

стотами 670, 595 и 520 см^{-1} . Кроме того, на ИК спектрах цезстибтантита постоянно отмечаются полосы поглощения с частотами 1625 и 845 см^{-1} (рис. 2).

Цезстибтантит относится к поздним минералам тантала, генетически и пространственно связан с процессами калиевого метасоматоза (ортоклазитизации) в гранитных пегматитах. Эти процессы приводят к образованию псевдоморфоз ортоклаза по лепидолиту, изменению поллуцита и первичных танталовых минералов. Гидротермальное изменение поллуцита и стибиотанталита обуславливает переход в раствор цезия и сурьмы, что при избыточной концентрации тантала приводит к образованию необычных по составу танталатов, примером которых и служит цезстибтантит.

Образцы с цезстибтантитом переданы на хранение в Минералогический музей АН СССР и музей Геологического института Кольского филиала АН СССР.

Литература

- Минералы. Справочник. (1967). Т. II, вып. 3. «Наука»
Кравченко-Бережной Р. А., Медведева Э. М., Пахомовский Я. А., Полежаева Л. И., Реженева С. А. (1976). Использование ЭВМ в количественном рентгеновском микроанализе. Заводск. лаб., № 9.
Поваренных А. С. (1966). Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, «Наукова думка».

Геологический институт
Кольского филиала АН СССР,
г. Апатиты.

УДК 549.6

Д. чл. А. П. ХОМЯКОВ, д. чл. Д. Ю. ПУЩАРОВСКИЙ,
Дж. Г. РОНСВО

КЛИНОФОСИНАИТ $\text{Na}_3\text{CaPSiO}_7$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ¹

Новый моноклинный силикофосфат натрия и кальция состава $\text{Na}_3\text{CaPSiO}_7$ обнаружен А. П. Хомяковым в 1976 г. в пегматитах Хибинского щелочного массива. В названии клинофосинаит (clinophosinaite) отражена его тесная связь с ранее установленным ромбическим аналогом — фосинаитом (Капустин и др., 1974).

Новый минерал найден в образцах из отвалов штольни Материальной на горе Юкспор и в керне буровой скважины из района горы Коашва. В обоих участках развит специфический тип пегматитов, содержащих наряду с минералами умеренной щелочности (полевые шпаты, энigmatит, пектолит, лампрофиллит, эвдиалит и т. п.) обилие высокощелочных калиевых и натриевых минералов, таких как дельхайелит, щербаковит, ломоносовит, фосинаит, коашвит, натисит, цирсиналит, частично замещенный ловозеритом, виллиомит и др.

Клинофосинаит как в первом, так и во втором случае встречен в тесных сростаниях с цирсиналитом, являющимся продуктом изменения эвдиалита под влиянием ультращелочных расплавов-растворов (Хомяков, 1978). Включения минерала в цирсиналите представлены редкими зернами не-

¹ Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов Всесоюзного минералогического общества 12 ноября 1979 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 27 февраля 1980 г.

правильной формы размером 1—2 мм. Ограниченные кристаллы не встречаются. Минерал имеет бледную сиреневую окраску, водяно-прозрачный, со стекляннм блеском, раковистым изломом. Твердость 4 по шкале Мооса. Легко разлагается на холоду 10%-ной HCl. Важнейшие свойства изученных образцов клинофосинаита приведены в табл. 1, где дано их сопоставление

