

## НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

УДК 549.6

© 1994 г.

Д. чл. А. П. ХОМЯКОВ, д. чл. Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ, Дж. ФЕРРАРИС, Г. ИВАЛЬДИ

АЛТИСИТ  $\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{Cl}_3$  — НОВЫЙ МИНЕРАЛ<sup>1</sup>А. Р. ХОМЯКОВ, Г. Н. НЕЧЕЛЮСТОВ, Г. ФЕРРАРИС, Г. ИВАЛЬДИ. ALTISITE  $\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{Cl}_3$  — A NEW MINERAL

При изучении пегматитов Хибинского щелочного массива (Кольский полуостров) А. П. Хомяковым был встречен минерал, внешне сходный с нефелином, но обладающий индивидуальными оптическими и другими свойствами. Выполненное авторами настоящей работы исследование показало, что он представляет собой новый высокощелочной титано-алюмосиликат состава  $\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{Cl}_3$ , который может рассматриваться как первый пример структурно изученного природного силиката, содержащего полностью упорядоченные Ti и Al в соотношении 1 : 1. Минерал назван алтиситом (altisite) по главным высоковалентным катионам химической формулы — алюминию, титану и кремнию (силицию), что подчеркивает его значение как связующего звена между алюмо- и титаносиликатами, представленными в щелочных породах наибольшим числом минеральных видов.

Алтисит обнаружен в керне буровой скважины, пробуренной в юго-восточной части Хибинского массива, в районе апатитового месторождения Олений ручей. Керн с глубины 470 м представлен пегматитовой породой, в основном сложенной содалитом, нефелином, калиевым полевым шпатом и пектолитом. В подчиненных количествах присутствуют эгирин, щербаковит, тинаксит, Mg-астрофиллит, нефедовит, виллиомит, натрит и расвумит. Судя по набору перечисленных минералов, вскрытая скважиной порода относится к ультраагпаитовым образованиям — особому типу пегматитов и гидротермалитов, пересыщенных щелочными, летучими и редкими элементами (Хомяков, 1990).

Описываемый минерал представлен зернами неправильной формы размерами до 3 мм в поперечнике, в основном приуроченными к интерстициям призматических кристаллов пектолита. Бесцветный, прозрачный, с раковистым изломом. Блеск стеклянный, более сильный, нежели у нефелина, внешне сходного с алтиситом. Твердость 6 по шкале Мооса. Плотность, определенная объеметрическим методом (метод М. М. Василевского), 2.64(2) г/см<sup>3</sup>, вычисленная 2.67 г/см<sup>3</sup>. В ультрафиолетовых лучах не люминесцирует. Оптически двуосный, положительный. Показатели преломления определены иммерсионным методом:  $N_p = 1.601$ ,  $N_m = 1.625$ ,  $N_g = 1.654 (\pm 0.002)$ . Угол 2V, измеренный на федоровском столике, 85(1)°, вычисленный 86°. Слабая дисперсия  $r < v$ . ИК-спектр (рис. 1) содержит следующие максимумы погло-

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всероссийского минералогического общества 29 июля 1993 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 28 февраля 1994 г.

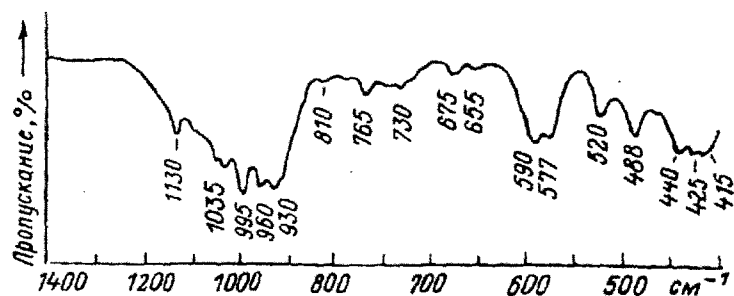


Рис. 1. Инфракрасный спектр алтсита.

Fig. 1. IR absorption spectrum of altsite.

щения (в  $\text{см}^{-1}$ ; подчеркнуты наиболее сильные): 415, 425, 440, 488, 520, 577, 590, 655, 675, 730, 765, 810, 930, 960, 995, 1035, 1130. При комнатной температуре минерал не реагирует с 10%-ными  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$ .

Дериватограмма алтсита представлена на рис. 2. Кривая ТГ имеет два небольших уступа при температурах 250—300 и 800—900 °С, соответствующих минимумам на кривой ДТГ. Потеря массы в интервале 20—1000 °С составляет 2.5%. Ее природа остается невыясненной. Кривая ДТА фиксирует наличие эндотермического эффекта при 780 °С, вероятно связанного с диссоциацией, частичным плавлением и фазовым превращением минерала. Дополнительно установлено, что зерна алтсита, прогретые при 600 °С, приобретают ярко-голубую окраску, однако рентгенографически и оптически не отличаются от исходных. Зерна, прогретые при 1000 °С, дают рентгенограмму  $\text{KCl}$  (JCPDS, N4-587).

