

ЛИТЕРАТУРА

1. Аполлонов В.Н. К вопросу изучения плекситовых ореолов во флюорите. – Зап. Узбек. отд. ВМО, 1970, вып. 21.
2. Баранов Э.Н. О содержании урана во флюоритах. – Геохимия, № 8, 1966.
3. Пишибрам К. Окраска и люминесценция минералов. М.: Изд-во иностр. лит., 1959.
4. Сидоренко Г.А. Радиационная минералогия. – Зап. ВМО, втор. сер., 1978, ч. 107, вып. 4.
5. Vocthen R. F. G., Geis J. F. Solid inklnsion in a fluorite variety from the Wolsendorfer Raue (Bavaria, FRG). – Schweiz. miner. und petrogr. Mitt. 1977, vol. 57, N 1.

УДК 549.086:553.48

С.С. БОРИШАНСКАЯ, Р.А. ВИНОГРАДОВА

ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛОВ НИКЕЛЯ И КОБАЛЬТА  
В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ (II)<sup>1</sup>

При диагностике минералов в отраженном свете, наряду с определением таких оптических свойств, как цвет, относительное отражение, двуотражение, эффект поляризации и внутренние рефлексии, все большее значение приобретает количественное определение коэффициентов отражения ( $R$ , %) в видимой области спектра (в частности, при  $\lambda = 580$  или  $589$  нм) и микротвердости ( $H$ , кгс/мм<sup>2</sup>). Величины  $R$  и  $H$  – ключевые при диагностике – получены для многих минералов [1–5] и используются при составлении таблиц для определения минералов в отраженном свете [6, 7].

В дополнение к предыдущей таблице для определения в отраженном свете минералов никеля и кобальта [8] составлена новая таблица, в которой использованы имеющиеся в литературе данные по отражению и микротвердости 66 минералов никеля и

Структурная и рентгенометрическая характеристика минералов никеля и кобальта, приведенных в определительной таблице

Минерал	Координаты в определит. табл.		Сингония	Пространственная группа
	$R$ , %	$H$ , кгс/мм <sup>2</sup>		
1	2	3	4	5
Аваруит	72	300	Куб.	$O_h^1 - Pm\bar{3}m$
Аллоклазит	51,7	600	Ромб.; возможно, монокл.	$D_2^3 - P2_12_12$
Аннабергит	7,5	80	Монокл.	$C_{2h}^3 - C2/m$
Аргентопентландит	35,9	167	Куб.	$O_h^5 - Fm\bar{3}m$
Биберит	4	40	Монокл.	$C_{2h}^5 - P2_1/c$
Блокит	35	480	Куб.	$T_h^6 - Pa\bar{3}$
Бонаккордит	17,6	1200	Ромб.	$D_{2h}^9 - Pbam$
Бравоит	49	750	Куб.	$T_h^6 - Pa\bar{3}$
Брейтгауптит	51,8	563	Гексагон.	$D_{6h}^6 - P6_3/mmc$
Брэггит	44,8	1020	Тетрагон.	$C_{4h}^2 - P4_2/m$ или $C_4^3 - P4_2$

<sup>1</sup> Первая часть настоящей статьи будет опубликована в вып. 31. *Ред.*

кобальта. Предлагаемая определительная таблица (см. вкл.) составлена в системе координат "отражение ( $R$ , %) — микротвердость ( $H$ , кгс/мм<sup>2</sup>)" по принципу, предложенному С. Бауи и К. Тейлором [9]: по оси ординат в линейном масштабе отложены величины  $R$ , по оси абсцисс — в логарифмическом масштабе величины  $H$ . При этом "точка" минерала отражает максимальную величину  $R$  при  $\lambda = 589$  нм в воздухе и среднее значение  $H$ . Минералы в таблице обозначены кружками. Для каждого минерала приведены название, формула, эффект поляризации, двуотражение, внутренние рефлексии, отношение к травлению стандартными реактивами и морфологические особенности. Эффект анизотропии отображен путем различного подчеркивания названия минерала 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. Наличие внутренних рефлексии у минералов показано пунктирной каймой вокруг кружка. Диагностическое травление минералов показано 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, т.е. остается белым.

Если результаты травления неизвестны, кружок не разделяется на сектора. Морфологические особенности минералов изображены соответствующим знаком. Все это отражено в условных обозначениях к определительной таблице. Наиболее насыщенный минералами участок см. на фрагменте определительной таблицы (вкл.). При составлении таблицы использованы результаты личных наблюдений, а также сведения из монографических, справочных изданий [1–7, 10–13] и отдельных статей.

