

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.26

© М. Е. ГЕНЕРАЛОВ,* В. А. НАУМОВ,** А. В. МОХОВ,*** Н. В. ТРУБКИН***

ИСОВИТ (Cr, Fe)₂₃C₆ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ЗОЛОТО-ПЛАТИНОНОСНЫХ РОССЫПЕЙ УРАЛА¹

M. E. GENERALOV, V. A. NAUMOV, A. V. MOKHOV, N. V. TRUBKIN. ISOVITE (Cr, Fe)₂₃C₆ —
THE NEW MINERAL FROM THE GOLD-PLATINUMBEARING PLACERS OF THE URALS

* Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана, 117071, Москва, Ленинский пр., д. 18, корп. 2

** Естественно-научный институт при Пермском университете, 614600, Пермь, ул. Генкеля, д. 4

*** Институт геологии рудных месторождений, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,
109017, Москва, Старомонетный пер., д. 35

An unknown Fe-Cr carbide has been found out while the study of heavy concentrate processed from the gold-platinum placer sand. The new mineral was named isovite according to the place of its finding — Isovsky district of the Central Urals. It has been discovered within polyphase grains revealed in the concentrate together with native gold, copper-bearing gold, various PGM minerals, cinnabar and chromspinelides. The total scope of material for analyses was presented by 12 grains (named A, B, C, ... L, M). By recounting for 29 atoms, the formula of isovite is as following: (Cr_{16.2}Fe_{6.0}Ni_{0.1})C_{6.7}. Density 7.4 g/cm³; cubic symmetry system. Unit cell parameters (*Fm3m*): $a = 10.65 + 0.05 \text{ \AA}$ $V = 1208 \text{ \AA}^3$. Standard specimen of isovite is in the A. E. Fersman Mineralogical museum, Moscow.

Не известный ранее железо-хромовый карбид был обнаружен при исследовании тяжелого концентрата из золото-платиноносных россыпей Исовского района (Восточный склон Среднего Урала). По месту находки для него предложено название исовит (isovite). Он обнаружен в составе полифазных зерен, встреченных в тяжелом концентрате совместно с золотом, медистым золотом, разнообразными минералами элементов платиновой группы (ЭПГ), киноварью, хромшпинелидами.

Эти зерна в основном напоминают выделения минералов ЭПГ. Они обладают стально-серым цветом, металлическим блеском, изометричной, угловатой формой и характеризуются заметной ферромагнитностью. В приполированных препаратах (запрессовках) они заметно выделяются по рельефу благодаря своей высокой твердости.

Были изучены два мелких (0.15 мм) изометричных зерна А, В, удлиненное зерно С (0.1 × 0.2 мм), представляющее собой тонкопластинчатый агрегат аналогичных по твердости и оптическим характеристикам фаз из зерен А и В, найденное в том же концентрате изометричное зерно D (0.3 мм), похожее на А и В по оптическим характеристикам, но отличающееся более низкой твердостью. Исследование зерен А и В выполнено в нескольких точках (рис. 1).

Несколько позднее были выделены и изучены зерна Е, F, G, I, J, K, L, M из фракции 0.25—0.5 мм, обладающие неправильной или уплощенной формой, а также зерно Н размером около 3 мм из более крупной фракции. Поверхность зерна Н в основном обладает темно-серой окраской, матовым блеском, на сколах — стально-серое с металлическим блеском. На нем заметны углубления удлиненно-призматической формы (рис. 2), размером до 0.8 мм, которые, возможно, являются следами его сростаний с минеральными зернами призматического габитуса, выкрошившимися за

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества РАН 8 ноября 1995 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 4 сентября 1996 г.

