

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)

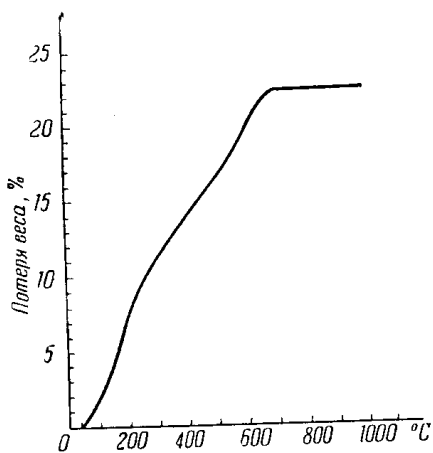
№ линии	Бертрандит, Казахстан		Гельбертрандит, Ловозеро		№ линии	Бертрандит, Казахстан		Гельбертрандит, Ловозеро	
	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>		<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
1	3	4,81	4	4,81	22	6	1,580	—	—
2	10	4,31	10	4,31	23	8	1,552	4	1,555
3	7	3,89	—	—	24	1	1,495	—	—
4	3	3,81	—	—	25	8	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 ₂	38,70	0,645	50,12
Al ₂ O ₃	1,20	0,023	—
BeO	34,16	1,366	40,67
CaO	1,93	0,034	—
Na ₂ O + K ₂ O	0,33	0,011	—
H ₂ O ^{+110°}	15,62	2,643	8,87
H ₂ O ⁻¹¹⁰	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, рамзаита, 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

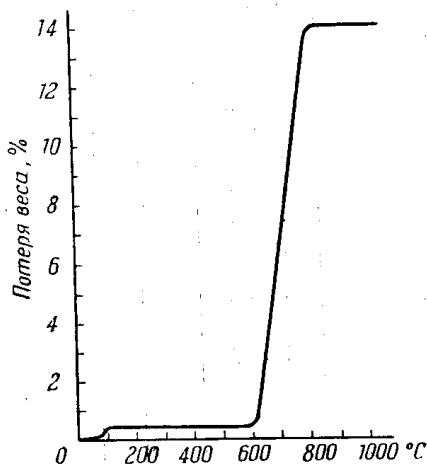
№ линии	Сферобертрандит, Ловозеро		Бертрандит, Казахстан		№ линии	Сферобертрандит, Ловозеро		Бертрандит, Казахстан	
	<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>		<i>l</i>	<i>d</i>	<i>l</i>	<i>d</i>
1	9	4,89	3	4,81	25	7	1,525	1	1,495
2	8	{4,61	—	—	26	1	1,474	—	—
3	—	{4,20	10	4,31	27	1	1,454	8	1,467
4	—	—	7	3,89	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 ₂ . . .	41,03	0,684	50,12	55,37
Al ₂ O ₃ . . .	1,40	0,027	—	0,86
Fe ₂ O ₃ . . .	0,07	0,001	—	0,40
BeO	45,20	1,808	40,67	35,07
H ₂ O + 110°	11,70	1,300	8,87	7,14
H ₂ 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°). $N_g = 1,612$; $N_r = 1,595$. $c = Nm$. Окрашенные разности сферобертрандита слабо плеохроируют от желтоватого (по N_r) до бесцветного (по N_g). Абсорбция $N_r > N_g$. 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. Долмановой (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 эвидидимита $\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})$, 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.