

А. Ф. ЕФИМОВ, С. М. КРАВЧЕНКО и З. В. ВАСИЛЬЕВА

СТРОНЦИЙАПАТИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 31 VII 1961)

Летом 1957 г. при изучении щелочных пегматитов Инаглинского массива (Южная Якутия) С. М. Кравченко и Е. В. Власовой обнаружен минерал, предварительно определенный как апатит, содержащий Ba и TR⁽⁶⁾.

Дальнейшее его изучение авторами показало, что найденный минерал по своим свойствам (удельный вес, параметры решетки) сильно отличается от обычного апатита. Данные химического анализа, показавшие, что в катионной части минерала преобладающим катионом является стронций, окончательно убедили авторов в том, что они имеют дело с новым минералом группы апатита.

Минерал найден в щелочных пегматитах, образующих жильные тела до 20 м мощностью, секущие дунитовое ядро концентрически-зонального ультраосновного — щелочного Инаглинского массива и сложенных в основном микроклином, эккерманитом и альбитом.

Выделения минерала приурочены к эгирин-эккерманит-альбитовым шлифовидным скоплениям в теле жилы. Описываемый минерал встречается в виде отдельных плохообразованных кристаллов, имеющих в продольном сечении вид овалов размером 0,2 × 1 см, а в поперечном обладающих округлыми очертаниями. Реже наблюдаются более или менее хорошо ограненные призматические кристаллы размером до 4 см по оси *c*. В протолочках из пегматитов встречаются мелкие, полностью ограненные кристаллики описываемого минерала, однако поверхность их граней обычно корродирована.

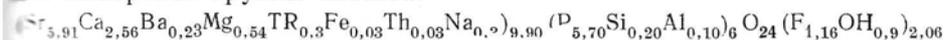
Изученные кристаллы имеют грани призмы (10 $\bar{1}$ 0) и дипирамиды (10 $\bar{1}$ 1); других форм обнаружено не было.

Кристаллы минерала включены в мелкозернистый агрегат сахаровидного альбита, заполняющий промежутки между кристаллами эгирина и эккерманита; иногда наблюдаются вростки минерала в эккерманите и микроклине. Кроме указанных минералов в данной парагенетической ассоциации встречаются: радиальнолучистый батисит, желтая мелкопластинчатая генерация неопределенного минерала (силиката Ba и Ti), таблитчатый рамзаит и, реже, эвдиалит.

В других жилах эгирин-эккерманит-полевошпатового типа описываемый минерал встречается лишь в виде мелких единичных выделений.

Цвет минерала обычно бледно-зеленый или бледно-желто-зеленый. Мелкие кристаллики и обломки кристаллов бесцветны, водянопрозрачны. Блеск стеклянный, на изломе жирный. Иногда наблюдается несовершенная спайность по призме. Твердость 5. Удельный вес 3,84 (определен Г. Г. Прозоровой методом гидростатического взвешивания). Как и все минералы группы апатита, легко растворим в кислотах.

Показатели преломления: $N_o = 1,651$; $N_e = 1,637$. Химический состав описываемого минерала приводится в табл. 1 Пересчет данных химического анализа на атомные отношения приводит к следующей формуле, типичной для минералов группы апатита:



Отношение (Sr + Ba) : (Ca + Mg + TR + Na + Fe + Th) в минерале равняется примерно 6 : 4 и формула его в общем виде может быть представлена как $\text{Sr}_6\text{Ca}_4\text{P}_6\text{O}_{24}\text{F}_2$, где Sr изоморфно замещается Ba; Ca — TR, Fe, Th, Mg и Na; P — Si и Al, а F — OH и O.

