

Д. чл. А. Н. САПОЖНИКОВ, д. чл. В. Г. ИВАНОВ, Л. Ф. ПИСКУНОВА, А. А. КАШАЕВ,
Л. Е. ТЕРЕНТЬЕВА, д. чл. Е. А. ПОБЕДИМСКАЯ

БЫСТРИТ $\text{Ca}(\text{Na}, \text{K})_7(\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24})(\text{S}_3)_{15} \cdot \text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ КАНКРИНИТОПОДОБНЫЙ МИНЕРАЛ¹

Быстрил обнаружен в Прибайкалье на известном Мало-Быстринском лазуриновом месторождении среди лазуриносных метасоматитов в 1976 г. Этот желтый минерал наблюдался в виде мелких пластинчатых кристаллов размером до 5 мм, находящихся в тесных сростаниях с лазурином. Предварительные результаты его изучения были опубликованы при минералогическом описании лазуриновых месторождений СССР (Иванов и др., 1980; Иванов, Сапожников, 1985). Вместе с тем необычность анионного состава и неопределенность структурных позиций атомов серы в минерале требовали его дальнейшего изучения, результаты которого приводятся ниже.

Новые сборы минерала на месторождении подтвердили выявленное ранее наличие двух генераций быстрила и типичность его парагенезисов с лазурином и синлазуриновыми диопсидом и кальцитом. Уточненное значение плотности (2.43 ± 0.01 г/см³) хорошо совпадает с расчетным (2.45).

По лауэграммам и кфорограммам симметрия быстрила определена как гексагональная (Иванов, Сапожников, 1985). Систематические погасания типа $hh2hl=2n$ указывали на возможные пр. гр. $P6_3/mmc$, $P6_2c$ или $P6_3mc$. Однако изучение структуры минерала с помощью автоматического монокристалльного дифрактомера (R -фактор=0.087) показало, что его истинная симметрия — тригональная, пр. гр. $P31c$. Кристаллографические и оптические характеристики быстрила приведены в табл. 1 и 3.

Химический состав быстрила (табл. 2) определялся различными методами. За основу был принят метод анализа, выполненный на микроанализаторе JSXA-733. В качестве образцов сравнения использовались природные минералы: альбит (на Na), ортоклаз (на K), пироп (на Al, Si), диопсид (на Ca), апатит (на Cl), пирротин (на S). Микронзондовые определения содержания большинства элементов контролировались обычными химическими методами. Несмотря на значительные количества минерала в породе, выбрать чистую навеску материала, необходимую для полного анализа, не удалось, так как тонкие вроски бесцветных диопсида и кальцита не различимы на желтом фоне минерала и выявляются лишь в иммерсии. Поэтому соотношение сульфатной и сульфидной серы в минерале определялось по 85 %-ному концентрату быстрила [остальные 15 % — диопсид и незначительная, (менее 1 %) примесь кальцита]. Общая сера определена гравиметрическим методом. Сульфатная сера определялась двумя параллельными методами: спеканием со смесью Эшка и сплавлением со смесью буры и соды (соотношение 1 : 2); оба метода дали хорошую сходимость результатов (аналитик Л. Н. Матвеева). Сульфидная сера определена по разности общей и сульфатной серы. Высокое содержание общей серы в минерале подтверждается микронзондовыми и химическими методами, дающими 12.50 и 12.23 мас.% соответственно. Вода и углекислота анализировались из отдельных микронавесок чистого материала. Вода определялась кулонометрическим методом; температурная динамика выхода воды из минерала свидетельствует о ее цеолитном характере.

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 3 апреля 1989 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 1 мая 1990 г.

