

Е. Н. СЕМЕНОВ

**НОВЫЕ ВОДНЫЕ СИЛИКАТЫ БЕРИЛЛИЯ — ГЕЛЬБЕРТРАНДИТ  
И СФЕРОБЕРТРАНДИТ**

При изучении пегматитов Ловозерского массива нефелиновых сиенитов (Кольский полуостров) автором в 1950—1951 гг. были обнаружены два новых бериллиевых минерала группы бертрандита, получивших названия гельбертрандит и сферобертрандит.

**Гельбертрандит.** В пегматите горы Карнасурт гельбертрандит образует в массе белого волокнистого бериллита неправильной формы выделения размером до 5 мм. По внешнему виду гельбертрандит походит на стекло. Минерал имеет раковистый излом, стеклянный блеск; окраска бледно-фиолетовая. При долгом хранении на свету минерал из фиолетового прозрачного превращается в желтовато-белый непрозрачный. Твердость около 4. Удельный вес 2,176 (определен гидростатическим взвешиванием).

Под микроскопом при иммерсионном исследовании гельбертрандит представляется оптически изотропным (фиг. 1). При больших увеличениях в шлифах иногда видно, что поле распадается на огромное количество мельчайших сферолитов с серыми интерференционными окрасками. Вероятно, это связано с частичной раскристаллизацией минерала при его нагревании в процессе изготовления шлифа. Средний показатель светопреломления минерала  $N = 1,525$ . Встречены также разности минерала с  $N$  от 1,511 до 1,530. Дебаеграмма гельбертрандита аналогична дебаеграмме бертрандита (табл. I), однако отличается малым количеством линий, к тому же размытых диффузных.

Полученная А. С. Скрипкиной кривая динамической потери веса гельбертрандита (фиг. 2) показывает, что вся вода удаляется из этого минерала постепенно, при температурах 40—700°.

Гельбертрандит легко разлагается в HCl.

Результаты химического анализа чисто отобранного фиолетового гельбертрандита из пегматита горы Карнасурт приведены в табл. 2. Здесь же, для сравнения, приведены и результаты анализа бертрандита.

Спектральным анализом (Н. В. Лизунов) дополнительно установлено присутствие в гельбертрандите Mn, Pb, Zn, Mg, Cu, Ba (слабые линии). Присутствием марганца, вероятно, обусловлена выцветающая фиолетовая окраска гельбертрандита. Гельбертрандит представляет собой минерал коллоидный. Об этом свидетельствуют стеклообразная

## Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаграммам гельбертрандита и бертрандита

(Аналитик П. И. Слудская, ИГЕМ Акад. наук СССР)

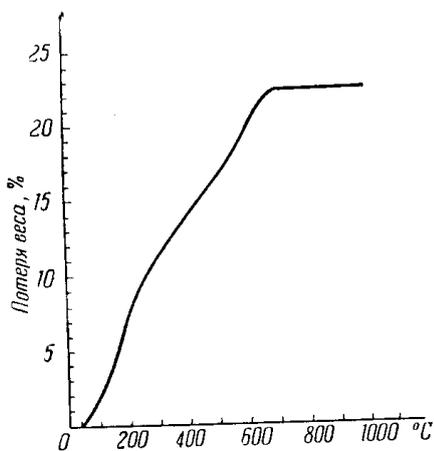
№ линии	Бертрандит, Казахстан		Гельбертрандит, Ловозеро		№ линии	Бертрандит, Казахстан		Гельбертрандит, Ловозеро	
	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>		<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
1	3	4,81	4	4,81	22	6	1,580	—	—
2	10	4,31	10	4,31	23	8	1,552	4	1,555
3	7	3,89	—	—	24	1	1,495	—	—
4	3	3,81	—	—	25	8	1,467	6	1,454
5	4	3,49	—	—	26	7	1,437	—	—
6	10	3,14	10	3,15	27	1	1,382	—	—
7	5	2,85	—	—	28	2	1,362	—	—
8	4	2,78	—	—	29	3	1,339	—	—
9	10	2,53	10	2,53	30	9	1,305	4	1,310
10	5	2,42	—	—	31	4	1,275	—	—
11	9	2,28	8	2,31	32	8	1,251	2	1,261
12	9	2,20	—	2,20	33	8	1,236	—	—
13	3	2,10	—	—	34	—	1,217	3	1,224
14	4	2,03	—	—	35	7	1,168	2	1,171
15	8	1,973	4	1,998	36	2	1,150	—	—
16	2	1,910	—	—	37	8	1,121	—	—
17	1	1,812	—	—	38	6	1,105	—	—
18	3	1,783	—	—	39	3	1,089	—	—
19	7	1,694	2	1,714	40	7	1,081	—	—
20	6	1,649	2	1,651	41	4	1,057	—	—
21	1	1,620	—	—	42	2	1,050	—	—
					43	4	1,042	—	—

