

А. П. ХОМЯКОВ, Е. И. СЕМЕНОВ, А. В. БЫКОВА,  
А. А. ВОРОНКОВ, Н. Н. СМОЛЬЯНИНОВА

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЛОВДАРИТЕ**

(Представлено академиком Ф. В. Чухровым 7 V 1974)

Недавно описанный щелочной гидросиликат бериллия ловдарит (!) одновременно исследовался авторами настоящей статьи. В работе приводятся результаты нового полного химического анализа минерала, уточнены его оптические константы. Впервые выполнено гониометрическое измерение кристаллов, определена их оптическая ориентировка. Выявлено наличие на монокристалльных снимках закономерно чередующихся диффузных и точечных рефлексов, позволившее отнести структуру ловдарита к типу так называемых ОД-структур\*.

Таблица 1

Межплоскостные расстояния ловдарита\*

1		2		1		2		1		2	
I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å
--	--	3	9,7	2	1,997	3	1,979	3	1,376	{ 3	1,3861
6	6,61	6	6,56	1	1,947	1	1,939			{ 3	1,3739
8	4,99	9	4,96	2	1,889	3	1,880			{ 3	1,3602
4	3,51	4	3,518	4	1,802	5	1,785	3	1,332	{ 4	1,3234
3	3,32	2	3,326	3	1,751	2	1,757			{ 3	1,3151
		{10	3,288	--	--	4	1,731	3	1,305	{ 4	1,2933
10	3,18	{10	3,136	--	--	3	1,707	1	1,287	{ 3	1,2880
4	3,10	3	3,072	--	--	3	1,690	2	1,266	{ 3	1,2571
4	2,97	3	2,954	2	1,671	3	1,6717			{ 3	1,2299
3	2,70	3	2,671	2	1,622	3	1,6573	3	1,225	{ 3	1,2187
2	2,64	2	2,609	2	1,583	1	1,5719			{ 2	1,1982
5	2,50	6	2,477	2	1,522	1	1,5270	3	1,202	{ 3	1,1913
4	2,40	3	2,381	3	1,505	4	1,5047	2	1,179	{ 2	1,1773
5	2,31	6	2,288	--	--	4	1,4912	2	1,152	{ 2	1,1546
2	2,22	3	2,201	1	1,470	3	1,4765	2	1,130	{ 3	1,1433
2	2,13	2	2,103	2	1,432	3	1,4184	1	1,106	{ 2	1,0986
2	2,05	2	2,031	1	1,405	3	1,4030	--	--	{ 3	1,0938

\* 1 — по данным авторов, Си-излучение, D=114 мм; 2 — по Ю. П. Меньшикову и др. (!). Fe-излучение, D=114 мм, опущены значения d для некоторых слабых линий.

Образцы минерала, отобранные авторами из той же пегматитовой залежи, что и оригиналы исследования (залежь Юбилейная на горе Карнасурт, Ловозеро), представляли собой микрокристаллические фарфоровидные агрегаты белого или светло-кремового цвета (псевдоморфозы по чкаловиту), а также веерообразные сростки бесцветных прозрачных кристаллов, приуроченных к пустотам в чкаловите, патролите, фарфоровидном ловдарите. Их структурная идентичность эталону ловдарита (образец для сравне-

\* От английского order — disorder. К этому типу принадлежат, например, структуры петалита, ксонотлита, аурипигмента, буланжерита (2).

ния получен от Ю. П. Меньшикова) установлена на основании визуального тождества рентгенограмм порошка. Результаты расчета рентгенограмм приведены в табл. 1, состав и свойства сопоставлены в табл. 2 и 3. Совпадение наших данных с эталонными хорошее. Есть некоторые различия лишь в оптических характеристиках, размерах ячейки, пространственной группе.

Методами рентгеновской гониометрии (камера РКОП, Mo-излучение) для исследованных кристаллов ловдарита установлена ромбическая симметрия.

Таблица 2

Состав ловдарита

Компонент	Содерж., вес. %		Атомные колич. <sup>1</sup>	Содержание атомов <sup>1</sup>	
	авт.	( <sup>1</sup> )		на ячейку	на Si=48
SiO <sub>2</sub>	57,00	56,13	0,9486	51,89	(48)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,30	1,77	0,0451	2,47	2,28
CaO	Сл.	0,49	—	—	—
BeO	6,70	6,90	0,2679	14,65	13,56
Na <sub>2</sub> O	14,51	14,95	0,4689	25,65	23,73
K <sub>2</sub> O	6,50	6,28	0,1380	7,55	6,98
H <sub>2</sub> O	12,45	12,29	1,3824	75,60	69,93
Прочие	0,27 <sup>2</sup>	0,69 <sup>3</sup>			
Сумма	99,75	99,50			

<sup>1</sup> Аналитик — А. В. Быкова. <sup>2</sup> TiO<sub>2</sub> 0,02; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,07. <sup>3</sup> TiO<sub>2</sub> 0,15; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,18; MnO 0,003; MgO 0,06; BaO 0,20; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,05; F 0,07; —O=F<sub>2</sub> 0,02.

