	Fe	Se	Rh	Pd	As	Sb	Te	Pt	Сумма	Кристаллохимическая формула
Меренскит											
1	24016e	—	—	—	62.65	—	1.20	36.14	—	100.00	Pd _{5,01} (Te _{0,97} Sb _{0,03}) _{1,00}
2	24016f	—	—	—	63.48	—	3.17	33.35	—	100.00	Pd _{5,08} (Te _{0,91} Sb _{0,09}) _{1,00}
3	24016g	—	—	—	61.89	—	3.81	34.3	—	100.00	Pd _{1,94} (Te _{0,90} Sb _{0,10}) _{1,00}
~Pd ₅ Te ₂											
4	23225c	—	—	—	67.42	—	7.93	23.93	—	99.29	Pd _{5,02} (Te _{1,49} Sb _{0,51}) _{2,00}
5	23225e	—	—	—	68.62	2.04	10.9	17.88	—	99.43	Pd _{5,03} (Te _{1,09} Sb _{0,69} As _{0,21}) _{2,00}
~Pt ₅ Te ₈											
6	16140e	0.36	1.23	10.19	2.44	—	—	55.36	30.79	100.36	(Pt _{2,80} Rh _{1,75} Pd _{0,41} Fe _{0,11}) _{5,07} (Te _{7,72} Se _{0,28}) _{8,00}

Примечание. Формулы минералов рассчитаны на два (Pd₅Te₂) и восемь (Pt₅Te₈) атомов Te и сумму Te и Sb, равную 1 (меренскит).
Note. The formulas of minerals are recalculated to two (Pd₅Te₂) and eight (Pt₅Te₈) Te atoms and Te + Sb sum of 1 (merenskiite).

Хромшпинелиды (феррохромиты и магнезиохромиты) ранее были описаны В.В. Зайковым с соавторами (2018). Они образуют округлые изометричные зерна размером до около 30–70 мкм.

Обсуждение результатов и заключение

Подобно платине из других россыпей (Миасская, Байрамгуловская и Малоиремельская) платина Казанской россыпи содержит множество включений халькогенидов ЭПГ (Зайков и др., 2016а, б). По мнению И.Д. Толстых с соавторами (1997) сульфиды, селениды и теллуриды ЭПГ формируются при эпигенетическом воздействии на типичные минералы ЭПГ офиолитов поздних гидротерм.

По данным ЛА-ИСП-МС анализа (Артемьев, Зайков, 2018), платина Казанской россыпи обогащена (по сравнению с Малоиремельской) золотом в 50 раз, серебром – в 5 раз, ртутью – в 10 раз и молибденом – в 50 раз. Вероятно, большая степень обогащения платины Казанской россыпи многими халькофильными и благороднометалльными элементами связана с недалеким переносом от коренного источника эрозии. Важными структурными примесями для определения источника платины, вне зависимости от окатанности и степени преобразования, могут служить содержания Fe, Co, Ni, V и Cr.

Хромшпинелиды Казанской россыпи имеют более низкие содержания Cr по сравнению с хромшпинелидами Ингульской, Малоиремельской и Байрамгуловской россыпей (Зайков и др., 2018). Существует дискуссия о возможных источниках формирования Казанской россыпи (Зайков и др., 2018). Возможно, что близким источником минералов группы платины могли быть ультрамафит-габбровые ассоциации, распространенные в пределах Гогинского массива.

Авторы благодарят Е.В. Белогуб, И.Ю. Мелекесцеву за консультации и К.А. Новоселова за участие в анализе проб. Работа выполнена в рамках государственной бюджетной темы «Минералого-геохимическая эволюция и металлогения гидротермальных, аутигенных и гипергенных рудообразующих систем» № НИОКТР АААА-А19-119061790049-3.

Литература

Артемьев Д.А., Зайков В.В. (2018) Методика ЛА-ИСП-МС анализа и элементы-примеси в самородной

платине из россыпей Южного Урала. *Геоархеология и археологическая минералогия-2018*. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 161–165.

Бараников А.Г. (2006) Золотоносность Гогинского рудно-россыпного района (Южный Урала). Екатеринбург, УГГУ, 197 с.

Белогуб Е.В., Зайкова Е.В., Котляров В.А., Шиловских В.В., Бритвин С.Н., Паутов Л.А. (2019) Селен в минералах элементов группы платины из золотоносных россыпей Южного Урала. *Минералогические музеи 2019. Минералогия вчера, сегодня, завтра. Материалы конференции*. Санкт-Петербург, СПбГУ, 87–89.

Зайков В.В., Котляров В.А., Зайкова Е.В., Крайнев Ю.Д. (2016а) Зональные зерна рутения из Малоиремельской россыпи (Южный Урал). *Металлогения древних и современных океанов-2016. От минералогенеза к месторождениям*. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 219–224.

Зайков В.В., Мелекесцева И.Ю., Котляров В.А., Зайкова Е.В., Крайнев Ю.Д. (2016б) Сростки минералов ЭПГ в Миасской россыпной зоне (Южный Урал) и их коренные источники. *Минералогия*, 4, 31–47.

