

стабильной будучи подобной структуре цинксилита —  $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$  [5]. Средний заряд катиона в тетраэдрах по периметру "островов" после перемещения в них всех имеющихся атомов Al равен  $(4,5 \times 3 + 7,5 \times 4) / 12 = 3,62$ , а его валентное усилие — 0,9.

Таким образом, баланс валентности в вершинах октаэдров области B, контактирующих с тетраэдрами по периферии "островов" и обогащенными Al, значительно улучшается  $(2 \times 1/2 + 1 \times 1/3 + 1 \times 0,9 = 2,23)$ .

По В.С. Соболеву [15], экзотермические эффекты на кривых нагревания могут быть связаны с полиморфным превращением монотропного характера, что подтверждает перераспределение Al и Si в тетраэдрах "острова", напоминающее полиморфное превращение, так как состав всего "острова" не меняется.

Монотропный характер превращений, сопровождающихся экзотермическими эффектами на кривых нагревания, объясняет отсутствие экспериментальных результатов о получении ферростильпномеланов путем восстановления ферри-стильпномеланов [1].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Eggleton R.A., Chappel B.W. The crystal structure of stilpnomelane. III. — Chemistry and physical properties. — Miner. Mag., 1978, vol. 42, N 323.
2. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Rock-forming minerals, 196. London, 1963, vol. 3. Sheet silicates.
3. Gruner J.W. The structure of stilpnomelane. — Amer. Miner., 1944, vol. 29, N 7—8.
4. Eggleton R.A., Bailey S.W. The crystal structure of stilpnomelane. I. The Subcell. — Clays Clay Miner., 1965, vol. 13, N. 17.
5. Костов И. Минералогия. М: Мир, 1971.
6. Eggleton R.A. The crystal structure of stilpnomelane. P II. The full cell. — Miner. Mag., 1972, vol. 38, N 298.
7. Eggleton R.A. Silicon tetrahedral sheet in stilpnomelane. — Nature, 1970, vol. 225, p. 625.
8. Бодырев А.К. Кристаллография. М., Л.: ОНТИ НКТП СССР 1934.
9. Hashimoto M. A note on stilpnomelane mineralogy. — Contr. Miner., Petr., 1969, vol. 23, p. 86.
10. Graham C.M. A note on some Dalradian stilpnomelanes and their oxidation. — Miner. Mag., 1976, vol. 40, N 313.
11. Rosenqvist J.T., Jorgensen P. Replacement in octahedral and interlayer position in Micas. — Nature, 1963, vol. 197, N 4866.
12. Farmer V.C. Mineral Soc., Monogr., 1974, vol. 4.
13. Коулсон Ч. Валентность. М.: Мир, 1965.
14. Белов Н.В., Тархова Т.Н. Кристаллическая структура миларита. — Тр. Института кристаллографии АН СССР. 1951, вып. 6.
15. Соболев В.С. Введение в минералогию силикатов. Львов.: изд-во Львовского ун-та, 1949.
16. Годовиков А.А. Минералогия. М.: Недра, 1975.

УДК 549. 086:553. 48

Р.А. ВИНОГРАДОВА, С.С. БОРИШАНСКАЯ

#### ТАБЛИЦА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ

Перед работающими в области поисков, разведки, изучения и использования месторождений никель-кобальтовых руд одной из важнейших задач является определение минерального состава руд и минеральной формы нахождения Co и Ni в рудах.

Для диагностики минералов никеля и кобальта применяются разнообразные методы исследования. Надежная диагностика этих минералов возможна прежде всего по составу и рентгеновским характеристикам. Однако химический анализ по-прежнему трудоемок и требует достаточно большого объема вещества. Электронно-зондовый анализ и микрорентгеновская диагностика минералов из микрообъема вещества безусловно очень эффективны, но не всегда доступны. Между тем широко применяемые в практике минералогических исследований традиционные оптические методы, как показывает опыт, в большинстве случаев достаточно надежно обеспечивают диагностику минералов никеля и кобальта.