Химический состав минерала исследован Г. Н. Нечелюстовым на рентгеновском микроанализаторе Camebax. Анализ проводился в режиме стабилизации электронного зонда при следующих параметрах: ускоряющее напряжение для всех элементов 20 кВ, ток 20 нА, диаметр зонда 1—2 мкм. Продолжительность счета импульсов 20с. Аналитические линии:  $K\alpha$  — для Na, K, Si, Al, Ti и Cl,  $L_{\alpha}$  — для Zr и Ba. Анализировался состав трех зерен с использованием следующих стандартов: чкаловит (Na),  $\text{K}_2\text{ZrSi}_2\text{O}_7$  (K), барит (Ba),  $\text{AlPO}_4$  (Al), альбит (Si), циркон (Zr), анатаз (Ti), пироклор (Nb), Cl-apatит (Cl). P, Ca, Sr, Mn, Fe, Mg, La, Ce и другие элементы с атомным номером больше 8 не обнаружены. Результаты анализа (табл. 1) выявляют весьма

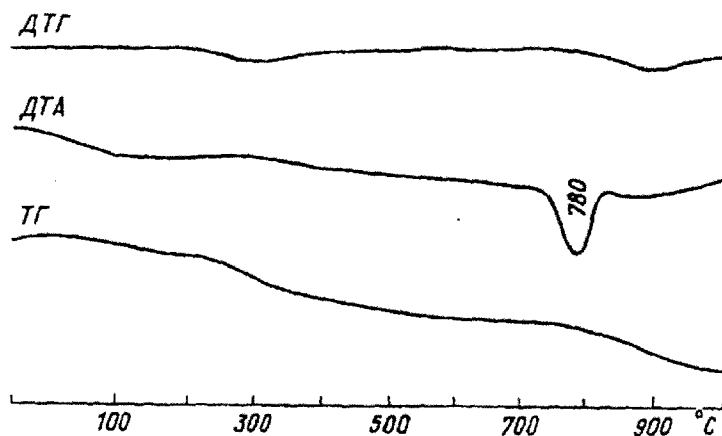


Рис. 2. Дериватограмма алтсита.

Fig. 2. Derivatogram of altsite.

Таблица 1

Химический состав алтисита (мас.%)  
Chemical composition of altisite (% wt)

Компонент	Содержание	O + Cl = 29	Компонент	Содержание	O + Cl = 29
Na <sub>2</sub> O	9.3	3.57	ZrO <sub>2</sub>	0.1	0.01
K <sub>2</sub> O	20.7	5.23	TiO <sub>2</sub>	13.1	1.95
BaO	1.0	0.08	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.5	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.7	2.03	Cl	8.6	2.89
SiO <sub>2</sub>	40.3	7.98	—O—Cl <sub>2</sub>	1.9	
			Сумма	100.4	

Примечание. Среднее из анализов трех зерен. Аналитик Г. Н. Нечелостов.

близкое к целочисленному соотношению (Na + K) : Ti : Al : Si : Cl ≈ 9 : 2 : 2 : 8 : 3 и после пересчета на O + Cl = 29 с учетом данных структурной расшифровки (см. ниже) приводят к эмпирической формуле Na<sub>3</sub>(K<sub>5.23</sub>Na<sub>0.57</sub>Ba<sub>0.08</sub>)(Ti<sub>1.95</sub>Nb<sub>0.04</sub>Zr<sub>0.01</sub>)Al<sub>2.03</sub>Si<sub>7.98</sub>O<sub>26.10</sub>Cl<sub>2.89</sub>. Идеализированная формула Na<sub>3</sub>K<sub>6</sub>Ti<sub>2</sub> · Al<sub>2</sub>Si<sub>8</sub>O<sub>26</sub>Cl<sub>3</sub>.

