

Р.А. ВИНОГРАДОВА

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА  
В ПРОХОДЯЩЕМ СВЕТЕ

Определение минерального состава кобальт-никелевых руд и прежде всего минеральной формы нахождения Ni и Co в них — по-прежнему актуальная задача для работающих в области поисков, разведки, изучения и использования кобальт-никелевых месторождений.

Среди разнообразных методов, применяемых для диагностики минералов никеля и кобальта, доступным и, как показывает опыт, достаточно эффективным является оптический метод диагностики в отраженном и проходящем свете. Диагностика в отраженном свете освещена в предыдущих статьях [1, 2]. В этой статье приводятся материалы, которые могут оказаться полезными при определении минералов никеля и кобальта в проходящем свете (в шлифах и иммерсионных препаратах).

Минералы никеля и кобальта, диагностируемые в проходящем свете, относятся прежде всего к различным кислородным соединениям: силикатам, арсенатам, фосфатам, сульфатам, карбонатам, селенитам, боратам, гидроокислам, отчасти к окислам, — а также известны среди хлоридов и органических соединений. Эти минералы возникают преимущественно в экзогенных условиях и встречаются в корях выветривания ультраосновных, основных горных пород и серпентинитов или в зонах гипергенеза кобальт-никелевых рудных месторождений. Некоторые из минералов широко распространены и имеют важное промышленное или поисковое значение. Отдельные минералы (либенбергит, люсакит, бонаккордит, бунзениит, треворит), вероятно, образовались в условиях метаморфизма или при магматической кристаллизации.

Рассматриваемые минералы обычно образуют землистые агрегаты, реже хорошо выраженные мелкие кристаллы призматической, игольчатой, волокнистой или пластинчатой формы. Им свойственна специфическая и достаточно яркая окраска. Никелевые минералы имеют различный по густоте и оттенкам зеленый цвет с переходом к желто-зеленому или сине-зеленому. Кобальтовые минералы обладают розовой, розово-красной и розово-фиолетовой окраской. Реже окраска этих минералов может быть оранжево-красной, красновато-бурой, бурой, охряно-желтой, лимонной, кремовой или синей. Перед оптической диагностикой подобных по окраске минералов, встреченных в соответствующей геологической обстановке, желательно провести простые и надежные микрохимические испытания капельным методом на присутствие Ni и Co [1].

В проходящем свете оптически охарактеризован 51 минерал никеля и кобальта. Все имеющиеся для них сведения по оптике обобщены и систематизированы в табл. 1, предназначенной для диагностики этих минералов в шлифах и иммерсионных препаратах. В таблице для каждого минерала, помимо названия, формулы, сингонии и степени распространения в природе, приводятся: осьность, оптический знак, величины показателей преломления, двупреломления, угла  $2V$  и угла погасания, ориентировка оптической индикатриссы, характер плеохроизма, а также особенности морфологии и характер спайности. Минералы в табл. 1 объединены в группы: изотропные и анизотропные (одноосные и двuosные соответствующего оптического знака и неизвестного оптического знака). Внутри этих подразделений минералы расположены по возрастанию наименьшего показателя преломления.

В качестве дополнения к оптическому методу диагностики, особенно в затруднительных случаях, можно использовать также метод рентгеновской дифрактометрии или порошкографии. В связи с этим табл. 2 представляет рентгеновские характеристики минералов, приведенных в табл. 1. Минералы в табл. 2 объединены в классы в соответствии с типом химического соединения, что удобно для случая, если рассматриваемые

Таблица 1  
Сводная таблица диагностических признаков минералов  
никеля и кобальта в проходящем свете

№№ п/п	Название минерала, формула	Сингония	Показатели преломления; двупреломление
1	2	3	4
<b>Изотропные</b>			
1.	Заратит** $Ni_3 [CO_3] (OH)_4 \cdot 4H_2O$	Кубич.	$n = 1,56-1,61$
2.	Бунзенит*** NiO	Кубич.	$n = 2,23$
3.	Треворит** $NiFe_2O_4$	Кубич.	$n = 2,37 (?)$
<b>Анизотропные</b>			
<b>Одноосные положительные</b>			
4.	Жюльенит*** $Na_2Co(CSN)_4 \cdot 8H_2O$	Тетрагон	$n_o = 1,556$ $n_e = 1,642$ $N_e - N_o = 0,086$
<b>Одноосные отрицательные</b>			
5.	Ретгерсит** $Ni[SO_4] \cdot 6H_2O$	Тетрагон	$n_e = 1,486$ $n_o = 1,510$ $N_o - N_e = 0,024$
6.	Хошиит*** $(Mg, Ni)[CO_3]$	Тригон.	$n_e = 1,519-1,534$ $n_o = 1,711-1,728$ $N_o - N_e = 0,192-0,194$
7.	Каррбойдит*** $Ni_7Al_{4,5} [(SO_4)_{2,30}(CO_3)_{0,50}]_{2,80}(OH)_{22} \cdot 3,7H_2O$	Гексагон.	$n_{ср.} = 1,54-1,56$
8.	Сферокобальтит* $Co[CO_3]$	Тригон.	$n_e = 1,600$ $n_o = 1,855$ $N_o - N_e = 0,255$
9.	Эрдлиит** $Ni_6Al_2 [CO_3] (OH)_{16} \cdot 4H_2O$	Гексагон.	$n_{ср.} \approx 1,600$ $N_g - N_p$ незначит.
10.	Джамборит*** $(Ni, Co, Fe)(OH)_2 (OH, S, H_2O)?$	Гексагон.	$n_e = 1,602$ $n_o = 1,607$ $N_o - N_e = 0,005$
11.	Гаспеит*** $(Ni, Mg, Fe)[CO_3]$	Тригон.	$n_e = 1,610$ $n_o = 1,830$ $N_o - N_e = 0,220$
12.	Метакирхеймерит*** $Co(UO_2)_2 [AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$	Тетрагон.	$n_e = 1,617$ $n_o = 1,644$ $N_o - N_e = 0,027$
13.	Ривесит*** $Ni_6Fe_2 [CO_3] (OH)_{16} \cdot 4H_2O$	Тригон.	$n_e = 1,650$ $n_o = 1,735$ $N_o - N_e = 0,085$
<b>Двуосные положительные</b>			
14.	Биберит** $Co[SO_4] \cdot 7H_2O$	Монокл.	$n_p = 1,477$ $n_m = 1,483$ $n_g = 1,489$ $N_g - N_p = 0,022$

