

Л. А. БЕУС

## О БЕРИЛЛИЕВОМ ВЕЗУВИАНЕ

Впервые на наличие высоких концентраций бериллия в некоторых везувианах указали Ч. Пэлач и Г. Бауэр (Palache a. Bauer, 1930), исследовавшие везувианы месторождения Франклиш (Нью-Джерси, США).

Необычно высокое содержание бериллия (9,2%) в проанализированном ими образце позволило некоторым исследователям (Washington, 1931) высказать мнение, что бериллий является обычной частью везувиана и ранее просто пропускался при химическом анализе, благодаря сходству с алюминием. Однако проведенные после этого в ряде стран точные анализы множества образцов везувиана из разнообразных месторождений показали, что бериллий содержится только в везувианах из совершенно определенного типа месторождений (скарновые образования на контакте бериллиеносных гранитов с известняками), при этом содержание бериллия в минерале обычно колеблется в пределах сотых и десятых долей процента, изредка достигая 1%.

Весьма характерной геохимической особенностью скарновых месторождений, содержащих бериллиевый везувиан, является повышенная концентрация фтора, часто проявляющаяся в тесном парагенезисе везувиана с флюоритом, а также в обычном присутствии фтора в самом везувиане. Изредка в парагенезисе с везувианом встречаются бериллиевые минералы из группы гельвина — даналита, или хризоберилл. Однако широкое распространение везувиана, содержащего примесь бериллия, по-видимому, не благоприятствует образованию в скарнах повышенных концентраций собственно бериллиевых минералов. Например, в скарнах известного месторождения Железная гора в штате Нью-Мексико (США) увеличене количества везувиана (от 0 до 37%) сопровождается параллельным уменьшением содержания гельвина—даналита — с 11,2% до следов (Jahus, 1944). Во многих скарновых месторождениях, характеризующихся повышенной концентрацией бериллия, собственно-бериллиевые минералы отсутствуют и везувиан является главным коллектором бериллия, захватывающим основную массу этого элемента.

Природа изоморфного вхождения бериллия в везувиан до последнего времени оставалась не вполне ясной, тем более, что единственный до 1955 г. полный анализ бериллиевого везувиана, приведенный в работе Пэлача и Бауэра, не укладывается в формулу, сколько-нибудь сходную с формулой везувиана, что заставляет сомневаться в его правильности.

Следует отметить, что новейшие анализы бериллиевого везувиана из того же месторождения (Франклин, Нью-Джерси, США), приведенные в работе К. Харлбута (Harlbut, 1955), показывают совершенно отличные

от первого отношения катионов. Кроме того, оба анализа содержат фтор, который отсутствует в анализе Пэлача.

Повышенным содержанием фтора характеризуется также бериллиевый везувиан из Центрального Казахстана, помещенный в табл. 1.

Обращаясь к имеющимся полным анализам бериллийсодержащих везувианов, нельзя не обратить внимания на тесную прямую связь между количеством бериллия, с одной стороны, и содержанием фтора и гидроксидов в минерале, с другой (табл. 1).

Таблица 1

## Бериллиевый везувиан

Оксиды	США, Франклин, Нью-Джерси (Palache a. Bauer, 1930)			США, Франклин, Нью-Джерси (С. Harlbut, 1955)						СССР (А. М. Заседателев, 1954)		
	%	Атомн. ко- лич. катио- нов	Атомн. ко- лич. кисло- рода	%	Атомн. ко- лич. катио- нов	Атомн. ко- лич. кисло- рода	%	Атомн. ко- лич. катио- нов	Атомн. ко- лич. кисло- рода	%	Атомн. ко- лич. катио- нов	Атомн. ко- лич. кисло- рода
SiO <sub>2</sub> . . . . .	34,25	568	1136	34,83	574	1148	36,61	609	1218	39,10	651	1302
BeO . . . . .	9,20	367	367	3,95	158	158	1,56	062	062	0,77	031	031
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	9,70	190	285	12,98	254	381	16,67	328	492	16,40	322	483
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	Следы	—	—	5,69	072	108	3,31	042	063	6,32	080	120
MgO . . . . .	3,17	079	079	2,91	072	072	2,87	071	071	2,79	069	069
MnO . . . . .	4,84	068	068	0,24	003	003	3,28	046	046	1,69	024	024
ZnO . . . . .	4,86	060	060	—	—	—	0,14	002	002	—	—	—
CaO . . . . .	33,15	591	591	33,84	603	603	33,64	600	600	32,29	576	576
Na <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	0,86	028	014	0,17	006	003	—	—	—
K <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	0,08	—	—	0,26	006	003	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	1,31	146	073	0,86	096	048	0,68	076	038	—	—	—
F . . . . .	?	—	?	3,07	—	162	0,91	—	047	1,24	—	065
Сумма . . . . .	100,48	—	—	99,31	—	—	100,10	—	—	100,60	—	—
-F <sub>2</sub> = 0 . . . . .	—	—	—	1,29	—	—	0,38	—	—	0,52	—	—
Сумма . . . . .	—	—	—	98,03	—	—	99,72	—	—	100,08	—	—