на к типу OD-структур. Основу таких кристаллических построек составляют блоки с нормальной структурой, т. е. со строгой упорядоченностью атомов. Однако в одном или двух кристаллографических направлениях эти блоки могут наслаиваться друг на друга несколькими равновероятными способами, что приводит к одномерной или двумерной разупорядоченности и к увеличению периодов идентичности вдоль соответствующих осей решетки. Специфическим признаком OD-структур служит появление на дифракционных картинах закономерно расположенных диффузных отражений, ряды которых могут чередоваться с рядами обычных точечных рефлексов.

В конкретном случае ловдарита все развертки нечетных слоевых линий, снятых вдоль *c*-оси, содержат лишь диффузные отражения, тогда как четные слои имеют нормальный характер. Соответственно, на боковых развертках, снятых вдоль *b*-оси, ряды точечных рефлексов чередуются с полосами диффузных отражений. На последних четко просматриваются «вставные» рефлексы, приводящие к удвоению наибольшего в ячейке параметра *a*.

Таблица 3

Свойства ловдарита

Принадл. данных	Уд. вес	Симметрия	<i>a</i> <sub>0</sub> , Å	<i>b</i> <sub>0</sub> , Å	<i>c</i> <sub>0</sub> , Å	<i>n<sub>g</sub></i>	<i>n<sub>m</sub></i>	<i>n<sub>p</sub></i>	2 <i>V</i> °
Авторы	2,33	Ромбич., <i>C</i> <sub>2v</sub> <sup>2</sup> = <i>P</i> <sub>21</sub> <i>am</i>	78,88	6,91	7,15	1,518	1,515	1,513	(+) <sup>70</sup>
( <sup>1</sup> )	2,33	Ромбич., <i>P</i> <sub>21</sub> <i>2</i> <sub>1</sub> <i>2</i>	38,789	6,776	7,012	1,518	1,516	1,513	90

## Кристаллографические формы ловдарита

Символы, букв. обознач.	Измеренные				Вычисл. из рентген. данных	
	пределы		средние		φ	ρ
	φ	ρ	φ	ρ		
<i>a</i> 100	88°00'—91°30'	90°00'—90°00'	89°48'	90°00'	90°00'	90°00'
<i>c</i> 001	—	0°00'—0°30'	—	0°30'	—	0°00'
<i>b</i> 010	0°00'—0°00'	90°00'—90°00'	0°00'	90°00'	0°00'	90°00'
<i>e</i> 201	90°00'—91°30'	18°48'—20°07'	90°15'	19°56'	90°00'	19°55'
<i>s</i> 311	26°26'—27°53'	48°43'—51°18'	27°36'	49°45'	27°44'	49°26'

Таким образом, из анализа рентгеновского дифракционного спектра следует, что реальными периодами повторяемости в решетке ловдарита являются:  $a_0=78,88$ ,  $b_0=6,91$  и  $c_0=7,15$  Å. Согласно теории OD-структур (<sup>2</sup>, <sup>3</sup>), понятие пространственной группы для них становится менее определенным, чем для структур обычного типа. Наиболее строго оно может быть применено к совокупности точечных рефлексов, определяющих упомянутый выше минимальный фрагмент (блок) с упорядоченным расположением атомов. Размеры такого блока в структуре ловдарита отвечают псевдоячейке с параметрами  $a'=a/2=39,44$  Å,  $b'=b=6,91$  Å,  $c'=c/2=3,58$  Å, а закон систематических погасаний рефлексов точечного типа приводит для него к пространственной группе  $C_{2v}^2=$  $=P2_1am(=Pmc2_1)$ . Интересно отметить, что если в диффузных рядах учитывать лишь области с максимальной интенсивностью, принимая их за дискретные отражения, то найденная федоровская группа  $C_{2v}^2$  сохранится для полной ячейки с удвоенными параметрами *a* и *c*.