Ключ к таблице для определения минералов никеля и кобальта в отраженном свете

Группы минералов по твердости	Микротвердость ( $H$ , кгс/мм <sup>2</sup> ) и твердость по Моосу	Отражение ( $R$ ) в сравнении с эталонными минералами	Эффект поляризации	Номер подгруппы в таблице
Минералы низкой твердости	100 (1—3 по Моосу)	$R >$ пирита	Анизотропные	1
		$R <$ пирита, но $>$ галенита	Анизотропные	2
		$R <$ сфалерита	Анизотропные	3
Минералы средней твердости	100—500 (3—5 по Моосу)	$R >$ пирита	Изотропные	4
		$R <$ пирита, но $<$ галенита	Изотропные	5
		$R <$ пирита, но $<$ галенита	Изотропные	6
		$R <$ галенита, но $>$ сфалерита	Анизотропные	7
		$R <$ галенита, но $>$ сфалерита	Изотропные	8
		$R <$ сфалерита	Анизотропные	9
		$R <$ сфалерита	Анизотропные	10
Минералы высокой твердости	500 (5 по Моосу)	$R >$ пирита	Изотропные	11
		$R <$ пирита, но $>$ галенита	Анизотропные	12
		$R <$ пирита, но $>$ галенита	Изотропные	13
		$R <$ пирита, но $>$ галенита	Анизотропные	14
		$R <$ галенита, но $>$ сфалерита	Изотропные	15
		$R <$ галенита, но $>$ сфалерита	Анизотропные	16
		$R <$ сфалерита	Анизотропные	17
Неполно охарактеризованные по $R$ и $H$ минералы			Изотропные	18
			Анизотропные	19

Необходимые для их диагностики сведения по составу, рентгеновским характеристикам и оптическим свойствам приведены в работах [1—4]. В дополнение предлагается таблица, которую можно использовать при изучении и диагностике минералов никеля и кобальта в отраженном свете.

В основу таблицы положены три главных свойства: твердость (микротвердость —  $H$ , кгс/мм<sup>2</sup>), отражение ( $R$  в % при  $\lambda = 589$  нм и эффект поляризации (изотропность-анизотропность). Количественное определение твердости осуществляется на приборе ПМТ-3. Качественно она может быть определена в аншлифе путем царапания полированной поверхности минерала медной или стальной иглой или по относительному рельефу исследуемого минерала в сравнении с хорошо известными минералами. Количественное измерение отражения производится на специальных приборах. Качественная оценка отражения исследуемого минерала может быть получена при визуальном сравнении его с отражением минерала-эталона в белом свете: пиритом ( $R = 54,5\%$ ), галенитом ( $R = 43\%$ ), сфалеритом ( $R = 18\%$ ) и шеелитом ( $R = 10\%$ ). По эффекту поляризации минералы подразделяются на изотропные и анизотропные, а среди последних выделяются минералы слабо анизотропные, отчетливо анизотропные и сильно анизотропные. Кроме этих важнейших свойств, у минералов в отраженном свете можно наблюдать и другие свойства: цвет, двуотражение, внутренние рефлексы, характерные формы минеральных индивидов и их агрегатов, отношение к диагностическому травлению. Все это учтено в предлагаемой таблице. Методика наблюдения всех особенностей и свойств минералов в отраженном свете и методы количественного измерения  $R$  и  $H$  изложены в ряде специальных работ [5—9] и здесь не рассматриваются. К таблице прилагается "ключ", который отражает схему построения таблицы и удобен при пользовании ею.

90 минералов никеля и кобальта разделены в таблице по твердости на три группы:



Т а б л и ц а

Определение минералов никеля и кобальта по микротвердости ( $H$ ), отражению ( $R$ ), эффекту поляризации и другим признакам


Минералы низкой твердости

Подгруппа 1.

Твердость низкая;  $R >$  пирита; анизотропные

<p><b>Мелонит</b> ++</p> <p><math>\text{NiTe}_2</math> 83-166 1-1,5</p>  <p>65,7-59 (<math>\Delta R</math>)</p> <p>светло-розовый</p>	<p><b>Гексастебиопаникалит</b> +</p> <p><math>(\text{Ni}, \text{Pd})_2\text{SbTe}</math> 75-10P</p>  <p>62-58 (<math>\Delta R</math>)</p> <p>желтый</p>
--	--

Подгруппа 2. Твердость низкая;  $R <$  пирита, но  $>$  галенита; анизотропные

<p><b>Макинит</b> +++</p> <p><math>(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})_{1+x}\text{S}</math> 20-95</p>  <p>46-22 (<math>\Delta R</math>)</p> <p>серый желтый</p>
--

