

20. *Костов И.* Геохимический принцип в классификации минералов. — В кн.: Проблемы геохимии. М.: Изд-во АН СССР, 1965.
21. *Stenbeck St.* Röntgenanalyse der Legierungen von Quecksilber mit Silber, Gold und Zinn. — Ztschr. anorg. Chem., 1933, Bd. 214, N 1.
22. *Pearson W.B.* The crystal chemistry and physics of metals and alloys. N.Y.; L., 1972.
23. *Чушлева Т.Н.* Влияние примесей на оптические и некоторые другие свойства блеклых руд. — В кн.: Исследования в области рудной минералогии. М.: Наука, 1973.
24. *Хачатурян А.Г.* Теория фазовых превращений и структура твердых растворов. М.: Наука, 1974.
25. *Iwasaki H.* The crystal structure of  $Au_4Zn$ . — J. Phys. Soc. Jap., 1962, vol. 17.
26. *Чушлева Т.Н., Клейнбок В.Е., Безмертная М.С.* Цвет рудных минералов в отраженном свете. М.: Недра, 1977.

УДК 549.744.12 (574)

В.И. СТЕПАНОВ, Г.Г. ШУЛЬГА, А.В. БЫКОВА,  
Э.М. СПИРИДОНОВ, Б.Ф. ХРОМЫХ

### АКЦЕССОРНЫЙ СИНХИЗИТ ИЗ ЩЕЛОЧНЫХ ГРАНИТОВ ШАНШАЛЬСКОГО ИНТРУЗИВА (Центральный Казахстан)

Синхизит первоначально установлен Г. Флинком в пустотах щелочных пегматитов в Нарсарсуке в Южной Гренландии [1]. Позднее в аналогичных условиях он часто наблюдался в Сент Илере (Канада) [2]. Характерна ассоциация синхизита с торитом в Паудерхорн (Колорадо, США) [2] и с паризитом в измененных трахитах у Пиритес в графстве Равалли, Монтана и в пегматитах щелочных гранитов у Баллоу, Куинси, Массачузетс, США [3]. Известны находки синхизита в оловянных рудах Заайплаатс в Трансваале [4]. Он также найден в анкеритовых карбонатитах Африки [5]–[7]. Наиболее часто синхизит в виде одиночных мелких кристаллов указывался среди минералов открытых трещин в метаморфических породах Альп [8]–[12]. Во всех случаях он обнаруживался в виде одиночных, очень мелких кристаллов, обычно совместно с кальцитом, доломитом, сидеритом или баритом как самый поздний гидротермальный минерал в ассоциации с разнообразными более ранними минералами. Описывались синтаксические сростки синхизита с паризитом, рентгенитом и бастнезитом [13, 9]. Известна необычная находка синхизита в гаверсовых каналах ископаемых ребер динозавров из Монголии [14].

В отличие от зарубежных находок на территории СССР гораздо чаще обнаруживался доверит — иттриевый аналог синхизита [15]–[18]. Доверит почти всегда является вторичным минералом, заместившим иттрофлюорит или гагаринит, и местами наблюдается в значительном количестве. Синхизит в СССР впервые обнаружен А.П. Хомяковым в железорудном месторождении Карасуг (Тува) [19]. Позднее О.Б. Дудкин и И.Ю. Меньшиков описали синхизит из карбонатных и кальцит-биотитовых прожилков

Т а б л и ц а 1

Оптические свойства синхизита и доверита

Месторождение, автор	Осность	Оптический знак	$n_e$	$n_o$	Минерал
Нарсарсук, Гренландия, [3]	Одноосный	+	1,770	1,674	Синхизит (?)
Трансвааль, [4]	То же	+	1,744	1,644	Синхизит
Валь Налпс, Швейцария, [8]	"	+	1,74	1,649	"
4 месторождения по [13]	"	+	1,740– 1,745	1,641– 1,650	"
Друкшах, Швейцария, [9]	"	+	1,750	1,649	"
Хибины, А.П. Хомяков, 1979 г. (новые данные)	"	+	1,75	1,650	"
В.И. Степанов, 1979 г., Северный Казахстан (новые данные)	"	+	1,747	1,645	"
Северная Киргизия, [15]	"	+	1,72	1,63	Доверит
Котопакси, США, [26]	"	+	1,730	1,643	"
Украина, [16]	"	+	1,748	1,650	Синхизит (?)
Мюзо, Колумбия, [22]	"	+	1,771	1,672	Паризит