Угол $2V$ , угол погасания	Оптическая ориентировка	Окраска в проходящем свете	Особенности морфологии, спайность	Ссылка на литературу
5	6	7	8	9
		<b>Изотропные</b>		
		Зеленый, частично двупреломляющий и плеохроирующий		[3]
				[4]
				[5]
		<b>Анизотропные</b>		
		Одноосные положительные		
			Игольчатый	[3]
		Одноосные отрицательные		
		Бледно-зеленый	Волокнистый; Сп. по (001)	[3]
				[6]
		Голубовато-зеленый до желтовато-зеленого	Геленоподобный, войлокоподобный и тонкопластинчатый	[7]
		Плеохроирует от фиолетово-красного до розово-красного	Сп. сов. по (1011)	[3]
$2V$ – иногда до $10^\circ$		Плеохроирует от желтовато-зеленого до голубовато-зеленого		[8]
	Пл. о.о. и пластинчатости		Волокнистый или пластинчатый	[9]
		Светло-зеленый	Сп. сов. по (1011)	[10]
Иногда аномально двуосный ( $2V = 0-20^\circ$ )			Игольчатые и таблитчатые кристаллы; Сп. сов. по (001)	[11]
		Светло-желтый	Пластинчатый	[12]
		Двуосные положительные		
$2V = (+) 88^\circ$ $cN_g = 29^\circ$	$N_g = b$	Бесцветный до бледно-розового	Сп. сов. по (001) и (110)	[3]

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4
Двуосные положительные			
15.	Никельбуссенготит*** (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> Ni[SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,490$ $n_m = 1,494$ $n_g = 1,501$ $N_g - N_p = 0,011$
16.	Албриттонит*** CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,525$ $n_m = 1,550$ $n_g = 1,576$ $N_g - N_p = 0,051$
17.	Никелистый роценит*** (Fe, Ni)[SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,539$ $n_g = 1,545$ $N_g - N_p = 0,006$
18.	Никельбишофит*** NiCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,589$ $n_m = 1,617$ $n_g = 1,644$ $N_g - N_p = 0,055$
19.	Смоляниновит* (структурные разности "желтого кобальта") Fe <sup>2+</sup> Ca(Co, Ni, Mg) <sub>3</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> O · 11H <sub>2</sub> O	Ромбич.	$n_{ср.} = 1,620 - 1,630$ $N_g - N_p = 0,007$
20.	Кеттигит** (Zn, Co, Ni) <sub>3</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,619 - 1,662$ $n_m = 1,645 - 1,683$ $n_g = 1,680 - 1,717$ $N_g - N_p = 0,061 - 0,055$
21.	Розелит-α** Ca <sub>2</sub> Co[AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,694 - 1,725$ $n_m = 1,704 - 1,728$ $n_g = 1,719 - 1,735$ $N_g - N_p = 0,025 - 0,010$
22.	Розелит-β*** Ca <sub>2</sub> Co[AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Трикл.	$n_p = 1,705 - 1,723$ $n_m = 1,718 - 1,737$ $n_g = 1,737 - 1,756$ $N_g - N_p = 0,032 - 0,033$
Двуосные отрицательные			
23.	Хеллиэрит*** Ni[CO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Трикл.?	$n_p = 1,455$ $n_m = 1,503$ $n_g = 1,549$ $N_g - N_p = 0,094$
24.	Моренозит** Ni[SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 7H <sub>2</sub> O	Ромбич. (псевдотетра- гон.)	$n_p = 1,467$ $n_m = 1,489$ $n_g = 1,492$ $N_g - N_p = 0,025$
25.	Никельгексагидрит** Ni[SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_m = 1,469$ $n_g = 1,494$
26.	Мурхаусит** Co[SO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_p = 1,470$ $n_g = 1,496$ $N_g - N_p = 0,026$
27.	Кашпарит*** (Mg, Co)Al <sub>3</sub> [SO <sub>4</sub> ] <sub>5</sub> (OH) · 28H <sub>2</sub> O	Триклин. (псевдо- монокл.)	$n_p = 1,481$ $n_m = 1,485$ $n_g = 1,487$ $N_g - N_p = 0,006$

5	6	7	8	9
		Двуосные положительные		
$cN_g = 0-4^\circ$		Плеохроирует: $N_g$ – желтый, $N_p$ – голубоватый	Призматический	[13]
$2V = (+) 53^\circ$ $cN_g = 3^\circ$	$b = N_m$	Плеохроирует от розового до красновато-фиолетового	Сп. сов. по (010)	[14]
		Бесцветный	Призматический	[13]
$2V = (+) 87^\circ$ $cN_g = 8^\circ$	$b = N_m$	Слабо плеохроирует от светло-зеленого до зеленого	Сп. сов. по (001)	[15]
Угасание прямое		Тонковолокнистый		[16] [17, 18]
$2V = (+) 77^\circ - 85^\circ$ $cN_g = 32^\circ - 37^\circ$	$N_p = b$	Бледно-розовый, слабо плеохроирует	Призматические или волокнистые кристаллы Сп. по (010)	[3, 19]
$2V = (+) 75^\circ - 60^\circ$ $aN_m = 12-20^\circ$	пл.о.о-(010)	Плеохроирует: $N_p$ – темно-розовый; $N_m$ – бледно-розовый; $N_g$ – почти бесцветный	Пластинчатый Сп. сов. по (010)	[3, 18]
$2V = (+) 80^\circ - 90^\circ$ $cN_g = 30^\circ$		Плеохроирует: $N_p$ – ярко-розовый, $N_m$ – светло-розовый, $N_g$ – почти бесцветный	Полисинтетич. двойники и зональность; сп. сов. по (010)	[18, 20]
$2V \approx (-) 85^\circ$		Двуосные отрицательные Слабый плеохроизм в зеленовато-голубых тонах	Сп. в 3-х направл.; тонкие полисинтетич. двойники	[21]
$2V = (-) 42^\circ$	$N_g = a$ $N_p = b$		Игольчатый, волокнистый	[3]
$cN_g$ до $45^\circ$			Сп. сов. (010); пластинчатые кристаллы	[22]
$2V = (\mp) 10^\circ$		Плеохроирует в розовых тонах: $N_p \gg N_g$		[23]
	$N_m \wedge$ спайн. = $30^\circ$		Тонкоигольчатый и волокнистый; характерны спайн., полисинтетич. двойники	[24, 3]

