

музей им. А. Е. Ферсмана АН СССР. Авторы выражают сердечную благодарность доктору А. Като (Япония) за помощь в выводе формулы нового карбоната, а также М. А. Пановой (ВИМС) за определение его плотности.

#### Литература

- A S T M (1975). N 14—409. USA Committee on powder diffr. standards.  
 F a u s t G. T. (1953). Huntite, a new mineral. Amer. Miner., v. 38, 1/2.  
 G r a f D. L., B r a d l e y W. F. (1962). The crystal structure of huntite. Acta Crystal., v. 15, pt. 3.

Геологический факультет  
 Московского университета.

УДК 549.546

Д. члены Ю. Л. КАПУСТИН, З. В. ПУДОВКИНА, А. В. БЫКОВА

### ТИСИНАЛИТ — $\text{Na}_3\text{H}_3(\text{Mn, Ca, Fe})\text{TiSi}_6(\text{O, OH})_{18}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ ИЗ ГРУППЫ ЛОВОЗЕРИТА<sup>1</sup>

Тисиналит (tisinalite) — новый водный титаносиликат натрия, марганца, железа и кальция — встречен в 1965 г. в Хибинском массиве. Назван по составу.

В обнаруженных нами на горе Коашва в Хибинском щелочном массиве пегматитовых жилах встречен ряд новых высокощелочных силикатов Ti и Zr (Капустин и др., 1974а, 1974б). Эти пегматиты вскрыты буровыми скважинами на глубине свыше 120 м и образуют систему маломощных секущих жил среди рихчорритов. Жилы сложены зеленым анортоклазом, микроклином, нефелином и эргином и содержат бариевый лампрофиллит, ловозерит и ломоносовит. В центре пегматиты кавернозные, первичные минералы в них изменены, развита ассоциация более поздних гидротермальных минералов: игольчато-волоконистый эгирин, виллиомит, натролит, натрофосфат, щербаковит, расвумит, фосинаит, карбоцер и стронциевый апатит. В таких участках интенсивно изменен ломоносовит. Крупные (до 5 см) монокристаллы его резорбированы, пронизаны вторичными прожилками и окружены каймами зонального зернистого агрегата коашвита и виллиомита.

Зона коашвита окружена каймой зернистого агрегата другого титаносиликата — тисиналита. С внешней стороны эта кайма почти мономинеральна, кавернозна, и в ее пустотах содержатся пластинчатые кристаллы тисиналита. Окружающая порода также кавернозна, и в ее пустотах встречены друзы мелких кристаллов позднего эгирина, натролита, щербаковита и ниобиевого лабунцовита. Каймы тисиналита шириной до 1 см сложены его зернистым агрегатом. Встреченные в пустотах уплощенные кристаллы тисиналита плохо образованы, округлены, с неровной поверхностью; иногда заметны их шестигранные очертания. Кристаллов тисиналита, пригодных для гониометрических измерений, не обнаружено. Размеры отдельных кристаллов его до  $1 \times 0.5 \times 0.5$  мм.

Тисиналит желто-оранжевый, совершенно прозрачен или замутнен, со стекляннным блеском, зернистым или раковистым (в тонких осколках)

<sup>1</sup> Рассмотрено и рекомендовано к опубликованию Комиссией по новым минералам и названиям минералов (КНМ) Всесоюзного минералогического общества 7 декабря 1978 г. Утверждено Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации 28 ноября 1979 г.