Таблица 2  
Рентгенограммы синхизита и доверита

Синхизит										
Офтедаль, Нарсарсук			Смит, Куинси, США			Лозиньский, Монголия			Меньшиков, Хибины	
$I_0$	$d$	$hkl$	$I_0$	$d$	$hkl$	$I_0$	$d$	$hkl$	$I_0$	$d$
—	—	—	10	9,1	001	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	6	4,55	002	2	4,55	0002	8	4,47
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	3,56	10 $\bar{1}$ 0	10	3,56	110	10	3,56	11 $\bar{2}$ 0	8	3,52
—	—	—	2	3,49	—	—	—	—	—	—
—	—	—	6	3,31	111	10	3,31	11 $\bar{2}$ 1	1	3,28
—	—	—	4	3,07	003	7	3,087	0003	—	—
—	—	—	4	3,04	—	2	3,053	—	2	3,037
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	2,807	10 $\bar{1}$ 1	10	2,81	112	—	2,81	11 $\bar{2}$ 2	10	2,789
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	1	2,42	—	—	—	—	1	2,404
—	—	—	4	2,31	113	2	2,292	11 $\bar{2}$ 3	—	—
—	—	—	4	2,28	004	2	2,276	0004	4	2,282
—	—	—	2	2,23	—	—	—	—	—	—
—	—	—	2	2,15	—	—	—	—	1	2,108
9	2,051	11 $\bar{2}$ 0	8	2,05	200	2	2,052	30 $\bar{3}$ 0	10	2,051
—	—	—	4	2,002	131	1	1,196	03 $\bar{3}$ 1	3	1,195
6	1,922	10 $\bar{1}$ 2	6	1,918	024	10	1,926	11 $\bar{2}$ 4	10	1,922
7	1,868	1121	8	1,870	132	—	—	—	8	1,872
—	—	—	—	—	—	7	1,873	—	—	—
—	—	—	2	1,821	005	—	—	—	—	—
2	1,775	20 $\bar{2}$ 0	4	1,781	040	3	1,783	22 $\bar{4}$ 0	2	1,778
—	—	—	4	1,749	221	—	—	—	—	—
—	—	—	4	1,704	—	—	—	—	—	—
7	1,653	—	6	1,658	042	—	—	—	4	1,658
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	1,525	20 $\bar{2}$ 1	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	1,404	11 $\bar{2}$ 2	—	—	—	—	—	—	6	1,404
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1,343	20 $\bar{2}$ 2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	1,288	21 $\bar{3}$ 1	—	—	—	—	—	—	8	1,292
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

в керне скважины в восточной части Хибинского щелочного массива [20]. По сообщению А.П. Хомякова, синхизит обнаружен в большом количестве в прожилках, секущих карбонатиты в керне скважины того же участка Хибинского массива, что и предыдущая находка. Имеются недостаточно обоснованные указания об акцессорном синхизите в протолочках биотитовых гранитов Чайдарозского массива Зиаэтинских гор в Узбекистане [21].

Необходимо отметить, что и в указанных выше случаях синхизит часто недостаточно надежно диагностирован. Для этой цели обычно использовались оптические константы и неполные рентгенограммы. В справочниках приведены, видимо, ошибочные показатели преломления синхизита из Нарсарсука, по данным Г. Флинка, которые точно соответствуют константам паризита из Мьюзо (Колумбия) [22]—[24]. Эта ошибка вполне понятна в свете позднее установленного синтаксического срастания синхизита и

