

В. Г. Фекличев, И. С. Разина

### О ФОСФОРСОДЕРЖАЮЩЕМ БЕРИЛЛЕ

Кристалл берилла из пегматитового месторождения Сибири был представлен нам в числе других кристаллов берилла для изучения Ю. Филипповой. Оптическое изучение берилла показало, что он обладает относительно высоким для берилла светопреломлением, а спектральный анализ показал высокое содержание фосфора. Это побудило нас исследовать данный кристалл более тщательно.

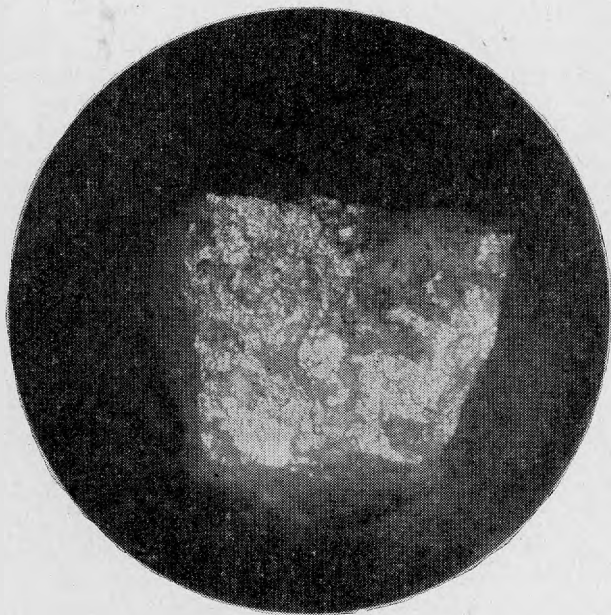


Рис. 1. Характер поверхности грани (1010) кристалла фосфорсодержащего берилла. Увел. 50

Кристалл берилла короткостолбчатый, призматический, длиной до 0,5 см, образован гранями (1010) и (0001). На гранях наблюдался грубый рельеф метасоматического роста (рис. 1), вросстки шерла, розового кварца и альбита. Кристалл непрозрачен, неравномерно окрашен в розовато-белый цвет.

Удельный вес берилла 2,72;  $N_o = 1,586$ ,  $N_e = 1,580$ ,  $N_o - N_e = 0,006$ . Высокое светопреломление в сопоставлении со средним для берилла удель-

ным весом заставили предполагать, что это щелочной берилл, содержащий легкие щелочи (Li, Na). Полный химический анализ подтвердил это предположение (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Химический состав фосфорсодержащего берилла

Компоненты	Вес. %	Атомные кол-ва	Компоненты	Вес. %	Атомные кол-ва
SiO <sub>2</sub>	60,85	1013	Na <sub>2</sub> O	1,62	0052
TiO <sub>2</sub>	Нет	—	K <sub>2</sub> O	0,53	0011
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,95	0391	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,60	0050
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,29	0004	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Нет	—
FeO	Нет	—	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,76	0085
MnO	Следы	—	BeO	10,19	0407
MgO	0,49	0012	Li <sub>2</sub> O	0,97	0063
CaO	0,36	0006	Rb <sub>2</sub> O	0,03	0001
SrO	Нет	—	Cs <sub>2</sub> O	0,18	0001
			С у м м а	99,82	—

Варианты пересчета химического анализа фосфорсодержащего берилла

I. Расчет на (Si + P)<sub>6</sub>

Na<sup>1+</sup> 0,291 K<sup>1+</sup> 0,062 Li<sup>1+</sup> 0,353 Rb<sup>1+</sup> 0,006 Cs<sup>1+</sup> 0,006 (=0,718)  
 Ca<sup>2+</sup> 0,034  
 Be<sup>2+</sup> 2,190 Al<sup>3+</sup> 0,122 (=2,312)  
 Al<sup>3+</sup> 1,911 Fe<sup>3+</sup> 0,022 Mg<sup>2+</sup> 0,067 (=2,000)  
 Si<sup>4+</sup> 5,720 P<sup>5+</sup> 0,280 (=6,000)  
 O<sup>2-</sup> 17,873  
 H<sub>2</sub>O 0,238