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4
Двуосные отрицательные			
28.	Никельблётит (никельстраханит) *** $\text{Ni}_2\text{Ni}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,513$ $n_m = 1,518$ $n_g = 1,520$ $N_g - N_p = 0,007$
29.	Никельвермикулит*** $(\text{Mg}, \text{Ca})_{0,35}(\text{Mg}, \text{Ni}, \text{Al}, \text{Fe})_3$ $[(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,542$ $n_m = n_g = 1,573$ $N_g - N_p = 0,031$
30.	Пимелит* (Ni-сапонит) $(\text{Ni}, \text{Mg})_3 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_{\text{ср.}} = 1,595$ $N_g - N_p = 0,014 - 0,018$
31.	Виллемсеит*** (Ni-талк) $(\text{Ni}, \text{Mg})_3 [\text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{OH})_2$	Монокл.	$n_p = 1,600$ $n_m = 1,652$ $n_g = 1,655$ $N_g - N_p = 0,055$
32.	Кабрерит кобальтовый*** $(\text{Ni}, \text{Mg}, \text{Co})_3 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n'_p = 1,600$ $n'_g = 1,650$
33.	Кабрерит** $(\text{Ni}, \text{Mg})_3 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,620$ $n_m = 1,654$ $n_g = 1,689$ $N_g - N_p = 0,069$
34.	Аннабергит* $\text{Ni}_3 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,622$ $n_m = 1,658$ $n_g = 1,687$ $N_g - N_p = 0,055$
35.	Эритрин* $\text{Co}_3 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,626$ $n_m = 1,661$ $n_g = 1,699$ $N_g - N_p = 0,073$
36.	Непуит* $\text{Ni}_6 [\text{Si}_2\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$	Монокл.	$n_p = 1,625 - 1,629$ $n_g = 1,643 - 1,665$ $N_g - N_p = 0,018 - 0,036$
37.	Нимит*** (Ni - хлорит) $(\text{Ni}, \text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_6 [\text{AlSi}_3\text{O}_{10}] (\text{OH})_8$	Монокл.	$n_p = 1,637$ $n_m = n_g = 1,647$ $N_g - N_p = 0,010$
38.	Кобальтомениит*** $\text{Co}[\text{SeO}_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,681$ $n_m = 1,728$ $n_g = 1,769$ $N_g - N_p = 0,088$
39.	Альфелдтит*** $\text{Ni}[\text{SeO}_3] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Монокл.	$n_p = 1,703$ $n_m = 1,744$ $n_g = 1,786$ $N_g - N_p = 0,083$
40.	Люсакит*** (Co - ставролит) $(\text{Fe}, \text{Co})\text{Al}_4 [\text{SiO}_4]_2\text{O}_2 (\text{OH})_2$	Ромбич.	$n_p = 1,739$ $n_m = 1,746$ $n_g = 1,753$ $N_g - N_p = 0,014$

5	6	7	8	9
Двуосные отрицательные				
$2V = (-) 60-70^\circ$			Таблитчатые кристаллы	[25]
$2V = (-) 8^\circ-0^\circ$		Плеохроирует: $N_p$ – светло-зелен., $N_m = N_g$ – светло-буро-зеленый	Сп. сов. – по (001)	[26]
$2V = (-) 30-80^\circ$			Сп. сов. по (001)	[27]
$2V = (-) 27^\circ$			Пластинчатый; сп. сов. по (001)	[28]
$cN_g = 35^\circ$		Не плеохроирует	Зерна удлинённой формы. Сп. по (010), ясная	[29]
$2V = (-) 60^\circ$ $cN_g = 33^\circ$	$N_p = b$		Удлиненные зерна; сп. по (010) сов.	[3]
$2V = (-) 84^\circ$ $cN_g = 35^\circ$	$N_p = b$	Слабо плеохроирует в зеленоватых тонах	Призматические или таблитчатые кристаллы, иногда зональные, сп. сов. по (010)	[3, 18, 30]
$2V = (-) 89^\circ$ $cN_g = 31^\circ$	$N_p = b$	Плеохроирует: $N_p$ – бледно-розовый, $N_m$ – бледно-фиолетовый, $N_g$ – красный	Призматические или таблитчатые кристаллы, иногда зональные; сп. сов. по (010)	[3, 18, 30]
$2V = (-) \text{ до } 12^\circ$		Плеохроирует: $N_p$ – зеленый, $N_m = N_g$ – желто-зеленый	Сп. сов. по (001)	[27]
$2V = (-) 15^\circ$		Слабо плеохроирует: $N_g$ – яблочно-зеленый, $N_p$ – зеленовато-желтый	Сп. сов. по (001)	[31]
$2V = (-) 83^\circ$ $cN_g = 13^\circ$		Слабо плеохроирует в розовато-красных тонах	Зерна удлиненные или удлиненно-пластинчатые	[32]
$2V = (-) 87^\circ$ $cN_g = 12^\circ$	$N_m = b$	Слабо плеохроирует в зеленых тонах	Сп. сов. по (010) и (103) Зерна удлиненные или удлиненнопластинчатые	[32, 33]
$2V = (-) \sim 90^\circ$		Плеохроирует: $N_p$ – кобальтово-синий, $N_m$ – фиолетово-синий, $N_g$ – фиолетовый	Сп. по (010)	[27]