Доверит									
Семенов, Северная Киргизия		Смит, Довер, США			Левинсон, Кото-пакси		Гуров, Украина		
$I_0$	$d$	$I_0$	$d$	$hkl$	$I_0$	$d$	$I_0$	$d$	$hkl$
—	—	8	9,1	001	5	9,0	—	—	—
—	—	—	—	—	0,5	5,6	—	—	—
—	—	6	4,55	002	5	4,50	4	4,49	0002
—	—	—	—	—	—	—	1	4,15	—
7	3,46	10	3,53	110	7	3,47	10	3,47	1120
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	4	3,30	111	1	3,22	2	3,22	1121
5	3,13	4	3,05	003	—	—	1	3,15	—
—	—	—	—	—	4	3,00	6	3,02	—
3	2,86	—	—	—	—	—	—	—	—
10	2,74	10	2,80	112	8	2,75	10	2,74	1122
—	—	—	—	—	1	2,62	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	1	2,48	—
—	—	2	2,30	113	—	—	—	—	—
5	2,25	4	2,28	004	3	2,25	2	2,26	0004
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	2,14	—	—	—	—	—	—	—	—
1	2,06	8	2,04	200	0,5	2,04	3	2,08	—
10	1,998	1	1,995	131	9	2,00	8	2,00	3030
6	1,935	8	1,916	024	6	1,935	1	1,926	—
10	1,889	6	1,863	132	1	1,86	8	1,889	1124
—	—	—	—	—	—	—	5	1,883	3032
7	1,827	—	—	—	1	1,83	—	—	—
—	—	6	1,772	040	—	—	—	—	—
2	1,731	3	1,727	221	2	1,73	—	—	—
—	—	—	—	—	1	1,70	—	—	—
2	1,655	4	1,647	042	1	1,66	1	1,664	3140
—	—	—	—	—	0,5	1,64	—	1,648	—
3	1,621	—	—	—	6	1,62	—	1,617	2242
—	—	3	1,512	204	—	—	1	1,526	—
3	1,496	—	—	—	6	1,49	2	1,499	3034
—	—	4ш	1,395	224	—	—	—	—	—
7	1,377	—	—	—	9	1,37	3	1,377	—
—	—	—	—	—	1	1,34	—	—	—
3	1,315	—	—	—	1	1,31	—	—	—
—	—	4ш	1,282	242	0,5	1,28	2	1,264	4152
7	1,259	—	—	—	7	1,26	—	—	—
3	1,201	3ш	1,216	206	4	1,20	2	1,203	—
2	1,156	—	—	—	—	—	2	1,150	—
2	1,134	—	—	—	—	—	—	1,132	—

Т а б л и ц а 3 Химический анализ синхизита из Казахстана

Компо- нент	Вес. %	Атомн. колич.	Отноше- ния атомн. колич.	Компо- нет	Вес. %	Атомн. колич.	Отноше- ния атомн. колич.
CaO	17,45	0,311166	1,01	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,34	0,007325	0,02
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,20	0,141361	0,46	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,63	—	—
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,90	0,066908	0,22	CO <sub>2</sub>	27,30	0,620314	2,01
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,97	0,059261	0,19	F	6,00	0,315823	1,02
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,60	0,015766	0,05	Сумма	102,38	—	—
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,67	0,009578	0,03	O=F <sub>2</sub>	2,50	—	—
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,31	0,007228	0,02		99,88	—	—