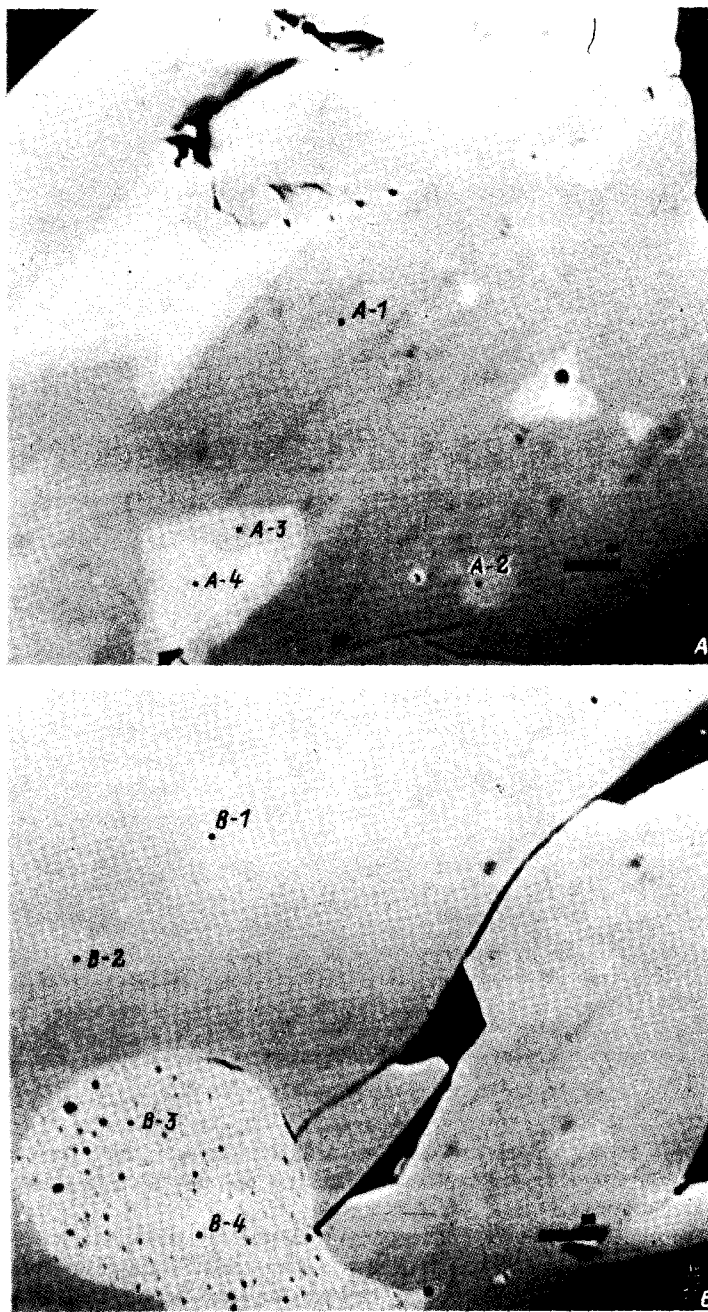


Рис. 1. Изображение зерен А и В (исовита) в обратнорассеянных электронах с нанесенными точками анализов. Размер масштабной линейки 10 мкм.

Fig. 1. Back-scattered electron image of isovite (grains A and B) with points of analyses. Scale bar 10 μm .

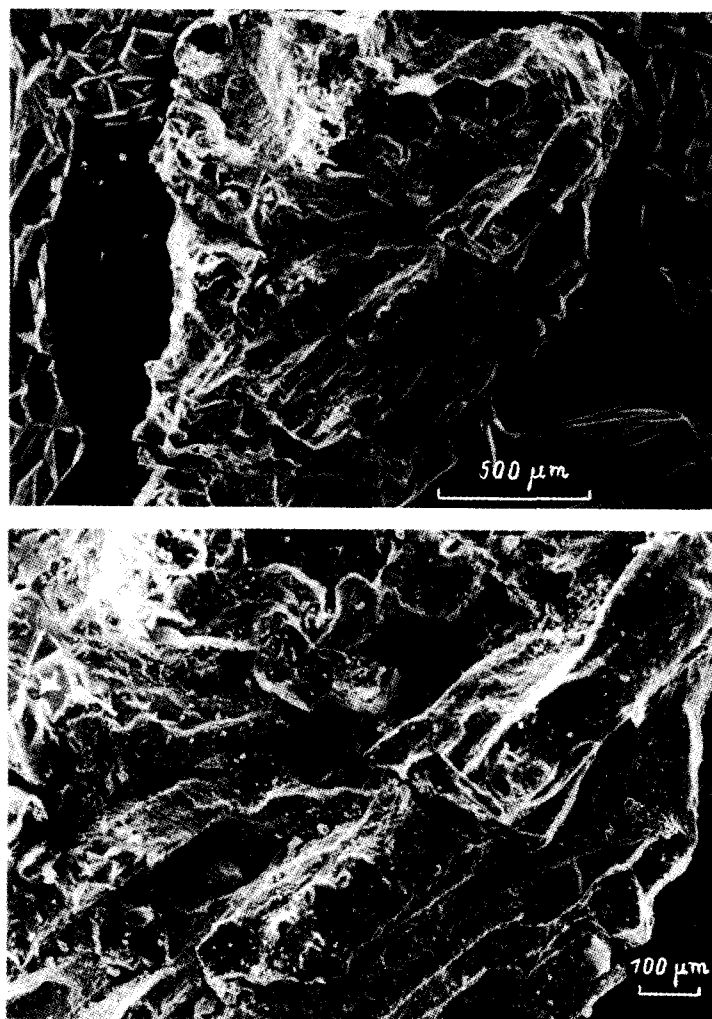


Рис. 2. Зерно H — общий вид и деталь.

Изображение получено при помощи сканирующего электронного микроскопа.

Fig. 2. SEM-image of the grain H and its detail.

время пребывания зерна в россыпи. Данные микрозондового анализа показали, что в изученных зернах присутствуют различающиеся по составу железо-хромовые карбиды и интерметаллиды (табл. 1).

Комплекс минералогических исследований, примененных для их изучения, показал, что по крайней мере железо-хромовый карбид зерна В (фаза, соответствующая точкам В-1 и В-2 на рис. 1 и в табл. 1) является ранее не отмечавшимся в природе хромовым аналогом хаксонита, который далее будет описываться как исовит.

Состав исовита определен при помощи микрозондового анализа (Camebax-Microbeam, 20 кВ, эталоны — чистые металлы, аналитик В. А. Батырев). Наличие углерода было подтверждено качественно, чему способствовало присутствие в анализируемых зернах одновременно карбидных и содержащих незначительное количество углерода металлических фаз. Даже несмотря на углеродное напыление, интенсивность в диапазоне линии $C_{K\alpha}$ на металлической фазе практически не отличается от фона и резко возрастает при переводе зонда на карбидную фазу, которая окружает металли-

Таблица 1

Составы железо-хромовых фаз по данным микрозондового анализа
Composition of Fe-Cr phases (wt %/at %), microprobe analysis data