Параметры ячейки	Характерные линии порошкограммы	Ссылка на литературу
6	7	8
$a_0 = 3,59$	2,06(100); 1,783(30); 1,259(20); 1,073(40)	[3, 13, 14]
$a_0 = 4,66$	2,750(10); 2,469(9); 2,401(5); 1,816(7)	[15–18]
$b_0 = 5,61$	2,750(10); 2,469(9); 2,401(5); 1,816(7)	
$c_0 = 3,40$		
$a_0 = 10,14$	7,77(5); 6,62(7); 3,19(10); 2,998(9);	[7]
$b_0 = 13,31$	1,680(8); 1,649(8); 1,557(9); 1,077(7)	
$c_0 = 4,71$		
$\beta = 104^\circ 15'$		
$a_0 = 10,56$	3,186(6); 2,032(10); 1,863(7); 1,069(2)	[19, 20]
$a_0 = 14,13$	4,87(100); 4,82(55); 3,76(75); 3,71(20);	[7]
$b_0 = 6,55$	2,725(25)	
$c_0 = 11,00$		
$\beta = 105^\circ 05'$		
$a_0 = 5,991$	2,69(10); 2,45(9); 1,814(7)	[5, 13, 18]
$a_0 = 9,213$	4,61(40); 2,548(100); 2,514(100); 1,898(50)	[21]
$b_0 = 12,229$		
$c_0 = 3,001$		
$a_0 = 5,52-5,60$	2,79(10); 2,50(5); 1,687(8)	[5, 18, 22]
$a_0 = 3,93$	2,84(10); 2,06(7); 1,965(6); 1,553(3);	[1–3, 18]
$c_0 = 5,13$	1,074(3)	
$a_0 = 6,383$	2,92(10); 2,63(8); 1,75(8); 1,72(8); 1,43(8);	[11, 23]
$c_0 = 6,593$	1,40(8)	

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Ваэсит	31	815	Куб.	$T_h^6 - Pa3$
Вилламанинит	30	575	Куб.	$T_h^6 - Pa3$
Виллиамит	47,7	700	Куб.	$T^4 - P2_13$
Виоларит	44	458	Куб.	$O_h^7 - Fd3m$
Высоцкит	45	470	Тетрагон.	$C_{4h}^2 - P4_2/m$ или $C_4^3 - P4_2$
Гаухекорнит	46	636	Тетрагон.	$D_{4h}^1 - P4mmm$
Гексастебиопаниксит	60	75	Гекс.	—
Герддорфит	46	554	Куб.	$T_h^6 - Pa3$ или $T^4 - P2_13$ ; иногда псевдокуб. $P1$
Гетерогенит	9	100	Рентгеноаморфен с кристал. фазой стениерита	—
Гетерогент-2Н	23,5	640	Гекс.	$D_{6h}^4 - P6_3/mmc$
Глаукокодот	51,8	911	Ромб.	$D_{2h}^{19} - Cmmm$
Годлевскит	51	397	Ромб.	$D_{2h}^{19} - Cmmm$
Дайингит	42,8	310	Куб.	$O_h^5 - Fm3m$
Джерфишерит	23,5	180	Куб.	
Зигенит	46,7	464	Куб.	$O_h^7 - Fd3m$
Имгрэит	52,4	215	Гексагон.	$D_{6h}^4 - P6_3/mmc$
Карролит	43	463	Куб.	$O_h^7 - Fd3m$
Каттьерит	34	1033	Куб.	$T_h^6 - Pa3$
Киткаит	65	110	Триг.	$D_{3d}^3 - P\bar{3}m1$
Клиносафлорит	55	720	Монокл.	$C_{2h}^5 - P2_1/n$
Кобальтин	53	1100	Куб.	$T_h^6 - Pa3$ или $T^4 - P2_13$ ; иногда псевдокуб. $Pca2_1$
Коринит	47,3	425	Куб.	$T_h^6 - Pa3$
Костибит	45,5	781	Ромб.	$C_{2v}^7 - Pmn2_1$