Таблица 4

Рентгенограмма синхизита Шаншальского интрузива Центрального Казахстана

№ пп	$I^1$	$I$	$d_{\alpha}$ , Å <sub>изм</sub>	Гексагональная ячейка		Моноклинная ячейка, $\beta = 90^\circ$	
				$hkl_H$	$d_{\alpha}$ , Å <sub>рассчит</sub>	$hkl_M$	$d_{\alpha}$ , Å <sub>рассчит</sub>
1	—	1	18,3	0,03	18,17	—	—
2	6ш	33	9,11	006*	9,08	001	9,08
3	—	3	7,29	?	—	010	7,10
4	—	4	5,62	104*	5,602	011	5,59
5	3	31	4,54	108; 0.0.12*	4,563; 4,542	002*	4,541
6	0,5	7	4,085	1.0.10*	4,078	100*	4,092
7	3	5	3,826	1.0.11	3,857	012*	3,825
8	8	84	3,546	110*	3,548	020*; 110*	3,547; 3,545
9	6	43	3,304	116*; 1.0.14	3,305; 3,289	021*; 111*	3,304; 3,302
10	5	16	3,021	203; 0.018*	3,029; 3,028	033*	3,028
11	9	58	2,796	208; 1.1.12*	2,801; 2,796	022*; 112*	2,796; 2,794
12	—	2	2,369	1.1.17; 0.0.23*	2,379; 2,370	030*	2,365
13	—	10	2,302	213*; 1.1.18*; 1.0.22	2,304; 2,303; 2,298	113*	2,303
14	1	11	2,270	215*; 0.0.24*	2,272; 2,271	004*	2,271
15	10	100	2,045	302*; 2.0.20	2,043; 2,039	130*; 200*	2,048; 2,046
16	3	8	1,997	306*; 2.1.14	1,998; 1,995	131*	1,997
17	8	23	1,914	1.0.27; 1.1.24*	1,918; 1,913	024*; 114*	1,912
18	8	25	1,866	3.0.12*	1,867	132*; 033*	1,867; 1,864
19	2	2	1,816	0.0.30*	1,817	005*	1,816 <sub>5</sub>
20	3	16	1,772	220, 221*; 222	1,774; 1,773; 1,770	040*; 220*	1,773 <sub>5</sub> ; 1,772 <sub>5</sub>
21	3	17	1,738	1.0.30*; 226*	1,742; 1,741	221*	1,739 <sub>5</sub>
22	—	9	1,696	313*; 3.0.18*; 2.1.22	1,697; 1,697; 1,694	133*	1,696
23	7	22	1,652	318*; 2.2.12*; 0.0.33*	1,653; 1,652; 1,652	042*; 222*	1,652; 1,651
24	0,5	2	1,616	1.1.30 <sup>+</sup> ; 2.2.14	1,617; 1,614	025*; 115*	1,617; 1,616 <sub>5</sub>
25	4	8	1,513	406*; 0.036*	1,515; 1,514	006*	1,514
26	5	14	1,394	326*; 1.1.36*	1,393; 1,393	026*	1,393
27	3	10	1,341 <sub>5</sub>	3.1.25; 410*	1,343; 1,341	240*	1,340
28	1	10	1,326	416*; 3.2.14*	1,326 <sub>5</sub> ; 1,325 <sub>5</sub>	241*; 311	1,326; 1,325
29	—	1	1,297	0.0.42*	1,298	007*	1,297 <sub>5</sub>
30	6	20	1,286	4.1.12*; 3.0.33*	1,286; 1,286	152*; 242*; 053*; 312*	1,286; 1,285 <sub>5</sub> ; 1,285; 1,285
31	2	8	1,182 <sub>5</sub>	3.2.25; 330*	1,1838; 1,1826	060*	1,1825

32	—	7	1,181	332*	1,1815	330*	1,1816
33	—	6	1,172 <sub>5</sub>	4.0.30; 336*; 5.0.14*; 2.0.43	1,1731; 1,1727; 1,1720; 1,1718	323*; 061*; 331*	1,1736; 1,1726; 1,1717
34	0,5	1	1,167	3.1.34; 4.1.23	1,1677; 1,1670	127*; 250*	1,1679; 1,1660
35	6	2	1,151	426*; 2.2.36*; 3.3.11	1,1519; 1,1516; 1,1503	046*; 226*	1,1514; 1,1511
36	4	19	1,1441	427*; 3.3.12*	1,1448; 1,1444	062*; 332*	1,1443; 1,1435
37	—	2	1,1349	4.2.10; 0.0.48*; 3.0.40*	1,1358; 1,1355; 1,1345	008*	1,1353
38	—	2	1,1273	3.2.29*; 2.0.45*	1,1277; 1,1268	252	1,1294
39	2ш	1	1,1101	5.0.21*; 3.3.17	1,1107; 1,1095	324*	1,1105
40	2ш	2	1,0958	3.0.42; 516*	1,0962; 1,0956	137*	1,0960
41	—	1	1,0365	5.1.18*	1,0369	254*	1,0372
42	—	3	1,0093	609*; 432*; 0.0.54*	1,0098; 1,0095; 1,0093 <sub>5</sub>	009*	1,0092
43	7ш	4	1,0040	436*; 4.1.36	1,0040; 1,0038	156*	1,0036 <sub>5</sub>
44	—	4	1,0029	2.1.49; 6.0.11*	1,0032; 1,0029	316*	1,0031 <sub>5</sub>
45	—	3	0,9943	6.0.13	0,9949	237*	0,9942 <sub>5</sub>
46	—	3	0,9912	4.1.37; 4.0.42; 3.3.30*	0,9916; 0,9914; 0,9911	065*	0,9910
47	—	3	0,9905	6.0.14*	0,99044	335*	0,99048
48	—	4	0,9838	520*	0,98396	218*	0,98316
49	—	4	0,9821	523*; 4.3.13*	0,98252; 0,98210	420	0,98297
50	—	3	0,9816	524*; 3.3.31	0,98140; 0,98127	255	0,98125
51	—	4	0,9778	526*	0,97823	421	0,97726
52	—	3	0,9768	527	0,97620	344	0,97624
53	—	5	0,9618	5.2.12*; 3.3.33	0,96165; 0,96153	073	0,96112