Таблица 2

## Химический состав гельбертрандита и бертрандита

Оксиды	Гельбертрандит, Ловозеро		Бертрандит, Алтай
	Вес. %	Атомное количество катионов	Вес. %
SiO <sub>2</sub> . . . . .	38,70	0,645	50,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,20	0,023	—
BeO . . . . .	34,16	1,366	40,67
CaO . . . . .	1,93	0,034	—
Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	0,33	0,011	—
H <sub>2</sub> O <sup>+110°</sup> . . . . .	15,62	2,643	8,87
H <sub>2</sub> O <sup>-110</sup> . . . . .	8,17		
Сумма . . . . .	100,11	—	99,66
Аналитик . . . . .	М. Е. Казакова		

Гельбертрандит — коллоидный аналог бертрандита. Наиболее веским доказательством этого является сходство их дебаегрaмм. Характерно также, что в гельбертрандите  $\text{BeO} : \text{SiO}_2 = 2 : 1$ , т. е. то же, что и в бертрандите. Учитывая это, мы при расчете формулы гельбертрандита положили в основу формулу бертрандита  $\text{Be}[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2$ . Эти пересчеты приводят к следующей формуле гельбертрандита:  $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .



Фиг. 2. Кривая динамической потери веса гельбертрандита

Гельбертрандит легко теряет воду, на что указывают кривая потери веса минералом (см. фиг. 2) и увеличение его показателя светопреломления при длительном хранении. Поэтому можно считать, что количество воды в минерале непостоянно и привести следующую общую формулу гельбертрандита:  $\text{Be}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . При значительной дегидратации минерала, вероятно, может образоваться и бертрандит. При микроскопическом изучении вокруг выделений гельбертрандита иногда отмечаются пленки минерала с белыми интерференционными окрасками и пока-

зателями преломления около 1,6. Возможно, что этот минерал и является бертрандитом.

Коллоидная природа гельбертрандита обусловила существенные отличия его от бертрандита. Гельбертрандит по сравнению с бертрандитом обладает значительно большим содержанием воды (24% вместо 8%) и меньшими значениями удельного веса (2,18 вместо 2,59), а также показателя преломления (1,52 вместо 1,61) и двупреломления (0,009 вместо 0,03).

Гельбертрандит образуется при эпитеpмальном изменении эпидидимита  $\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})$ , в пустотах выщелачивания которого образует выделения неправильной формы. Часто вокруг стекловатых выделений гельбертрандита расположены радиальнолучистые агрегаты бериллита (см. фиг. 1).

Гельбертрандит встречен до сих пор лишь в двух пегматитах Ловозерского массива — на горах Карнасурт и Маннепахк.

Пегматит горы Маннепахк представляет собой жилу, мощностью до 2 м и протяженностью до 20 м, секущую пойкилитовые нефелиновые сиениты.

Приконтактная зона пегматита сложена крупнокристаллическим агрегатом микроклина, эвдиалита, рамзанита, мурманита, эгирина. В центре обособилась зона альбита, в котором встречаются выделения нептунита, натролита, эпидидимита. К последним приурочены и скопления гельбертрандита, сферобертрандита и бериллита. Все эти минералы являются продуктами изменения эпидидимита.

Сферобертрандит представляет собой близкий к бертрандиту минерал, отличающийся от него по своей дебаегрaмме и химическому составу. Свое название сферобертрандит получил по характерной сферолитовой форме выделения.

В пегматите горы Маннепахк (Ловозеро) сферобертрандит образует в пустотах друз эпидидимита сферолиты диаметром до 2 мм (фиг. 3). Иногда эти сферолиты соединяются в гирлянды длиной до 1 см. Минерал имеет желтую окраску, иногда бесцветен. Блеск стеклянный. Твердость 5. Удельный вес около 2,5. Оптически двуосный, отрицательный (2V около



Фиг. 1. Гельбертрандит (темное), окруженный сферолитами бериллита (белое).  $\times 46$ ; николи скрещены



Фиг. 3. Сферолиты сферобертрандита в эпидидимите.  $\times 46$ ; николи скрещены

Межплоскостные расстояния, измеренные по дебаграммам сферобертрандита и бертрандита