6	7	8
$a_0 = 5,668$	2,83(10); 2,00(5); 1,707(8); 1,091(6)	[18, 22]
$a_0 = 5,59-5,66$		[24]
$a_0 = 5,878$	2,62(10); 2,40(8); 1,770(7); 1,630(5); 1,570(5)	[11, 25]
$a_0 = 9,46-9,53$	2,85(10); 2,36(5); 1,820(6); 1,674(8)	[5, 18, 26]
$a_0 = 6,371$	2,91(10); 2,86(10); 2,61(8); 1,717(8);	[27]
$c_0 = 6,540$	1,185(8)	
$a_0 = 14,58(7,29)$	4,34(6); 2,79(10); 2,39(7); 2,30(7); 1,861(6)	[28]
$c_0 = 10,80(5,40)$		
$a_0 = 3,98$	2,890(10); 2,109(8); 1,990(7); 1,108(6)	[21]
$c_0 = 5,35$		
$a_0 = 5,66-5,72$	2,51(9); 2,30(8); 1,710(10); 1,508(7); 1,001(6)	[5, 18, 29, 30]
-	Рентгенограмма сходна с таковой стениерита	[31, 32]
$a_0 = 2,855$	4,39; 2,472; 2,158; 1,644; 1,236	[33]
$c_0 = 8,805$		
$a_0 = 6,68$	2,72(10); 2,45(8); 2,43(7); 1,828(9); 1,126(6);	[3, 5, 11]
$b_0 = 4,82$	1,006(6)	
$c_0 = 5,74$		
$a_0 = 9,180$	3,28(5); 2,85(10); 1,803(9); 1,795(8); 1,654(8)	[34]
$b_0 = 11,263$		
$c_0 = 9,457$		
$a_0 = 9,697$	5,71(80); 3,06(80); 2,435(100); 1,869(90); 1,730(70);	[21]
$a_0 = 10,26-10,46$	10,34(5); 5,97(5); 3,118(5); 2,285(7); 2,372(6); 1,828(10)	[35, 36]
$a_0 = 9,43$	2,86(10); 2,36(7); 1,815(6); 1,670(8)	[18, 37]
$a_0 = 3,97$	3,10(3); 2,88(10); 2,09(3); 1,964(5); 1,588(5)	[14, 38]
$c_0 = 5,36$		
$a_0 = 9,477$	2,86(10); 2,37(5); 1,825(6); 1,674(8); 0,994(5)	[4, 5, 12, 13, 18]
$a_0 = 5,523$	2,75(10); 2,46(4); 2,249(3); 1,664(9); 1,065(7)	[18, 22]
$a_0 = 3,716$	2,729(100); 2,007(45); 1,510(35)	[4, 39]
$c_0 = 5,126$		
$a_0 = 5,07$	2,681(53); 2,670(45); 2,534(100); 2,447(45);	[40, 41]
$b_0 = 5,86$	2,438(62)	
$c_0 = 3,16$		
$\beta = 90^\circ 56'$		
$a_0 = 5,56-5,58$	2,78(5); 2,48(10); 2,27(7); 1,676(9); 1,488(5); 0,985(7)	[3, 5, 18, 29]
$a_0 = 5,695$	2,55(10); 2,33(9); 1,71(9); 1,57(7); 1,51(8); 1,09(7); 1,002(7)	[3, 5, 11]
$a_0 = 3,603$	4,85(5); 2,90(6); 2,596(10); 2,503(9); 1,908(8)	[42]
$b_0 = 4,868$		
$c_0 = 5,838$		

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
Крутовит	65,7	630	Куб.	$T^4 - P2_13$
Лангсит	48,2	820	Гекс.	$D_{6h}^4 - P6_3/mmc$
Линнеит	47,7	530	Куб.	$O_h^7 - Fd3m$
Макинавит	47	57	Тетрагон.	$D_{4h}^7 - P4/nmm$
Маттагамит	51,7	400	Ромб.	$D_{2h}^{12} - Pmnn$
Маухерит	51,5	704	Тетрагон.	$D_4^2 - P4_12_12$
Мелонит	65,7	161	Тригон.	$D_{3d}^3 - P\bar{3}m1$
Миллерит	59,7	235	Тригон.	$C_{3v}^5 - R3m$
Моддерит	39,5	212	Ромб.	$D_{2h}^{16} - Pmcn$
Моренозит	4	45	Ромб. (псевдотетр.)	$D_2^4 - P2_12_12_1$
Никелин	55	450	Гекс.	$D_{6h}^4 - P6_3/mmc$
Никель	64	200	Куб.	$O_h^5 - Fm3m$
Никельскуттерудит	57,0	560	Куб.	$T_h^5 - Im3$
Нисбит	60	479	Ромб.	$D_{2h}^{13} - Pnmm$
Паракостибит	48,4	1069	Ромб.	$D_{2h}^{15} - Pbca$
Парараммельсбергит	61,3	780	Ромб.	$D_{2h}^{15} - Pbca$
Паркерит	48	125	Ромб.	$C_{2v}^1 - Pmm2$
Пентландит	54	230	Куб.	$O_h^5 - Fm3m$
Пентландит кобальтовый ("сульфид кобальта")	55	350	Куб.	$O_h^5 - Fm3m$
Пентландит медястый	35,8	142	Куб.	$O_h^5 - Fm3m$
Полидимит	47,3	400	Куб.	$O_h^7 - Fd3m$