Таблица 1

Результаты расчета дебаеграммы быстрига
The results of bystrite debayegram calculation

<i>l</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d</i> _{изм}	<i>d</i> _{выч}	<i>hkl</i>
2	11.22	11.13	100	20	2.142	2.142	330
1	7.71	7.71	101	10	2.094	2.104	420
7	6.44	6.43	110	7	2.056	2.056	502
5	4.944	4.938	201	5	2.013	2.008	413
70	4.824	4.822	102	7	1.928	1.929	404
5	4.212	4.208	210	5	1.906	1.907	215
1	4.112	4.112	112	5	1.872	1.873	512
80	3.919	3.916	211	1	1.848	1.847	324
100	3.720	3.711	300	1	1.830	1.830	430
25	3.396	3.397	103	15	1.799	1.798	414
90	3.313	3.307	212	8	1.782	1.783	520
3	3.221	3.214	220	3	1.758	1.758	521
10	2.969	2.967	311	5	1.731	1.732	432
25	2.784	2.783	400	3	1.695	1.696	405
35	2.694	2.694	401	1	1.671	1.672	334
70	2.676	2.675	004	3	1.641	1.640	325
2	2.600	2.601	104	1	1.619	1.618	612
3	2.565	2.571	303	5	1.606	1.607	440
35	2.471	2.470	114	2	1.571	1.573	701
1	2.430	2.429	410	5	1.524	1.525	604
3	2.376	2.369	411	3	1.500	1.500	425
2	2.334	2.334	313	1	1.475	1.475	710
2	2.304	2.305	322	1	1.438	1.438	416
10	2.194	2.194	403	10	1.377	1.377	444
2	2.169	2.170	304				

Примечание. Условия съемки: ДРОН-3, Си-излучение.

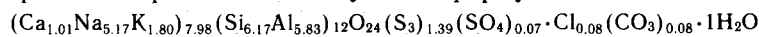
Таблица 2

Химический состав быстрига
Chemical content of bystrite

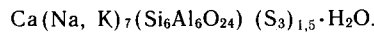
Компонент	Мас. %	Доверительный интервал	Компонент	Мас. %	Доверительный интервал
SiO ₂	33.37	0.32	SO ₃	0.50 *	—
Al ₂ O ₃	26.74	0.22	CO ₂	0.32 *	—
CaO	5.10	0.09	Cl	0.25	0.12
Na ₂ O	14.42	0.53	H ₂ O	1.62 **	—
K ₂ O	7.63	0.68	Сумма	101.98	—
S	12.03 *	—	—O=S ₃ , Cl ₂	2.06	—
			Сумма	99.92	—

Примечание: Звездочкой (*) отмечены данные химического анализа, двумя (**)— кулонометрического анализа. Для остальных элементов приведены средние значения микрондовых измерений в 6 зернах по 3 измерения в каждом с доверительным интервалом, рассчитанным с 95 %-ной вероятностью. Соотношение Na и K изменяется от зерна к зерну, что отчетливо прослеживается при анализе результатов измерений по зернам и отражается в относительно высоком значении их доверительных интервалов. По данным микронзонда. S_{общ}=12.50±0.30 мас. %.

Пересчет результатов анализа на типовой состав канкринитов 12(Si+Al) при Z=2 приводит к следующей формуле:



или в общем виде:



Кристаллохимические формулы канкринитоподобных минералов (Z=1)
Crystallochemistry formulae of cancrinite-like minerals