Подгруппа 3. Твердость низкая;  $R <$  сфалерита; анизотропные

<p><b>Гетерогенит</b> +++</p> <p><math>n\text{CoO} \cdot m\text{Co}_2\text{O}_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}</math> 10-300</p>  <p>9</p> <p>серый</p>	<p><b>Аннабергит</b> +++</p> <p><math>\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}</math> 60-120</p>  <p>6,5-7,5 (<math>\Delta R</math>)</p> <p>серый</p>	<p><b>Моренозит</b> ++</p> <p><math>\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> 30-60</p>  <p>4</p> <p>серый</p>	<p><b>Биберит</b> ++</p> <p><math>\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}</math> 20-60</p>  <p>4</p> <p>серый</p>
---	---	--	--

Минералы средней твердости

Подгруппа 4. Твердость средняя;  $R >$  пирита; изотропные

<p>Аваруит ++</p> <p><math>\text{NiFe}</math> 209–420 5–5,5</p> <p>72 магн. зеленовато-белый</p>	<p>Никель самородный +</p> <p><math>\beta\text{-Ni}</math> 186–210</p> <p>64 белый</p>	<p>Пентландит кобальтовый (сульфид кобальта) +</p> <p><math>\text{Co}_9\text{S}_8</math> 327–363 4–5</p> <p>55 желтовато-белый</p>	<p>Кобальтпентландит ++</p> <p><math>(\text{Co, Ni, Fe})_9\text{S}_8</math> 310–245 4–5</p> <p>55–54 желтовато-белый</p>
--	--	--	--

Подгруппа 5. Твердость средняя;  $R >$  пирита; анизотропные

<p>Мелонит ++</p> <p><math>\text{NiTe}_2</math> 141–220 1,5–2</p> <p>65,7–59 (<math>\Delta R</math>) светлорозовый</p>	<p>Киткайт +</p> <p><math>\text{NiTeSe}</math> 109–119</p> <p>65 бледно-желтый</p>	<p>Сейняюкит +</p> <p><math>(\text{Fe}_{0,8}\text{Ni}_{0,2})_2(\text{Sb}_{1,7}\text{As}_{0,3})_2</math></p> <p>61 розовато-серый</p>	<p>Нисбит +</p> <p><math>\text{NiSb}_2</math> 420–513</p> <p>60 белый</p>	<p>Миллерит +++</p> <p><math>\text{NiS}</math> 153–317 3–3,5</p> <p>58–53 (<math>\Delta R</math>) светложелтый</p>
<p>Хизлевудит ++</p> <p><math>\text{Ni}_3\text{S}_4</math> 221–274 4</p> <p>57 магн. светложелтый</p>	<p>Никелин +++</p> <p><math>\text{NiAs}</math> 412–489 5–5,5</p> <p>55–50 (<math>\Delta R</math>) желтоватозелтый</p>	<p>Фребольдит +</p> <p><math>\gamma\text{-CoSe}</math> &lt; 4</p> <p>55? розовато-фиолетовый</p>		

Подгруппа 6. Твердость средняя;  $R <$  пирита, но  $\geq$  галенита; изотропные


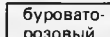

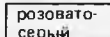

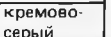

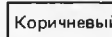

<p>Уайрауит +</p> <p><math>\text{CoFe}</math> 185–329 ~4,5</p> <p>54 сильно магн. белый</p>	<p>Пентландит +++</p> <p><math>(\text{Ni, Fe})_9\text{S}_8</math> 195–235 3,5–4</p> <p>54–47,2 светложелтый</p>	<p>Полидимит ++</p> <p><math>\text{Ni}_3\text{S}_4</math> 362–449 4,5–5,5</p> <p>47,3 розовато-желтый</p>	<p>Коринит +</p> <p><math>\text{Ni}(\text{As, Sb})\text{S}</math> 380–550 4–5</p> <p>47,3 серовато-белый</p>	<p>Зигенит ++</p> <p><math>(\text{Co, Ni})_3\text{S}_4</math> 437–514 5–5,5</p> <p>46,7 розовато-белый</p>
<p>Флетчерит +</p> <p><math>\text{Cu}(\text{Ni, Co})_3\text{S}_4</math> 446–464</p> <p>45,3 креммово-белый</p>	<p>Тиррелит +</p> <p><math>\text{Cu}(\text{Co, Ni})_3\text{Se}_4</math> 336–469 3,5</p> <p>44–40,6 медно-бронзовый</p>	<p>Виоларит +++</p> <p><math>\text{FeNi}_3\text{S}_4</math> 458–331 4–5</p> <p>44–39 фиолетово-белый</p>	<p>Карролит ++</p> <p><math>\text{CuCo}_2\text{S}_3</math> 351–566 5–5,5</p> <p>43 розовато-белый</p>	<p>Дайингит +</p> <p><math>\text{Cu}(\text{Co, Pt})_2\text{S}_4</math> 310</p> <p>42,8</p>