Таблица 3

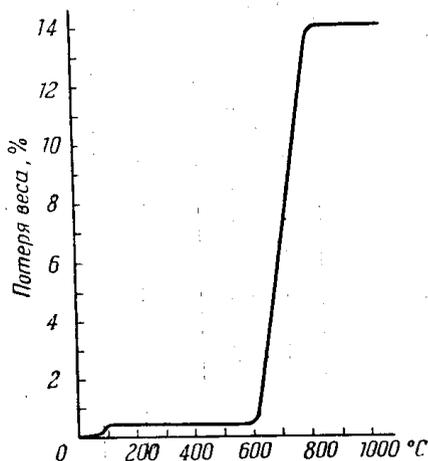
№ линии	Сферобертрандит, Ловозеро		Бертрандит, Казахстан		№ линии	Сферобертрандит, Ловозеро		Бертрандит, Казахстан	
	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>		<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
1	9	4,89	3	4,81	25	7	1,525	1	1,495
2	8	{4,61	—	—	26	1	1,474	—	—
3	—	{4,20	10	4,31	27	1	1,454	8	1,467
4	—	—	7	3,89	28	5	1,431	7	1,437
5	8	3,80	3	3,81	29	7	1,411	—	—
6	3	3,39	4	3,49	30	1	1,381	1	1,382
7	10	3,15	10	3,14	31	8	1,352	2	1,362
8	9	2,84	5	2,85	32	—	—	3	1,339
9	8	2,73	4	2,78	33	5	1,317	9	1,305
10	9	2,53	10	2,53	34	—	—	4	1,275
11	9	2,39	5	2,42	35	9	1,250	8	1,251
12	10	2,32	9	2,28	36	2	1,236	8	1,236
13	10	2,17	9	2,20	37	2	1,193	8	1,217
14	—	—	3	2,10	38	4	1,156	7	1,168
15	6	2,04	4	2,03	39	8	1,140	2	1,150
16	7	1,970	8	1,973	40	6	1,123	8	1,121
17	4	1,937	2	1,910	41	1	1,110	—	—
18	3	{1,807	1	1,812	42	1	1,103	6	1,105
19	—	{1,757	3	1,783	43	—	—	3	1,089
20	4	1,688	7	1,694	44	1	1,080	7	1,081
21	4	—	6	1,649	45	1	1,070	4	1,057
22	6	1,628	1	1,620	46	—	—	2	1,050
23	6	1,587	6	1,580	47	—	—	4	1,042
24	1	1,558	8	1,552					

Химический состав сферобертрандита и бертрандита

Таблица 4

Окислы	I. Сферобертрандит, Ловозеро		II. Бертрандит, Алтай	III. Бертрандит, Забайкалье
	Вес. %	Атомное количество	Вес. %	
SiO <sub>2</sub> . . .	41,03	0,684	50,12	55,37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	1,40	0,027	—	0,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	0,07	0,001	—	0,40
BeO . . . .	45,20	1,808	40,67	35,07
H <sub>2</sub> O + 110°	11,70	1,300	8,87	7,14
H <sub>2</sub> O — 110°	0,30	—	—	—
Прочие . .	—	—	—	1,63
Сумма	99,70	—	99,66	100,47
Аналитик	М. Е. Казакова		П. П. Пилипенко (1909)	М. О. Степан (Григорьев и Доломанова, 1955)

70°).  $N_g = 1,612$ ;  $N_p = 1,595$ .  $c = Nm$ . Окрашенные разности сферобертрандита слабо плеохроируют от желтоватого (по  $N_p$ ) до бесцветного (по  $N_g$ ). Абсорбция  $N_p > N_g$ . Данные рентгеновского исследования сферобертрандита приведены в табл. 3. Они обнаруживают существенные отличия от данных дебаеграммы бертрандита.



Фиг. 4. Кривая динамической потери веса сферобертрандита

Кривая динамической потери веса сферобертрандита (фиг. 4) показывает, что вода удаляется из этого минерала в один прием, в узком интервале температур 600—800°. Вода, по-видимому, целиком находится в виде гидроксильных групп (ОН).

В табл. 4 приведены результаты химического анализа чисто отобранного желтого сферобертрандита из пегматита горы Маннепахк и, для сравнения, результаты анализы бертрандита.

Спектральным анализом дополнительно установлено присутствие в сферобертрандите Na, Ca, Ba (слабые линии).

Сравнение составов сферобертрандита и бертрандита показывает, что эти минералы отличаются друг от друга соотношением кремния и бериллия. В бертрандите (обр. II)  $BeO : SiO_2 = 2 : 1$ , а в сферобертрандите (обр. I) —  $2,5 : 1$ . Сферобертрандит, таким образом, значительно богаче бериллием и беднее кремнием, чем бертрандит. На основании пересчета результатов анализа можно вывести следующую формулу сферобертрандита:  $Be_5[Si_2O_7](OH)_4$ . Химический анализ показывает, что, соответственно приведенной формуле, сферобертрандит по сравнению с бертрандитом существенно обогащен водой.