II. Расчет на Si<sub>6</sub>

Na<sup>1+</sup> 0,307 K<sup>1+</sup> 0,065 Li<sup>1+</sup> 0,372 Rb<sup>1+</sup> 0,006 Cs<sup>1+</sup> 0,006 (=0,756)  
 Ca<sup>2+</sup> 0,036  
 Be<sup>2+</sup> 2,401  
 Al<sup>3+</sup> 1,904 Fe<sup>3+</sup> 0,024 Mg<sup>2+</sup> 0,072 (=2,000)  
 Si<sub>6</sub><sup>4+</sup>  
 O<sup>2-</sup> 17,779  
 H<sub>2</sub>O 0,250

P<sub>050</sub> Остаток, не рассчитанный на Si<sub>6</sub>  
 Al<sub>057</sub> Al : P ≈ 1 : 1. AlPO<sub>4</sub> — бериллит

Анализ также подтвердил высокое содержание фосфора в берилле, но вместе с тем в нем обнаружено и повышенное содержание алюминия.

Был проведен пересчет анализа, исходя из двух предположений: 1) фосфор входит в структуру берилла и замещает в нем изоморфно кремний; 2) фосфор не замещает кремний, а связан в самостоятельном минерале, присутствующем в берилле в виде микровключений. В первом случае пересчет велся на (Si + P)<sub>6</sub>, а получающийся большой избыток Al объединялся вместе с Be в предположении, что этот Al четырехкоординационный. Во втором случае пересчет велся на Si<sub>6</sub>, а фосфор и избыток алюминия исключались из состава берилла. В обоих случаях вода считалась отдельно как молекулярная, а кислород рассчитывался путем компенсации всей катионной части.

Трудно отдать предпочтение какому-либо из двух результатов пересчета. В первом случае мы вынуждены считать избыток алюминия четырехкоординационным, что трудно доказать. Правда, на возможность частично четырехкоординационного Al в берилле указывал А. А. Беус (1960). В. В. Бакакин, Н. В. Белов (1962) отмечают, что Al будет размещаться в тетраэдрических положениях Ве (или Si) только тогда, когда имеется избыток Al при недостатке Ве (или Si). У нас имеется недостаток Ве при избытке Al. В этом случае также получается более высокое, чем во втором случае, количество кислорода, хорошо компенсирующее катионную часть.

Во втором случае получается более низкое количество кислорода, но остаток алюминия хорошо относится к количеству фосфора, как 1:1. Такое отношение Al и P может быть в очень редком минерале — берлините ( $\text{AlPO}_4$ ). Берлинит по свойствам может быть похож на берилл. Согласно А. Г. Бетехтину (1950), у него может быть серовато-розовый цвет, уд. вес

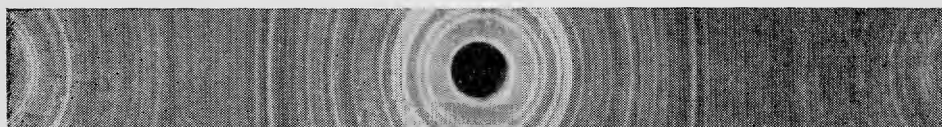


Рис. 2. Дебаеграмма фосфорсодержащего берилла. Аналитик Р. Александрова. Си-излучение, Ni-фильтр,  $D=57$  мм

2,64. Согласно А. Н. Винчеллу и Г. Винчеллу (1953) берлинит может быть анизотропным с двупреломлением 0,0055 [у нашего берилла 0,006 (!)], но может быть и изотропным. Светопреломление берлинита, однако, отличается от такового для берилла:  $n_g = 1,529$ ,  $n_p = 1,5235$ . Предполагалось, что при отборке микровключения этого минерала не были отличимы от берилла. Просмотр порошка берилла в иммерсионной жидкости, имеющей показатель преломления 1,525, показал присутствие мелких зерен, размером менее 0,01 мм с близкими показателями преломления и двупреломлением около 0,007, но выделить их для рентгеновского изучения не удалось. У вrostков альбита в берилле  $n_g = 1,536$ ,  $n_p = 1,526$ ,  $n_g - n_p = 0,010$ ; наблюдались хорошо выраженные двойники. Возможно, зерна, найденные в порошке берилла, являются альбитом, хотя при отборке он устранился.