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4
Двуосные отрицательные			
41.	Либенбергит*** (Ni - оливин) (Ni, Mg, Fe) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ]	Ромбич.	$n_p = 1,820$ $n_m = 1,854$ $n_g = 1,888$ $N_g - N_p = 0,068$
Неизвестного оптического знака			
42.	Эплоуит (апловит)*** Co[SO <sub>4</sub> ] · 4H <sub>2</sub> O	Монокл.	$n_{ср.} \sim 1,528 - 1,536$
43.	Фалькондоит*** (Ni - сепиолит) (Ni <sub>0,58</sub> Mg <sub>0,42</sub> ) <sub>8</sub> [Si <sub>6</sub> O <sub>15</sub> ] (OH) <sub>4</sub> · 8H <sub>2</sub> O	Ромбич.	$n_{ср.} < 1,55$ $N_g - N_p = 0,01 - 0,02$
44.	Пекораит*** (Ni - клинохризотил) Ni <sub>6</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ] (OH) <sub>8</sub>	Монокл.	$n_{ср.} = 1,565 - 1,603$
45.	Хонессит*** (водный основной сульфат Ni и Fe <sup>3+</sup> )	Синг.?	$n_{ср.} \sim 1,615$ $N_g - N_p$ - очень низкое
46.	Отуэйит*** Ni <sub>2</sub> [CO <sub>3</sub> ] (OH) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	Ромбич.	$n_p = 1,650$ $n_g = 1,720$ $N_g - N_p = 0,070$
47.	Кассидит*** Ca <sub>2</sub> (Ni, Mg)[PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Триклин.	$n_p = 1,64 - 1,65$ $n_g = 1,67 - 1,68$ $N_g - N_p = 0,030$
48.	Ховахсит ("бурый кобальт")* Fe <sub>2-4</sub> <sup>3+</sup> Co <sub>0-3</sub> (Co, Ni, Mg) <sub>4-1,5</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> O <sub>1-4</sub> · (16-6H <sub>2</sub> O)	Синг.?	$n_{ср.} = 1,660 - 1,730$
49.	Глаукосферит*** (Cu, Ni) <sub>2</sub> [CO <sub>3</sub> ] (OH) <sub>2</sub>	Монокл.	$n_p = 1,69 - 1,71$ $n_m = n_g = 1,83 - 1,85$ $N_g - N_p = 0,140$
50.	Гидроокисел никеля*** (Уильямса) Ni(OH) <sub>2</sub>	Тригон.	$n_{ср.} = 1,88$
51.	Боннакордит*** Ni <sub>2</sub> Fe[BO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Ромбич.	$n_p = 1,9$ (вычисл. 2,2)
Примечание. * распространенные, ** мало распространенные, *** редкие.			

Таблица 2  
Рентгеновская характеристика минералов никеля и кобальта

Класс соединений	Название минерала	№ минерала в табл. 1	Сингония
1	2	3	4
	Виллемсеит***	31	Монокл.
Силикаты	Либенбергит***	41	Ромбич.



5	6	7	8	9
		Двуосные отрицательные		
$2V = (-) 88^\circ$		Плеохроирует: $N_m \approx N_p$ – бесцветный до бледно-зеленого; $N_g$ – зелено-вато-желтый		[34]
		Неизвестного оптического знака		
		Слегка розоватый		[23]
	Удлинение пологит.		Волокнистый	[35]
				[36]
Угол погасания $12^\circ$	Удлинение пологит.		Неясно волокнистый	[37]
Погасание прямое		Светло-зеленый, слабо плеохроирует	Волокнистый	[38]
		Бесцветный	Сп. сов. по (001)	[12]
			Гелевидный, тонкодисперсный	[18, 39]
$cN_g = 7^\circ$	Удлинение пологит.	Плеохроирует: $N_p$ – зеленый, $N_g \sim N_m$ – желто-зеленый	Волокнистый, сферолитовый	[40]
			Пластинчатый	[5]
		Красновато-бурый	Тонкопризматический, игольчатый	[41]

Пространственная группа	Параметры элементарной ячейки	Интенсивные линии порошковой дифракции	Ссылки на литературу
5	6	7	8
$C_2^6 - C2/c$	$a_0 = 5,138$ $b_0 = 9,149$ $c_0 = 18,994$ $\beta = 99^\circ 59'$	9,30 (100); 4,57 (16); 3,12 (28); 2,503 (23)	[28]
$D_{2h}^7 - Pbnm$	$a_0 = 4,727$ $b_0 = 10,191$ $c_0 = 5,955$	2,759 (90); 2,503 (80); 2,442 (100); 1,738 (90)	[34]

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4
	Люсакиит***	40	Ромбич.
Силикаты	Непуит*	36	Монокл.
	Никельвермикулит***	29	Монокл.
	Нимит***	37	Монокл.
	Пекораит***	44	Монокл.
	Пимелит**	30	Монокл.
	Фалькондоит***	43	Ромбич.
Арсенаты, фосфаты	Аннабергит*	34	Монокл.
	Аэругит*** $Ni_3As_3O_{16}$	Оптически не охарактеризован	Монокл.
	Кабрерит**	33	Монокл.
	Кабрерит кобальтовый***	32	Монокл.
	Кассидит***	47	Триклин.
	Ксантиозит*** $Ni_3[AsO_4]$	Оптически не охарактеризован	Монокл.
	Кёттигит**	20	Монокл.
	Метакирхгеймерит***	12	Тетрагон.

5	6	7	8
$D_{2h}^{1,7} - Ccm$	$a_0 = 7,88$ $b_0 = 16,65$ $c_0 = 5,66$		[44]
$C_2 - C_2^3$ $Cm - C_s^3$ $C_2/m - C_{2h}^3$	$a_0 = 5,29$ $b_0 = 9,18$ $c_0 = 14,55$ $\beta = 93^\circ$	7,26; 3,61; 2,480; 2,425; 1,527; 1,494	[27]
$C_s^4 - Cc$			[26]
$C_{2h}^1 - P2/m$	$a_0 = 5,320$ $b_0 = 9,214$ $c_0 = 14,302$ $\beta = 97^\circ 06'$	14,2 (25); 7,10 (100); 4,74 (6); 3,55 (45)	[31]
		7,43 (8); 4,50 (5); 3,66 (6); 2,620 (5); 1,529 (6)	[36]
$C_s^4 - Cc$			[27]
	$a_0 = 13,5$ $b_0 = 29,9$ $c_0 = 5,24$	12,07 (100); 3,36 (30); 3,19 (25); 2,61 (30); 2,57 (35); 2,44 (30)	[35]
$C_{2h}^3 - C_2/m$	$a_0 = 10,14$ $b_0 = 13,31$ $c_0 = 4,71$ $\beta = 104^\circ 45'$	7,77 (5); 6,62 (7); 6,29 (6); 3,19 (10); 2,998 (9); 1,680 (8); 1,649 (8); 1,557 (9); 1,077 (7)	[18, 30]
$C_2 - C_2^3$ $Cm - C_s^3$ или $C_2/m - C_{2h}^3$	$a_0 = 10,29$ $b_0 = 5,95$ $c_0 = 9,79$ $\beta = 110^\circ 19'$	5,05; 3,76; 2,862; 2,492; 2,329; 2,060; 1,485	[42]
		9,20 (3); 8,91 (4); 6,73 (10); 3,19 (8); 2,989 (8); 2,711 (6); 1,666 (9); 1,637 (9)	[43]
		7,68 (8); 6,63 (10); 3,43 (10); 3,18 (8); 2,98 (9); 2,69 (8); 1,656 (9); 1,632 (8)	[29]
$C_1^1 - P\bar{1}$	$a_0 = 5,71$ $b_0 = 5,73$ $c_0 = 5,41$ $\alpha = 96^\circ 49,5'$ $\beta = 107^\circ 21,5'$ $\gamma = 104^\circ 35'$	3,23 (65); 3,13 (48); 3,03 (90); 2,70 (100); 2,67 (79)	[12]
$C_{2h}^5 - P2_1/c$	$a_0 = 10,17$ $b_0 = 9,558$ $c_0 = 5,77$ $\beta = 92^\circ 58'$	4,32; 3,46; 2,61; 2,529; 1,544; 1,527; 1,492; 1,436	[42]
$C_{2h}^3 - C_2/m$	$a_0 = 10,240$ $b_0 = 13,401$ $c_0 = 4,752$ $\beta = 105,07^\circ$	3,220 (50); 3,006 (50); 2,994 (90); 2,734 (60); 2,462 (50)	[19]
$D_{2h}^2 - P4/nmm$	$a_0 = 7,15$ $c_0 = 8,62$	8,55 (10); 5,07 (6); 4,30 (6); 3,56 (10); 3,41 (5); 3,00 (6); 2,52 (5)	[11]