## Продолжение таблицы


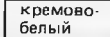
Подгруппа 7. Твердость средняя;  $R <$  пирита, но  $>$  галенита; анизотропные

<p>Имгрэит + </p> <p><math>NiTe</math> 210–220</p> <p>52,4 </p>	<p>Маттагамит + </p> <p><math>(Co, Fe)Te_2</math> 383–404</p> <p>51,7 </p>	<p>Годлевскит + </p> <p><math>Ni_7S_6</math> 382–418 5</p> <p>51 </p>	<p>Паркерит + </p> <p><math>Ni_3Bi_2S_2</math> 111–142 2.5</p> <p>48–44 (<math>\Delta R</math>) </p> <p></p> <p>кремово-белый</p>	<p>Смайтит + </p> <p><math>(Fe, Ni)_9S_{11}</math> 338</p> <p>46–42 (<math>\Delta R</math>) </p> <p>сильно магнит </p> <p>розовато-кремовый</p>
<p>Высоцкит + </p> <p><math>(Pd, Ni)S</math> 407–535 5</p> <p>45 </p> <p>голубовато-белый</p>				

Подгруппа 8. Твердость средняя;  $R <$  галенита, но  $>$  сфалерита; изотропные

<p>Аргентопентландит ++ </p> <p><math>Ag(Fe, Ni)_8S_8</math> 132–173 3,5</p> <p>35,9 </p>	<p>Пентландит медистый + </p> <p><math>(Fe, Ni, Cu)_9S_8</math> 118–153 3</p> <p>35,8 </p>	<p>Джерфшерит ++ </p> <p><math>K_6(Fe, Cu, Ni)_2S_2Cl</math> 132–258</p> <p>23,5–29,5 </p>	<p>Талфенисит + </p> <p><math>Tl_6(Fe, Ni, Cu)_2S_2Cl</math> 147</p> <p>27 </p> <p></p> <p>Коричневый</p>
---	--	---	--

Подгруппа 9. Твердость средняя;  $R <$  галенита, но  $>$  сфалерита; анизотропные

<p>Моддерит + </p> <p><math>CoAs</math> 172–253</p> <p>39,6 </p>
--

Подгруппа 10. Твердость средняя;  $R <$  сфалерита; анизотропные

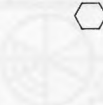


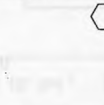
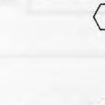



<p>Стениерит ++ </p> <p><math>HCoO_2 \cdot (Co_2O_3 \cdot H_2O)</math> <math>&gt; 300</math> 4–5</p> <p>9 </p> <p></p> <p>светло-серый</p>	<p>Эритрин +++ </p> <p><math>Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O</math> 100–121</p> <p>6–10 (<math>\Delta R</math>) </p> <p></p> <p>Серый</p>
--	---

Минералы высокой твердости

Подгруппа 11. Твердость высокая;  $R >$  пирита; изотропные

<p>Крутовит + NiAs<sub>2</sub> 624–719 5,5</p>  <p>65,7–61,6</p> <p>белый</p>	<p>Никельскуттерудит ++ NiAs<sub>3</sub> 527–560 5</p>  <p>57</p> <p>белый</p>	<p>Шмантин–хлоантит +++ (Co, Ni) As<sub>3</sub> 400–700 5–6</p>  <p>55,5</p> <p>белый</p>	<p>Скуттерудит +++ CoAs<sub>3</sub> 650–750 6</p>  <p>55</p> <p>белый</p>
--	---	---	--