$a_0, \text{Å}$	7,095	4,092
$b_0, \text{Å}$	—	7,095
$c_0, \text{Å}$	54,50 <sub>6</sub>	9,083
$V, \text{Å}^3$	3168	263,7

Примечания. Индексирование проведено аналитическим способом; параметры элементарной ячейки рассчитаны МНК по величинам межплоскостных расстояний, помеченных " + "; аналитик Э.М. Спиридонов.

Условия съемки: дифрактометр ДРОН-1,5, Cu-антикатод, Ni-фильтр;  $1^\circ \theta_{\text{Cu}} = 4$  см на диаграммной ленте; внутренний стандарт NaCl  $a_0 = 5.421 \text{ Å}$ .  $I^1$ -интенсивности по визуальной 10-балльной шкале по дебаеграмме,  $\lambda \text{ Fe}$  (В.И. Степанов).

Таблица 5

Параметры элементарной ячейки синхизита (1-6) и доверита (7-10)

Месторождение, автор	Моноклиническая ячейка, $\beta = 90^\circ$			Гексагональная ячейка		Гексагональная ячейка в полной установке		
	$a_0$	$b_0$	$c_0$	$a_0$	$c_0$	$a_0$	$c_0$	$V, \text{Å}^3$
Нарсарсук, Гренландия, [3]				7,091	18,20	7,091	54,60	3170
По [13]	4,10	7,10	9,12			7,10	54,72	3185
Друкшах, Швейцария, [9]				4,08	54,72	7,067	54,72	3156
Карасуг, Тува [19]				4,08	9,06	7,067	54,36	3135
Нарсарсук, Гренландия, [25]					54,72			
Шаншал, Казахстан, Спиридонов Э.М. (новые данные), 1979 г.	4,092	7,095	9,083			7,095	54,50	3168
Северная Киргизия, [15]				4,01	8,98	6,945	53,88	3001
Довер, США, [27]	4,07	7,06	9,12			7,06	54,72	3149
Украина, [16]				6,94	9,00	6,94	54,00	3003
Северная Киргизия	4,02	7,02	9,06			7,02	54,36	3093

паризита в кристаллах из Нарсарсука [13, 25]. Оптические константы для недостаточно полно изученных образцов синхизита в периодической литературе, видимо, близки к истинным (табл. 1). Исключением являются явно ошибочные данные О.Б. Дудкина и Н.К. Джамалетдинова. Для более полной характеристики оптических свойств в изоморфном ряду синхизит-доверит в табл. 1 приведены данные А.А. Левинсона и русских авторов для доверита [26, 15, 16]. Что касается рентгенограмм образцов синхизита и доверита, опубликованных Дж. Офтедалем, Е.И. Смитом, Е.И. Семеновым, А.А. Левинсоном, Я. Лозинским, Ю.П. Меньшиковым, Е.П. Гуровым, Г.А. Сидоренко и Н.К. Джамалетдиновым (табл. 2), то расхождения между ними столь велики, что их трудно надежно сравнивать. Большое число линий опубликованных рентгенограмм синхизита из Узбекистана и доверита из Киргизии не поддаются индентификации. Затруднения в использовании этих рентгенограмм для диагностических целей понятны из результатов рентгеновского и электроно-графического исследования монокристаллов синхизита Г. Донней, И. Йитака и Дж. Ван Ландуита [13, 9, 25].