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4
	Розелит- $\alpha$ **	21	Монокл.
Арсенаты, фосфаты	Розелит- $\beta$ ***	22	Триклин.
	Смоляниновит*	19	Ромбич.
	Ховахсит*	48	
	Эритрин*	35	Монокл.
Сульфаты	Биберит**	14	Монокл.
	Каррбойдит***	7	Гексагон.
	Кашпарит***	27	Триклин. (псевдо- монокл.)
	Моренозит**	24	Ромбич. (псевдо- тетрагон.)
	Мурхаусит***	26	Монокл.
	Никельбледит*** (никельастраханит)	28	Монокл.
	Никельбуссенгетит***	15	Монокл.
	Никельгексагидрит***	25	Монокл.
	Ретгерсит**	5	Тетрагон.

5	6	7	8
$C_{2h}^5 - P2_1/c$	$a_0 = 5,61$ $b_0 = 12,83$ $c_0 = 5,61$ $\beta = 100^\circ 45'$	6,32; 3,66; 3,11; 2,73; 2,07; 1,79	[18]
$C_i^1 - P\bar{1}$	$\alpha = 90^\circ 21'$ $\beta = 91^\circ$ $\gamma = 89^\circ 20'$ $a_0 = 6,40$ $b_0 = 11,72$ $c_0 = 21,9$	3,55 (4); 3,07 (10); 2,77 (8); 1,92 (4) 21,94; 11,58; 3,20; 2,92; 1,642; 1,486	[18, 20] [16, 17, 18]
		Обычно рентгеноаморфен. Иногда фиксируется 4 слабых отражения, близких к смоля- ниновиту: 11,9-12,1; 3,27-3,30; 2,7; 2,5	[18, 39]
$C_{2h}^3 - C2/m$	$a_0 = 10,20$ $b_0 = 13,37$ $c_0 = 4,74$ $\beta = 105^\circ 01'$	8,52 (4); 6,85 (7); 3,23 (9); 3,010 (10); 2,729 (8); 2,319 (7); 1,679 (6); 1,485 (6); 1,041 (6)	[18, 30]
$C_{2h}^5 - P2_1/c$	$a_0 = 14,13$ $b_0 = 6,55$ $c_0 = 11,00$ $\beta_0 = 105^\circ 05'$ $a_0 = 9,14$ $c_0 = 10,34$	4,87 (100); 4,82 (55); 3,76 (75); 3,71 (20); 2,725 (25) 10,5 (оч. сильн.); 5,25 (сильн.); 3,48 (средн.); 2,55 (средн.); 1,51 (средн.) 4,83 (100); 4,25 (90); 4,12 (80); 3,48 (70); 1,92 (60)	[44, 45] [7] [24]
$D_2^4 - P2_1 2_1 2_1$	$a_0 = 11,8$ $b_0 = 12,0$ $c_0 = 6,81$	5,3 (6); 4,20 (10); 2,85 (4); 2,65 (3)	[43]
$C_{2h}^6 - C2/c$	$a_0 = 10,0$ $b_0 = 7,2$ $c_0 = 24,3$ $\beta = 98^\circ 22'$	4,39 (10); 4,01 (6); 2,91 (5)	[23]
$C_{2h}^5 - P2_1/a$	$a_0 = 10,87$ $b_0 = 8,07$ $c_0 = 5,46$ $\beta = 100^\circ 43'$	4,466 (9); 4,193 (7); 3,720 (6); 3,223 (10); 3,290 (8); 2,589 (6)	[25]
$C_{2h}^3 - P2_1/a$	$a_0 = 9,21$ $b_0 = 12,46$ $c_0 = 12,50$ $\beta = 106^\circ 52'$	2,076 (4); 1,859 (3); 1,806 (6); 1,493 (3)	[13]
$C_{2h}^4 - C2/c$	$a_0 = 9,84$ $b_0 = 7,17$ $c_0 = 24,0$ $\beta = 97^\circ 30'$	4,35 (10); 3,98 (9); 3,89 (7); 2,89 (9); 2,27 (7); 1,990 (7)	[22]
$D_4^2 - P4_1 2_1 2$	$a_0 = 6,79$ $c_0 = 18,28$	4,26 (10); 2,96 (8); 2,72 (9); 2,57 (9); 2,34 (8); 2,13 (10)	[44, 45]

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4
	Роценит никелистый***	17	Монокл.
	Хонессит***	45	?
	Эплюит***	42	Монокл.
Карбонаты	Гаспеит***	11	Тригон.
	Глаукоферит***	49	Монокл.
	Заратит**	1	Кубич.
	Никелькарбонат***	Оптически не охарактеризован	Тригон.
	Отуэйит***	46	Ромбич.
	Ривесит***	13	Тригон.
	Сферокобальтит*	8	Тригон.
	Хеллиэрит***	23	Триклин. (?)
	Хошиит***	6	Тригон.
	Эрдиит**	9	Гексагон.
Бораты	Бонаккордит***	51	Ромбич.
Селениты	Альфельдит***	39	Монокл.