6	7	8
$a_0 = 5,794-5,786$	2,897(6); 2,593(10); 2,365(8); 1,746(8); 1,548(6); 1,024(8)	[43, 44]
$a_0 = 3,538$ $c_0 = 5,127$	2,631(10); 1,966(9); 1,770(8); 1,493(4); 1,470(3)	[37]
$a_0 = 9,43$	2,83(10); 2,36(7); 1,815(6); 1,670(8); 0,988(5)	[3, 4, 18]
$a_0 = 3,676$ $c_0 = 5,032$	5,03(10); 2,975(6); 2,301(6); 1,803(5); 1,134(2); 1,055(2)	[1, 2]
$a_0 = 3,866$ $b_0 = 5,305$ $c_0 = 6,289$	2,805(10); 2,703(8); 2,066(6); 1,843(4)	[45]
$a_0 = 6,858$ $c_0 = 21,75$	2,69(9); 2,01(10); 1,713(10); 1,212(6); 1,083(5)	[1-3, 9, 18]
$a_0 = 3,843$ $c_0 = 5,265$	2,82(10); 2,06(5); 1,918(5); 1,549(6)	[1, 5, 18]
$a_0 = 9,62$ $c_0 = 3,16$	2,75(10); 2,50(6); 2,22(6); 1,859(10)	[18, 34]
$a_0 = 3,52$ $b_0 = 5,97$ $c_0 = 5,16$	2,59(90); 2,55(60); 1,97(100); 1,301(50); 1,047(60); 0,927(60)	[14, 46]
$a_0 = 11,8$ $b_0 = 12,0$ $c_0 = 6,81$	5,3(6); 4,20(10); 2,85(4); 2,65(3)	[7]
$a_0 = 3,609$ $c_0 = 5,019$	2,66(10); 1,961(9); 1,811(8); 1,071(4)	[1, 5, 18]
$a_0 = 3,524$	2,03(100); 1,76(42); 1,25(21)	[4, 13, 14, 47]
$a_0 = 8,314$	2,628(10); 2,220(7); 1,860(8); 1,691(7); 1,427(8); 1,092(8)	[43, 48]
$a_0 = 5,162$ $b_0 = 6,303$ $c_0 = 3,839$	2,764(7); 2,699(6); 2,027(6); 1,844(7)	[49]
$a_0 = 5,764$ $b_0 = 5,962$ $c_0 = 11,635$	5,813(8); 2,826(7); 2,654(7); 2,555(10); 2,035(8); 1,852(8)	[49]
$a_0 = 5,75$ $b_0 = 5,82$ $c_0 = 11,428$	2,54(8); 2,51(10); 2,36(6); 1,817(5); 1,731(6); 1,068(5)	[9, 18, 50]
$a_0 = 4,03$ $b_0 = 5,53$ $c_0 = 5,73$	4,02(7); 2,86(10); 2,34(9); 1,807(6); 1,650(7)	[18, 37]
$a_0 = 10,07$ $a_0 = 9,928$	3,04(6); 1,940(4); 1,781(10); 1,027(5) 2,97(100); 1,91(60); 1,75(100); 1,29(80)	[18, 51] [37, 52]
$a_0 = 10,38$	3,129(10); 1,833(10); 1,058(8)	[53]
$a_0 = 9,48$	2,87(10); 2,37(6); 1,825(5); 1,678(8); 0,994(5)	[4, 5, 18]

## Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Раммельсбергит	59,6	655	Ромб.	$D_{2h}^{12} - Pnm$
Саффорит	54	590	Ромб.	$D_{2h}^{12} - Pnm$
Скуттерудит	55	744	Куб.	$T_h^5 - Im\ 3$
Смайтит	46	388	Тригон. (возможно, гекс. или монокл.)	$D_{3d}^5 - R\bar{3}m$
Стениерит	9	300	Тригон.	$D_{3d}^5 - R\bar{3}m$
Тиррелит	44	436	Куб.	$O_h^7 - Fd\ 3m$
Треворит	24	917	Куб.	$O_h^7 - Fd\ 3m$
Уайраунт	54	260	Куб.	$O_h^9 - Im\ 3m$
Ульманнит	45	525	Куб.	$T^4 - P2_1\ 3$
Хизлевудит	57	250	Тригон. (псевдо- кубич.)	$D_3^7 - R\ 32$
Шмальтин- хлоантит	55,5	525	Куб.	$T_h^5 - Im\ 3$
Эритрин	10	110	Монокл.	$C_{2h}^3 - c2/m$
Кроме того на фрагменте определительной табл. (вкл.)				
Вестервелдит	51,4	750	Ромб.	$D_{2h}^{16} - Pmcn$
Маякит	55,2	520	Гексагон.	$D_{3h}^3 - P\bar{6}2m$
Флетчерит	45,3	446	Куб.	$O_h^7 - Fd\ 3m$