Суммируя все сказанное, заключаем, что структура исследованных нами образцов ловдарита имеет сложный характер с частичной разупорядоченностью. Ее основой является блок (псевдоячейка) с параметрами  $a_0=39,44$ ,  $b_0=6,91$ ,  $c_0=3,58$  Å и пространственной группой  $C_{2v}^2=$  $=P2_1am$ . Полная ячейка определяется периодами  $a_0=78,88\pm 0,32$ ,  $b_0=6,91\pm 0,03$  и  $c_0=7,15\pm 0,3$  Å. Параметры, вытекающие из рентгенограмм качания без учета всего дифракционного спектра, не передают реальных структурных особенностей ловдарита.

Частота встречаемости граней на измеренных кристаллах ловдарита

№ крист.	Число граней, наблюдаемых на каждом кристалле				
	<i>c</i> (001)	<i>b</i> (010)	<i>a</i> (100)	<i>e</i> (201)	<i>s</i> (311)
1	--	2	2	2	4
2	--	2	2	--	2
3	--	2	2	2	2
4	--	2	2	--	2
5	--	2	2	1	2
6	--	2	2	2	3
7	1	2	2	2	4
8	--	2	2	1	3
9	--	2	2	1	3
10	1	2	2	2	4
11	--	2	2	--	3

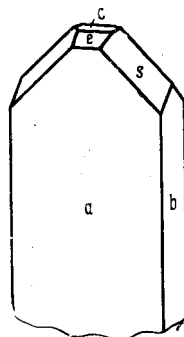


Рис. 1. Кристалл ловдарита

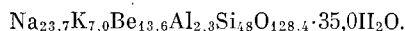
Таблица 5

На двукружном гониометре Гольдшмидта измерено 11 кристаллов (табл. 4 и 5). Всего обнаружено пять простых форм: *c*(001), *b*(010), *a*(100), *e*(201), *s*(311). Грани *a* большие, гладкие, блестящие, грани *e* и особенно *s* тусклые, сильно изъеденные, дают плохие сигналы. Грани *b* исптрихованы параллельно [001]. Отношение осей, вычисленное из гониометрических данных для грани (311),  $a:b:c=5,738:1:1,048$  — не может считаться очень точным из-за плохого качества этой грани. Морфологическое отношение  $a:b$  в два раза больше, чем рентгеновское ( $a_0:b_0:c_0=1,415:1:1,0346$ ).

На рис. 1 приведен чертеж кристалла в его природном развитии. Кристаллы длиной до 0,5—1 мм уплощены по (100) и вытянуты по оси  $c$ , образуют веерообразные и параллельные (100) сростки. К субстрату они прикрепляются таким образом, что ось  $c$  оказывается вертикальной. Характерно неравномерное развитие по величине граней  $s$  и  $e$  относительно оси  $a$ .

Приводимые в табл. 3 показатели преломления минерала измерены иммерсионным методом в главных сечениях оптической индикатрисы (точность  $\pm 0,002$ ). Угол оптических осей измерен на столике Федорова по расхождению гипербол. Характерна обратная дисперсия  $r < v$ . Погасание прямое. Удлинение кристаллов, лежащих на наиболее развитой грани (100), отрицательное; в разрезах, параллельных (010), удлинение положительное. Плоскость оптических осей совпадает с (001),  $a=N_p$ ,  $b=N_g$ ,  $c=N_m$ .

Для полного химического анализа была использована навеска белого фарфоровидного ловдарита. Полученные результаты (см. табл. 2) пересчитываются при  $Z=1$  ( $Si=48$ ) на эмпирическую формулу



Возможные варианты идеализированной формулы:

- 1)  $Na_{12}K_3Be_7AlSi_{24}O_{64} \cdot 16H_2O$  ( $Z=2$ ),
- 2)  $Na_{12}K_4Be_7AlSi_{24}O_{63}OH \cdot 16H_2O$  ( $Z=2$ ),
- 3)  $Na_3KBe_2Si_6O_{16} \cdot 4H_2O$  ( $Z=8$ ),
- 4)  $Na_2BeSi_3O_8 \cdot 2H_2O$  ( $Z=16$ ).

Вариант 3 близок к формуле ловдарита  $(Na, K, Ca)_4[(Be, Al)_2Si_6O_{16}] \cdot 4H_2O$ , предложенной ранее (1).

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов

Поступило  
30 IV 1974

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Академии наук СССР  
Москва

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Ю. П. Меньшиков, А. П. Денисов и др., ДАН, т. 213, № 2 (1973). <sup>2</sup> K. Dornberger-Schiff, Grundzüge einer Theorie der OD — Strukturen aus Schichten, Berlin, 1964. <sup>3</sup> К. Дорнбергер-Шифф, Лекции по ОД-структурам (ротапринт), М., 1969.