5	6	7	8
	$a_0 = 5,87$ $b_0 = 13,48$ $c_0 = 8,03$ $\beta = 91^\circ 5'$	2,112 (7); 1,961 (3); 1,937 (3); 1,881 (3)	[13]
		8,7 (10); 4,33 (2); 2,67 (2); 1,542 (2)	[37]
$C_{2h}^5 - P2_1/n$	$a_0 = 5,94$ $b_0 = 13,56$ $c_0 = 7,90$ $\beta = 90^\circ 30'$	5,44 (9); 4,46 (10); 3,95 (8); 3,39 (6); 2,95 (7)	[23]
	$a_0 = 4,621$ $c_0 = 14,93$ или $a_{rh} = 5,65$ $\alpha = 48^\circ 18'$	3,543 (36); 2,741 (100); 2,098 (36); 1,692 (45)	[10]
	$a_0 = 9,368$ $b_0 = 11,99$ $c_0 = 3,387$ $\beta = 92,12^\circ$	5,04 (3); 3,68 (7); 2,587 (10); 2,516 (4); 2,124 (3)	[40, 46]
	$a_0 = 6,16$	9,4 (10); 6,06 (10); 3,65 (7); 3,40 (6); 3,11 (4)	[43]
$D_{3d}^6 - R3c$	$a_{rh} = 5,85$ $\alpha = 103^\circ 40'$	3,512 (50); 2,708 (100); 2,086 (35); 1,681 (45); 1,673 (35)	[47]
	$a_0 = 10,18$ $b_0 = 27,40$ $c_0 = 3,22$	6,84 (10); 5,67 (8); 3,022 (5); 2,737 (6); 2,529 (5)	[38]
$D_{3d}^5 - R\bar{3}m$ или $C_{3v}^5 - R\bar{3}c$	$a_0 = 6,15$ $c_0 = 45,61$	7,63 (100); 3,80 (73); 2,60 (81); 2,30 (61); 1,946 (48)	[12]
$D_{3d}^6 - R\bar{3}c$	$a_{rh} = 5,92$ $\alpha = 103^\circ 22'$	3,64 (6); 2,76 (10); 1,71 (10); 1,50 (4); 1,415 (4)	[43]
		9,4 (10); 6,06 (10); 3,65 (7); 3,40 (6); 3,11 (4); 2,38 (5)	[21]
$D_{3d}^6 - R\bar{3}c$	$a_0 = 4,637$ $c_0 = 5,004$ или $a_{rh} = 5,673$ $\alpha = 48^\circ 15'$	2,739 (10); 2,103 (9); 1,698 (8)	[6]
	$a_0 = 3,018$ $c_0 = 22,58$	7,53 (10); 3,763 (8); 2,546 (8); 2,262 (7); 1,918 (7); 1,509 (5); 1,479 (5)	[8] Установлено, что по составу и свойствам эрдлиит аналогичен таковиту [48]
$D_{2h}^2 - Pbam$	$a_0 = 9,213$ $b_0 = 12,229$ $c_0 = 3,001$	5,100 (50); 4,61 (40); 2,548 (100); 2,514 (100); 1,898 (50)	[41]
$C_{2h}^5 - P2_1/n$	$a_0 = 7,53$ $b_0 = 8,76$ $c_0 = 6,43$ $\beta = 99^\circ 05'$	5,69 (100); 3,426 (80); 3,772 (60); 2,992 (75); 2,719 (60)	[33]

Таблица 2 (окончание)

1	2	3	4
	Кобальтоменит***	38	Монокл.
Гидроокислы	Бунзенил***	2	Кубич.
	Гидроокисел никеля*** (Джамбора и Бойла) $4\text{Ni}(\text{OH})_2 \cdot \text{NiOOH}$	Оптически не охарактеризован	Тригон. (?)
	Гидроокисел никеля (Уильямса) Джамборит***	50	Тригон.
	Никельсодержащая гидро- окись магния*** $4\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot (\text{Ni}, \text{Mg})\text{OOH}$	10	Гексагон.
	Оптически не охарактеризована	Тригон.	
Окислы	Треворит***	3	Кубич.
Хлориды	Албриттонит***	16	Монокл.
	Никельбишофит***	18	Монокл.
Органические соеди- нения	Абелсонит*** $\text{C}_3\text{H}_6\text{N}_4\text{Ni}$	Оптически не охарактеризован	Триклин.
	Жюльенил***	4	Тетрагон.

Примечание: \* распространенные; \*\* мало распространенные; \*\*\* редкие.

минералы будут диагностироваться и по химическому составу. Внутри каждого класса минералы располагаются по алфавиту с указанием порядкового номера минерала в табл. 1.

Таким образом, табл. 2 одновременно можно использовать и как своеобразный указатель минералов к табл. 1. По сравнению с табл. 1, табл. 2 дополнительно содержит еще шесть минералов, относящихся к рассматриваемым соединениям, но не вошедших в табл. 1 из-за отсутствия в литературе их оптической характеристики.



5	6	7	8
$C_{2h}^5 - P2_1/n$	$a_0 = 7,615$ $b_0 = 8,814$ $c_0 = 6,499$ $\beta = 98^\circ 51'$	5,72 (100); 3,46 (70); 3,80 (50); 3,017 (55); 2,738 (45); 2,378 (40)	[32]
$O_h^5 - Fm3m$	$a_0 = 4,171$	2,42 (8); 2,085 (9); 1,476 (9); 1,261 (9); 1,208 (9); 1,045 (7)	[4]
	$a_0 = 3,07$ $c_0 = 22,74$	7,58 (10); 3,79 (6); 2,585 (6); 2,296 (5); 1,946 (4)	[5]
$D_{3d}^3 - P\bar{3}m1$	$a_0 = 3,08$ $c_0 = 4,62$	4,63 (10); 2,71 (6); 2,34 (10); 1,757 (8)	[5]
	$a_0 = 3,07$ $c_0 = 23,3$	7,78 (10); 3,89 (4); 2,592 (6); 1,530 (5); 1,500 (3)	[9]
	$a_0 = 3,198$ $c_0 = 23,190$	7,75 (100); 3,86 (55); 2,330 (25); 1,975 (25)	[49]
$O_h^7 - Fd3m$	$a_0 = 8,32$ $-8,34$	2,50 (10); 1,598 (5); 1,473 (7); 1,087 (4)	[5, 50]
$C_{2h}^3 - C2/m$	$a_0 = 8,899$ $b_0 = 7,065$ $c_0 = 6,644$ $\beta = 97,25^\circ$	5,637 (10); 5,521 (6); 4,827 (8); 2,934 (5); 2,758 (3); 2,411 (3); 2,219 (3); 2,206 (3)	[14]
$C_{2h}^3 - C2/m$	$a_0 = 10,318$ $b_0 = 7,077$ $c_0 = 6,623$ $\beta = 122,37^\circ$	5,59 (100); 5,49 (40); 4,82 (30); 2,924 (40); 2,747 (30); 2,180 (3)	[15]
	$a_0 = 8,51$		[51]
	$b_0 = 11,18$ $c_0 = 7,29$ $\alpha = 90^\circ 53'$ $\beta = 114^\circ 08'$ $\gamma = 79^\circ 59'$ $a_0 = 19,00$ $c_0 = 5,47$		[44, 52]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Боришанская С.С., Виноградова Р.А.* Диагностика минералов никеля и кобальта в отраженном свете (1). — В кн.: Новые данные о минералах СССР, 1980, вып. 29.
2. *Боришанская С.С., Виноградова Р.А.* Диагностика минералов никеля и кобальта в отраженном свете (2). — В кн.: Новые данные о минералах СССР, 1981, вып. 30.
3. *Ларсен Е., Берман Г.* Определение прозрачных минералов под микроскопом. М.: "Недра". 1965.
4. *Минералы.* — Справочник, Изд-во АН СССР, 1965, т. 2, вып. 2.
5. *Минералы.* — Справочник, Изд-во АН СССР, 1967, т. 11, вып. 3.
6. *Chu-siang Y., Kuo-fun F., Chen-ee S.* Hoshiite (a new mineral). — "Acta geol. sinica", 1964, vol. 44, N 2.