№ ми-нерала	Минерал	Кристаллохимическая формула
1	Лиоттит	$(Ca_{0.365}Na_{0.315}K_{0.315}Fe_{0.005}^{3+})_{29.5}(Si_{0.509}Al_{0.491})_{36}O_{72}(SO_4)_{3.91}Cl_{2.61}(CO_3)_{1.72}(OH)_{3.56}(H_2O)_{1.83}$
2	Афганит	$(Ca_{0.328}Na_{0.514}K_{0.146}Fe_{0.002}^{3+}Mg_{0.010})_{33.7}(Si_{0.525}Al_{0.475})_{48}O_{96}(SO_4)_{4.93}Cl_{3.21}(CO_3)_{1.94}(OH)_{5.50}(H_2O)_{1.97}$
3	Афганит	$(Ca_{0.262}Na_{0.564}K_{0.158}Fe_{0.001}^{3+}Mg_{0.015})_{31.1}(Si_{0.509}Al_{0.491})_{48}O_{93.90}(SO_4)_{4.81}Cl_{4.98}(CO_3)_{2.92}(H_2O)_{7.35}$
4	Францинит	$(Ca_{0.318}Na_{0.543}K_{0.133}Fe_{0.001}^{3+}Mg_{0.005})_{39.3}(Si_{0.522}Al_{0.478})_{60}O_{120}(SO_4)_{7.72}Cl_{0.59}(CO_3)_{2.09}(OH)_{3.48}(H_2O)_{4.31}$
5	Францинит	$(Ca_{0.265}Na_{0.505}K_{0.219}Fe_{0.002}^{3+}Mg_{0.009})_{41.2}(Si_{0.512}Al_{0.482})_{60}O_{120}(SO_4)_{7.49}Cl_{0.22}(CO_3)_{2.64}(OH)_{3.22}(H_2O)_{3.93}$
6	Францинит	$(Ca_{0.237}Na_{0.604}K_{0.136}Fe_{0.002}^{3+}Mg_{0.021})_{43.6}(Si_{0.507}Al_{0.493})_{60}O_{120}(SO_4)_{6.93}Cl_{1.87}(CO_3)_{2.46}(OH)_{4.72}(H_2O)_{5.61}$
7	Джузеппеттит	$(Ca_{0.121}Na_{0.644}K_{0.235})_{62.1}(Si_{0.497}Al_{0.503})_{96}O_{192}(SO_4)_{10.7}Cl_{1.9}$
8	Сакрофанит	$(Ca_{0.192}Na_{0.657}K_{0.146}Fe_{0.005}^{3+})_{133.3}(Si_{0.522}Al_{0.478})_{168}O_{336}(SO_4)_{15.96}Cl_{2.80}(CO_3)_{3.78}(OH)_{37.66}(H_2O)_{3.78}$
9	Быстрит	$(Ca_{0.126}Na_{0.648}K_{0.226})_{16.0}(Si_{0.514}Al_{0.486})_{24}O_{48}(S_3)_{2.78}^{2-}(SO_4)_{0.14}Cl_{0.16}(CO_3)_{0.16}(H_2O)_{1.00}$

Примечание. 1—6 — Leoni e. a. (1979); 7 — Mazzi, Tadini (1981); 8 — Buggato e. a. (1980); 9 — данные авторов.

Таблица 3

Кристаллографические данные и физические свойства канкринитоподобных минералов
Crystallographic data and physical properties of cancrinite-like minerals

Параметр	Дэвин (Variand e. a., 1968)	Быстрит (данные авторов)	Лиоттит (Merlino, Orlandi, 1977a)	Афганит (Variand e. a., 1968)	Францинит (Merlino, Orlandi, 1977b)	Джузеппеттит (Mazzi, Tadini, 1981)	Сакрофанит (Buggato, e. a., 1980)
Федоровская группа	$P6_3m$ $P6_3$	$P31c$	$P6m2$	$P6_3/mmc$ $P6_3mc$ $P62c$	$P3m1$ $P3m1$ $P321$	$P6_3/mmc$ $P6_3mc$ $P62c$	$P6_3/mmc$ $P6_3mc$ $P62c$
<i>a</i> , Å	12.70	12.855	12.842	12.77	12.884	12.850	12.865
<i>c</i> , Å	5.33	10.700	16.091	21.35	25.580	42.22	74.240
<i>Ne</i>		1.660	1.528	1.529	1.512	1.507	1.486
<i>No</i>		1.584	1.530	1.523	1.510	1.491	1.505
<i>Ne—No</i>		0.076	0.002	0.006	0.002	0.016	0.019
<i>D</i> _{изм.} , г/см ³		2.43	2.56	2.55	2.49	2.35	2.423

Для выполнения условия электронейтральности сульфидная сера в кристаллохимической формуле минерала была представлена в виде S_3^{2-} . Такие двухвалентные группы S_n^{2-} , где n изменяется от 2 до 6, характерны для полисульфидов (Уэлс, 1987). Молекулярные ионы — радикалы S_2 и S_3 — установлены на основании исследования спектров оптического поглощения, ЭПР и люминесценции в лазуритах и афганите (Платонов, 1976). Однако быстриит является первым природным фельдшпатоидом, в котором сульфидная сера выступает в качестве преобладающего добавочного аниона.