Таблица 1

Сравнительная характеристика клинофосинаита и фосинаита

Состав и свойства минералов		Клинофосинаит $\text{Na}_3\text{CaPSiO}_6$		Фосинаит $\text{H}_2\text{Na}_3(\text{Ca}, \text{Ce})(\text{SiO}_3)_2(\text{PO}_4)$	
		Коашва	Юкспор	Хибины	Ловозеро
Главные компоненты, мас. %	P_2O_5	25.3—25.4	25.4—25.6	21.30—21.60	20.50
	SiO_2	19.9—20.3	20.0—20.2	18.30—18.81	23.78
	TR_2O_3	0.15—0.20	0.40—0.47	13.00—13.44	13.80
	CaO	15.6—15.7	16.4—16.5	12.00—12.20	5.39
	Na_2O	32.4—32.7	32.1—33.3	28.00—28.10	28.78
Сингония, пространственная группа		Моноклиная, $P2_1/c$	Моноклиная, $P2_1/c$	Ромбическая, $P22_2$ или $P22_2$	Ромбическая, $P22_2$ или $P22_2$
a_0 (Å)		7.303	7.30 (14.60)	12.23	12.24
b_0 (Å)		12.201	12.21	14.62	14.59
c_0 (Å)		14.715	14.81	7.21	7.20
β		$91^\circ 56'$	$\sim 92^\circ$	$90^\circ 00'$	$90^\circ 00'$
D , г/см ³		2.88	2.85	2.62	3.00
$2V$, град.		$80 (+)$	$75 (+)$	$68 (-)$	$70 (-)$
n_p		1.557	1.556	1.567	1.570
n_m		1.561	1.559	1.569	1.572
n_g		1.567	1.563	1.570	1.573
Цвет		Бледно-сиреневый	Бледно-сиреневый	Бесцветный	Розовый

Примечание. Согласно новым неопубликованным данным, химическую формулу фосинаита можно представить в виде $\text{Na}_3(\text{Ca}, \text{TR})_{1-x}\text{PSiO}_6$. Кристаллографическая установка клинофосинаита выбрана по интернациональным таблицам в соответствии с его пространственной группой $P2_1/c$.

Сопоставление со свойствами фосинаита из Ловозерского и Хибинского массивов. Плотность минерала определена микрометодом, показатели преломления определены иммерсионным методом, угол оптических осей измерен на федоровском столике.

Рентгенографическое исследование клинофосинаита проведено Д. Ю. Пущаровским. Монокристалльными методами (Лауэ, качания и КФОР) определены параметры моноклинной ячейки минерала, уточненные с помощью монокристалльного автодифрактометра $P1$ «Синтекс»: a 7.303(2), b 12.201(5), c 14.715(4) Å, β $91.93(3)^\circ$, $Z=8$. Закономерные погасания среди отражений $h0l$ с $l=2n+1$ допускали две возможные пространственные группы — $P2_1/c$ и Pc , причем последняя не подтвердилась в ходе расшифровки кристаллической структуры (Крутик и др., 1980). Рентгенограмма порошка минерала (табл. 2) индивидуальна.

Химический состав клинофосинаита исследован Дж. Г. Ронсбо (Копенгагенский университет) на микроанализаторе «Hitachi-XMA 5B». Для повышения точности определения содержания натрия анализ на этот элемент проводился при ускоряющем напряжении не выше 10 кВ (Ронсбо, 1978) в режиме сканирования по поверхности при диаметре электронного пучка около 20 мкм. В качестве стандарта на натрий использовался альбит. Анализ на остальные элементы проводился с использованием следующих стандартов и ускоряющих напряжений: Si (кварц, 10 кВ), P (апатит, 15 кВ), Ca (волластонит, 15 кВ), Sr (стронцианит, 15 кВ), Ce (CeO_2 , 15 кВ), Mn (ме-

Таблица 2
Результаты расчета дебаграмм клинофосинаита и фосинаита

Клинофосинаит, Хибины				Фосинаит, Ловозеро		
I	$d_{\text{экс}}$	$d_{\text{выч}}$	hkl	I	$d_{\text{экс}}$	hkl
12	3.97	3.988	$\bar{1}22$	21	3.94	122
9	3.90	3.910	122			
6	3.66	3.649	200	29	3.62	200, 004
10	3.56	3.559, 3.553	032, 130	41	3.51	131
5	3.37	3.349	123	18	3.37	123
10	3.24	3.226	202	21	3.13	114, 220
6	3.02	3.045	221	18	3.01	221, 041
5	2.819	2.818, 2.814	042, 140	7	2.82	042, 140
100	2.724	2.727, 2.716	034, 230	100	2.74	034
57	2.639	2.635	$\bar{2}04$	53	2.566	204
50	2.550	2.547	204			
6	2.320	2.319	$\bar{2}41$	11	2.317	241
3	2.303	2.304	241			
10	2.215	2.212	$\bar{2}34$	21	2.172	234, 053, 126
12	2.156	2.159	234			
4	2.070	2.067	$\bar{2}06$	—	—	—
3	2.063	2.061	$\bar{3}04$	—	—	—
50	2.031	2.034	060	18	2.038	060, 017, 145, 331, 323
35	1.838	1.838	008	17	1.832	008, 342, 315
47	1.823	1.825	400	15	1.804	400, 334
12	1.608	1.610	$\bar{2}64$	13	1.596	264
11	1.588	1.589	264			
3	1.582	1.581	$\bar{2}47$	—	—	—
12	1.533	1.534	$\bar{4}34$	—	—	—
10	1.504	1.505	238	11	1.511	238
5	1.418	1.421, 1.420	$\bar{1}49, 076$	—	—	—
3	1.404	1.403, 1.402	$\bar{5}22, 281$	—	—	—
3	1.349	1.348	2.0.10, 357	13	1.355	068, 059