7. *Nickel E.H., Clarke R.M.* Carrboydite, a hydrated sulfate of nickel ad aluminium: a new mineral from Western Australia. — *Amer. Miner.*, 1976, vol. 61, N 5–6.
8. *Nickel E.H., Davis Ch.E.S., Bussell M.* et al. Eardleyite as a product of the supergene alteration of nickel sulfides in Western Australia. — *Amer. Miner.*, 1977, vol. 62, N 5–6.
9. *Morandi N., Dalrio G.* Jamborite: a new nickel hydroxide mineral from the northern Apennines, Italy. — "Amer. Miner.", 1973, vol. 58, N 9–10.
10. *Kohls D.W., Rodda J.L.* Gaspeite, a new carbonate from the Gaspé peninsula, Quebec. — *Amer. Miner.*, 1966, vol. 51, N 5–6.
11. *Бонштедт-Куплетская Э.М.* Новые минералы. VIII. — Запис. Всесоюз. минералог. об-ва, 1959, вып. 3, с. 316.
12. *White J.S., Henderson J.E.P., Mason B.* Secondary minerals of the Wolf Creek meteorite. — *Amer. Miner.*, 1967, vol. 52, N 7–8.
13. *Яхонтова Л.К., Сидоренко Г.А., Столярова Т.И., Плюснина И.И., Иванова Т.Л.* Никельсодержащие сульфаты из зоны окисления Норильских месторождений. — Запис. Всесоюз. минер. об-ва, 1976, вып. 6.
14. *Crook W.W., Marcotty L.A.* Albrittonite, a new cobalt chloride hydrate from Oxford, Llano Country, Texas. — *Amer. Miner.*, 1978, vol. 63, N 3–4.
15. *Crook W.W., Jambor J.L.* Nickelbischofite, a new nickel chloride hydrate. — *Canad. Miner.*, 1979, vol. 17, N 1.
16. *Яхонтова Л.К.* Новый минерал смольяниновит. — ДАН СССР, 1956, т. 109, № 4.
17. *Яхонтова Л.К., Сидоренко Г.А., Сергеева Н.Е., Рыбакова Л.И.* Новые данные о смольяниновите. — Конституция и свойства минералов, 1973, вып. 7.
18. *Яхонтова Л.К.* Минералогия и генезис зоны окисления арсенидных никель-кобальтовых месторождений (на примере Ховуаксинского рудного поля). — Автореф. докт. диссертации. Изд-во МГУ, 1972.
19. *Sturman B.D.* New data for kottigitte and parasymplepsite. "Canad. Miner.", 1976, vol. 14, N 4.
20. *Fronzel C.* Neomesselite and beta-rosellite: two new members of the fairfieldite group. — "Amer. Miner.", vol. 40, N 9–10.
21. *Williams K.L., Threadgold J.M., Hounslow A.W.* Hellyerite, a new nickel carbonate from Heazlewood, Tasmania. — "Amer. Miner.", 1959, vol. 44, N 5–6.
22. *Олейников Б.В., Шварцев С.Л., Мандрикова Н.Т., Олейникова Н.Н.* Никельгексагидрит — новый минерал. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1965, вып. 5.
23. *Jambor J.L., Boyle R.W.* Moorhouseite and aplowite, new cobalt minerals from Walton, Nova Scotia. — *Canad. Miner.*, 1965, vol. 8, N 2.
24. *Dubanský A.* Prispěvky k poznání geochimie sokudárních sulfátů. III. Sulfáty z Dubníku u Prešova. — *Cem. Listy*, 1956, vol. 50, N 9.
25. *Nickel E.H., Bridge P.J.* Nickelblöddite, a new mineral from Western Australia. — "Miner. Mag.", 1977, vol. 41, N 317.
26. *Дир У.А., Хаури Р.А., Зусман Дж.* Породообразующие минералы. М.: Мир, 1966, т. 3.
27. *Фекличев В.Г.* Диагностические спектры минералов. М.: Недра, 1977.
28. *Waal S.A. de.* Nickel minerals from Barberton, South Africa, III. Willemsite, a nickel-rich talc. — *Amer. Miner.*, 1970, vol. 55, N 1–2.
29. *Яхонтова Л.К., Столярова Т.И.* Находка кобальтового кабрерита. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1972, т. 21.
30. *Яхонтова Л.К.* Вопросы состава и свойств минералов группы эритрина. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1961, т. 11.
31. *Hiemstra S.A., Waal S.A. de.* Nickel minerals from Barberton. II. Nimite, a nickelian chlorite. (по реферату М. Флейшера в "Amer. Miner.", 1969, vol. 54, N 11–12).
32. *Sturman B.D., Mandarino J.A.* The ahlfeldite — cobaltomenite series. — "Canad. Miner.", 1974, vol. 12, N 5.
33. *Aristarain L.F., Hurlbut C.S. Jr.* Ahlfeldite from Pasajake, Bolivia: a restudy. — "Amer. Miner.", 1969, vol. 54, N 3–4.
34. *Waal S.A. de, Calk L.C.* Nickel minerals from Barberton, South Africa. IV. Liebenbergite, a nickel olivine. — "Amer. Miner.", 1973, vol. 58, N 8.
35. *Springer G.* Falcondoite, nickel analogue of sepiolite. — "Canad. Miner.", 1976, vol. 14, N 4.
36. *Faust C.T., Fahey J.J., Mason B., Dwornik E.J.* Pecoraite, nickel analogue of clinochrysotile, formed in the Wolf Creek meteorite. — "Science", 1969, vol. 165, N 3888.
37. *Heyl A.V., Milton Ch., Axelrod J.M.* Nickel minerals from near Linden, Iowa Country, Wisconsin. — "Amer. Miner.", 1969, vol. 44, N 9–10.
38. *Nickel E.H., Robinson B.W., Davis Ch.E.S., MacDonald R.D.* Otwayite, a new nickel mineral from Western Australia. — "Amer. Miner.", 1977, vol. 62, N 9–10.
39. *Яхонтова Л.К., Сидоренко Г.А.* Минеральный состав охр из зоны окисления арсенидных месторождений. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1974, вып. 23.
40. *Pryse M.W., Just J.* Glaukosphaerite, a new nickel analogue rosasite. — *Miner. Mag.*, 1974, vol. 39, N 307.
41. *Яковлевская Т.А.* Новые минералы. XXXI. — Запис. Всесоюз. минерал. об-ва, 1977, вып. 1, с. 76.
42. *Davis R.J., Hey M.H., Kingsbury A.W.G.* Xanthiosite and aerugite. — *Miner. Mag.*, 1965, vol. 35, N 269.
43. *Мухеев В.И.* Рентгенометрический определитель минералов. М.: Гостеолтехиздат, 1957.
44. *Strunz H.* Mineralogische Tabellen. Leipzig, 1970.
45. *Костов И.* Минералогия. М.: Мир, 1971.
46. *Jambor J.L.* A possible unit cell for glaucosphaerite. — *Can. Miner.*, 1976, vol. 14, N 4.
47. *Mariano A.N., Poissek W.J., Bender S.L.* — *Canad. Miner.*, 1969, vol. 10, N 1.
48. *Bish D.L., Brindley G.W.* A reinvestigation of takovite, a nickel-aluminium hydroxy-carbonate