Таблица 1

Химический состав минералов группы апатита, содержащих Sr

Компонент	Sr-apatит (*), Кольский п-ов		Sr-apatит (**), Монтана		Минерал из Якутии		Sr ₁₀ P ₆ O ₂₄ F ₂ искусственный		Беловит (1), Кольский п-ов	
	вес. %	атомн. отнош.	вес. %	атомн. отнош.	вес. %	атомн. отнош.	вес. %	атомн. отнош.	вес. %	атомн. отнош.
P ₂ O ₅	38,33	5400	39,20	5440	30,44	4288	28,69	4042	28,88	4068
SiO ₂	1,55	258	0,14	20	0,90	150	—	—	0,20	33
SO ₃	—	—	—	—	He обн.	—	—	—	1,12	127
Al ₂ O ₃	0,34	67	0,38	80	0,40	78	—	—	He обн.	—
CaO	42,38	7557	46,30	8250	10,80	1926	—	—	5,23	932
SrO	11,42	1102	11,60	1120	46,06	4445	69,82	6737	33,60	3242
BaO	He обн.	—	0,06	—	2,70	176	—	—	0,96	62
MnO	0,05	7	0,02	—	He обн.	—	—	—	He обн.	—
MgO	0,05	12	0,25	60	1,64	407	—	—	0,16	39
TiO ₂	—	—	0,04	10	He обн.	—	—	—	He обн.	—
ThO ₂	—	—	He обн.	—	0,60	23	—	—	» »	—
TR ₂ O ₃	3,22	196	» »	—	3,73	227	—	—	24,20	1464
Fe ₂ O ₃	0,12	5	0,27	40	0,15	19	—	—	0,60	74
Na ₂ O	0,13	42	0,10	40	0,64	206	—	—	3,60	1162
K ₂ O	0,07	15	0,02	—	0,10	21	—	—	0,20	42
H ₂ O	0,28	311	—	—	0,61	677	—	—	0,89	988
F	3,73	1963	2,57	1350	1,67	879	2,56	1347	He обн.	—
H. o.	—	—	0,14	—	—	—	—	—	—	—
—O=F ₂	—101,67 1,57	—	—101,09 1,08	—	—100,44 0,70	—	—101,07 1,07	—	—	—
Сумма	1010,10	—	100,01	—	99,74	—	100,00	—	99,44	—
Аналитик	Е. И. Захаров	—	М. Н. Флетчер	—	Э. В. Васильева	—	—	—	М. Е. Казакова	—

Таблица 2

Состав редких земель в минералах группы апатита, содержащих стронций и редкие земли (в процентах)

	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Er	Ib
Редкоземельный апатит (Ловозеро) (*)	22	51	6	17	1,8	0,2	1,6	0,1	0,3	—	—
Минерал из Якутии	26,15	53,9	5	13,8	0,63	0,1	0,31	—	0,06	0,06	0,13
Беловит (Ловозеро) (1)	26,1	43,5	8,7	21,7	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 3

Параметры ячейки, показатели преломления и удельный вес некоторых минералов группы апатита, содержащих Sr

Минерал	a ₀	c ₀	c ₀ /a ₀	n _o	n _e	Уд. вес.
Ca ₁₀ P ₆ O ₂₄ F ₂	9,38	6,86	0,731	1,634	1,629	3,18
Sr-apatит, Кольский п-ов	—	—	—	1,634	1,629	3,35
Sr-apatит, Монтана	9,41	6,91	0,734	1,638	1,634	3,35
Минерал из Якутии	9,66	7,19	0,744	1,651	1,637	3,83
Sr ₁₀ P ₆ O ₂₄ F ₂ искусственный	9,70	7,26	0,748	—	—	4,19*
Беловит	9,62	7,12	0,740	1,660	1,640	4,17

Состав редких земель, определенный в рентгенохимической лаборатории института, ничем существенно не отличается от их состава для других минералов группы апатита, содержащих стронций и редкие земли (табл. 2).

Наряду с редкими землями в изученном минерале установлено наличие 0,6% ThO₂. Замена двухвалентного кальция четырехвалентным торием требует компенсации валентности, что осуществляется, по-видимому, за счет замены пентавалентного фосфора трехвалентным ионом алюминия.

Схематически это можно представить следующим образом:



Ионные радиусы P⁵⁺ и Al³⁺, соответственно, равны 0,35 и 0,57.