По своим оптическим свойствам, характеру содержащейся в нем воды и др. сферобертрандит довольно близок к бертрандиту. Однако он существенно отличается от бертрандита по дебаеграмме, химическому составу и плеохроизму.

Характерно, что дебаеграммы исследованных нами образцов сферобертрандита из различных месторождений Ловозера и Хибин идентичны. Это свидетельствует о достаточно хорошей индивидуализированности этого минерала. Малые количества имевшегося в нашем распоряжении материала не позволили провести детальное изучение свойств сферобертрандита из различных месторождений и показать полностью черты сходства и различия сферобертрандита и бертрандита. Имеющиеся данные не позволяют отождествить два этих минерала и заставляют рассматривать сферобертрандит как новый минерал группы бертрандита (возможно, как полиморфную модификацию).

В минералах группы бертрандита отмечается существенное изменение соотношения  $BeO$  и  $SiO_2$ . Если сферобертрандит богаче бериллием, чем обычный бертрандит, то бертрандит из Забайкалья, недавно описанный Ив. Ф. Григорьевым и Е. И. Доломановой (1955), значительно им беднее. В нем  $BeO : SiO_2 = 1,5$  и его состав пересчитывается на формулу  $Be_3[Si_2O_7] \cdot H_2O$ . Таким образом, в минералах группы бертрандита намечается изменение состава от  $Be_3[Si_2O_7] \cdot H_2O$  (забайкальский бертрандит) до  $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$  (бертрандит) и  $Be_5[Si_2O_7](OH)_4$  (сферобертрандит).

В бертрандите и бериллий и кремний находятся в одной и той же четверной координации. Возможно, что изменение соотношений этих элементов связано с изоморфными замещениями кремния бериллием по

схеме  $\text{Be}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{SiO}_2$ . В таком случае формула сферобертрандита  $(\text{Be}_4, {}_{35}\text{Si}_{1,65}) \cdot [\text{O}_6, {}_{30}(\text{OH})_2, {}_{70}]$ . Однако сферобертрандит, существенно отличающийся по дебаеграмме от бертрандита, может и не принадлежать к этому изоморфному ряду. Да и сам ряд сомнителен и требует подтверждения детальными кристаллохимическими исследованиями.

Сферобертрандит, до сих пор установлен нами в пегматитах гор. Ман-непахк, Куфтньюн, Сенгисчорр (Ловозеро) и Юкспор (Хибины).

Во всех указанных пегматитах сферобертрандит встречается в виде сферолитов в пустотах друз эпидидимита. Сферобертрандит является продуктом сравнительно высокотемпературной гидротермальной переработки эпидидимита. Изредка сферобертрандит вместе с эпидидимитом встречается в псевдоморфозах по чкаловиту. Вероятно также самостоятельное образование сферобертрандита непосредственно из гидротермальных растворов. Иногда сферобертрандит при выветривании переходит с поверхности в белые тончайшие волокна, вероятно бериллита.

Рассматриваемые гидросиликаты бериллия, в которых  $\text{BeO} : \text{SiO}_2 = 2 : 3$ , обычно являются продуктами изменения силикатов бериллия и натрия: эпидидимита и эвидимита  $\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})$ , чкаловита  $\text{Na}_2\text{BeSi}_2\text{O}_6$  и, вероятно, лейкофана  $\text{NaCaBeSi}_2\text{O}_6\text{F}$ . Эти минералы значительно беднее бериллием и богаче кремнием, чем гидросиликаты бериллия. Так, в эпидидимите  $\text{BeO} : \text{SiO}_2 = 1 : 3$ , в лейкофане и чкаловите  $1 : 2$ . Таким образом, при процессах эпитепирмального изменения и выветривания первичных бериллиевых минералов щелочных пегматитов происходит интенсивный вынос кремния и накопление бериллия, вероятно, вплоть до образования свободной гидроокиси бериллия  $\text{Be}(\text{OH})_2$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

- Григорьев Ив. Ф. и Доломанова Е. И. Бертрандит из оловорудного месторождения в Центральном Забайкалье.— Труды Мин. музея Акад. наук СССР, 1955, вып. 7.
- Кузьменко М. В. Бериллит — новый минерал.— Докл. Акад. наук СССР, 1954, 99, № 3.
- Пилипенко П. П. О бертрандите на Алтае.— Изв. Акад. наук, 1909.
- Чухров Ф. В. и Смольянинова Н. Н. Бертрандит из Коунрадского гранитного массива в Центральном Казахстане.— Докл. Акад. наук СССР, 1956, 107, № 4.