Как известно, оптические свойства минералов серии канкринит-вишневит существенно зависят от содержания CO_3 и SO_4 , причем двупреломление изменяется от 0.025 у канкринита, содержащего в своей структуре плоские группы CO_3 , до 0.002—0.004 у вишневита, содержащего объемные тетраэдры SO_4 (Дир и др., 1966). В таком случае высокое двупреломление быстриита (0.076) по сравнению с канкринитом и другими канкринитоподобными минералами (табл. 3) можно объяснить наличием в его структуре параллельно ориентированных плоских групп S_3 . Результаты исследования структуры, полученные на кафедре кристаллографии и кристаллохимии геологического факультета Московского университета, подтвердили это предположение. Атомы серы в быстриите располагаются в протяженных полостях каркаса вокруг осей L_3 , статистически распределяясь по четырем независимым, частично заполненным позициям.

Из известных минералов быстриит по составу катионной части ближе всего к джузеппеттиту. Главная особенность состава быстриита, отличающая его от других минералов группы канкринита, — преобладание сульфидной серы над другими анионами (табл. 4). Вероятно, именно с этим связаны интенсивно желтая окраска, резкий плеохроизм от желтого до бесцветного и высокое двупреломление минерала.

Образец быстриита передан в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР (Москва).

Список литературы

- Дир, У. А., Хаун Р. А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т. 4. М.: Мир, 1966. 481 с.
- Иванов В. Г., Самойлов В. С., Сапожников А. Н., Кашаев А. А. Минералогия лазуритовых месторождений СССР // Материалы XI съезда ММА. Л.: Наука, 1980. С. 97—104.
- Иванов В. Г., Сапожников А. Н. Лазуриты СССР. Новосибирск: Наука. СО АН СССР, 1985. 170 с.
- Платонов А. Н. Природа окраски минералов. Киев: Наукова думка, 1976. 264 с.
- Уэллс А. Структурная неорганическая химия. Т. 2. М.: Мир, 1987. 694 с.
- Bariand P., Cesbron F., Giraud R. Une nouvelle espèce minérale: l'afghanite de Sar-e-Sang, Badakhshan, Afghanistan. Comparaison avec les minéraux du groupe de la cancrinite // Bull. Soc. franc. Minér. Crist. 1968. T. 91. P. 34—42.
- Burragato F., Parodi G. C., Zanazzi P. F. Sacrofanite, a new mineral of the cancrinite group // N. Jb. Miner. Abh. 1980. Bd 140. N 1. S. 102—110.
- Leoni L., Mellini M., Merlino S., Orlandi P. Cancrinite-like minerals: new data and crystal chemical considerations // Rendiconti S. I. M. P. 1979. Vol. 35. N. 2. P. 713—719.
- Mazzi F., Tadini G. Giuseppettite, a new mineral from Sacrofano (Italy), related to the cancrinite group // N. Jb. Miner. Mh. 1981. H. 3. S. 103—110.
- Merlino S., Orlandi P. Liottite, a new mineral in the cancrinite — davyne group // Amer. Miner. 1977a. Vol. 62. N. 3—4. P. 321—326.
- Merlino S., Orlandi P. Franzinite, a new mineral phase from Piligiano (Italy) // N. Jb. Miner. Mh. 1977b. H 4. S. 163—167.

Институт геохимии СО АН СССР, Иркутск
Иркутский педагогический институт
Московский университет

Поступила в редакцию
19 ноября 1990 г.