По данным этих исследователей, эффектно подтвержденным прямыми наблюдениями кристаллической решетки методами просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения [25], структура синхизита обнаруживает несколько порядков субъячеек в истинной элементарной ячейке минерала. Обнаружена псевдоось субъячейки  $\sim 4,1 \text{ \AA}$ , перпендикулярная оси  $c$  при истинном параметре  $a_0 \sim 7,1$ . Вдоль оси  $c$ , нормальной слоистой структуре минерала, имеется три порядка периодичности субъячеек:

#### Интенсивности рефлексов

$c''' - 4,6 \text{ \AA}$  (000.12) — очень сильные

$c'' - 9,12 \text{ \AA}$  (0006) — сильные

$c' - 18,24 \text{ \AA}$  (0003) — слабые

$c_0 - 54,72 \text{ \AA}$  (0001) — очень слабые

Последняя величина соответствует истинным размерам параметра  $c_0$  элементарной ячейки синхизита. В литературе отсутствуют полные рентгенограммы, соответствующие этим данным. Изученный нами материал оказался пригодным для получения такой рентгенограммы и химического анализа.

Синхизит был найден Г.Г. Шульгой и Б.Ф. Хромых среди минералов тяжелой фракции протолочек щелочных гранитов из центральной части Шаншалского интрузива в Баян-Аульском районе Центрального Казахстана. Интрузив принадлежит к среднедевонскому карасорскому комплексу поздних каледонид Центрального Казахстана.

Щелочные граниты интрузива сложены максимальным микроклин—пертитом с "шахматным" альбитом 58,7 объемн. %, кварцем — 35,4%, эгирином и рибекитом — 1,7 и акцессорными минералами — 4,2%. Из акцессорных минералов наиболее распространены мартитизированный магнетит, ильменит—гематит, менее — циркон, флюорит, анатаз, циртолит, синхизит и апатит. В виде единичных зерен отмечены пирит, титанит, барит, рутил и галенит. Средний химический состав щелочных гранитов (в вес. %):  $\text{Na}_2\text{O} - 3,80$ ;  $\text{K}_2\text{O} - 3,70$ ;  $\text{CaO} - 0,72$ ;  $\text{MgO} - 1,40$ ;  $\text{MnO} - 0,04$ ;  $\text{FeO} - 0,88$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 12,71$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,18$ ;  $\text{TiO}_2 - 0,30$ ;  $\text{SiO}_2 - 74,70$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 0,03$ ; п.п.п. — 0,41; сумма — 99,87%.

Синхизит обогащает центральную часть Шаншальского интрузива, где его содержание достигает 500 г/т. Он ассоциирует с анатазом (400 г/т), циртолитом (40 г/т) и флюоритом. Синхизит наблюдается в виде хорошо образованных боченкообразных и реже призматических коричневато-розовых кристаллов 0,05–0,2 длиной и 0,01–0,05 мм шириной. Кристаллы представляют собой гексагональные дипирамиды с хорошо развитым пинакоидом (0001) и с очень грубой штриховкой на гранях, параллельной (0001). Кристаллы чистые, полупрозрачные без следов изменений.

Химический анализ синхизита произведен в химической лаборатории института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ) из навески 90 мг А.В. Быковой (табл. 3). Выделенный в ходе анализа осадок редких земель анализировался в рентгено-спектральной лаборатории ИМГРЭ и дал следующие результаты в весовых процентах элементов: La — 21,3; Ce — 45,4; Pr — 5,1; Nd — 19,16; Sm — 3,3; Eu — 0,42; Gd — 2,6; Tb — 0,36; Dy — 1,2; Ho — 0,17; Er — 0,31; Tm — 0,07; Yb — 0,14; Lu — 0,03; сумма — 100,00. В ходе пересчета химического анализа индивидуальные редкие земли пересчитаны на окислы, приведенные к сумме 51,00 весовых процентов  $\text{TR}_2\text{O}_3$ , найденной в ходе анализа. Атомные количества Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb и Lu из-за их низкого содержания при пересчете анализа суммированы с таковыми Dy. При пересчете химического анализа, для устранения арифметических ошибок за счет неполного деления, использовалось математическое правило числа знаков. При этом условно-значимые два знака после запятой величин химического анализа множилось на 3 (три операции деления—умножения), т.е. величины атомных количеств брались до 6 знака.