Примечание. Условия съемки: для клинофосинаита — камера РКУ-114.6 мм, Fe излучение, индексы и интенсивности отражений прокорректированы с учетом результатов монокристаллической съемки минерала на автодифрактометре Р1 «Синтекс» (данные настоящей работы); для фосинаита — камера РКУ-114.6 мм, Cu излучение, Ni фильтр, внутренний стандарт NaCl, интенсивности оценивались визуально (данные Ю. Л. Капустина и др., 1974); опущены некоторые слабые отражения и отражения со значениями $d > 3.94$, индексы отражений приведены в соответствии с установкой кристалла клинофосинаита.

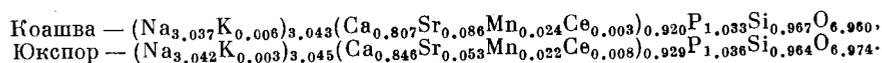
Таблица 3
Результаты микронзондового анализа клинофосинаита (мас.%)

Компоненты	Коашва			Юкспор		
	зерно 1	зерно 2	среднее	зерно 1	зерно 2	среднее
P ₂ O ₅	25.3	25.4	25.35	25.4	25.6	25.5
SiO ₂	19.9	20.3	20.1	20.0	20.2	20.1
Ce ₂ O ₃	0.20	0.15	0.18	0.47	0.40	0.44
CaO	15.6	15.7	15.65	16.4	16.5	16.45
SrO	3.25	2.91	3.08	2.19	1.63	1.91
MnO	0.56	0.64	0.60	0.56	0.52	0.54
Na ₂ O	32.4	32.7	32.55	32.1	33.3	32.7
K ₂ O	0.10	0.08	0.09	0.06	0.04	0.05
Сумма	97.31	97.88	97.60	97.12	98.19	97.69

Примечание. Дополнительно лазерным спектральным анализом в клинофосинаите отмечены незначительные примеси Fe, Mg, Al, Zr, Ti и Ba. Содержания этих элементов оказались ниже предела обнаружения при анализе на микронзонде (TiO₂ < 0.03%, FeO, MgO, Al₂O₃, ZrO₂, BaO < 0.05%).

галлический марганец, 15 кв). В измеренные интенсивности вносились поправки с использованием общепринятой процедуры ZAF по программе EMSKOR (Pedersen и др., 1975). Проанализировано 4 зерна клинофосинаита — по 2 из каждого местонахождения. Для каждого элемента проводилось независимое повторное определение, затем данные о составе каждого зерна усреднялись.

Как следует из полученных данных (табл. 3), клинофосинаит из двух различных районов Хибинского массива имеет практически одинаковый состав. Пересчет результатов анализов на $Si+P=2$ приводит к следующим эмпирическим формулам:



Таким образом, состав клинофосинаита отвечает идеализированной формуле $Na_3CaPSiO_7$.

Вероятно вхождение в состав минерала дополнительных небольших количеств воды или гидроксил-ионов. Это следует из опытов по термической обработке (до $1000^\circ C$) зерен клинофосинаита, в результате чего зафиксирована потеря веса, составляющая для минерала Коашвы 1.08 и для минерала Юкспора 2.55%.

