

УДК 549.271.2 (470.51/54)

ФЕРОДСИТ (Fe,Rh,Ir,Ni,Cu,Co,Pt)_{9-x}S₈ – НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО УЛЬТРАОСНОВНОГО МАССИВА

В.Д. Бегизов, Е.Н. Завьялов
Москва, vicbeg@gmail.com

Феродсит обнаружен в коренных породах Нижнетагильского ультраосновного массива (Урал) и в россыпи Кондёр (Хабаровский край). Новый минерал находится в сростании и ассоциации с минералами группы Pt-Fe, чендеитом и сульфидами платиновых металлов. Минерал черный с бронзовым оттенком, металлическим блеском, совершенной спайностью по (111). Размеры зерен в основном 10–50 мкм, сростки до 100 мкм. В отраженном свете светлый, коричневато-серый, слабое двуотражение. Химический состав отвечает формуле (Fe,Rh,Ni,Ir,Cu,Pt)_{9-x}S₈, где x колеблется от 0 до 1. Сингония тетрагональная, $a = 10.009(5)\text{Å}$, $c = 9.840(8)\text{Å}$, $V = 985.78(9)\text{Å}^3$, $Z = 4$. Образец с феродситом хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана РАН.

В статье 3 таблицы, 1 рисунок, список литературы из одного названия.

Ключевые слова: феродсит, платиновые минералы, Нижнетагильский ультраосновной массив, Кондёр.

Новый минерал¹ был обнаружен в искусственных шлихах из оливиновых дунитов центральной части Нижнетагильского ультраосновного массива (Соловьева гора) и в единичном случае в шлихе из россыпного платинового месторождения Кондёр (Аяно-Майский район, Хабаровский край). Минерал назван по основным минералообразующим элементам.

Феродсит наблюдается под микроскопом в полированных шлифах, чаще всего в виде изометричных, пластинчатых, треугольных корродированных зерен, расположенных по периферии зерен изоферроплатины. Часто новый минерал окаймляется и корродируется чендеитом, твердым раствором, промежуточным по составу между изоферроплатиной и тетраферроплатиной. В сростании с феродситом отмечаются купе-

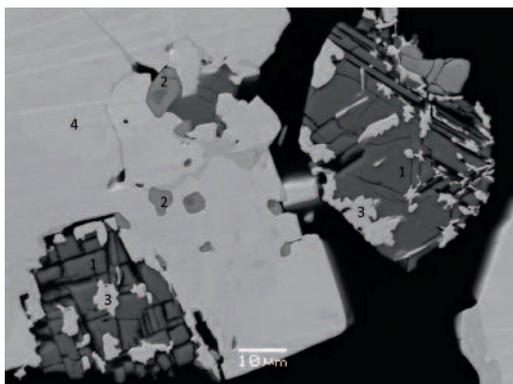
рит, купроиридсит, баузит, тетраферроплатина, кашинит (рис. 1). Часто по трещинам спайности в феродсите проникает опал. Размеры зерен феродсита колеблются от не-

Таблица 1. Спектры отражений феродсита и иридиевого феродсита

| Длина волны (нм) | Феродсит | | Иридиевый феродсит | |
|------------------|----------|------|--------------------|------|
| | Rg' | Rp' | Rg' | Rp' |
| 400 | 37.5 | 35.3 | 33.8 | 30.8 |
| 420 | 36.3 | 34.7 | 32.6 | 29.5 |
| 440 | 35.7 | 33.8 | 30.5 | 27.4 |
| 460 | 35.0 | 32.8 | 29.3 | 26.7 |
| 470 | 35.6 | 33.0 | 30.0 | 27.0 |
| 480 | 35.8 | 33.5 | 30.8 | 27.7 |
| 500 | 35.7 | 33.3 | 30.3 | 27.4 |
| 520 | 36.1 | 33.7 | 30.4 | 27.3 |
| 540 | 35.9 | 33.5 | 31.5 | 27.6 |
| 546 | 36.0 | 33.8 | 31.3 | 27.5 |
| 560 | 36.3 | 34.4 | 30.8 | 27.7 |
| 580 | 36.2 | 34.1 | 31.3 | 28.2 |
| 589 | 36.2 | 34.0 | 31.3 | 28.3 |
| 600 | 36.3 | 34.0 | 31.2 | 28.4 |
| 620 | 36.4 | 34.1 | 31.4 | 28.5 |
| 640 | 37.0 | 34.6 | 31.9 | 29.0 |
| 650 | 37.1 | 34.8 | 32.0 | 29.3 |
| 660 | 37.3 | 35.1 | 32.1 | 29.5 |
| 680 | 37.0 | 34.8 | 32.2 | 29.8 |
| 700 | 36.8 | 34.5 | 32.8 | 30.5 |

Примечание. Прибор МСФУЛ-312ЭВМ, эталон Si, анализ В.Д. Бегизов.