Таблица 1

Результаты расчета дебаеграмм тисиналита и близких к нему по структуре минералов

Тисиналит			Казаковит		Цирсиналит		Ловозерит Тригональный	
			(Хомяков и др., 1974)		(Капустин и др., 1974б)		(Капустин и др., 1973)	
I	d/n	hkl	I	d/n	I	d/n	I	d/n
40	7.21	011	—	—	2.3	7.40	5	7.33
70	5.19	102	—	—	3	5.28	8	5.27
14	4.30	003	—	—	—	—	0.6	4.33
33	4.14	201	4	4.10	4	4.22	1.2	4.14
100	3.60	022	7	3.60	4	3.69	7	3.64
					4	3.33	7	3.32
60	3.26	113	6	3.28	6	3.26	10	3.21
80	3.18	121	6	3.17	0.5	3.06	0.6	3.07
35	2.920	212	0.5	2.90	2	2.990	5	2.969
					9	2.637	5	2.635
60	2.590	204	10	2.60	8	2.569	3	2.534
50	2.510	105	8	2.52	0.5	2.456	0.6	2.439
					0.3	2.369		
					1.5	2.260	1.2	2.255
12	2.220	223	—	—	0.5	2.217	0.4	1.197
7	2.142	041	—	—	2.3	2.106	1.2	2.086
7	2.060	402	3	2.079	2.3	2.067	2	2.051
17	2.030	215	1	2.039	0.2	2.011	0.4	2.012
			1	2.003	1	1.970	2	1.957
12	1.931	322	3	1.947	0.5	1.944	1.2	1.923
9	1.904	410	—	—	—	—	5	1.826
55	1.802	135	8	1.816	10	1.842		
					2.3	1.775		
					2	1.761	2	1.755
			5	1.750	0.2	1.745	2	
17	1.737	501	—	—	0.2	1.730	0.4	1.727
8	1.722	207	—	—	1.2	1.713		
10	1.696	052	2	1.689	1.5	1.696	1.2	1.687
8	1.672	405	—	—	1.2	1.669		
8	1.660	226						
8	1.626	127	2	1.639	2	1.636	1.2	1.631
14	1.608	108	3	1.620	1	1.610		
9	1.592	325	1	1.589	1	1.594	0.4	1.597
9	1.578	333	1	1.570	0.2	1.562	1	1.575
11	1.560	151	—	—	0.4	1.552		
10	1.514	227	6	1.529	4	1.539	1	1.538
					4	1.496		
20	1.465	218, 060	7	1.480	1.3	1.483	1.2	1.481
10	1.449	009	—	—	2.3	1.454	0.4	1.463
					0.2	1.430	1.2	1.435
14	1.421	154	—	—	1.2	1.416		
			1	1.400	0.5	1.400	0.6	1.405
					2	1.381		
			3	1.370	0.5	1.366	1	1.371
14	1.354	138	—	—	2	1.355		
20	1.324	344	3	1.340	0.5	1.331	1.2	1.340
14	1.296	0.1.10	4	1.310	2.3	1.285	1	1.314
15	1.255	2.0.10	5	1.269	1.2	1.266		
8	1.240				0.4	1.241		
					0.6	1.230		
					0.2	1.213		

Примечание. Условие съемки тисиналита: камера РКУ-114, излучение  $\text{Cu}$ , эталон  $\text{NaCl}$ , аналитик З. В. Пудовкина. Расчет  $hkl$  проведен на ЭВМ.

изломом, без спайности. Более крупные зерна минерала обычно непрозрачны, сдвойникованы параллельно уплощению и приобретают заметную отдельность вдоль этого направления. По внешнему виду минерал напоминает желтый катаплет из натролитовых гнезд в щелочных пегматитах.

Твердость тисиналита 520—560 кг/см<sup>2</sup> или около 5 по шкале Мооса. Плотность минерала: измеренная — 2.66 и 2.69, вычисленная по рентгеновским данным — 2.682. Оптически тисиналит одноосный, отрицательный,  $N_o=1.624$ ,  $N_e=2.590-1.592\pm 0.002$ .