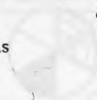







Подгруппа 12. Твердость высокая;  $R >$  пирита; анизотропные

<p>Оргенит + Ni<sub>2</sub>FeAs<sub>2</sub> 5</p>  <p>~65</p> <p>белый</p>	<p>Паррамельсбергит ++ NiAs<sub>2</sub> 762–803 5,5–6</p>  <p>61,3</p> <p>белый</p>	<p>Раммельсбергит + NiAs<sub>2</sub> 556–629 5,5–6</p>  <p>59,6–52,5 (ΔR)</p> <p>белый</p>	<p>Баррингерит + (Fe, Ni)<sub>2</sub>P &gt; 7</p>  <p>&gt; 55</p> <p>белый</p>	<p>Маякит + PdNiAs 520 ~5</p>  <p>55,4</p> <p>серовато-белый</p>
<p>Клиносафлорит ++ CoAs<sub>2</sub> 640–790 5–5,5</p>  <p>55</p> <p>белый</p>	<p>Шрейберзит + (Fe, Ni)<sub>3</sub>P 6,5–7</p>  <p>~55</p> <p>Сильно магн</p> <p>буровато-белый</p>	<p>Сафлорит +++ (Co, Fe) As<sub>2</sub> 430–751 4,5–5</p>  <p>54 (ΔR)</p> <p>голубовато-белый</p>		

Подгруппа 13. Твердость высокая;  $R <$  пирита, но  $>$  галенита; изотропные

<p>Гердсдорфит +++ NiAsS 520–588 5–5,5</p>  <p>54–46</p> <p>розовато-белый</p>	<p>Бравойт +++ (Ni, Fe, Co) S<sub>2</sub> 668–861 5–6</p>  <p>54–31</p> <p>светло-коричнево-серый</p>	<p>Кобальтин +++ CoAsS 886–1116 5,5–6</p>  <p>53</p> <p>розовый</p>	<p>Трогталит + CoSe<sub>2</sub> ~7</p>  <p>52?</p> <p>фиолетово-розовый</p>	<p>Виллиамит + (Co, Ni) SbS 644–739 5–6</p>  <p>47,7</p> <p>кремово-белый</p>
<p>Линнеит +++ Co<sub>3</sub>S<sub>4</sub> 508–554 5–5,5</p>  <p>47,7</p> <p>розовато-белый</p>	<p>Ульманнит +++ NiSbS 498–542 5–5,5</p>  <p>45</p> <p>белый</p>			


Подгруппа 14. Твердость высокая;  $R <$  пирита, но  $>$  галенита; анизотропные

<p>Кобальтин +++ ..... <math>\text{CoAsS}</math> 886-1116 5,5-6</p>  <p>53 <input type="checkbox"/> розовый</p>	<p>Глаукоdot +++ <math>(\text{Co, Fe})\text{AsS}</math> 841-1166 5,5-6</p>  <p>51,8 розовато-белый</p>	<p>Брейтгауптит ++ <math>\text{NiSb}</math> 412-584 5-5,5</p>  <p>51,8-41,5 (<math>\Delta R</math>) фиолетово-розовый</p>	<p>Аллоклазит ++ ..... <math>\text{CoAsS}</math> 540-748 5,5-6</p>  <p>51,7 <input type="checkbox"/> розовато-белый</p>	<p>Маухерит ++ ..... <math>\text{Ni}_{11}\text{As}_8</math> 685-724 5-5,5</p>  <p>51,5 <input type="checkbox"/> розовато-белый</p>
<p>Вестервелдит + ..... <math>(\text{Fe, Ni, Co})\text{As}</math> 707-788 5-5,5</p>  <p>51,4-50,1 (<math>\Delta R</math>) буровато-белый</p>	<p>Паракостибит + ..... <math>\text{CoSbS}</math> 1069</p>  <p>48,4 зеленовато-белый</p>	<p>Лангисит + ..... <math>(\text{Co, Ni})\text{As}</math> 780-857</p>  <p>48,2 буровато-розовый</p>	<p>Герсдорфит +++ ..... <math>\text{NiAsS}</math> 520-588 5-5,5</p>  <p>46-54 розовато-белый</p>	<p>Гаухекорнит + <math>\text{Ni}_3(\text{Bi, Sb})_2\text{S}_8</math> 447-655 5</p>  <p>46 <input type="checkbox"/> светло-желтый</p>
<p>Костибит + ..... <math>\text{CoSbS}</math> 781</p>  <p>45,5 <input type="checkbox"/> серовато-белый</p>	<p>Ульманнит ++ ..... <math>\text{NiSbS}</math> 498-542 5-5,5</p>  <p>45 <input type="checkbox"/> белый</p>	<p>Брэггит + ..... <math>(\text{Pt, Pd, Ni})\text{S}</math> 920-1129</p>  <p>44,8 <input type="checkbox"/> голубовато-белый</p>		