Зерно мас.%/ат.%	Cr	Fe	Ni	Co	V	Cu	Zn	Al	Si	C	Σ
A-1	77.13	13.16	0.04	0.03	—	0.06	0.03	0.03	0.00	9.55	90.45
	59.0	9.4	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	31.6	100.0
A-2	63.08	29.06	0.05	0.05	—	0.04	0.03	0.03	0.02	7.67	92.33
	51.2	21.9	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	100.0
A-3	20.48	75.36	1.88	0.25	—	0.15	0.09	0.09	0.83	*	99.04
	21.8	74.5	1.7	0.2	—	0.1	0.0	0.0	1.7	*	100.0
B-1	68.17	24.96	0.45	0.03	—	0.05	0.03	0.03	0.02	6.29	93.71
	57.3	19.5	0.3	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	22.9	100.0
B-2	68.30	25.29	0.48	0.05	—	0.03	0.01	0.01	0.01	5.83	94.17
	58.1	20.0	0.3	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5	100.0
B-3	32.90	64.43	1.75	0.20	—	0.12	0.04	0.04	0.20	*	99.64
	34.5	63.1	1.7	0.2	—	0.1	0.0	0.0	0.4	*	100.0
B-4	23.07	71.80	2.22	0.30	—	0.17	0.03	0.03	0.48	*	97.08
	25.3	71.2	2.2	0.3	—	0.1	0.0	0.0	1.0	*	100.0
C-1	34.96	48.60	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	0.02	*	83.76
D-1	8.40	86.74	2.58	0.16	—	0.14	0.05	0.05	0.02	*	98.09
	9.2	88.3	2.5	0.1	—	0.1	0.0	0.0	0.0	*	100.0
E-1	77.28	10.55	0.06	—	—	0.00	—	—	0.01	12.10	87.90
	55.4	7.0	0.00	—	—	0.0	—	—	0.00	37.6	100.0
E-2	60.94	30.40	0.65	—	—	0.00	—	—	0.39	7.62	92.38
	49.3	22.9	0.5	—	—	0.0	—	—	0.6	26.7	100.0
F-1	75.61	12.03	0.06	—	—	0.01	—	—	0.01	12.28	87.72
	54.0	8.0	0.0	—	—	0.1	—	—	0.0	38.0	100.0
F-2	66.71	23.16	0.36	—	—	0.00	—	—	0.00	9.77	90.23
	51.0	16.5	0.2	—	—	0.0	—	—	0.0	32.3	100.0
F-3	65.82	25.10	0.40	—	—	0.02	—	—	0.00	8.66	91.34
	51.8	18.4	0.3	—	—	0.0	—	—	0.0	29.5	100.0
G-1	55.92	31.22	0.51	—	—	0.00	—	—	0.00	12.35	87.65
	40.3	20.9	0.3	—	—	0.0	—	—	0.0	38.5	100.0
G-2	66.15	21.30	0.32	—	—	0.04	—	—	0.01	12.18	87.82
	47.6	14.3	0.2	—	—	0.0	—	—	0.0	38.0	100.0
G-3	71.78	15.84	0.11	—	—	0.00	—	—	0.01	12.26	87.74
	51.4	10.5	0.1	—	—	0.0	—	—	0.0	38.0	100.0
G-4	5.42	68.66	2.67	—	—	0.34	—	—	1.90	*	98.99
	5.3	62.1	0.9	—	—	0.3	—	—	1.4	*	100.0
H-1	78.83	11.39	0.04	—	—	0.00	—	—	0.00	9.74	90.26
	60.0	8.0	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	32.0	100.0
H-2	78.87	11.46	0.09	—	—	0.00	—	—	0.00	9.58	90.42
	60.2	8.1	0.1	—	—	0.0	—	—	0.0	31.6	100.0
H-3	76.74	13.18	0.05	—	0.09	0.00	—	0.04	0.00	9.90	90.10
	58.2	9.3	0.0	—	0.1	0.0	—	0.0	0.0	32.3	100.0
H-4	78.92	11.20	0.06	—	0.12	0.03	—	0.05	0.00	9.62	90.38
	60.2	7.9	0.0	—	0.1	0.0	—	0.1	0.0	31.7	100.0
H-5	77.86	12.17	0.04	—	0.10	0.03	—	0.07	0.00	9.74	90.26
	59.2	8.6	0.0	—	0.1	0.0	—	0.1	0.0	32.0	100.0
H-6	68.42	24.57	0.43	—	—	0.00	—	—	0.02	6.58	93.42
	57.0	19.0	0.3	—	—	0.0	—	—	0.0	23.6	100.0
H-7	64.70	27.89	0.49	—	0.05	0.02	—	0.08	0.00	6.77	93.23
	53.6	21.6	0.4	—	0.0	0.0	—	0.1	0.0	24.3	100.0

Таблица 1 (продолжение)

Зерно мас.%/ат.%	Cr	Fe	Ni	Co	V	Cu	Zn	Al	Si	C	Σ
Н-8	77.28	9.82	0.07	—	—	0.00	—	—	0.01	12.82	87.43
	54.4	6.4	0.1	—	—	0.0	—	—	0.0	39.1	100.0
Н-9	77.52	9.84	0.05	—	—	0.00	—	—	0.02	12.57	87.43
	54.9	6.5	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	38.6	100.0
Н-10	77.99	9.81	0.02	—	0.27	0.00	—	0.03	0.00	11.88	88.12
	54.9	6.6	0.0	—	0.2	0.0	—	0.0	0.0	37.0	100.0
Н-11	20.50	74.09	1.89	—	—	0.00	—	—	1.31	*	97.81
	21.8	73.9	1.7	—	—	0.0	—	—	2.6	*	100.0
Н-12	20.07	73.87	1.77	—	—	0.00	—	—	1.38	*	97.19
	21.6	74.1	1.6	—	—	0.0	—	—	2.7	*	100.0
Н-13	32.75	62.27	1.70	0.02	0.02	0.10	0.01	0.01	0.28	*	97.13
	35.3	62.5	1.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	*	100.0
I-1	76.45	11.63	0.06	—	0.10	0.01	—	0.06	0.00	11.69	88.31
	55.4	7.8	0.0	—	0.1	0.0	—	0.1	0.0	36.6	100.0
J-1	73.77	11.63	0.06	—	0.10	0.05	—	0.04	0.00	11.15	88.85
	55.4	7.8	0.0	—	0.1	0.0	—	0.0	0.0	35.5	100.0
K-1	77.51	10.00	0.08	—	0.11	0.02	—	0.05	0.00	12.23	87.77
	55.4	6.6	0.0	—	0.1	0.0	—	0.1	0.0	37.8	100.0
L-1	77.70	9.12	0.05	—	0.11	0.03	—	0.05	0.00	12.94	87.06
	55.4	6.0	0.0	—	0.1	0.0	—	0.1	0.0	39.3	100.0
M-1	70.53	16.70	0.17	—	0.07	0.04	—	0.03	0.00	12.46	87.54
	50.3	11.1	0.1	—	0.1	0.0	—	0.0	0.0	38.4	100.0

Примечание. Содержание углерода оценено по дефициту массы; прочерк — элемент не анализировался; (*) — оценка содержания углерода по дефициту суммы для данного анализа некорректна.