Таблица 4

Межплоскостные расстояния минерала из Южной Якутии и апатита из Джида

Минерал	Sr ₆ Ca ₄ P ₆ O ₂₄ (F, OH) ₂ , Якутия		Ca ₁₀ P ₆ O ₂₄ F ₂ , Джида		№№ п. п.	Sr ₆ Ca ₄ P ₆ O ₂₄ (F, OH) ₂ , Якутия		Ca ₁₀ P ₆ O ₂₄ F ₂ , Джида	
	Fe-изл., 2R = 86 мм, d = 0,3 мм		Fe-изл., 2R = 57,3 мм, d = 0,6			Fe-изл., 2R = 86 мм, d = 0,3 мм		Fe-изл., 2R = 57,3 мм, d = 0,6 мм	
	I	d, кХ	I	d, кХ		I	d, кХ	I	d, кХ
3	3,59	2	3,47	13	4	1,849	9	1,845	
3	3,30			14	3	1,823	5	1,815	
7	3,167	1	3,17	15	3	1,798	3	1,785	
10	2,89	10	2,80	16	2	1,560	2	1,540	
7	2,78	7	2,73	17	2	1,512	3	1,506	
5	2,32	3	2,27	18	2	1,497	6	1,477	
2	2,20	3	2,15	19	6	1,467	6	1,458	
5	2,147			20	2	1,310	8	1,281	
2	2,106			21	3	1,266	3	1,264	
7	2,005	7	1,949	22	4	1,254	9	1,237	
4	1,953			23	2	1,205	6	1,221	
7	1,909	5	1,894	24	3	1,185	4	1,160	

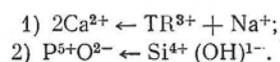
Таблица 5

Содержание Ca, Sr и (TR + Na) в минералах группы апатита (в процентах к их сумме в атомном выражении)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ca	85,3	89,5	87,00	90,2	92,3	96,1	84,8	96,8	93,5	87,7	92,7	88	14,00	31,57
Sr	6,5	3,3	5,40	7,5	6,4	2,4	12,6	2,2	5,5	10,0	4,5	12	47,60	62,02
(TR + Na)	6,8	7,2	7,60	2,3	1,3	1,5	2,8	1,0	1,0	2,3	2,8	—	38,40	6,40

Примечание. 1—6 — апатиты Ловозерских Тундр (5): 1 — из малиньитов, (г. Карнасурт), 2 — из ийолит-уртитов (г. Карнасурт); 3 — из уртитов (г. Куфтьюн); 4 — из уртитов (г. Карнасурт); 5 — из эвдиалитовых дуэвритов (г. Карнасурт); 6 — из контаминированных фойяитов (г. Коклухтунай). 7 — апатит Хибинских Тундр (саамит) (5); 8—11 — апатиты из Хибинских Тундр (6); 12 — апатит из Монтаны (11); 13 — Беловит (5); 14 — минерал из Якутии

Другие изоморфные замещения, имеющие место в данном минерале, могут быть представлены следующими схемами:



Таким образом, в описываемом минерале преобладающим катионом является стронций. Такое высокое содержание SrO (46,06%) впервые обнаружено в природном минерале со структурой апатита. До сих пор в апатитах максимальное количество SrO не превышало 11,42; 11,6% (Кольский полуостров (3) и Монтана, США (11)). В беловите — редкоземельно-стронциевом минерале со структурой апатита — установлено 33,60% SrO (4).

Химический состав и физические свойства минералов группы апатита, содержащих стронций, приведены в табл. 1 и 3.

В 1939 г. Клементу (10) удалось синтезировать искусственный стронцийгидроксилапатит, отвечающий формуле Sr₁₀P₆O₂₄(OH)₂. Позднее, в 1958 г., Акхаван-Ниаки и др. (7) синтезировали стронцийфторапатит Sr₁₀P₆O₂₄F₂ со следующими параметрами решетки: a₀ = 9,700 кХ; c₀ = 7,262 кХ; c/a = 0,748. Они экспериментально доказали возможность неограниченного изоморфного замещения в ряду Ca₁₀P₆O₂₄F₂ — Sr₁₀P₆O₂₄F₂. В 1959 г. Р. Коллин, а затем в 1960 г. Э. Хайек экспериментально продемонстрировали возможность неограниченного изоморфизма и в ряду Ca₁₀P₆O₂₄(OH)₂ — Sr₁₀P₆O₂₄(OH)₂ (8,9).

Дебаграмма описываемого минерала из Якутии (табл. 4) показывает увеличение межплоскостных расстояний по сравнению с обычным фторапа-

титом. По дебаеграммам вычислены параметры его решетки: $a_0 = 9,66$ кХ, $c_0 = 7,19$ кХ (с точностью $\pm 0,01$), $c_0/a_0 = 0,744$.