Параллельно с результатами, приведенными в табл. 3, Дж. Г. Ронсбо получены данные о составе ряда кристаллических фаз, включенных в зерна

Таблица 4

Результаты микронзондового анализа кристаллических включений в клинофосинаите (мас.%)

Компоненты	A	B	C	D	Компоненты	A	B	C	D
P_2O_5	0.0	0.07	36.5	0.28	SrO	<0.05	<0.05	6.94	<0.05
SiO_2	55.7	53.6	0.46	50.5	BaO	<0.05	<0.05	12.4	<0.05
ZrO_2	13.8	13.0	<0.05	<0.05	FeO	1.59	1.55	<0.03	0.62
TiO_2	0.45	0.42	<0.03	0.26	MnO	2.49	2.74	0.15	3.77
Al_2O_3	<0.05	<0.05	0.16	<0.05	MgO	0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Ce_2O_3	0.13	0.37	<0.05	0.15	Na_2O	9.45	10.4	16.7	9.52
CaO	3.69	3.82	13.7	30.0	K_2O	<0.01	<0.01	0.08	<0.05

юкспорского клинофосинаита (табл. 4). Фазы A и B, очевидно, относятся к одному и тому же минералу, предположительно ловозериту. Фаза D может быть отождествлена с пектолитом. Фаза C не имеет полных аналогов среди известных минералов. Возможно, она является кальцево-бариевым аналогом ольгита $NaSrPO_4$ или представляет собой новый минеральный вид.

В результате структурной расшифровки (Крутик и др., 1980) установлено, что катионная часть структуры клинофосинаита сосредоточена в геометрически подобных стенках, параллельных (100) и соединяющихся в трехмерный каркас. В стенках на уровне $x \approx 0$ выделяются цепочки из Ca полиэдров, стянутые парами Na полиэдров; стенки на уровне $x \approx 0.5$ сложены Na полиэдрами. Катионный каркас прорастается анионным, в котором объединяются трубчатые колонки из четверных колец двух типов: кремнекислородных $[Si_4O_{12}]$ и смешанных из P ортотетраэдров и Na полиэдров.

Можно предполагать, что основной мотив строения клинофосинаита будет найден в структуре его ромбического аналога фосинаита. Но независимо от степени структурного родства принадлежность клинофосинаита и фосинаита к разным минеральным видам очевидна из сопоставления данных об их составе и свойствах (табл. 1 и 2). Дополнительным аргументом

в пользу индивидуальности этих минералов является их совместное присутствие в образцах из штольни Материальной на горе Юкспор.

Тесная пространственная связь клинофосинаита с псевдоморфозами цирсиалита по эвдиалиту позволяет связывать происхождение этого минерала (как и цирсиалита) с процессами высокотемпературного изменения эвдиалита под влиянием ультращелочных расплавов-растворов.

Авторы благодарят Т. А. Курову (ИМГРЭ) и И. С. Наумову (ВИМС) за помощь в работе.

Оригиналы исследования клинофосинаита переданы в Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР, Москва.

Литература

Капустин Ю. Л., Хомяков А. П., Семенов Е. И., Еськова Е. М., Быкова А. В., Пудовкина З. В. (1974). Фосинаит — новый редкоземельный минерал. ЗВМО, вып. 5.

Крутик В. М., Пущаровский Д. Ю., Хомяков А. П., Победимская Е. А., Белов Н. В. (1980). Анионный радикал смешанного типа (четверные кольца $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]$ и *P*-ортотетраэдры) в структуре моноклинного фосинаита. Кристаллография, т. 25, вып. 2.

Ронсбо Дж. Г. (1978). Количественный микронзондовый анализ натрия в поглощающей матрице (эффект ускоряющего напряжения). В кн.: XI съезд Международ. минералог. асс. Тез. докл., т. II, Новосибирск.

Хомяков А. П. (1978). Типоморфизм минералов ультраапатитовых пегматитов. В кн.: XI съезд Международ. минералог. асс. Тез. докл. т. I, Новосибирск.

Pedersen A. K., Engel J. E., Ronsbo J. G. (1975). Early Tertiary volcanism in the Skagerrak: New chemical evidence from ash layers in the mo-clay of northern Denmark. Lithos, v. 8, N 4.

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ),
Москва, Геологический факультет
Московского университета, Институт минералогии
Копенгагенского университета.