ческие включения. Аналитические возможности не позволили проводить количественное определение содержания углерода, поэтому для расчетов его содержание приравнивалось к дефициту суммы анализа. Усредненные данные по двум микрозондовым анализам (В-1, В-2) в пересчете на 29 атомов дают эмпирическую формулу исовита $(Cr_{16.2}Fe_{6.0}Ni_{0.1})C_{6.7}$.

Сингония и пространственная группа исовита были определены по картинам электронной дифракции при помощи электронного микроскопа JEOL-100С (рис. 3). Параметр элементарной ячейки $(Fm\bar{3}m)a = 10.65 \pm 0.05 \text{ \AA}$, $V = 1208 \text{ \AA}^3$.

Из-за малого размера зерна В при съемке в камере Гандольфи для него получены только 3 рефлекса, которые соответствуют кубической фазе $(Cr, Fe)_{23}C_6 [d, l, (hkl)]$; 2.37, 3, (024); 2.16, 5, (224); 2.05, 10, (115, 333) (табл. 2). Линии металлической фазы, установленной в этом же зерне при помощи микрозондового анализа, отмечены не были, что, очевидно, связано с ее небольшим количеством в анализируемом зерне.

Учитывая, что в эмпирической формуле исовита отклонения от стехиометрии $Me_{23}C_6$ вполне укладываются в пределы ошибки микрозондового анализа, а полученные структурные данные идентичны данным для искусственного соединения $(Cr, Fe)_{23}C_6$ (табл. 2), формулу исовита можно выразить в виде $(Cr_{16.7}Fe_{6.2}Ni_{0.1})C_{6.0}$, или обобщенно $(Cr, Fe)_{23}C_6$. Рассчитанная плотность исовита 7.4 г/см^3 .

В отраженном свете в зернах А и В обнаружены участки с несколько пониженным рельефом, которые соответствуют включениям металлических фаз в карбидных. Как карбидные, так и металлические фазы оптически изотропны.

Визуально, по отражательной способности, карбидная фаза зерна В — исовит (точки В-1 и В-2 на рис. 1), и включения железо-хромового интерметаллида в ней (точки В-3 и В-4 на рис. 1) неразличимы. Данные по отражательной способности исовита (микроспектрофотометрическая установка ВИМС'а, анализ Д. К. Шербачева) приведены в табл. 3.

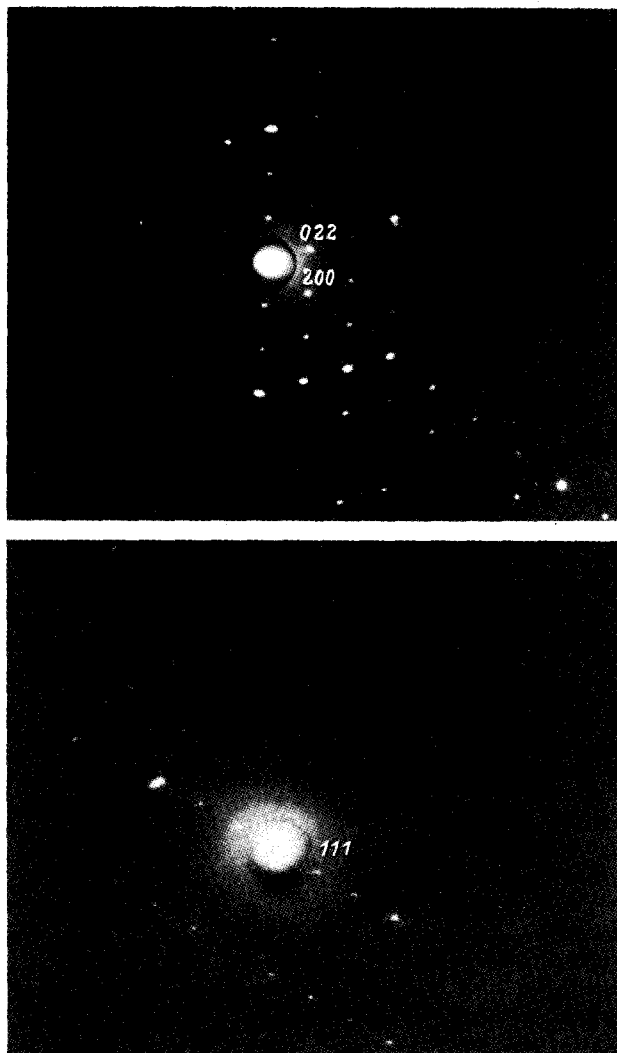


Рис. 3. Картины дифракции электронов, полученные для частицы исовита.

Fig. 3. Electron microdiffraction patterns of an isovite particle.

В Fe-Cr интерметаллиде, образующем включения в исовите, отмечена неоднородность: в центре включения есть округлое пятно (табл. 1, ан. В-4) размером около 10 мкм, в котором содержание Cr на 10 мас. % ниже, чем в окружающей металлической фазе (табл. 1, ан. В-3).