Дебаеграмма тисиналита четкая, индивидуальная (табл. 1), но имеет черты сходства с прочими минералами группы ловозерита, особенно с тригональным ловозеритом, казаковитом и минералом № 10 А. П. Хомякова (1977), который имеет близкие к тисиналиту оптические свойства, но химически не охарактеризован. Монокристалльное изучение тисиналита показало его принадлежность к тригональной сингонии с параметрами элементарной ячейки  $a_{rh}=7.30\pm 0.02 \text{ \AA}$  и  $\alpha=88^\circ$  или  $a_0=10.14$  и  $c_0=13.08\pm 0.02 \text{ \AA}$ , класс Лауэ  $3m$ ,  $Z=0.97$  или 1. Лауэграммы минерала получаются относительно невысокого качества, возможно, из-за частичной неустойчивости тисиналита в пучке рентгеновского излучения. После нескольких экспозиций последующие лауэграммы от одного и того же зерна становятся все более низкокачественными, а отражения на них приобретают астеризм.

Параметры элементарной ячейки тисиналита практически совпадают с таковыми для тригонального ловозерита, цирциналита и казаковита (табл. 2), также входящих в семейство ловозерита (Черницова и др., 1975). Минералы этого семейства имеют псевдокубическую, ромбоэдрическую элементарную ячейку с углом  $\alpha$ , близким к  $90^\circ$ , и практически идентичными параметрами, невзирая на частую существенную разницу в химическом составе и прежде всего — по содержанию Ti, Zr, H<sub>2</sub>O и Na.

Таблица 2

Характеристика кристаллической структуры минералов группы ловозерита и близких к ней титано-цирконосиликатов

Минерал	$a_0 \text{ \AA}$	$b_0 \text{ \AA}$	$c_0 \text{ \AA}$	$a_{rh}$	$\alpha$	$\beta$	Сингония
Тисиналит	10.14	—	13.08	7.30	$88^\circ 00'$	—	Тригональная
Ловозерит Т	10.13	—	13.10	7.31	$88^\circ 02' - 88^\circ 12'$	—	То же
Ловозерит М	10.20	10.20	7.33	—	—	$92^\circ 30'$	Моноклиная
Цирциналит	10.29	—	12.11	7.38	$88^\circ 28'$	—	Тригональная
Казаковит	10.18	—	13.06	7.30	$88^\circ 15'$	—	То же
Пенквилксит	7.48	8.77	—	—	—	$90^\circ$	Ромбическая или моноклиная
Минерал № 10 А. П. Хомякова	10.02	—	12.89	—	—	—	Тригональная

Примечание. Минерал № 10 А. П. Хомякова (1977), вероятно, также принадлежит структурному семейству ловозерита.

По химическому составу тисиналит является новым водным титано-силикатом Na, Fe, Mn и Ca (табл. 3), принадлежащим к семейству ловозерита и близким также к пенквилкситу. Спектральным анализом в тисиналите дополнительно обнаружены следы Sr, K, Ba, Zn и V.

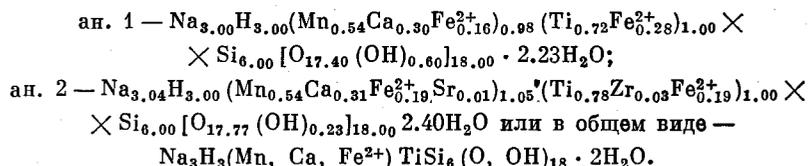
Пересчет данных химического анализа двух образцов тисиналита (табл. 3) приводит к целочисленным коэффициентам при расчете на 6 атомов Si, причем выделяются три типа (группы) катионов: 1 — Na, 2 — (Mn, Fe, Ca), 3 — Ti и дополнительно — H. Формулы минерала имеют вид