Рис. 1. Сросток феродсита (1), купроиридсита (2), чендеита (3) с твердым раствором на основе изоферроплатины (4).



¹ – Рассмотрен Комиссией по новым минералам, номенклатуре и классификации Международной минералогической ассоциации и утвержден 31 октября 2009 года (2009-056).

Таблица 2. Химический состав феродсита и иридиевого феродсита, мас.%

| № ан. | № обр. | Ir | Rh | Pt | Fe | Ni | Cu | Co | S | Сумма |
|-------|----------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-------|
| 1 | СГ-0/2λ | 1.2 | 30.3 | — | 20.9 | 9.8 | 9.6 | — | 28.6 | 100.4 |
| 2 | СГ-3/1 | 10.6 | 25.6 | — | 20.4 | 9.1 | 6.4 | 1.4 | 27.0 | 100.3 |
| 3 | СГ-6/6 | 14.3 | 20.6 | 3.4 | 19.8 | 8.2 | 5.4 | 1.9 | 25.9 | 99.5 |
| 4 | СГ-7а | 15.0 | 19.7 | — | 18.5 | 10.0 | 5.3 | 4.8 | 27.0 | 99.7 |
| 5 | СГ-29/1 | 25.2 | 16.6 | 4.1 | 18.1 | 7.8 | — | 4.2 | 24.2 | 100.2 |
| 6 | СГ-19/1 | 21.6 | 12.4 | 2.4 | 18.0 | 11.2 | 7.2 | 2.4 | 25.9 | 101.1 |
| 7 | СГ-I-26 | 11.3 | 19.8 | 14.5 | 18.7 | 2.8 | 4.5 | 4.1 | 24.6 | 100.3 |
| 8 | СГ-22/II | 29.6 | 17.7 | — | 17.3 | 5.5 | 5.4 | 0.2 | 24.1 | 99.8 |
| 9 | СГ-3/2 | 10.8 | 25.8 | — | 19.9 | 8.2 | 5.6 | 1.7 | 28.2 | 100.2 |
| 10 | СГ-II-26 | 10.0 | 26.4 | 0.5 | 17.8 | 8.8 | 4.2 | 3.4 | 29.0 | 100.1 |
| 11 | СГ-I | 16.0 | 21.0 | — | 20.8 | 6.2 | 4.2 | 3.5 | 28.2 | 99.9 |
| 12 | Кондёр | 19.4 | 18.3 | 2.3 | 17.7 | 5.7 | 4.8 | 4.4 | 27.3 | 99.9 |
| 13 | СГ-I-6 | сл. | 31.9 | 3.9 | 19.7 | 8.0 | 2.8 | 3.8 | 29.7 | 99.8 |
| 14 | СГ-32/1 | 8.7 | 28.1 | — | 22.5 | 4.9 | 5.2 | 1.4 | 29.1 | 99.9 |
| 15 | СГ-6/а | 26.0 | 12.5 | 2.1 | 20.2 | 6.6 | 4.8 | 3.7 | 25.0 | 100.7 |
| 16 | СГ-4/2 | 30.0 | 9.7 | — | 21.4 | 4.4 | 10.0 | — | 24.6 | 100.1 |
| 17 | СГ-37 | 17.3 | 20.9 | — | 17.7 | 9.2 | 4.7 | 2.4 | 28.0 | 100.2 |
| 18 | СГ-10 | 36.8 | 4.4 | 1.1 | 14.8 | 8.1 | 8.8 | 2.2 | 23.4 | 99.6 |
| 19 | СГ-7/16 | 37.9 | 1.7 | — | 15.8 | 10.7 | 9.1 | 0.9 | 23.8 | 99.5 |

Кристаллохимическая формула (расчет на сумму атомов 17)