- of the pyroaurite group. — Amer. Miner., 1977, vol. 62, N 5–6.
49. *Lapham D.M.* A new nickeliferous magnesium hydroxide from Lancaster country Pennsylvania. — Amer. Miner., 1965, vol. 50, N 10.
50. *Waal S.A.de.* Nickel minerals from Barberton, South Africa. V. *Trevvorite*, redescribde. — Amer. Miner., 1972, 57, N 9–10.
51. *Pabst A., Ester R.A., Dwornik E.J., Finkelman R.B., Milton C.* Crystallized nickel porphyrim from the Creen River Formation, Utah. (по реферату М. Флейшера в Amer. Miner., 1976, vol. 61, N 5–6).
52. *Круров Г.А.* Месторождения кобальта. М.: Госгеолтехиздат. 1959.

УДК 549.1:549.642

• В.С. ГАЙДУКОВА, Г.А. СИДОРЕНКО •

## О СТАБИЛЬНОСТИ И ФАЗОВЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ ПИРОХЛОРА

При изучении минералов группы пирохлора выявляются как метамиктные, так и кристаллические разности. Первые диагностируются по продуктам прокаливания, в которых наряду с пирохлоровой фазой наблюдается луешит ( $\text{NaNbO}_3$ ), либо другие минералы группы перовскита, ферсмит ( $\text{CaNb}_2\text{O}_6$ ) и другие фазы типа сложных окислов. Это явление связывалось с нарушением стехиометрии первичного пирохлора в период пребывания его в метамиктном состоянии [1]. А.И. Комков [2] полагает, что многофазность и тип новообразования несут информацию о составе метамиктного минерала. Собственно большинство работ по изучению продуктов прокаливания пирохлора посвящено именно метамиктным его разновидностям, так как термическая обработка, в данном случае, необходима для диагностики минерала.

В обстоятельной работе, посвященной изучению пирохлора, Ван-дер-Вином [3] сделана попытка объяснить появление в пирохлорах (как метамиктных, так и кристаллических) после прокаливания наряду с пирохлоровой фазой дополнительных ферсмитовой и перовскитоподобной фаз. Он приходит к выводам: (1) если после стандартного нагревания пирохлора ферсмитовая фаза преобладает, вакансий в группе А должно быть около половины. Чтобы появились другие фазы, дефицит должен быть больше; (2) если после стандартного нагревания наблюдается лишь пирохлоровая фаза, дефицит в группе А возможен от 20–0%; (3) если после стандартного нагревания получается дополнительная перовскитоподобная фаза, определенное количество (?) вакансий должно иметь место в группе А пирохлора. Ван-дер-Вин предполагает, что перовскитоподобная фаза скорее всего является  $\text{NaNbO}_3$  или  $\text{NaTaO}_3$  в зависимости от исходного материала — пирохлора или микролита.

Авторами проводилось нагревание и исследование стабильности кристаллического пирохлора при температурах 1000–1200°C (на воздухе), которое также обнаружило появление дополнительных новообразованных фаз. Это позволяет внести коррективы в интерпретацию данных рентгеноструктурного анализа продуктов прокаливания пирохлоров метамиктных, но вместе с тем требует объяснения наблюдаемого явления фазового распада кристаллического пирохлора.

В предлагаемой работе исследовалось поведение кристаллических пирохлоров из карбонатитов Восточного Саяна, по составу приближающихся к собственно пирохлору  $\text{NaCaNb}_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$  с незначительным количеством других элементов. В табл. 1–3 даны результаты химического анализа и рассчитанных по нему кристаллохимических формул ряда изученных минералов.

Изучение исходных пирохлоров и продуктов их прокаливания в электронном микроскопе дало дополнительный фактический материал о стабильности минерала и претерпеваемых им фазовых превращениях.

При нагревании кристаллических пирохлоров на воздухе до 1200°C в течение 1–2 часов (иногда до 1000°C) в продуктах прокаливания были обнаружены наряду с пирохлоровой фазой луешит, лопарит  $[(\text{Ca}, \text{Ce})(\text{J}, \text{Nb})\text{O}_3]$ , ферсмит (табл. 4). Количество