Подгруппа 15. Твердость высокая;  $R <$  галенита, но  $>$  сфалерита; изотропные

<p>Блокит + <math>\text{NiSe}_2</math> 407-550 4,5-5</p>  <p>~35 <input type="checkbox"/> кремово-белый</p>	<p>Каттерит + <math>\text{CoS}_2</math> 953-113</p>  <p>34 розовато-белый</p>	<p>Вазсит + <math>\text{NiS}_2</math> 773-856</p>  <p>31 <input type="checkbox"/> светло-серый</p>	<p>Вилламинит + ..... <math>(\text{Cu, Ni, Co, Fe}) (\text{S, Se})_2</math> 440-710 4,5</p>  <p>30-27 <input type="checkbox"/> серый</p>	<p>Треворит + <math>\text{NiFe}_2\text{O}_4</math> 5</p>  <p>19,1-24 <input type="checkbox"/> сильно магн. серый</p>
--	--	--	---	---

Подгруппа 16. Твердость высокая;  
 $R <$  галенита, но  $>$  сфалерита; анизотропные

<p>Гетерогенит - 2H + <math>\text{CoO}(\text{OH})</math> 640</p>  <p>23,5-16,5 (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/> серый</p>
--

Подгруппа 17. Твердость высокая;  
 $R <$  сфалерита; анизотропные

<p>Бонаккордит + <math>\text{NiFe}(\text{BO}_3)_2\text{O}_2</math> 1200</p>  <p>17,6-14,2 (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/> буровато-серый</p>
--

Минералы неполно охарактеризованные

Подгруппа 18. Изотропные

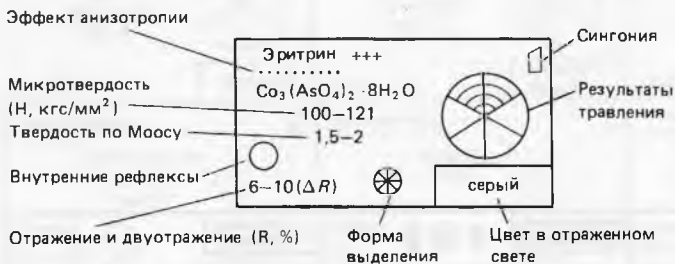
<p>Хаксонит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>(\text{Fe, Ni})_{23}\text{C}_6</math></p> <p>?</p> <p>&gt; 63 <input type="checkbox"/></p> <p>белый</p>	<p>Трюстедтит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{Ni}_3\text{Se}_4</math></p> <p>?</p> <p>&gt; 35 <input type="checkbox"/></p> <p>желтый</p>	<p>Борнхардит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{Co}_3\text{Se}_4</math></p> <p>4–5</p> <p>? <input type="checkbox"/></p> <p>розовато-белый</p>
---	--	--

Подгруппа 19. Анизотропные

<p>Когенит ++ <input type="checkbox"/></p> <p><math>(\text{Fe, Ni, Co})_3\text{C}</math></p> <p>?</p> <p>&gt; 63 <input type="checkbox"/></p> <p>кремово-белый</p>	<p>Орселит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{Ni}_2\text{As}</math></p> <p>?</p> <p>54–52 (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/></p> <p>розовато-бронзовый</p>	<p>Вольфахит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{Ni}(\text{As, Sb})\text{S}</math></p> <p>?</p> <p>35,6 <input type="checkbox"/></p> <p>светло-серый</p>	<p>Седрхольмит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\beta\text{-NiSe}</math></p> <p>?</p> <p>~ 35 <input type="checkbox"/></p> <p>оранжево-желтый</p>	<p>Куллерудит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{NiSe}</math></p> <p>?</p> <p>? (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/></p> <p>кремово-белый</p>
<p>Мекиненит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\gamma\text{-NiSe}</math></p> <p>2–3</p> <p>? (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/></p> <p>оранжево-желтый</p>	<p>Хастит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{CoSe}_2</math></p> <p>~ 6</p> <p>? (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/></p> <p>коричневато-фиолетовый</p>	<p>Вилкманит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{Ni}_3\text{Se}_4</math></p> <p>?</p> <p>? (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/></p> <p>серо-желтый</p>	<p>Шандит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>\text{N}_3\text{Pb}_2\text{S}_2</math></p> <p>~ 4–5</p> <p>? магн. <input type="checkbox"/></p> <p>кремово-белый</p>	<p>Хаапалаит + <input type="checkbox"/></p> <p><math>[(\text{Fe, Ni})_2\text{S}_2] \cdot 1,610 [(\text{Fe, Mg}) (\text{OH})_2]</math></p> <p>? (<math>\Delta R</math>) <input type="checkbox"/></p> <p>Коричневый</p>