В последнее время минераграфические исследования все чаще сочетаются с микро-рентгеновским анализом — получением дебаеграммы минерала из микрообъема вещества (порошок минерала выщарпывается из аншлифа или металлической иглой, или алмазной пирамидкой на микротвердометре ПМТ-3 и закатывается в шарик из резинового клея, который снимается в камере РКД-57 или РКУ-114 в соответствующем рентгеновском излучении). Использование рентгенометрических характеристик минерала параллельно с изучением его оптических свойств оказалось весьма эффективным при диагностике минералов в отраженном свете. В связи с этим в качестве дополнения к определительной табл. предлагается таблица, в которой для тех же минералов приводятся структурные и рентгенометрические данные (см. с. 32).

6	7	8
$a_0 = 4,79$ $b_0 = 5,79$ $c_0 = 3,54$	2,84(5); 2,56(10); 2,49(8); 1,877(7)	[3, 5, 18]
$a_0 = 5,175$ $b_0 = 5,950$ $c_0 = 3,015$	2,60(10); 2,57(10); 2,38(10); 1,862(7); 1,654(7)	[1, 5, 18]
$a_0 = 8,213$	2,600(10); 2,195(8); 1,837(8); 1,677(6); 1,611(8); 1,078(7)	[3, 48]
$a_0 = 3,47$ $c_0 = 34,4$	2,56(6); 2,26(6); 1,979(7); 1,897(8); 1,732(10); 1,427(6)	[54]
$a_0 = 2,86$ $c_0 = 13,20$	4,55(5); 2,36(5); 1,84(3); 1,45(4); 1,38(3)	[7, 31, 32]
$a_0 = 10,005$	3,03(6); 2,89(7); 2,50(9); 1,929(1); 1,768(10)	[18, 55]
$a_0 = 8,32$	2,50(10); 1,598(5); 1,473(7); 1,087(4)	[18, 56]
$a_0 = 2,86$		[57]
$a_0 = 5,92-5,98$	2,64(10); 2,40(6); 1,774(7); 1,573(5)	[1, 3-5, 18]
$a_0 = 5,742$ $c_0 = 7,139$	4,11(5); 2,88(9); 2,04(5); 1,828(10); 1,817(10); 1,661(8)	[3, 18, 58]
$a_0 = 8,236-8,294$	2,585(10); 2,192(8); 1,841(10); 1,677(9); 1,608(10); 1,409(9); 1,080(8)	[3, 5, 59]
$a_0 = 10,20$ $b_0 = 13,37$ $c_0 = 4,74$ $\beta = 105^{\circ}01'$	8,52(4); 6,85(7); 3,23(0); 3,010(10); 2,729(8); 2,319(7); 1,679(6); 1,042(6)	[7]
	Кроме того в табл. 1,а:	
$a_0 = 3,45$ $b_0 = 5,97$ $c_0 = 5,33$	2,991(5); 2,604(8); 2,083(2); 1,988(4); 1,725(3)	[60]
$a_0 = 6,066$ $c_0 = 7,20$	2,65(10); 2,30(5); 2,19(7); 1,988(10)	[61]
$a_0 = 9,520$	2,87(ср.); 2,39(ср.); 1,83(сильн.); 1,68(ов.сил.); 1,37(ср.); 1,24(ср.)	[62]

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Безмертная М.С., Чвилева Т.Н., Агроскин Л.С., Бочек Л.И. и др. Определение рудных минералов в полированных шлифах по спектрам отражения и твердости. М.: Недра, 1973.
2. Безмертная М.С., Чвилева Т.Н. Определитель рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1976.
3. Вьяльсов Л.Н. Спектры отражения рудных минералов (научно-методическое пособие). М.: ИГЕМ АН СССР, 1973.
4. Uytendogaardt W., Burke E.A. Tables for microscopic-identification of ore minerals. - Elsevier publishing Company, Amsterdam, London, New York, 1971.
5. Лебедева С.И. Микротвердость минералов. М.: Изд-во АН СССР, 1963; 1977.
6. Исаенко М.П., Боришанская С.С., Афанасьева Е.А. Определитель главнейших минералов руд в отраженном свете. М.: Недра, 1972; 1978.
7. Афанасьева Е.А., Исаенко М.П. Определитель гипергенных минералов окисленных сульфидных руд в отраженном свете. М.: Недра, 1974.
8. Боришанская С.С., Виноградова Р.А. Диагностика минералов никеля и кобальта в отраженном свете (I). - В кн.: Новые данные о минералах СССР. М., Наука, 1982, вып. 30.
9. Бауи С.Х.У., Тейлор К. Определитель рудных

