

УДК 549.271.2 (470.51/54)

## ФЕРОДСИТ (Fe,Rh,Ir,Ni,Cu,Co,Pt)<sub>9-x</sub>S<sub>8</sub> – 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, коричневатый-серый, слабое двуотражение. Химический состав отвечает формуле (Fe,Rh,Ni,Ir,Cu,Pt)<sub>9-x</sub>S<sub>8</sub>, 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 минерал<sup>1</sup> 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-

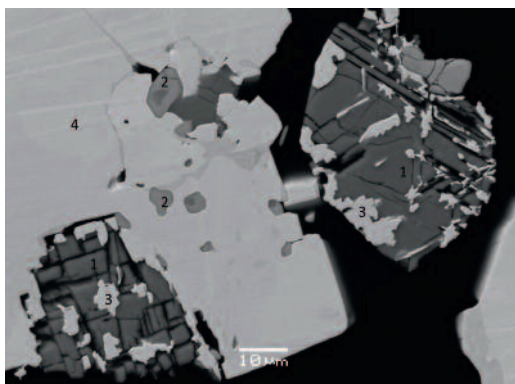
рит, купроиридсит, баузит, тетраферроплатина, кашинит (рис. 1). Часто по трещинам спайности в феродсит проникает опал. Размеры зерен феродсита колеблются от не-

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).



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

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> <sub>изм</sub>	<i>d</i> <sub>ымч</sub>	<i>hkl</i>			<i>I</i>	<i>d</i> <sub>изм</sub>	<i>hkl</i>		
<b>5</b>	<b>5.72</b>	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
<b>7</b>	<b>3.01</b>	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	5	2.51	4	0	0
<1	2.60	2.645	2	1	3	30	2.30	3	3	1
2	2.50	2.502	4	0	0	5	2.25	4	2	0
<b>10</b>	<b>2.23</b>	2.230	4	0	2	50	1.931	3	3	3,
3	2.21	2.208	2	0	4			5	1	1
<b>6</b>	<b>1.933</b>	1.931	1	0	5	100	1.775	4	4	0
1	1.893	1.896	1	1	5	5	1.697	5	3	1
<b>4</b>	<b>1.772</b>	1.769	4	4	0	10	1.530	5	3	3
2	1.738	1.739	5	2	2	10	1.514	6	2	2
<1	1.696	1.695	3	0	5	20	1.307	5	5	3,
<1	1.660	1.655	4	2	4			7	3	1
<1	1.583	1.583	6	2	0	20	1.255	8	0	0
1ш	1.526	1.529	4	1	5	5	1.160	5	5	5,
1	1.501	1.507	6	2	2			7	5	1
<b>3</b>	<b>1.367</b>	1.368	6	1	4	20	1.052	9	3	1
1	1.305	1.306	2	2	7	20	1.025	8	4	4
1	1.286	1.285	3	1	7	1ш	1.008	9	1	4
1	1.251	1.251	8	0	0	1ш	1.003	7	0	7
<1	1.227	1.227	7	1	4	<1ш	1.050	8	1	5
<b>4</b>	<b>1.167</b>	1.169	8	0	3	2ш	1.023	6	3	7
2	1.117	1.115	8	0	4	1ш	1.008	9	1	4
1ш	1.099	1.098	9	1	1	1ш	1.003	7	0	7
<1ш	1.050	1.050	8	1	5					
2ш	1.023	1.023	6	3	7					
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 металлическим отблеском имеет хорошо выраженную спайность по {111}, твердость микродавливания  $516 \pm 15$  кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке на инденторе 20 г. Вычисленный удельный вес составляет 7.186 г/см<sup>3</sup>.

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 Rh<sub>3</sub>S<sub>4</sub> 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)<sub>9-x</sub>S<sub>8</sub>, 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  $a = 10.07\text{Å}$  у нового минерала  $a = 10.01$  и  $c = 9.84\text{Å}$ .

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.