Была снята рентгенограмма с порошка берилла, отданного на анализ (рис. 2). Рентгенограмма фосфорсодержащего берилла по межплоскостным расстояниям почти не отличается от обычного щелочного берилла. Никаких дополнительных линий, не свойственных бериллу, на ней не обнаружено. Возможно, что при таком небольшом проценте примеси, она не могла не отразиться на дебаеграмме.

Порошок фосфорсодержащего берилла, растертый в ступке, выдерживался в азотной кислоте, и полученный фильтрат анализировался на фосфор.

Анализ, выполненный И. С. Разиной, показал, что фильтрат фосфора не содержит.

Все изложенные материалы говорят в пользу того, что фосфор в берилле, изучаемом нами, входит в структуру минерала, замещая кремний.

В связи с этим интересны другие данные по содержанию фосфора в бериллах. Высокое содержание P (0,27%) обнаружено Шаллером и др. (Schaller a. oth., 1962). Отсутствие выщелачивания фосфора при обработке порошка берилла в  $\text{HNO}_3$ , по их мнению, доказывает, что он входит в структуру берилла, а не в состав минералов-примесей и, по-видимому, замещает Si в тетраэдрах. Анализы показывают, что наиболее высокие содер-

жания Р характерны для сильнощелочных бериллов из пегматитов (табл. 2). В бериллах средней щелочности и натриевых содержание фосфора меньше, он никогда не обнаруживался в бериллах из гидротермально-пневматолитовых месторождений. По-видимому, при высоком потенциале он может входить в структуру берилла, что характерно для заключительных стадий пегматитового процесса, когда выделяются щелочные бериллы.

Т а б л и ц а 2

Содержание фосфора в бериллах (по нашим и литературным данным)

Характер берилла	Количество $P_2O_5$ , вес. %	Источник или аналитик
Щелочной берилл из пегматита . .	0,02	Kerr (1946)
Выветрелый щелочной берилл из пегматита . . . . .	0,09	Bowlay (1948)
Натриевый берилл из пегматита . .	0,01	То же
Сильно железистый аквамарин из пегматита . . . . .	0,04	Paulose (1957)
Берилл из пегматита . . . . .	0,05	То же
Натриевый берилл из пегматита	Следы	Шавло (1958)
Натриевый берилл . . . . .	0,008	Павлович, Николић (1960)
Сильнощелочной и щелочноземельный берилл из пегматита . . . .	0,27	Schaller (1962)
Сильнощелочной натролитивый берилл из пегматита . . . . .	3,60	И. С. Разина

Л И Т Е Р А Т У Р А

Бакакин В. В., Белов Н. В. Кристаллохимия берилла.— Геохимия, 1962, № 5.

Бетехтин А. Г. Минералогия. М., Госгеолгиздат, 1950.

Бейс А. А. Геохимия бериллия и генетические типы бериллиевых месторождений. Изд-во АН СССР, 1960.

Винчелл А. Н. и Винчелл Г. Оптическая минералогия. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1953.

Павлович С., Николић Д. Р. Промене берилла под действием теплоте. «Глас. Српска АН», 1960.

Шавло С. Г. Пегматиты и гидротермалиты Калбинского хребта. Алма-Ата, 1958.

Bowlay H. Beryl. Amer. Rept. Govt. Mineralogist, Analyst Chemist, Western Australia for 1945. N. Y. 1948.

Kerr P. E. Kaolinite after beryll from Alto do Giz, Brasil.— Amer. Mineralogist, 1946, 31, № 9—10.

Paulose C. The Odara pegmatite.— Econ. Geol., 1957, 52, № 6.

Schaller W. T., Stevens R. E., Johns R. H. An unusual beryl from Arizona.— Amer. Mineralogist, 1962, 47, № 5—6.