- минералов. — В кн.: Труды 2-ой международной конференции по мирному использованию атомной энергии. М.: Атомиздат, 1959, т. 8, вып. 2.
10. *Рамдор П.* Рудные минералы и их сростания. М.: Изд-во иностр. лит., 1962.
  11. Минералы. Справочник. М.: Изд-во АН СССР, 1960, т. 1.
  12. *Юшко С.А.* Методы лабораторного исследования руд. М.: Недра, 1966.
  13. *Юшко С.А., Юшко-Захарова О.Е., Лебедева С.И., Максимюк И.Е.* Диагностические свойства рудных минералов. М.: Недра, 1975.
  14. *Strunz H.* Mineralogische Tabellen. Leipzig, 1970.
  15. *Крутов Г.А., Виноградова Р.А., Рудашевский Н.С.* Аллоклазит в рудах никель-кобальтовых месторождений района Бу-Аззер (Марокко). — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1976, № 12.
  16. *Kingston P.W.* On alloclasite, a Co-Fe-sulpharsenide. — *Canad. Miner.*, 1971, vol. 10, pt. 5.
  17. *Scott J.D., Nowacki W.* The crystal structure of alloclasite, CoAsS, and the alloclasite — cobaltite transformation. — *Canad. Miner.*, 1976, vol. 14, N 4.
  18. *Berry L.G., Thompson R.M.* X-ray powder data for ore minerals: the Peacock atlas. — *Geol. Soc. Amer., N.Y.*, 1962, vol. 85.
  19. *Шишкин Н.Н., Митенков Г.А., Михайлова В.А., Рудашевский Н.С.* и др. Богатая серебром разновидность пентландита. — *Зап. Всесоюз. минер. об-ва*, 1971, № 2.
  20. *Рудашевский Н.С., Митенков Г.А., Карпенков А.М., Шишкин Н.Н.* Серебросодержащий пентландит  $Ag(Fe, Ni)_2S_8$  — самостоятельный минеральный вид аргентопентландит. — *Зап. Всесоюз. минер. об-ва*, 1977, вып. 6.
  21. *Яковлевская Т.А.* Новые минералы. XXXI. — *Зап. Всесоюз. минер. об-ва*, 1977, вып. 1.
  22. *Demirsoy S.* Untersuchungen über den Einfluss der chemischen Zusammensetzung auf die spektralen Reflexionsfunktionen und Microeindruckhärten im System  $FeS_2-NiS_2-CoS_2$ , an Zonen eines natürlichen Bravoiit-Kristalls. — *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.*, 1969, N 7.
  23. *Cabri I.J.* The mineralogy of the platinum group elements. — *Mineral. Sci. Engng.*, 1972, vol. 4, N 3.
  24. *Yrta P.J.M., Evers H.J., Woensdregt C.F.* Mineralogy and geology of the Providencia mine (Leon, Spain), type-locality of villamaninite. — *Neues Jahrb. Mineral. Monatsh.*, 1968, N 6.
  25. *Cabri L.J., Harris D.C., Stewart J.M., Rowland J.E.* Willyamite redefined. — *Proc. Austral. Inst. Mining and Met.*, 1970, N 233.
  26. *Виноградова Р.А., Округин В.М., Свешникова О.Л., Сошкина Л.Т.* Виоларит из медно-никелевого месторождения Шануч на Камчатке. — В кн.: Новые данные о минералах СССР. М.: Наука, 1978, вып. 27.
  27. *Генкин А.Д., Звягинцев О.Е.* Высоцкит — новый сульфид палладия и никеля. — *Зап. Всесоюз. минер. об-ва*, 1962, вып. 6.
  28. *Gait R.J., Harris D.C.* Nauchecornite — antimonian, arsenian and tellurian varieties. — *Canad. Miner.*, 1972, vol. 11, N 4.
  29. *Bayliss P.* X-ray data, optical anisotropism and thermal stability of cobaltite, gersdorffite and ullmannite. — *Mineral. Mag.*, 1969, vol. 37, N 285.
  30. *Виноградова Р.А., Еремин Н.И., Крутов Г.А.* Герддорфит из месторождений района Бу-Аззер (Марокко). — *Вестник МГУ. Сер. геол.*, 1974, № 5.
  31. *Яхонтова Л.К.* Минералогия и генезис зоны окисления арсенидных никель-кобальтовых месторождений (на примере Ховуаксинского рудного поля). — Автореф. докт. дисс. М.: Изд-во МГУ, 1972.
  32. *Deliens M.* Les oxydes hydrates de cobalt du Shaba meridional (Republique du Zaïre). — *Ann. Mus. roy Afr. cent.*, 1974, N 76.
  33. *Deliens M., Coethals H.* Polyttypism of heterogenite. — *Miner. Mag.*, 1972, v. 39, N 302.
  34. *Кулагов Э.А., Евстигнеева Т.Л., Юшко-Захарова О.Е.* Новый сульфид никеля — годлевскит. — *Геол. рудн. месторожд.*, 1969, т. 11, № 3.
  35. *Добровольская М.Г., Цепин А.И., Вьяльсов Л.Н.* и др. Об изоморфизме железа, никеля и меди в джерфшиерите. — В кн.: Изоморфизм в минералах. М., Наука, 1975.
  36. *Белов Н.В.* Очерки по структурной минералогии. XXVII. 177. Джерфшиерит  $K_2Mg(Fe, Cu)_2S_2Cl$  — Минерал. сб. Львов. ун-та, 1976, № 30, вып. 1.
  37. *Petruk W., Harris D.C., Stewart J.M.* Langisite, a new mineral and the rare minerals cobalt-pentlandite, siegenite, parkerite and bravoite from the Langis mine. — *Canad. Miner.*, 1969, vol. 9, pt. 5.
  38. *Юшко-Захарова О.Е.* Новый минерал — теллурид никеля. — *Докл. АН СССР*, 1964, т. 154, № 3.
  39. *Häkli T.A., Vuorelainen Y., Sahama Th.G.* Kitkaite (NiTeSe), a new mineral from Kuusamo, Northern Finland. — *Amer. Miner.*, 1965, vol. 50, N 5—6.
  40. *Виноградова Р.А., Еремин Н.И., Брызгалов И.А.* Природный диарсенид кобальта. — *Геол. рудн. месторожд.*, 1971, № 2.
  41. *Radcliffe D., Berry L.G.* Clinosafflorite: a monoclinic polymorphe of safflorite. — *Canad. Miner.*, 1971, vol. 10, N 5.
  42. *Cabri L.J., Harris D.C., Stewart J.M.* Costibite (CoSbS), a new mineral from Broken Hill, N.S.W., Australia. — *Amer. Miner.*, 1970, vol. 55, N 1—2.
  43. *Виноградова Р.А., Рудашевский Н.С., Бudyко И.А.* и др. Крутовит — новый кубический диарсенид никеля. — *Зап. Всесоюз. минер. об-ва*, 1976, ч. 105, вып. 1.
  44. *Виноградова Р.А., Рудашевский Н.С., Бочек Л.И., Бudyко И.А.* Первая находка крутовита в СССР. — *Докл. АН СССР*, 1976, т. 230, № 4.
  45. *Thorpe R.J., Harris D.C.* Mattagamite and tellurantimony, two new telluride minerals from Mattagami Lake Mine, Mattagami area, Quebec. — *Canad. Miner.*, 1973, vol. 12, N 1.
  46. *Махмудов А.И., Лапутина И.П.* Первая находка моддерита в СССР. — *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва*, 1977, ч. 106, № 3.
  47. *Рамдор П.* О широко распространенном парагенезисе рудных минералов, возникающих при серпентинизации. — *Геол. рудн. месторожд.*, 1967, т. 9, № 2.
  48. *Рудашевский Н.С., Шишкин Н.Н., Бudyко И.А.* и др. Крайний никелевый член изоморфного ряда  $CoAs_3-NiAs_3$ . — *Зап. Всесоюз. минерал. об-ва*, 1975, ч. 104, № 2.
  49. *Cabri L.J., Harris D.C., Stewart J.M.* Paracostibite (CoSbS) and nisbite (NiSb<sub>2</sub>), new minerals from the Red Lake area Ontario, Canada. — *Can. Miner.*, 1970, vol. 10, N 2.
  50. *Виноградова Р.А., Боришанская С.С., Еремина Н.И., Вьяльсов Л.Н.* Парараммельсбергит из Баракульского месторождения (первая