Таблица 3

## Химический состав тисиналита и близких к нему минералов

Компоненты, константы	Тисиналит		Ловозерит	Кошвигит	Лампрофил- лит	Ломоносовит	Шербаквит	Лабунцовит		Пенквилксит		Казаквит
	1	2						8	9	10	11	
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	—	0.40	0.77	2.27	12.90	9.00	1.16	0.93	1.40	
SiO <sub>2</sub>	53.27	53.35	54.46	50.00	29.80	25.00	42.50	39.24	54.69	54.20	52.44	
TiO <sub>2</sub>	8.45	9.36	0.92	4.45	29.31	27.82	15.27	21.02	15.91	16.06	7.62	
ZrO <sub>2</sub>	1.00	0.60	13.19	Не обн.	Не обн.	1.43	0.14	Не обн.	2.17	4.67		
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.11	0.06	0.57	»	1.12	Не обн.	Не обн.	»	»	»		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не обн.	Не обн.	1.87	»	Не обн.	»	»	»	0.76	Не обн.	0.84	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	»	»	2.58	4.45	1.12	3.10	1.53	»	0.19	0.30	2.30	
FeO	4.49	3.95	—	0.78	4.84	1.00	—	4.10	0.01	0.01	4.40	
MnO	5.40	5.71	2.16	4.35	2.46	0.20	0.91	0.20	Сл.	Сл.	0.10	
MgO	Не обн.	Не обн.	—	0.34	0.35	1.10	1.77	0.72	1.60	Не обн.	0.40	
CaO	2.46	2.64	4.09	7.33	2.20	—	—	—	0.01	»	—	
SrO	—	0.21	—	—	3.88	—	—	—	—	»	—	
BaO	—	—	—	—	12.04	—	7.02	7.88	13.13	13.91	25.50	
Na <sub>2</sub> O	13.83	14.00	11.63	27.00	8.72	24.00	6.10	0.90	0.09	—	0.47	
K <sub>2</sub> O	Сл.	—	0.24	0.08	2.90	—	11.60	4.88	10.27	—	3.80	
H <sub>2</sub> O	10.65	9.82	7.28	1.10	0.80	1.14	0.41	11.78	0.07	8.45	—	
Прочие	—	—	1.06	—	2.13	13.03	—	—	—	—	—	
Сумма	99.66	99.70	100.05	100.28	99.77	100.09	100.15	100.22	100.04	99.54	99.97	
Плотность	2.66	2.69	2.64	3.02	3.64	2.89	3.42	3.14	—	2.58	2.84	
<i>N<sub>g</sub></i>	1.624	1.624	1.576	1.648	1.777	1.742	1.750	1.773	—	1.662	1.648	
<i>N<sub>m</sub></i>	—	—	—	1.643	1.752	1.689	—	—	—	1.640	—	
<i>N<sub>p</sub></i>	1.590	1.592	1.536	1.637	1.745	1.689	1.704	1.700	—	1.637	1.625	
2V (град)	—	—	—	—82	—40	—	+86	—	—	+42	—	

Примечание. Ан. 1—8 — по данным авторов, ан. 9 и 10 — по И. В. Буссен и др. (1974), ан. 11 — по А. П. Хомякову и др. (1974); прочие компоненты: ан. 3 — Сг; ан. 5 — F; ан. 6 — F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; ан. 9 — F (при наличии в составе минерала F и Cl из суммы химического анализа вычитены соответствующие количества —O и —(F, Cl)).



В них имеет место кремнекислородный радикал  $\text{Si}_6\text{O}_{18}$ , что и у прочих минералов семейства довозерита. Количественным спектральным анализом Л. Г. Логиновой произведена расшифровка состава TR в тисиналите (из выделенной суммы  $\text{TR}_2\text{O}_3$ ), оказавшегося резко цериевым,  $\text{La}_{28}\text{Ce}_{46}\text{Pr}_5\text{Nd}_{19}\text{Sm}_2$ .