Сопоставление свойств минералов группы апатита, содержащих в своем составе Sr (табл. 3), позволяет сделать следующие выводы: с увеличением содержания стронция, как элемента с большим атомным весом и с

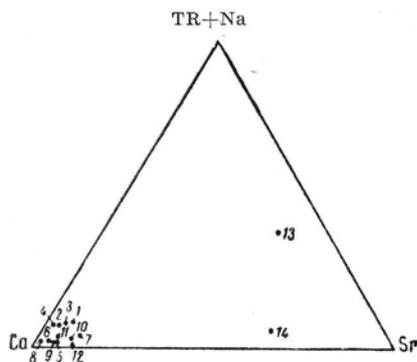


Рис. 1. Схема соотношения между Ca, Sr и (TR + Na) (в процентах к их сумме) в минералах группы апатита

большим ионным радиусом по сравнению с кальцием, увеличиваются удельный вес минерала, параметры решетки и отношение c_0/a_0 (атомные веса и ионные радиусы Sr и Ca, соответственно, равны 87,63; 40,08; 1,20 и 1,04 Å).

Причина наблюдающегося в минерале из Якутии заметного увеличения показателей преломления не может быть объяснена влиянием лишь одного компонента, так как и присутствующие в нем редкие земли и гидроксильная группа оказывают влияние на эти свойства в сторону их увеличения (2, 3). Однако, учитывая относительно небольшое содержание редких земель (меньшее, чем для редкоземельного апатита из Ловозера (5)) и доволь-

но значительное увеличение показателей преломления, можно предположить, что присутствие в минерале также увеличивает эти константы.

В табл. 5 и на рис. 1 отражено содержание Ca, Sr и (TR + Na) в минералах группы апатита. При этом следует оговориться, что учитывалось только изоморфное замещение, происходящее по схеме: $2Ca^{2+} \leftarrow TR^{3+} + Na^+$, которое широко представлено в беловите, а также присуще и другим апатитам. Другие изоморфные замещения, имеющие лишь незначительное значение в данных апатитах, для простоты построения графика во внимание не принимались. Из диаграммы наглядно видно, что почти все рассматриваемые здесь апатиты в основном сконцентрированы в одной области, за исключением описываемого минерала из Якутии и беловита, которые близки к промежуточным членам изоморфных рядов $Ca_{10}P_6O_{24}(F, OH)_2 - Sr_{10}P_6O_{24}(F, OH)_2$ и, соответственно, $Sr_{10}P_6O_{24}(O, OH)_2 - (TR + Na)_{10}P_6O_{24}(O, OH)_2$.

Учитывая, что крайний стронциевый член ряда, полученный искусственно, был назван стронций-апатитом (Strontiumapatite) и что наш минерал близок к этому крайнему члену, мы предлагаем и его называть стронций-апатитом. В случае дальнейших находок целесообразно распространять это название на все минералы ряда $Ca_{10}P_6O_{24}(F, OH)_2 - Sr_{10}P_6O_{24}(F, OH)_2$, в которых количество стронция превышает 50% от катионной группы (в атомном выражении).

Образцы стронций-апатита переданы в Минералогический музей АН СССР.

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов
Академии наук СССР

Поступило
27 VII 1961

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. С. Бородин, М. Е. Казакова, ДАН, 96, № 3, 613 (1954). ² З. В. Васильева, Геохимия, № 8, 704 (1957). ³ М. И. Волкова, Б. Н. Мелентьев, ДАН, 25, № 2, 121 (1939). ⁴ О. Б. Дудкин, Матер. по минералогии Кольского полуострова, 1, Кировск, 1959. ⁵ Е. М. Еськова, Тр. Инст. минерал., геохим. и кристаллохим. редких элементов, в. 3, 69 (1959). ⁶ С. М. Кравченко, Е. В. Власова, ДАН, 128, № 5 (1959). ⁷ Ali-Naghi Akhavan-Nia, R. W. Laeys, C. R., 246, № 10, 1556 (1958). ⁸ R. L. Collin, J. Am. Chem. Soc., 81, 5275 (1959). ⁹ E. Hauek, H. Petter, Monatsch. Chem., 91, № 2, (1960). ¹⁰ R. Klement, Zs. f. anorg. u. allgem. Chem., 242, H. 2, 215 (1939). ¹¹ E. S. Larsen, M. I. Fletcher, E. A. Cisnev, Am. Min., 37, № 7-8, 656 (1952).