Учитывая структурную аналогию тетраэдрических комплексов [SiO<sub>4</sub>]<sup>4-</sup> и [BeF<sub>4</sub>]<sup>2-</sup>, а также то, что фторид бериллия является самой вероятной формой переноса бериллия в условиях высокой концентраций фтора, вполне закономерно предположить возможность замещения в везувиане кремния на бериллий, с параллельным замещением части ионов кислорода в бериллиево-кислородных тетраэдрах на фтор. Принимая во внимание также обычное явление взаимного замещения фтора и гидроксидов, схему изоморфного вхождения бериллия в везувиан можно представить в следующем виде:



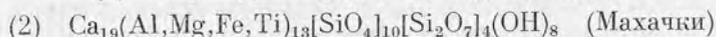
К сожалению, до настоящего времени формулу везувиана нельзя считать окончательно установленной, хотя исследованиями Уоррена

Таблица 2

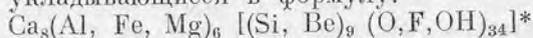
Пересчет анализов бериллиевого везувиана (на  $O + F + OH = 34$ )

Компоненты	США, Франклин (С. Harlbut)	Нью-Джерси (С. Harlbut)	СССР (А. М. Заседа- телей)
	Атомн. колич., %	Атомн. колич., %	Атомн. колич., %
Na . . . . .	0,36	—	—
Ca . . . . .	7,8	7,74	7,44
Mn . . . . .	—	0,60	0,31
Fe <sup>2+</sup> + Fe <sup>3+</sup> . .	0,94	0,54	1
Mg . . . . .	0,94	0,9	0,9
Al . . . . .	3,3	4,25	4,16
Si . . . . .	7,4	7,9	8,5
Be . . . . .	2,0	0,8	0,4
OH . . . . .	1,25	1	—
F . . . . .	2,10	0,6	0,3
O . . . . .	30,65	32,4	33,7
	8,16	8,33	7,75
	5,18	5,69	6,06
	9,4	8,7	8,9
	34	34	34

(Бетехтин, 1950, стр. 713) и Махачки (Machatschki, 1953) доказано, что основной структурной особенностью везувиана является наличие как обособленных кремнекислородных тетраэдров  $[SiO_4]$ , так и сдвоенных тетраэдров  $[Si_2O_7]$ , при отношении  $[SiO_4]$  к  $[Si_2O_7]$ , равном 5 : 2. На основании данных рентгено-структурного изучения Уорреном и Махачки были предложены следующие формулы везувиана:



Пересчет имеющихся анализов бериллиевого везувиана на структурную формулу показал, что для компенсации вхождения бериллия в решетку везувиана на место кремния весь имеющийся фтор и гидроксил должны быть введены в радикал. При этом пересчет, произведенный исходя из суммы  $O + F + OH = 34$ , дал атомные отношения, довольно хорошо укладывающиеся в формулу:



Наблюдающиеся сравнительно незначительные колебания (табл. 2) могут быть объяснены некоторой неточностью анализов (например, анализ 2 имеет сумму 98,03%), а также тем, что железо определено только в окисной форме, в то время как в минерале, по всей вероятности, присутствует и закисное железо.