## Окончание таблицы



## Диагностическое травление



## Условные обозначения

- +++ Распространенные минералы
- ++ Мало распространенные минералы
- + Редкие минералы

## Эффект явлений поляризации:







- ..... Слабо анизотропные
- Отчетливо анизотропные
- Сильно анизотропные

Изотропные минералы не подчеркнуты







Двуотражение: 6–10 ( $\Delta R$ )

Колебание отражения  
в зависимости от состава: 46–54

## Сингония

-  Кубическая
-  Тетрагональная
-  Гексагональная или тригональная
-  Ромбическая
-  Моноклиная
-  Аморфный

## Форма минеральных выделений

-  Кубическая
-  Октаэдрическая
-  Пластинчатая, таблитчатая
-  Ромбовидная
-  Игольчатая
-  Дендриты
-  Колломорфная
-  Радиально-лучистая
-  Пластинчатые двойники
-  Звездчатые сростки
-  Зональное строение

Алфавитный список минералов никеля и кобальта, приведенных в таблице

Минерал	Номер подгруппы в таблице	Распространенность	Минерал	Номер подгруппы в таблице	Распространенность
Аваруит	4	++	Маухерит	14	++
Аллоклазит	14	++	Маякит	12	+
Аннабергит	3	+++	Мекиненит	19	+
Аргентопентландит	8	++	Мелонит	1,5	++
Баррингерит	12	+	Миллерит	5	+++
Биберит	3	++	Моддерит	9	+
Блокит	15	+	Моренозит	3	++
Бонаккордит	17	+	Никелин	5	+++
Борнхардтит	18	+	Никель	4	+
Бравонит	13	+++	Никельскуттерудит	11	++
Брейтгауптит	14	++	Нисбит	5	+
Брэггит	14	+	Орегонит	12	+
Вазсит	15	+	Орселит	19	+
Вестервелдит	14	+	Паракостибит	14	+
Вилкманит	19	+	Парафраммельсбергит	12	++
Вилламанинит	15	+	Паркерит	7	++
Виллиамит	13	+	Пентландит	6	+++
Виоларит	6	+++	Пентландит кобальтовый	4	+
Вольфахит	19	+	("сульфид кобальта")		
Высоцкит	7	+	Пентландит медистый	8	+
Гаухекорнит	14	+	Полидимит	6	++
Гексастебиопаникелит	1	+	Раммельсбергит	12	+++
Герсдорфит	13,14	+++	Саффорит	12	+++
Гетерогенит	3	+++	Седрхольмит	19	+
Гетерогенит-2Н	16	+	Сейняюкит	5	+
Глаукоdot	14	+++	Скуттерудит	11	+++
Годлевскит	7	+	Смайтит	7	+
Дайннгит	6	+	Стениерит	10	++
Джерфишерит	8	++	Талфенисит	8	+
Зигенит	6	++	Тиррелит	6	+
Имгрэит	7	+	Треворит	15	+
Карролит	6	++	Тротталит	13	+
Каттьерит	15	+	Трюстедтит	18	+
Киткаит	5	+	Уайрауит	6	+
Клиносаффорит	12	++	Ульманнит	13,14	++
Кобальтин	13,14	+++	Флетчерит	6	+
Кобальтпентландит	4	++	Фребольдит	5	+
Когенит	19	++	Хаапалаит	19	+
Коринит	6	+	Хастит	19	+
Костибит	14	+	Хизлевудит	5	++
Крутовит	11	+	Хэксонит	18	+
Куллерудит	19	+	Шандит	19	+
Лангисит	14	+	Шмальтин-хлоантит	11	+++
Линнеит	13	+++	Шрейберзит	12	+
Макинавит	2	+++	Эритрин	10	+++
Маттагамит	7	+			

Примечание. + — редкие минералы, ++ — малораспространенные, +++ — распространенные.