| | |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | (Fe _{3.38} Rh _{2.66} Ni _{1.51} Cu _{1.36} Ir _{0.06}) _{8.97} S _{8.04} |
| 2 | (Fe _{3.47} Rh _{2.35} Ni _{1.47} Cu _{0.96} Ir _{0.52} Co _{0.23}) _{9.0} S _{8.00} |
| 3 | (Fe _{3.52} Rh _{1.99} Ni _{1.39} Cu _{0.84} Ir _{0.74} Co _{0.32} Pt _{0.17}) _{8.97} S _{8.02} |
| 4 | (Fe _{3.17} Rh _{1.83} Ni _{1.63} Cu _{0.80} Co _{0.78} Ir _{0.75}) _{8.96} S _{8.05} |
| 5 | (Fe _{3.45} Rh _{1.72} Ir _{1.40} Ni _{1.41} Co _{0.76} Pt _{0.22}) _{8.96} S _{8.04} |
| 6 | (Fe _{3.18} Ni _{1.89} Rh _{1.19} Cu _{1.12} Ir _{1.11} Co _{0.40} Pt _{0.12}) _{9.01} S _{7.98} |
| 7 | (Fe _{3.49} Rh _{2.01} Pt _{0.78} Cu _{0.74} Co _{0.73} Ir _{0.61} Ni _{0.50}) _{8.86} S _{8.00} |
| 8 | (Fe _{3.30} Rh _{1.83} Ir _{1.64} Ni _{1.00} Cu _{0.91} Co _{0.04}) _{8.72} S _{8.00} |
| 9 | (Fe _{3.24} Rh _{2.28} Ni _{1.27} Cu _{0.80} Ir _{0.51} Co _{0.26}) _{8.36} S _{8.00} |
| 10 | (Fe _{2.82} Rh _{2.27} Ni _{1.33} Cu _{0.59} Co _{0.51} Ir _{0.46} Pt _{0.02}) _{8.00} S _{8.00} |
| 11 | (Fe _{3.39} Rh _{1.86} Ni _{0.96} Ir _{0.76} Cu _{0.60} Co _{0.54}) _{8.11} S _{8.00} |
| 12 | (Fe _{2.98} Rh _{1.67} Ir _{0.95} Ni _{0.91} Cu _{0.71} Co _{0.70} Pt _{0.11}) _{8.65} S _{8.00} |
| 13 | (Fe _{3.05} Rh _{2.68} Ni _{1.18} Co _{0.56} Cu _{0.38} Pt _{0.17}) _{8.02} S _{8.00} |
| 14 | (Fe _{3.55} Rh _{2.40} Ni _{0.74} Cu _{0.72} Ir _{0.40} Co _{0.21}) _{8.02} S _{8.00} |
| 15 | (Fe _{3.71} Ir _{1.39} Rh _{1.24} Ni _{1.15} Cu _{0.77} Co _{0.64} Pt _{0.11}) _{9.01} S _{7.99} |
| 16 | (Fe _{3.99} Cu _{1.64} Ir _{1.63} Rh _{0.96} Ni _{0.78}) _{9.00} S _{8.00} |
| 17 | (Fe _{2.90} Rh _{1.86} Ni _{1.44} Ir _{0.83} Cu _{0.68} Co _{0.37}) _{8.06} S _{8.00} |
| 18 | (Fe _{2.91} Ir _{2.10} Ni _{1.52} Cu _{1.52} Rh _{0.47} Co _{0.41} Pt _{0.06}) _{8.99} S _{8.00} |
| 19 | (Fe _{3.04} Ir _{2.12} Ni _{1.96} Cu _{1.54} Rh _{0.18} Co _{0.16}) _{9.00} S _{7.99} |

Примечание. Прочерк — элемент не обнаружен, аналитик В.Д. Бегизов.

скольких микрометров до 100 мкм, в среднем 30 — 40 мкм.

Под микроскопом в отраженном свете минерал выглядит серовато-кремовым с коричневатым оттенком, двуотражение почти

не отмечается. В скрещенных николях феродсит обладает слабой анизотропией в коричневатато-серых тонах. Кривая дисперсии отражения имеет смешанный характер (табл. 1).