Значения микротвердости данной карбидной фазы составляют 1300—1400 кгс/мм² (ПМТ-3, $P = 50$ г) и приблизительно равны микротвердости карбида матрицы зерна А. В зерне Н хорошо заметны различия механических свойств карбидных и металлической фаз. Многочисленные тонкие трещины пронизывают хрупкие карбидные фазы и прерываются в прожилковидных выделениях металлической фазы.

Карбид матрицы зерна А (табл. 1, ан. А-1, А-2) отличается от исовита более высоким содержанием Cr и большим дефицитом суммы анализа. Включения Fe-Cr интерметаллида в нем (табл. 1, ан. А-3) однородны и аналогичны по составу металлу, образующему основную массу включения в зерне В. На границе металлических вклю-

Таблица 2

Сравнение дифрактометрических данных для исовита, искусственного карбида Cr_{23}C_6 и расчетных данных для структуры $Fm\bar{3}m$ при $a = 10.65 \text{ \AA}$
 Comparison of X-ray analysis data for isovite, synthetic carbide Cr_{23}C_6 and calculated data for the $Fm\bar{3}m$ structure with $a = 10.65 \text{ \AA}$

Исовит		Расчет $Fm\bar{3}m, a = 10.65 \text{ \AA}$		Cr_{23}C_6 (ATSM 14-407, $Fm\bar{3}m, a = 10.638 \text{ \AA}$)		
d	I	d	hkl	d	I	hkl
6.15	—	6.149	1 1 1	—	—	—
5.33	—	5.325	0 0 2	—	—	—
3.77	—	3.765	0 2 2	—	—	—
3.21	—	3.211	1 1 3	3.20	5	3 1 1
3.07	—	3.074	2 2 2	3.08	5	2 2 2
2.66	—	2.662	0 0 4	2.66	30	4 0 0
2.44	—	2.443	1 3 3	—	—	—
2.38*	3	2.381	0 2 4	2.37	50	4 2 0
2.17*	5	2.174	2 2 4	2.17	50	4 2 2
2.05*	10	2.050	333, 115	2.05	100	5 1 1
1.88	—	1.883	0 4 4	1.88	50	4 4 0
1.80	—	1.800	1 3 5	1.80	50	5 3 1
1.78	—	1.775	244, 006	1.78	40	442, 600
1.68	—	1.684	0 2 6	—	—	—
1.63	—	1.624	3 3 5	1.63	5	533
1.60	—	1.606	2 2 6	1.61	30	622

Примечание. Рефлексы исовита, помеченные звездочкой (*), присутствуют как на картинах микродифракции электронов, так и рентгенограмме. Остальные линии приведены только по данным микродифракции электронов, поэтому их интенсивности не указаны.

чений в зерне А наблюдаются каймы железо-хромового карбида толщиной до 10 мкм (табл. 1, ан. А-3), отличающегося по контрасту на изображениях в обратнорассеянных электронах от карбида матрицы зерна А (рис. 1, 4). В карбидной кайме заметно повышено содержание железа, а содержание углерода, судя по дефициту суммы анализа и по изображениям в излучении $S_{K\alpha}$ понижено. Состав этой каймы очень близок к составу исовита из зерна В. Аналогичные соотношения металлических и карбидных фаз наблюдаются и в зерне Н. Здесь металлическая фаза (табл. 1, ан. Н-11, Н-12, Н-13) образует удлиненно-прожилковидные выделения в карбидной фазе, аналогичной карбиду матрицы зерна А (табл. 1, ан. А-2), а на ее контакте с металлической фазой присутствует кайма карбида, близкого по составу к исовиту (табл. 1, ан. Н-6, Н-7). В металлической фазе наблюдаются округлые включения карбида, близкого по стехио-

Таблица 3

Отражательная способность исовита
 Reflection parameters of isovite

$\lambda, \text{ нм}$	$R, \%$	$\lambda, \text{ нм}$	$R, \%$
420	47.6	580	43.1
440	47.4	600	43.6
460	46.7	620	43.6
480	46.2	640	43.5
500	45.3	660	44.4
520	44.7	680	45.7
540	43.9	700	46.3
560	43.3		

метрии к известному в качестве минеральной фазы тонгбаиту $(Cr, Fe)_3C_2$ (табл. 1, ан. Н-8, Н-9, Н-10), образование которого, вероятно, связано с выпадением избыточного углерода при охлаждении металлической фазы и с присутствием которого, очевидно, связан некоторый дефицит суммы анализа металлической фазы.

Хотя достоверно установлена кубическая структура для карбида зерна В (табл. 1, ан. В-1, В-2), очевидно, близкие к нему по составу каймы вокруг металлических фаз в зернах А и Н являются аналогичными карбидными фазами, т. е. исовитом.

Состав карбидов и данные по системе Cr—Fe—C (Диаграммы..., 1961; Лифшиц, Попов, 1950) дают основание предполагать, что здесь мы имеем дело с трехфазной системой $(Cr, Fe)_7C_3$ — $(Cr, Fe)_{23}C_6$ —(Fe, Cr). Можно предположить, что исовит образуется при взаимодействии раннего, более богатого углеродом железо-хромового карбида с проникающей в него по механическим нарушениям жидкой металлической фазой.