Проведено детальное рентгеноструктурное исследование алтисита (Ivaldi e. a., 1993; Feggaris e. a., 1994). С помощью 4-кружного монокристаллического автодифрактометра для него установлены следующие параметры моноклинной ячейки:  $a = 10.363(2)$ ,  $b = 16.310(3)$ ,  $c = 9.132(2)$  Å,  $\beta = 105.34(3)^\circ$ ,  $V = 1488.5(4)$  Å<sup>3</sup>,  $Z = 2$ , пространственная группа  $C2/m$ . Параметры ячейки, уточненные по рентгенограмме порошка (табл. 2), имеют значения:  $a = 10.37(1)$ ,  $b = 16.32(3)$ ,  $c = 9.16(2)$  Å,  $\beta = 105.6(2)^\circ$ . Кристаллическая структура минерала уточнена по 1959 независимым отражениям до  $R$ -фактора 2.6%. В ее основе лежат параллельные (001) слои из Si- и Al-тетраэдров, объединенные Ti-октаэдр-

Таблица 2

Результаты расчета рентгенограммы порошка алтисита  
X-ray powder diffraction data for altisite

$l$	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{выч}}$	$hkl$	$l$	$d_{\text{эксп}}$	$d_{\text{выч}}$	$hkl$
6	8.97	8.82	001	25	2.765	2.763	222
71	8.22	8.16	020	11	2.666	2.685	$\bar{3}32$
9	7.01	6.98	$\bar{1}11$			2.662	$\bar{1}33$
4	6.03	5.99	021			2.644	$\bar{1}52$
4	5.54	5.53	111	13	2.596	2.592	$\bar{4}01$
4	4.94	4.99	200	13	2.468	2.470	$\bar{4}21$
		4.95	$\bar{2}01$	20	2.375	2.386	043
13	3.88	3.92	201	11	2.257	2.248	401
		3.88	022	13	2.201	2.195	223
25	3.71	3.70	041	15	2.071	2.071	$\bar{1}72$
42	3.50	3.53	221	25	2.038	2.040	080
		3.49	$\bar{2}22$	29	1.996	1.990	243
20	3.35	3.36	$\bar{3}11$			1.983	$\bar{2}63$
35	3.157	3.160	240	29	1.967	1.975	$\bar{3}34$
100	3.049	3.051	132			1.973	$\bar{2}44$
		3.033	$\bar{3}12$	13	1.873	1.876	461
71	2.900	2.904	$\bar{3}31$	15	1.831	1.832	511
		2.898	$\bar{2}03$	29	1.723	1.722	$\bar{6}01$
84	2.835	2.853	151			1.717	$\bar{6}02$

Примечание. Условия съемки: камера РКУ-114.6 мм, FeK $\alpha$ -излучение, внутренний стандарт — Ge. Индексы линий прокорректированы по массиву отражений, полученному на монокристаллическом автодифрактометре.

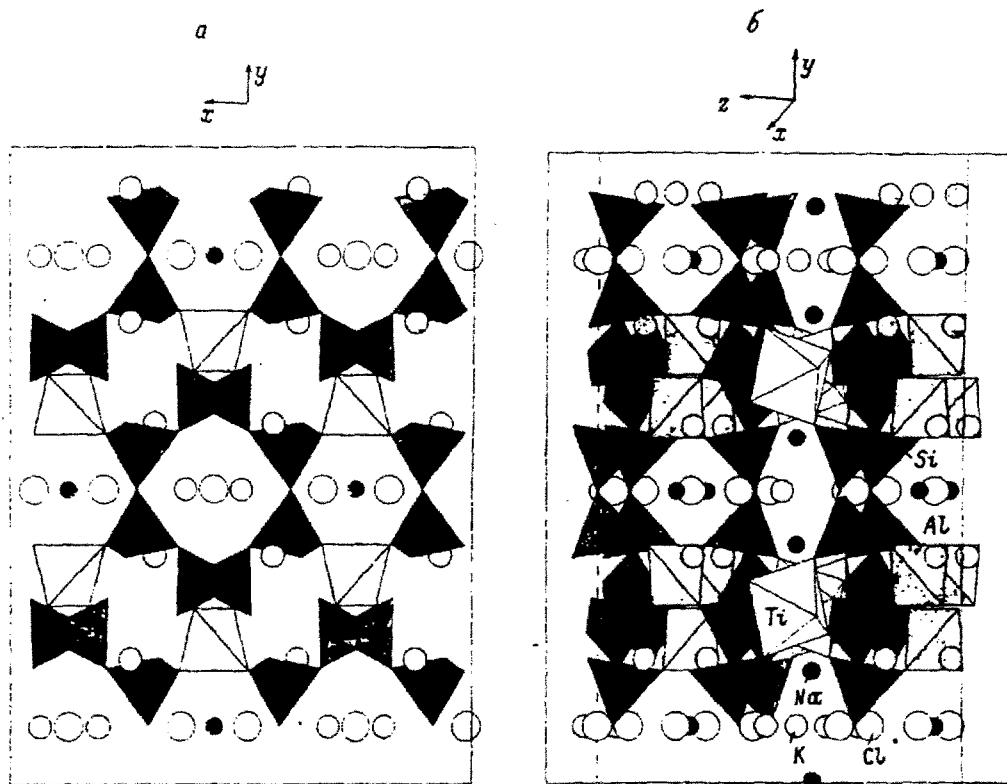


Рис. 3. Кристаллическая структура алтсита.  
 а — проекция на плоскость (001), б — проекция вдоль [100] с небольшим наклоном в сторону плоскости (010).  
 Fig. 3. Crystal structure of altsite.