Зайков В.В., Таиров А.Д., Зайкова Е.В., Юминов А.М., Котляров В.А. (2016в) Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Центральной Евразии. Челябинск, Каменный пояс, 314 с.

Зайков В.В., Савельев Д.Е., Зайкова Е.В. (2018) Природа микровключений хромшпинелидов в зернах платиноидов из золотых россыпей Южного Урала. *Записки РМО*, (5). 27–40.

Петровская Н.В. (1973) Самородное золото. М., Наука, 345 с.

Сигов А.П., Ломаев А.В., Сигов В.Л., Стороженко Л.Е., Хрыпов В.Н., Шуб И.З. (1971) Россыпи Урала, условия их образования, размещения и элементы геоморфологического прогноза. *Геоморфология*, 1, 28–38.

Толстых Н.Д., Кривенко А.П., Поспелова Л.Н. (1997) Необычные соединения иридия, осмия и рутения с селеном, теллуром и мышьяком из россыпей реки Золотой (Западный Саян). *Записки ВМО*, ч. СХХVI, (6), 23–34.

Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Kraynev Yu.D. (2017) Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: composition, microinclusions of ore minerals and primary sources. *Ore Geology Reviews*, 85, 299–320

Toma S.A., Murphy S. (1978) Exsolution of gold from detrital platinum-group metal grains from Witwatersrand auriferous conglomerates. *Canadian Mineralogist*, 16, 641–650. www.mindat.org

References

- Artem'ev D.A., Zaykov V.V.** (2018) [LA-ISP-MS analysis and trace elements in native platinum from the Southern Urals placers]. *Geoarheologiya i arheologicheskaya mineralogiya-2018 [Geoarchaeology and archaeological mineralogy-2018]*. Miass, IMin UB RAS, 161–165. (in Russian)
- Barannikov A.G.** (2006). [The Gogino gold-bearing placer district (Southern Urals)]. Yekaterinburg, UGGU, 197 p. (in Russian)
- Belogub E.V., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Shilovskikh V.V., Britvin S.N., Pautov L.A.** (2019) [Selenium in minerals of platinum group elements from gold-bearing placers of the southern Urals]. *Mineralogicheskie muzei-2019. Mineralogiya vchera, segodnya, zavtra. [Mineralogical museums-2019. Mineralogy: yesterday, today and tomorrow]*. St. Petersburg, St. Petersburg State University, 87–89 (in Russian)
- Petrovskaya N.V.** (1997). Native gold. Moscow, Nauka, 345 p. (in Russian).
- Sigov A.P., Lomaev A.V., Sigov V.L., Storozhenko L.E., Khrypov V.N., Shub I.Z.** (1971) [The Urals placers, conditions of their formation, location and elements of geomorphological forecast]. *Geomorfologiya [Geomorphology]*, 1, 28–38. (in Russian).
- Tolstykh N.D., Krivenko A.P., Pospelova L.N.** (1997). [Unusual compounds of iridium, osmium and ruthenium with selenium, tellurium and arsenic from placers of the Zolotaya River (western Sayan)]. *Zapiski VMO [Proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, (6), 23–34. (in Russian).
- Toma S.A., Murphy S.** (1978) Exsolution of gold from detrital platinum-group metal grains from Witwatersrand auriferous conglomerates. *Canadian Mineralogist*, 16, 641–650.
www.mindat.org
- Zaykov V.V., Kotlyarov V.A., Zaykova E.V., Krainev Yu.D.** (2016a). [Zonal ruthenium grains from the Maly Iemel placer (South Urals)] *Metallogeniya drevnikh i sovremennykh okeanov-2016. Ot mineralogeneza k mestorozhdeniyam [Metallogeny of ancient and modern oceans-2016. From mineralogenesis to deposits]*. Miass, IMin UB RAS, 219–224. (in Russian)
- Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Kotlyarov V.A., Zaykova E.V., Krainev Yu.D.** (2016b) [Intergrowths of PGE minerals in the Miass placer zone and their primary sources]. *Mineralogiya [Mineralogy]*, 4, 31–47. (in Russian)
- Zaykov V.V., Melekestseva I.Yu., Zaykova E.V., Kotlyarov V.A., Krainev Yu.D.** (2017). Gold and platinum group minerals in placers of the South Urals: composition, microinclusions of ore minerals and primary sources. *Ore Geology Reviews*, 85, 299–320.
- Zaykov V.V., Savel'ev D.E., Zaykova E.V.** (2018). [Nature of microinclusions of chrome spinel in grains of platinum group metals from gold placers in the South Urals]. *Zapiski RMO [proceedings of the Russian Mineralogical Society]*, (5), 27–40. (in Russian).
- Zaykov V.V., Tairov A.D., Zaikova E.V., Yuminov A.M., Kotlyarov V.A.** (2016b) [Precious metals in ores and ancient gold products of Central Eurasia]. Chelyabinsk, Kamennyi poyas, 314 p. (in Russian).

Статья поступила в редакцию 13 января 2020 г.