1) с низкой твердостью ( $H \leq 100$ , по Моосу 1—3, царапаются медной иглой); 2) со средней твердостью ( $H = 300—500$ , по Моосу 3—5, царапаются стальной иглой и не царапаются медной/; 3) с высокой твердостью ( $H > 500$ , по Моосу  $> 5$ , не царапаются или с большим трудом царапаются стальной иглой). Каждая из выделенных по твердости групп подразделяется на подгруппы с учетом отражения

минералов в сравнении с эталонами (пирит, галенит и сфалерит) и эффекта поляризации. Всего в таблице 19 подгрупп.

Имея в распоряжении данные по  $R$  и  $H$  (абсолютные или относительные) и учитывая эффект поляризации изучаемого минерала, сначала с помощью "ключа" следует отнести его к соответствующей группе и подгруппе таблицы, а затем путем сопоставления с минералами подгруппы по другим свойствам диагностировать его. В подгруппах 1—17 минералы располагаются по убыванию величины  $R$ ; при этом для каждого минерала взято максимальное ее значение при  $\lambda = 589$  нм. В подгруппах 18—19 из-за неполноты сведений о минералах этот принцип не выдерживается.

Для каждого минерала в таблице приведены название, формула, сингония, цвет в отраженном свете, эффект поляризации, коэффициент отражения и двуотражение, внутренние рефлексы, твердость по Моосу и пределы колебаний микротвердости, отношение к диагностическому травлению, морфологические особенности. Знаком крестик показана относительная распространенность минералов. Эффект анизотропии отображен различным подчеркиванием минералов в соответствии с силой этого эффекта. Минералы слабо анизотропные подчеркнуты точечным пунктиром, минералы отчетливо анизотропные — обычным пунктиром и резко анизотропные минералы подчеркнуты сплошной чертой. Минералы изотропные не подчеркнуты.

Некоторые минералы обладают хорошо заметным двуотражением, которое в таблице показано в виде  $\Delta R$ , а также и в числовом выражении. Для некоторых изотропных минералов приведены колебания значения  $R$ , что связано с колебанием состава. Внутренние рефлексы минералов изображены отдельным кружочком. Результаты диагностического травления показаны соответствующей штриховкой каждого из шести секторов, на которые разделен круг по числу реагентов, обычно применяемых в минераграфии. Если реагент не действует на минерал (травление ведется в течение 1 мин.), соответствующий сектор не заштриховывается. Если результаты травления неизвестны, такой кружок в таблице отсутствует. Морфологические особенности минералов и сингония изображены соответствующими знаками. Все сказанное отражено в условных обозначениях к таблице.

К таблице прилагается алфавитный список минералов никеля и кобальта с указанием номера подгруппы, где минерал можно найти. Такие минералы, как кобальтин, герсдорфит, ульманит и мелонит упоминаются в таблице дважды: первые три в связи с тем, что они могут быть как изотропными, так и слабо анизотропными, а мелонит — в связи с сильной анизотропией микротвердости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Боришанская С.С., Виноградова Р.А., Крутов Г.А.* Минералы никеля и кобальта. М.: Изд-во МГУ, 1981.
2. *Боришанская С.С., Виноградова Р.А.* Диагностика минералов никеля и кобальта в отраженном свете (I). — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 31. М.: Наука, 1984.
3. *Боришанская С.С., Виноградова Р.А.* Диагностика минералов никеля и кобальта в отраженном свете (II) — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 30. М.: Наука, 1982.
4. *Виноградова Р.А.* Диагностика минералов никеля и кобальта в проходящем свете. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, вып. 31. М.: Наука, 1984.
5. *Безсмертная М.С.* и др. Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. М.: Недра, 1973.
6. *Вяльсов Л.Н.* Спектры отражения рудных минералов (научно-методическое пособие). М.: ИГЕМ АН СССР, 1973.
7. *Вяльсов Л.Н.* Оптические методы диагностики рудных минералов. М.: Недра, 1976.
8. *Исаенко М.П., Боришанская С.С., Афанасьева Е.Л.* Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете. М.: Недра, 1978.
9. *Лебедева С.И.* Микротвердость минералов. М.: Недра, 1977.