В зернах А и В металлические включения по сравнению с карбидной матрицей обогащены железом, никелем, кобальтом, медью и кремнием. В металлической фазе или на границе металлической и карбидной фаз отмечаются мелкие фазы, обогащенные Si (силикаты?, рис. 4). В зерне Н металлическая фаза также обогащена Ni и Si, а для карбидной фазы отмечена относительная обогащенность марганцем. Кроме того, в металлической фазе зерна Н обнаружены мелкие (до 4 μm) округлые зерна, коричневато-серые в отраженном свете, диагностированные как сульфид состава $(Cr, Mn)S$. По данным микронзондового анализа, содержания компонентов в нем составляют (мас. %): S 35.6—39.6, Cr 49.9—58.7, Mn 1.8—12.8, Fe 0.53—1.05, Ti 0.07—0.15, Cu 0.02—0.10, Ni 0.01—0.05. На периферии зерна Н отмечены светло-серые в отраженном свете, обладающие зелеными внутренними рефлексами оксидные фазы (наличие кислорода установлено качественно), образующие отдельные зерна и корочки толщиной до 10 μm (рис. 5), в составе которых из количественно определяемых элементов выявлены только Cr (65.7 мас. %) и незначительная примесь Fe (0.4 мас. %). Эти фазы предположительно можно отождествить с оксидом хрома Cr_2O_3 , известным в качестве минерала эсколаита.

В суспензии, полученной при ультразвуковой диспергации фрагмента зерна Н из минеральных примесей, находившихся в карбидной матрице, были установлены альбит, α -кварц и слоистый 14 Å-магнезиально-железистый алюмосиликат (очевидно, хлорит). Конечно, вряд ли эти минералы соответствуют первичному парагенезису, скорее всего, они формировались за счет преобразования более ранних, возможно не сохранившихся, силикатных фаз.

В россыпной ассоциации вместе с зернами, содержащими исовит, найдены зерна, сложенные карбидами хрома, заметно отличающимися от исовита по составу и форме выделения.

Зерно С представляет собой темно-серый агрегат, сложенный тончайшими (длиной до 50, толщиной не более 3 мкм) субпараллельными пластинками, окруженными матрицей железо-кремниевого состава (силикатной?) (рис. 6). Возможности точного определения состава карбидных фаз зерна С ограничены их размерами и характером рельефа препарата, обусловленным высокой твердостью карбидных пластинок. Это и является причинами очевидного занижения суммы анализа для карбидной фазы (табл. 1, ан. С-1). Если проанализированная фаза однородна, то содержание карбидных «миналов» в ней можно оценить как 44 мол. % хромового и 56 мол. % железного. Преобладание «железной» составляющей и характерная пластинчатая форма позволяют предположить, что этот карбид является хромовой разновидностью когенита $(Fe, Cr)_3C$.

Карбидные фазы, по стехиометрии близкие к тонгбаиту $(Cr, Fe)_3C_2$, отмечены в зернах Е, F, G, I—М. В зерне F слабоанизотропная фаза с составом $Cr_{2.77}Fe_{0.35}C_{1.88}$ (ан. E-1) образует пластинчатые сращения с оптически изотропным, менее богатым углеродом карбидом состава $(Cr_{4.93}Fe_{2.29}Ni_{0.05}Si_{0.06})C_{2.67}$ (в пересчете на 10 атомов, ан. E-2). К пластинкам последней карбидной фазы приурочены полости угловатой формы (рис. 7), на краю одной из которых было обнаружено зерно желтого сульфида размером около 4 μm , который, по полуколичественным данным микронзондового анализа (присутствуют Cu,

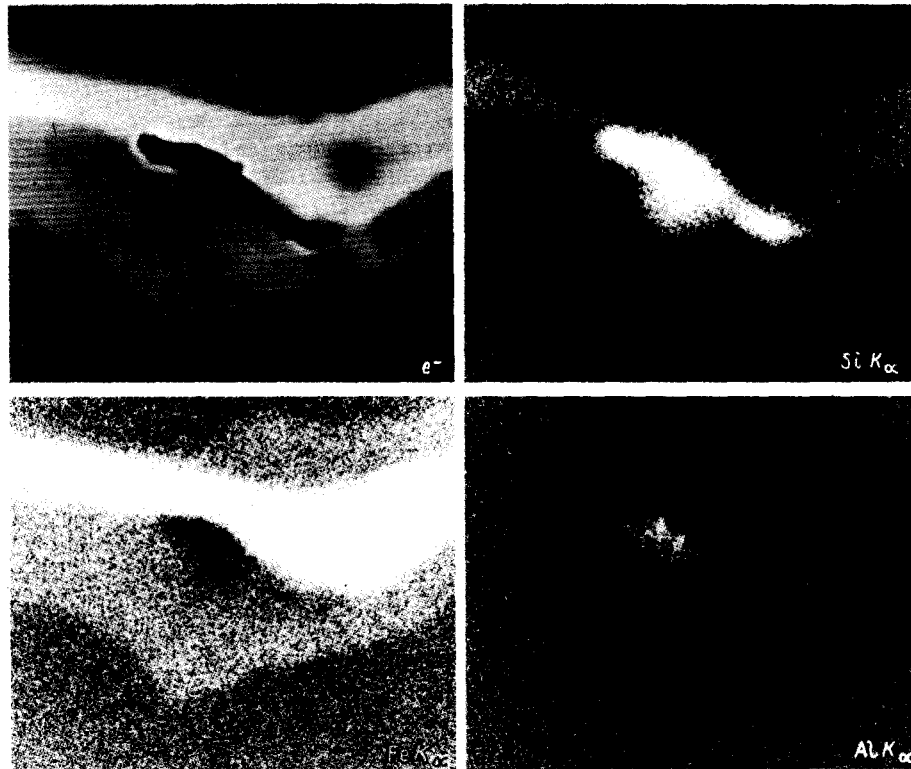


Рис. 4. Деталь зерна А — включение кремниевой (силикатной?) фазы на границе металлической и карбидной фаз.

Изображения в обратнорассеянных электронах и характеристическом излучении Cr, Fe, Si.

Fig. 4. Detail of the grain A: inclusion of Si-bearing (silicate?) phase at the boundary between metallic and carbide phases; scale bar 10 μm .