- находка в СССР). — Зап. Всесоюз. минерал. о-ва 1974, ч. 103, вып. 1.
51. Митенков Г.А., Шишкин Н.Н., Михайлова В.А. и др. Новые данные о пентландите. — В кн.: Минералы и парагенезисы минералов рудных месторождений. Л.: Наука, 1973.
52. Stumpfl E.F., Clark A.M. A natural occurrence of  $\text{Co}_2\text{S}_3$ , indentified by X-ray microanalysis. — Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., 1964, N. 8.
53. Митенков Г.А., Будько И.А., Михайлова В.А. и др. Медистый пентландит в рудах Талнахского месторождения. — Зап. Всесоюз. минер. об-ва, 1970, ч. 99, вып. 6.
54. Nickel E.H., Harris D.C. Reflectance and microhardness of smythite. — Amer. Miner., 1971, vol. 56, N 7—8.
55. Harris D.C. New data of tyrellite. — Canad. Miner., 1970, vol. 10, N 4.
56. Waal de S.A. Nickel minerals from Barberton, South Africa. V. Trevorite, redescribed. — Amer. Miner., 1972, vol. 57, N 9—10.
57. Challis G.A., Long J.V.P. Wairauite—a new cobalt-iron mineral. — Miner. Magaz., 1964, vol. 33, N 266.
58. Кулагов Э.А., Изоитко В.М., Митенков Г.А. Хизлевудит в сульфидных медно-никелевых рудах Талнахского месторождения. — Докл. АН СССР, 1967, т. 176, № 4.
59. Годовиков А.А. О зависимости параметра решетки минералов группы скуттерудита от химического состава. — Тр. Минерал. музея АН СССР, 1959, вып. 10.
60. Oen J.S., Burke E.A.J., Kieft C., Westerhof A.S. Westerveldite,  $(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Co})\text{As}$ , a new mineral from La Gallega, Spain. — Amer. Miner., 1972, vol. 57, N 3—4.
61. Генкин А.Д., Евстигнеева Т.Л., Тронева Л.Н., Вьяльсов Л.Н. Маякит  $\text{PdNiAs}$  — новый минерал из медно-никелевых сульфидных руд. — Зап. Всесоюз. минерал. об-ва, 1976, ч. 105, вып. 6.
62. Craig J.R., Carpenter A.B. Fletcherite,  $\text{Cu}(\text{Ni}, \text{Co})_2\text{S}_4$ , a new thiospinel from the Viburnum Trend (new lead belt). Missouri. — Econ. Geol., 1977, vol. 72, N 3.

