

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 Наллс, 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 ₂ O ₃ | 1,34 | 0,007325 | 0,02 |
| Ce ₂ O ₃ | 23,20 | 0,141361 | 0,46 | Fe ₂ O ₃ | 0,63 | — | — |
| La ₂ O ₃ | 10,90 | 0,066908 | 0,22 | CO ₂ | 27,30 | 0,620314 | 2,01 |
| Nd ₂ O ₃ | 9,97 | 0,059261 | 0,19 | F | 6,00 | 0,315823 | 1,02 |
| Pr ₂ O ₃ | 2,60 | 0,015766 | 0,05 | Сумма | 102,38 | — | — |
| Sm ₂ O ₃ | 1,67 | 0,009578 | 0,03 | O=F ₂ | 2,50 | — | — |
| Gd ₂ O ₂ | 1,31 | 0,007228 | 0,02 | | 99,88 | — | — |

Таблица 4

Рентгенограмма синхизита Шаншальского интрузива Центрального Казахстана

| № пп | I^1 | I | d_{α} , Å _{изм} | Гексагональная ячейка | | Моноклинная ячейка, $\beta = 90^\circ$ | |
|------|-------|-----|---------------------------------|------------------------------|---|--|--|
| | | | | hkl_H | d_{α} , Å _{рассчит} | hkl_M | d_{α} , Å _{рассчит} |
| 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 ₅ |
| 20 | 3 | 16 | 1,772 | 220, 221*; 222 | 1,774; 1,773; 1,770 | 040*; 220* | 1,773 ₅ ; 1,772 ₅ |
| 21 | 3 | 17 | 1,738 | 1.0.30*; 226* | 1,742; 1,741 | 221* | 1,739 ₅ |
| 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 ⁺ ; 2.2.14 | 1,617; 1,614 | 025*; 115* | 1,617; 1,616 ₅ |
| 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 ₅ | 3.1.25; 410* | 1,343; 1,341 | 240* | 1,340 |
| 28 | 1 | 10 | 1,326 | 416*; 3.2.14* | 1,326 ₅ ; 1,325 ₅ | 241*; 311 | 1,326; 1,325 |
| 29 | — | 1 | 1,297 | 0.0.42* | 1,298 | 007* | 1,297 ₅ |
| 30 | 6 | 20 | 1,286 | 4.1.12*; 3.0.33* | 1,286; 1,286 | 152*; 242*; 053*; 312* | 1,286; 1,285 ₅ ; 1,285; 1,285 |
| 31 | 2 | 8 | 1,182 ₅ | 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 ₅ | 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 ₅ | 009* | 1,0092 |
| 43 | 7ш | 4 | 1,0040 | 436*; 4.1.36 | 1,0040; 1,0038 | 156* | 1,0036 ₅ |
| 44 | — | 4 | 1,0029 | 2.1.49; 6.0.11* | 1,0032; 1,0029 | 316* | 1,0031 ₅ |
| 45 | — | 3 | 0,9943 | 6.0.13 | 0,9949 | 237* | 0,9942 ₅ |
| 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 ₆ | | 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 | Моноклиная 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 ₆ | 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 $\sim 4,1 \text{ Å}$, 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

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

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

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

$c_0 - 54,72 \text{ Å}$ (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 TR_2O_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 Å³. Остается недостаточно ясным вопрос о границах минеральных видов синхизит—доверит. При рассмотрении этого вопроса, в первую очередь, необходимо отметить неправомочность 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, Synchisit und Kordilit. Röntgenographische Untersuchungen. — Ztschr. Kristallogr., 1931, 79.
4. *Söhnge P.G.* The structure, one genesis and mineral sequense 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 Synchisit von Val Nalps. — Schweiz. miner. und petrogr. Mitt., 1946, vol. 26, Hf. 1.
9. *Iitaka Y., Stalder H.A.* Synchisit und Bastnäsit aus dem Druckschach: des Krafwerkes Oberaart. — Ibid., 1961, vol. 26, Hf. 2.
10. *Weibel M.* Scheelit und Synchisit aus dem Tavetsch. — Ibid., 1964, vol. 44, Hf. 1.
11. *Fray A.* Synchisit 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 synchisite. — Amer. Miner., 1953, N 11—12.
14. *Lozinski J.* Synchisite 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.* Иттросинхизит 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 иттросинхизита 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, полутом 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-synchisite 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 fluocarbonate 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-