Полученная формула довольно существенно отличается от формул обычного везувиана, предложенных Уорреном и Махачки, меньшим количеством кальция ( $Ca_8$  или  $Ca_{16}$  против  $Ca_{10}$  и  $Ca_{19}$ ) и отсутствием эквивалентного количества гидроксила  $(OH)_5$  в боковой цепи.

Рассматривая многочисленные анализы везувиана, имеющиеся в литературе, не трудно заметить довольно существенные колебания в составе минерала, выражающиеся в переменном содержании компонентов группы Ca (Ca, Na), группы Al (Al, Fe, Mg), а также гидроксила и фтора. При

\* Почти те же цифры получаются при пересчете, исходя из суммы  $Si + Be = 9$ .

этом, в зависимости от колебания атомных отношений групп Са и Al, содержание воды и фтора в анализах колеблется от 0 до 3,9% (сумма), со всеми переходами между этими двумя крайними значениями. Не вдаваясь здесь в толкование возможных формул везувиана, поскольку этот

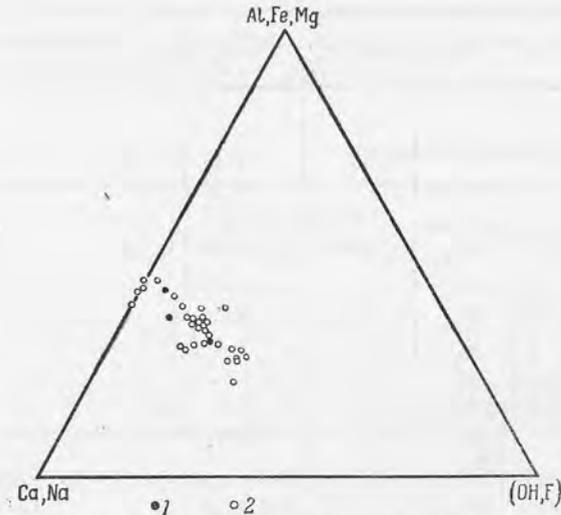


Рис. 1. Диаграмма вариаций состава везувианов.  
1 — бериллиевые везувианы; 2 — везувианы, не содержащие бериллий.

на треугольную диаграмму (рис. 1) позволяют предполагать существование ряда, в котором в зависимости от соотношения катионных групп кальция и алюминия наблюдается переход от безводного везувиана, имеющего формулу  $\text{Ca}_8(\text{Al}, \text{Fe}, \text{Mg})_6[\text{Si}_9\text{O}_{34}]$ , к гидровезувиану, составу которого собственно и отвечают формулы, предложенные Уорреном и Махачки. Характерным для проанализированных образцов бериллиевой разновидности везувиана является отсутствие  $2\text{Ca}(\text{OH})_2$  в боковой цепи минерала.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолыздат, М., 1950.  
Doelter C. Handbuch d. Mineralchemie. 2, H. 2. Dresden u. Leipzig, 1914—1917.  
Harlbut C. Beryllian idocrase from Franklin. New Jersey Amer. Miner., 40, No 1—2, 1955.  
Jahus R. H. Ribbou-Rock, an unusual beryllium-bearing tectite. Econ. Geol., 39, 3, 1944.  
Machatschki F. Spezielle Mineralogie auf geochemischer Grundlage. Wien, 1953.  
Palache Ch. a. Bauer L. H. On the Occurrence of Beryllium in the Zink Deposits of Franklin, New Jersey. Amer. Miner., 15, 1930.  
Washington H. S. Beryllium in Minerals and Igneous Rocks. Amer. Miner. 16, 1931.

вопрос не является задачей настоящей статьи, отметим только, что ни формула Уоррена, ни формула Махачки не удовлетворяют действительному составу минералов группы везувиана, отражая, по всей вероятности, лишь состав отдельных представителей этого ряда, подвергнутых исследованию.

Для сравнения химического состава бериллиевого везувиана с обычными везувианами было пересчитано 35 химических анализов везувиана из числа приведенных в литературе (Doelter, 1925). Данные пересчета, показывающие отношение групп Са, Al и OH + F после нанесения