Из сравнения физических свойств, химического состава, дебаграмм, параметров элементарной ячейки и формул минералов семейства довозерита видно, что все они имеют определенное сходство и построены по близкому

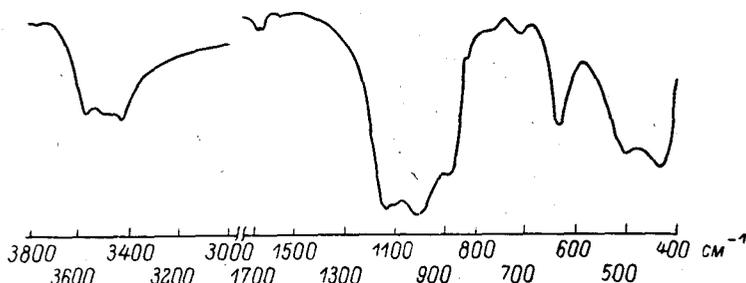


Рис. 1. Дериватограмма тисиналита (лаборатория ИМГРЭ).

плану. Их обобщенная формула может быть представлена в виде  $\text{Na}_n\text{H}_m(\text{Mn, Ca, Fe})\text{TiSi}_6\text{O}_{18} \cdot p\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{Na}_n\text{H}_m(\text{Mn, Ca, Fe})(\text{Ti, Zr})\text{Si}_6(\text{O, OH})_{18} \cdot p\text{H}_2\text{O}$  с коэффициентами  $n=6$  или  $3$  и  $m=1$  или  $3$  (Черницова и др., 1975). Тисиналит можно рассматривать как водное производное коашвита или казаковита, из которого вынесено 50% Na. Если формулу тисиналита представить в виде  $\text{Na}_3\text{H}_3(\text{Ca, Mn})\text{TiSi}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_3 \cdot p\text{H}_2\text{O}$ , то она приобретает сходство с формулами эльпидита и катаплеита при замене в последних Zr на Ti. Весьма близок по химическому составу к тисиналиту и пенквилксит, от которого тисиналит отличается вдвое меньшим количеством  $\text{TiO}_2$  и высоким содержанием  $\text{R}^{2+}$  — Ca, Mn, Fe (в сумме 12.35% вместо 1.60% CaO в пенквилксите), при близких количествах  $\text{SiO}_2 \sim 54\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  13–14% и  $\text{H}_2\text{O} \sim 10.5\%$ . Однако эти минералы принадлежат к различным сингониям (пенквилксит ромбический).

Изучение группы щелочных титано-цирконосилкатов и новые находки этих минералов в последнее время показали возможность образования самостоятельных минеральных видов с индивидуальными (хотя и близкими) свойствами при сходном химическом составе, даже при относительно небольших изменениях содержания Ti и  $\text{H}_2\text{O}$ , при замене  $\text{Zr} \leftrightarrow \text{Ti}$  или при появлении в структуре минерала дополнительной группы  $\text{R}^{2+}$  — (Mn+Ca+Fe).

На дериватограммах тисиналита фиксируются три эндотермических эффекта: при 140, 260 и 860°C, сопровождаемые потерей веса соответственно 3.3, 6.0 и 1.8% (рис. 1). Эти эффекты обусловлены выделением воды различного характера. ИК спектр минерала имеет характерную картину и содержит группы линий, отвечающих колебаниям основных компонентов, имеющихся в минерале. В длинноволновой области выделяется серия линий, обусловленных наличием в минерале нескольких групп  $\text{H}_2\text{O}$ : гидроксильной, кристаллизационной и, вероятно, кислородных группировок  $\text{H}^+$ , хотя особенности структурного положения и характерные для  $\text{H}^+$  линии на ИК спектре до сих пор не вполне ясны (рис. 2).

В последнее время большое число новых цирконо- и титаносиликатов описано в пегматитах Хибинского массива, а также в пегматите жилы Юбилейной в Ловозерском массиве (раит, зарит, ильмайокиит и др.). Титаносиликаты из жилы Юбилейной несколько отличаются от сходных минералов из Хибинского массива, и, как правило, почти не содержат Са, в то время как в минералах из пегматитов горы Коашвы в Хибинском массиве содержание СаО в тисиналите, коашвите и цирсиналите относительно постоянно  $\geq 5\%$  и повышено также количество Mn и Fe.