УДК 548.5

Н.А. БУЛЬЕНКОВ, Е.С. ЛЕВШИН, Х.И. МАКЕЕВ

### ОСОБЕННОСТИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ КОРУНДА, ВЫРАЩЕННЫХ МЕТОДОМ ЧОХРАЛЬСКОГО

Закономерное распределение дислокаций в кристаллах, часто называемое дислокационной структурой, определяется структурными особенностями и анизотропией упругих свойств их матриц, проявляющимися в виде определенных систем скольжения дислокаций, а также специфичными для каждого метода выращивания тепловыми условиями, от которых зависит распределение термических напряжений в объеме кристалла. Дислокационная структура весьма определенно связана с распределением в кристалле термических напряжений, которые способны вызвать пластическую деформацию по определенным системам скольжения, характерным для данного кристалла. Таким образом, в кристаллах с плотностью дислокаций, обеспечивающей рентгенотопографическую идентификацию их параметров и, следовательно, с достаточно малыми термическими напряжениями, для проявления которых ориентационный фактор Шмида [1] является решающим, вполне возможно определить характер распределения скальвающих термических напряжений, а также преимущественные направления отвода тепла в объеме кристалла на разных стадиях роста.

Такая постановка вопроса применительно к выращиванию относительно совершенных кристаллов тугоплавких веществ вполне уместна, так как изучать непосредственно (с измерениями температуры, градиентов [2]) тепловые особенности этих процессов практически не представляется возможным.

Для решения поставленной таким образом задачи необходимо последовательно выполнить следующие четыре этапа:

1) определить основные системы скольжения с учетом структурных особенностей и анизотропии упругих свойств матрицы;

2) теоретически определить зоны предпочтительных ориентаций приведенных термических напряжений, способных вызвать образование дислокаций в основных системах скольжения, при заданном направлении выращивания;

3) рентгенотопографически выявить дислокационную структуру, определить параметры дислокаций в определенных сечениях и установить соответствие наблюдаемой дислокационной структуры с теоретически установленным распределением зон ориентации термических напряжений, в которых наиболее вероятно образование дислокаций с требуемыми параметрами;

4) по установленной степени соответствия теоретического и экспериментального распределения дислокаций в кристаллах определить преобладающие ориентации скальвающих термических напряжений и общую направленность тепловых потоков в кристалле.