Пересчет химического анализа привел к эмпирической формуле:  $\text{Ca}_{1,01}(\text{Ce}_{0,46}\text{La}_{0,22} \times \text{Nd}_{0,19}\text{Pr}_{0,05}\text{Sm}_{0,03}\text{Gd}_{0,02}\text{Dy}_{0,02})_{0,99}(\text{CO}_3)_{2,01}\text{F}_{1,02}$ . Эти результаты показывают близость состава минерала к теоретическому при отсутствии иттрия и очень низком содержании иттриевых редких земель. Крайний церий-лантановый состав изученного минерала позволяет его рассматривать как эталонную разновидность синхизита.

Рентгеновое исследование синхизита из Казахстана проведено Э.М. Спиридоновым (дифрактометр ДРОН-1,5) и В.И. Степановым (камера РКД-57, 3 мм). В табл. 4 приведены величины интенсивностей как по 100-балльной шкале для дифрактограммы, так и в 10-балльной визуальной шкале для дебаеграммы; значения интенсивности по обоим шкалам находятся в удовлетворительном соответствии, за исключением нескольких линий на больших углах. Рентгенограмма синхизита индицируется как в моноклинной (псевдоромбической) ячейке с  $a_0 = 4,095$ ,  $b_0 = 7,095$ ;  $c_0 = 9,083$  Å,  $\beta = 90^\circ$ , впервые предложенной Г. Донней [13], так и в примитивной гексагональной ячейке с  $a_0 = 7,095$ ,  $c_0 = 54,506$  Å. Однако в рентгенограмме имеется отражение 18,3 Å, которое не индицируется в моноклинной ячейке. Учитывая, что при монокристалльной съемке синхизита, изученного Г. Донней, не обнаружено отражений, которые не индицируются в гексагональной симметрии, версия о моноклинной сингонии минерала остается сомнительной. Оптические свойства синхизита однозначно свидетельствуют о гексагональной метрике минерала. Как известно, оптические свойства более чувствительны к вариациям структуры минерала по сравнению с рентгеновской дифракцией. Нередко оптическая симметрия минерала ниже рентгеновской (оптические аномалии), но не наоборот. В связи с этим имеющиеся данные различных установок параметров синхизита, при выборе которых не были учтены факты наличия субъячеек разного размера в кристаллах, пересчитаны на полную гексагональную ячейку (табл. 5).

Объем элементарной ячейки минералов ряда синхизит—доверит колеблется от 3001 до 3185 Å<sup>3</sup>. Остается недостаточно ясным вопрос о границах минеральных видов синхизит—доверит. При рассмотрении этого вопроса, в первую очередь, необходимо отметить неправомерность распространения правила А. Левинсона с лантаноидов на иттрий, занимающий свое самостоятельное место в периодической таблице элементов.