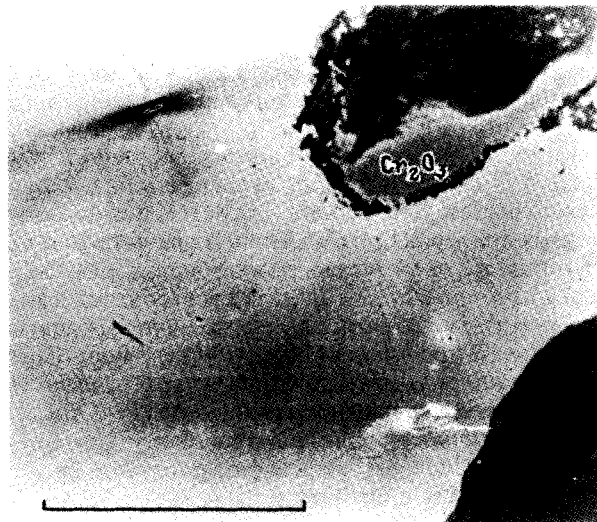


Рис. 5. Кайма оксида хрома (Cr_2O_3) на поверхности зерна Н. Полированный шлиф, отраженный свет. Размер масштабной линейки 50 мкм.

Fig. 5. The chromium oxide rim (Cr_2O_3) on the grain H surface.

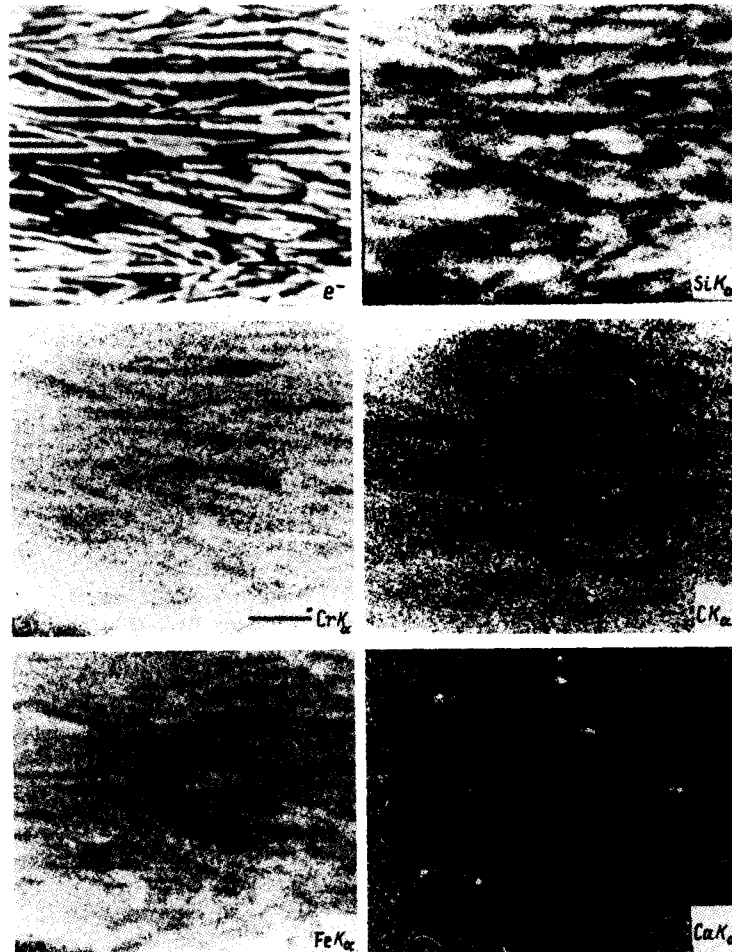


Рис. 6. Зерно С: изображения в обратнорассеянных электронах и характеристическом излучении Cr, Fe, С. Размер масштабной линейки 10 мкм.

Fig. 6. The grain C: images in back-scattered electrons (e^-) and in $Cr_{K\alpha}$, $Fe_{K\alpha}$, $Ca_{K\alpha}$ radiation; scale bar 10 μm .

Fe и S в атомных соотношениях, близких к 1 : 1 : 2), был диагностирован как халькопирит. В некоторых из полостей наблюдаются включения темно-серых в отраженном свете фаз, которые, вероятно, являются реликтами вещества, заполнявшего (полностью или частично) эти полости и преимущественно выкрошившегося при изготовлении полированных шлифов. Размер этих фаз (менее 2 μm) не позволяет провести количественный анализ их состава, однако, судя по данным полуколичественного микрозондового анализа, в числе проанализированных включений присутствуют фазы Na-Al-Si, Na-Ca-Al-Si состава с отношением $(Si + Al)/(Na + Ca)$, близким к 4, которые предположительно можно диагностировать как плагиоклазы.

Найденное в этом же концентрате зерно D (табл. 1, ан. E-1) оказалось однородным по составу Fe-Cr интерметаллидом, не содержащим карбидных включений и заметно отличающимся по составу от металла, образующего включения в карбидных зернах.

Таким образом, можно утверждать, что исовит в россыпи ассоциирует с разнообразными железо-хромсодержащими фазами, в том числе и с широко распространенными железо-хромовыми шпинелидами, что позволяет связать образование самородных и карбидных фаз железа и хрома с теми же геохимическими обстановками, в которых формировалась традиционная железо-хромовая минерализация гипербазитов.



Рис. 7. Зерно E: изображение в обратнорассеянных электронах. Размер масштабной линейки 50 мкм.

Fig. 7. The grain E: image in back-scattered electrons; scale bar 10 μm .

Предположение о техногенном источнике найденных карбидов делает маловероятным факт обнаружения в них комплекса описанных выше сульфидных, оксидных и силикатных включений.