Таблица 3. Результаты расчета дебаграммы феродсита, Å

| Феродсит (образец СГ-37) | | | | Пентландит (08-90) | | | |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------------------|------------|--|
| <i>I</i> | <i>d</i> _{изм} | <i>d</i> _{ымч} | <i>hkl</i> | <i>I</i> | <i>d</i> _{изм} | <i>hkl</i> | |
| 5 | 5.72 | 5.746 | 1 1 1 | 30 | 5.78 | 1 1 1 | |
| <1ш | 3.57 | 3.539 | 2 2 0 | 5 | 5.01 | 2 0 0 | |
| 7 | 3.01 | 3.013 | 3 1 1 | 5 | 3.55 | 2 2 0 | |
| 2 | 2.97 | 2.976 | 1 1 3 | 80 | 3.03 | 3 1 1 | |
| 3 | 2.81 | 2.761 | 3 0 2 | 40 | 2.90 | 2 2 2 | |
| <1 | 2.74 | 2.743 | 2 0 3 | | | | |
| <1 | 2.60 | 2.645 | 2 1 3 | 5 | 2.51 | 4 0 0 | |
| 2 | 2.50 | 2.502 | 4 0 0 | 30 | 2.30 | 3 3 1 | |
| 10 | 2.23 | 2.230 | 4 0 2 | 5 | 2.25 | 4 2 0 | |
| 3 | 2.21 | 2.208 | 2 0 4 | | | | |
| 6 | 1.933 | 1.931 | 1 0 5 | 50 | 1.931 | 3 3 3, | |
| 1 | 1.893 | 1.896 | 1 1 5 | | | 5 1 1 | |
| 4 | 1.772 | 1.769 | 4 4 0 | 100 | 1.775 | 4 4 0 | |
| 2 | 1.738 | 1.739 | 5 2 2 | | | | |
| <1 | 1.696 | 1.695 | 3 0 5 | 5 | 1.697 | 5 3 1 | |
| <1 | 1.660 | 1.655 | 4 2 4 | | | | |
| <1 | 1.583 | 1.583 | 6 2 0 | | | | |
| 1ш | 1.526 | 1.529 | 4 1 5 | 10 | 1.530 | 5 3 3 | |
| 1 | 1.501 | 1.507 | 6 2 2 | 10 | 1.514 | 6 2 2 | |
| 3 | 1.367 | 1.368 | 6 1 4 | | | | |
| 1 | 1.305 | 1.306 | 2 2 7 | 20 | 1.307 | 5 5 3, | |
| 1 | 1.286 | 1.285 | 3 1 7 | | | 7 3 1 | |
| 1 | 1.251 | 1.251 | 8 0 0 | 20 | 1.255 | 8 0 0 | |
| <1 | 1.227 | 1.227 | 7 1 4 | | | | |
| 4 | 1.167 | 1.169 | 8 0 3 | 5 | 1.160 | 5 5 5, | |
| 2 | 1.117 | 1.115 | 8 0 4 | | | 7 5 1 | |
| 1ш | 1.099 | 1.098 | 9 1 1 | | | | |
| <1ш | 1.050 | 1.050 | 8 1 5 | 5 | 1.052 | 9 3 1 | |
| 2ш | 1.023 | 1.023 | 6 3 7 | 20 | 1.025 | 8 4 4 | |
| 1ш | 1.008 | 1.008 | 9 1 4 | | | | |
| 1ш | 1.003 | 1.002 | 7 0 7 | | | | |

Примечание. ДРОН-2, РКД-57.3, FeKa, аналитик Е.Н. Завьялов.

Феродсит в порошке черного цвета с металлургическим отблеском имеет хорошо выраженную спайность по {111}, твердость микродавливания 516 ± 15 кг/мм² при нагрузке на инденторе 20 г. Вычисленный удельный вес составляет 7.186 г/см³.

Химический состав нового минерала определялся на рентгеновских микроанализаторах MAP-2 и Camebax, а также на растровом электронном микроскопе JSM-5610. В качестве эталонов использовались химически чистые Pt, Ir, Rh, Cu, Fe, Ni, Co, а также

синтезированное (Т.Л. Евстигнеева) соединение Rh₃S₄ и пирит (на S).

В химическом составе феродсита (табл. 2) имеются довольно широкие вариации родия и иридия, позволяющие выделить разновидность феродсита, богатую иридием (значительное преобладание иридия над родием в составе минерала). Кроме того, существуют колебания в соотношении Me : S, позволяющие принять кристаллохимическую формулу феродсита как (Fe,Rh,Ir,Ni,Cu,Pt,Co)_{9-x}S₈, где x варьирует от 0 до 1. Это, скорее всего, связано со структурой минерала, близкой к пентландиту, у которого также отмечались колебания в соотношении Me : S от 9 : 8 до 8 : 8 (Годовиков, 1975).

Данные порошковых рентгенограмм (дебаетграмм) нового минерала (табл. 3) в общих чертах сходны с данными рентгенограммы пентландита (близки основные сильные и средние линии), однако отличаются от по-

следней смещением и исчезновением ряда средних и слабых линий. Самое главное то, что имеется ряд дублетов — очень сближенных линий: 3.01 (7) и 2.97 (2); 2.81 (3) и 2.74 (1); 2.50 (2) и 2.47 (2); 2.23(10) и 2.21 (3). Это указывает на небольшие изменения кубического параметра решетки и позволяет говорить о снижении симметрии до тетрагональной сингонии. Вместо $a = 10.07\text{\AA}$ у нового минерала $a = 10.01$ и $c = 9.84\text{\AA}$.

Судя по законам погасания, можно предположить, что пространственная группа феродсита $P4_2/n$ (может быть, $P4/nmm$).

Образец феродсита хранится в Минералогическом музее им. А.Е. Ферсмана Российской академии наук (инв. номер 93467).

Литература

Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1975. 520 с.