Тисиналит — относительно устойчивый минерал, и в ходе гидротермального процесса непосредственному замещению другими минералами он не подвергается. В пустотах внешней зоны агрегат тисиналита кавернозен, корридирован и окаймляется скоплениями кристаллов более низкотемпературных титаносиликатов — щербаковита и ниобиевого лабунцовита.

Наличие в пегматитах горы Коашвы в Хибинском массиве ряда последовательных продуктов кристаллизации и изменения, представленных титаносиликатами в следующем ряду: ломоносвит и Ва-лампро-

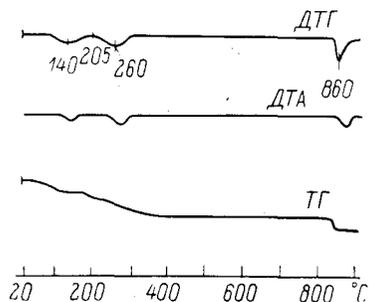


Рис. 2. ИК спектр тисиналита (получен в ИГФМ АН УССР, лаборатория акад. А. С. Поваренных).

филлит → коашвит → тисиналит → щербаковит → ниобиевый лабунцовит, фиксирует изменения соотношений основных катионов в этих минералах, вероятно, отражая их изменение в минералообразующей среде при развитии процесса пегматитообразования. Ломоносвит и лампрофиллит — первичные минералы, затем по ломоносвиту развиваются коашвит и тисиналит. Щербаковит кристаллизуется позднее тисиналита при растворении Ва-лампрофиллита, и лабунцовит — наиболее низкотемпературный минерал — завершает процесс кристаллизации титаносиликатов.

При сопоставлении химического состава последовательно образующихся минералов в этом ряду четко выявляется закономерное изменение содержания основных катионов. Ломоносвит — наиболее высокотитанистый минерал. В коашвите содержание Ti резко падает, а возрастает количества Са, Mn и в меньшей степени — Na. Далее, в тисиналите уменьшается содержание Na, но возрастает количество Ti, Щербаковит сохраняет бариевую специфику растворяющегося Ва-лампрофиллита, но обогащен Nb и K. Низкотемпературный лабунцовит еще более богат Nb, Ti, Ва и K. Параллельно в рассматриваемом ряду минералов возрастает количество воды (табл. 3). Таким образом, в пегматитах на гидротермальной стадии их развития при понижении температуры накапливались Nb, Ва и K при снижении роли Na, Ti, Са и возрастании количества воды в образующихся более поздних минералах.

Эталонные образцы тисиналита переданы в Минералогический музей АН СССР им. А. Е. Ферсмана в Москве.

#### Литература

Буссен И. В., Меньшиков Ю. П., Мерьков А. Н., Недорезова А. П., Успенская Е. И., Хомяков А. П. (1974). Пенквилксит — новый минерал. ДАН СССР, т. 217, № 5.

Капустин Ю. Л., Быкова А. В., Пудовкина З. В. (1973). К минералогии группы ловозерита. Изв. АН СССР. Сер. геол., № 8.

Капустин Ю. Л., Пудовкина З. В., Быкова А. В., Любомилова Г. В. (1974а). Коашвит — новый минерал. ЗВМО, вып. 5.

Капустин Ю. Л., Пудовкина З. В., Быкова А. В. (1974б). Цирсиналит — новый минерал. ЗВМО, вып. 5.

Хомяков А. П. (1977). Новое в минералогии группы ловозерита. ДАН СССР, т. 237, № 1.

Хомяков А. П., Семенов Е. И., Еськова Е. М., Воронков А. А. (1974). Казаковит — новый минерал. ЗВМО, вып. 3.

Черницова Н. М., Пудовкина З. В., Воронков А. А., Пятенко Ю. А., Капустин Ю. Л. (1975). О новом кристаллохимическом семействе ловозерита. ЗВМО, вып. 1.

Московский геологоразведочный институт (МГРИ),  
Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии  
редких минералов (ИМГРЭ), Москва.