Исходя из общего правила номенклатуры всех минералов, членов бинарных рядов твердых растворов, к синхизиту следует относить составы  $TR_{Ce} > Y + TR_Y$ , а к довериту  $Y + TR_Y > TR_{Ce}$ . Рассмотрение имеющихся к настоящему времени данных также позволяет надежно отличить паризит и минералы ряда синхизит—доверит (табл. 1). Рентгенограммы паризита и синхизита очень похожи, но визуальное сравнение рентгенограмм, полученных фотометодом, позволяет очень легко их различить. По цифровым данным эти различия не столь очевидны, в том числе и из-за обычного плохого качества рентгенограмм. Только интенсивные отражения 3,24 и 3,00 синхизита отличаются от сходных слабых линий паризита. На рентгенограмме кристалла паризита из Мюзо, кроме того, обнаружена индивидуальная сильная линия 4,15 Å неясной природы, отсутствующая на рентгенограмме синхизита.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Flink G.* On the minerals from Narsarsuk on Firth of Tunugdii arfik in South Greenland. — Medd. Grønland, 1901, vol. 24.
2. *Roberts W.L.* et al. Encyclopedia of Minerals, 1974.
3. *Ofstedal J.* Über Parisit, Synchronit und Kordilit. Röntgenographische Untersuchungen. — Ztschr. Kristallogr., 1931, 79.
4. *Söhne P.G.* The structure, one genesis and mineral sequence of the cassiterite in the Zaai-plaats Tin mine, Potgietersrust District, Transvaal. — Trans. Geol. Surv. South Africa, 1944, vol. 47.
5. *Pecora W.T.* Carbonatites. — Bull. Geol. Surv. Amer., 1956, vol. 67, N 11.
6. *Dyckey F.* et al. The Chilwa series of Southern Nyasaland. — Nyasaland Geol. Surv., Bull., 1955, vol. 5.
7. *Garson M.S.* The Tundulu carbonatite ring complex of Southern Nyasaland. — Mem. Malawi Geol. Surv., 1963, vol. 2.
8. *Parker R.L., Branderberger E.* Notiz über den Synchronit von Val Nalps. — Schweiz. miner. und petrogr. Mitt., 1946, vol. 26, Hf. 1.
9. *Iitaka Y., Stalder H.A.* Synchronit und Bastnäsit aus dem Druckschach: des Krafwerkes Oberaart. — Ibid., 1961, vol. 26, Hf. 2.
10. *Weibel M.* Scheelit und Synchronit aus dem Tavetsch. — Ibid., 1964, vol. 44, Hf. 1.
11. *Fray A.* Synchronit aus dem Unterwallis. — Ibid., 1977, vol. 4, Hf. 5.
12. *Stalder H.A.* et al. Die Mineralien des Binnentalen. 1978.
13. *Donney G., Donney J.* The Crystallography of bastnesite, parisite, roentgenite and synchronit. — Amer. Miner., 1953, N 11—12.
14. *Lozinski J.* Synchronit from fossil bones. — Miner. Pol., 1971 (1973), N 2.
15. *Семенов Е.И.* О возможном новом фторкарбонате редких земель. — Тр. ИМГРЭ, 1959, вып. 2.
16. *Гуров Е.П., Гурова Е.П.* Итросинхизит из камерных пегматитов. — В кн.: Новые данные о минералах СССР, 1975, вып. 24.
17. *Минеев Д.А.* Лантаноиды в рудах. М.: Наука, 1974.
18. *Александрова И.Т., Сидоренко Г.А.* Фазовые превращения итросинхизита при термической обработке. — Рентгенография мин. сырья. 1977, № 11.
19. *Хомяков А.П., Семенов Е.И.* Гидротермальные месторождения фторкарбонатов редких земель. М.: Наука, 1971.
20. *Костылева Е.Е.* и др. Минералогия Хибинского массива. М.: Наука, 1978, т. 2.
21. *Джамалетдинов Н.К.* О находке синхизита в гранитоидах Западного Узбекистана. — Зап. Узб. отд. Всесоюз. минерал. об-ва, 1978, № 31.
22. *Дэна Дж.* и др. Система минералогии. 1953, т. 2, полугом 1.
23. *Ларсен Е., Берман Г.* Определение прозрачных минералов под микроскопом. 1937.
24. *Винчелл А.Н., Винчелл Г.* Оптическая минералогия. М.: Изд-во иностр. лит., 1953.
25. *Van Landuite J., Amelinckx S.* Multiple beam direct Lattice inaging of new mixed-layer compounds of bastnesite-synchronit series. — Amer. Miner., 1975, vol. 60, N 5/6.
26. *Levinson A.A., Borup R.A.* Doverite from Cotopaxi, Colorado. — Ibid., 1962, vol. 47, N 3/4.
27. *Smith W.L., Stone J., Ross D.R., Levine H.* Doverite, a possible new fluorcarbonate from Dover, Morris County, New Jersey. — Ibid., 1960, vol. 45, N 1—2.

УДК 549.612

В.Г. ФЕКЛИЧЕВ, Т.Н. ИВАНОВА, Г.Е. ЧЕРЕПИВСКАЯ,  
И.Б. НИКИТИНА

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОСТАВ—СВОЙСТВА У МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ТУРМАЛИНА

Исследованию зависимостей между составом и физическими свойствами у минералов группы турмалина посвящено огромное количество работ, анализ которых показал, что в группе турмалина в целом зависимости между химическим составом и химическими свойствами не могут быть выражены простыми графиками, за исключением, пожалуй, магнитной восприимчивости, хорошо коррелирующей с содержанием суммар-