До настоящего времени единственным минералом из группы карбидов хрома признан тунгбаит Cr_3C_2 (Tian Peixue e. a., 1983). Однако сообщалось о находках в природе и других карбидов хрома. В частности, карбид с предполагаемой формулой Cr_2C был обнаружен в зерне самородного хрома, найденного в шлихе из элювия платиноносных серпентинитов дунит-перидотитовой формации Дальнего Востока (Рудашевский, Мочалов, 1984). Фаза $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ с гексагональной структурой была обнаружена в аллювии и искусственных шлихах пород щелочно-мафит-ультрамафитового комплекса Центрального Алдана (Ким, Широков, 1991). В зернах этой фазы присутствуют пластинчатые выделения хромферрида, сульфиды Cr и Mn, а зерна железо-хромового карбида иногда сами образуют включения в свинцово-сурьмяных сплавах, как и встречающиеся в том же районе включения минералов ЭПГ.

Локализация россыпей, где были найдены исовит и другие упомянутые выше железо-хромовые фазы, в районах распространения платиноносных базит-гипербазитовых массивов, как это отмечено и для описывавшихся ранее проявлений карбидов хрома, является еще одним аргументом в пользу природного происхождения обнаруженных фаз.

Образование хромовых карбидов в природе предположительно можно связать с воздействием восстановительных, содержащих соединения восстановленного углерода, флюидов на обогащенные хромом среды (ультрамафитовые породы или расплавы).

Эталонный образец исовита хранится в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований проект 96-05-64594.

Список литературы

- Диаграммы состояния металлических систем, опубликованные в 1958 г. ВИНТИ, 1961.
 Ким А. А., Широков А. Л. Соединения на основе хрома и железа в щелочных мафит-ультрамафитах Центрального Алдана // Самородное минералообразование в магматическом процессе Якутск: ЯНЦ СО АН СССР, 1991. С. 135—146.
 Лифшиц Б. Г., Попов К. В. Уточнение диаграммы состояния системы $\text{Fe}-\text{Cr}-\text{C}$ // Докл. АН СССР. 1950. Т. 52. № 4. С. 633—635.

Рудашевский Н. С., Мочалов А. Г. Новые ассоциации самородных элементов в гипербазитах // Геология и геофизика. 1984. № 4. С. 38—44.

Tian Peixue, Fang Qingsong, Chen Keqiao, Peng Zhizong. A study on tongbaite — a new mineral // Acta miner. Sinica. 1983. Vol. 4. P. 241—245.

Поступила в редакцию
12 мая 1998 г.

УДК 549.3

ЗВМО, № 5, 1998
Proc. RMS, N 5, 1998

Д. чл. Н. С. РУДАШЕВСКИЙ,* А. Г. МОЧАЛОВ,** Ю. П. МЕНЬШИКОВ,*** **Н. И. ШУМСКАЯ******

ФЕРРОРОДСИТ (Fe, Cu) (Rh, Pt, Ir)₂S₄ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹

N. S. RUDASHEVSKY, A. G. MOCHALOV, YU. P. MENSNIKOV, **N. I. SHUMSKAYA**. FERRORHODSITE
(Fe, Cu) (Rh, Pt, Ir)₂S₄ — A NEW MINERAL

* ЗАО «Механобр-Аналит», 199026, Санкт-Петербург, 21-я линия, д. 8а

** Институт геологии рудных месторождений, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН,
109017, Москва, Старомонетный пер., 35

*** Геологический институт Кольского НЦ РАН, 184200, Апатиты, ул. Ферсмана, 14

**** Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ),
199026, Санкт-Петербург, Средний пр., 74

Группа минералов платиновых металлов со структурой типа тиошпинели включает маланит Cu(Pt, Ir, Rh)₂S₄ (Yu Tsu-Hsiang e. a., 1974; Zhiizhong e. a., 1978; Fleisher, 1981), купроирридсит Cu(Ir, Pt, Rh)₂S₄ и купрородсит Cu(Rh, Ir, Pt)₂S₄ (Рудашевский и др., 1985). В платиновой минерализации аллювиально-делювиальных отложений из районов развития дунитов Чадского и Кондерского щелочно-ультраосновных зональных массивов Алданского щита (Богомолов, 1968; Ельянов, 1968) обнаружен новый сульфид состава (Fe, Cu) (Rh, Pt, Ir)₂S₄, где Fe > Cu и Rh > Pt, Ir (ат. %). Этот минерал является железистым аналогом купрородсита, т. е. относится к структурной группе природных тиошпинелей: кубической сингонии, *Fd3m*, *Z* = 8, *a*₀ = 9.89(1)Å. По химическому составу новый минерал получил название феррородсит (ferrorhodsite). Минерал аналогичного химического состава без названия описан в Австралии Йоганом и соавторами (Johan e. a., 1991).

Нахождение. Феррородсит обнаружен в нескольких зернах изоферроплатины в виде включений неправильной и изометрической формы размерами до 50 × 70 мкм: обр. XXV-3 — Чадский массив и обр. 2.1.2/10-5 — Кондерский массив. В образце из Чадского массива новый минерал ассоциирует также с лауритом и осмием самородным (рис. 1), а в кондерских образцах сопровождается включенными в изоферроплатине холлингвортитом, лауритом и с неназванным минералом состава Rh₂(Fe, Ni, Cu)₄S₇.

Физические свойства. Феррородсит наблюдался только под микроскопом. Частички порошка этого минерала имеют под биноклем металлический блеск, железо-черный цвет. Спайность не наблюдалась.

Новый минерал, судя по относительному рельефу зерен, обладает средней величиной твердости, хрупкий. Твердость микровдавливания его (измерена на кондерском образце, ПМТ-5 с автоматизированным индентором, *P* = 25 г, *n* = 4) 494—521 кгс/мм², *H*_{ср} =

¹ Рассмотрено и рекомендовано Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 30 мая 1985 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 8 января 1997 г.