Таблица 3

Сравнительная характеристика алтсита и лемуанита  
 Comparison of altsite and lemoynite

Минерал	Алтсит	Лемуанит
Формула	$\text{Na}_3\text{K}_6\text{Ti}_2\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{26}\text{Cl}_3$	$\text{Na}_2\text{CaZr}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{26} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Сингония. Пространственная группа	Моноклинная $C2/m$	Моноклинная $Cc$
$a$ , Å	10.363	10.365
$b$ , Å	16.310	15.925
$c$ , Å	9.132	18.604
$\beta$ , град	105.34	104.36
$V$ , Å <sup>3</sup>	1488.5	2974.9
$Z$	2	4
Наиболее сильные линии. $d$ (I)	8.22 (71) 3.50 (42) 3.157 (35) 3.049 (100) 2.900 (71) 2.835 (84)	9.0 (37) 8.01 (100) 3.562 (49) 3.482 (29) 3.034 (33) 2.807 (48)
$N_p$	1.601	1.540
$N_m$	1.625	1.553
$N_g$	1.654	1.570
$2V$ , град	85 (+)	80 (+)
$d$ , г/см <sup>3</sup>	2.64	2.29

рами (рис. 3). В пределах каждого слоя тетраэдры группируются в шестичленные (2 типа) и десятичленные кольца с упорядоченным распределением Si и Al.

В структуре имеется три типа каналов, в которых локализируются атомы Na, K и Cl.

По особенностям кристаллической структуры изученный минерал весьма близок к лемуаниту  $\text{Na}_2\text{CaZr}_2\text{Si}_{10}\text{O}_{26} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  (Perrault e. a., 1969; Блинов и др., 1974), который, несмотря на довольно резкое отличие в составе, имеет практически те же, что и алтисит, размеры элементарной ячейки с учетом удвоения параметра *c* (табл. 3). Существенное различие двух структур заключается в количестве и положении щелочных катионов. В то время как в лемуаните щелочи (и вода) распределены неупорядоченно, в алтисите они распределяются по четырем разным структурным позициям. Тетраэдрические слои, определяющие общность строения алтисита и лемуанита, различаются лишь частичным Al/Si замещением, чем и объясняется большое сходство минералов по параметрам элементарной ячейки, а также по рентгенограммам порошка. В то же время благодаря большим различиям в химическом составе алтисит отличается от лемуанита значительно более высокой плотностью и более высокими значениями показателей преломления (табл. 3), что имеет важное значение для надежной диагностики того и другого минерала.

Алтисит — гидротермальный минерал, кристаллизующийся из остаточных силикатно-солевых жидкостей на заключительных стадиях формирования ультраапатитовых пегматитов.

Эталонные образцы алтисита переданы на хранение в минералогический музей им. А. Е. Ферсмана Российской академии наук, Москва (Регистрационный номер 1333/1) и в Региональный музей естественной истории, Турин.

Исследования, изложенные в настоящей работе, выполнены при частичной финансовой поддержке Международного научного фонда (грант MREOO).

#### Список литературы

- Блинов В. А., Воронков А. А., Илюхин В. В., Белов Н. В. Кристаллическая структура лемуанита с новым типом смешанного каркаса // Докл. АН СССР. 1974. Т. 217. № 2. С. 326—329.
- Хомяков А. П. Минералогия ультраапатитовых щелочных пород. М.: Наука, 1990. 200 с.
- Ferraris G., Ivaldi G., Khomyakov A. P. Room- and high-temperature crystal structure of altsite and comparison with lemoynite // European Journal of Mineralogy. 1994.
- Ivaldi G., Ferraris G., Khomyakov A. P. Struttura cristallina di un nuovo silicato naturale ipercalcino dal massiccio di Khibina (Penisola di Kola, Russia) e confronto con la lemoynite // Abstracts of XXIII National Meeting of the Italian Crystallographic Assoc. Venice. 1993. P. 19—22.
- Perrault G., Semenov E. I., Bikova A. V., Capitonova T. A. La lemoynite, un nouveau silicate hydraté de zirconium et de sodium de St. Hilaire, Québec // Canad. Miner. 1969. Vol. 9. Part. 5. P. 585—596.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии  
редких элементов (ИМГРЭ),  
Москва

Всероссийский научно-исследовательский институт  
минерального сырья (ВИМС),  
Москва

Туринский университет

Поступила в редакцию  
22 июня 1994 г.