

М. Д. ДОРФМАН, Д. Л. РОГАЧЕВ, З. Я. ГОРОЩЕНКО,  
А. В. МОКРЕЦОВА

ФЕНАКСИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ

В крупном пегматитовом теле, генетически связанном с ийолит-уртитовой интрузией в Хибинских тундрах, одним из авторов статьи, М. Д. Дорфманом, был найден новый минерал, щелочной силикат железа, по составу названный фенакситом (fenaksite).

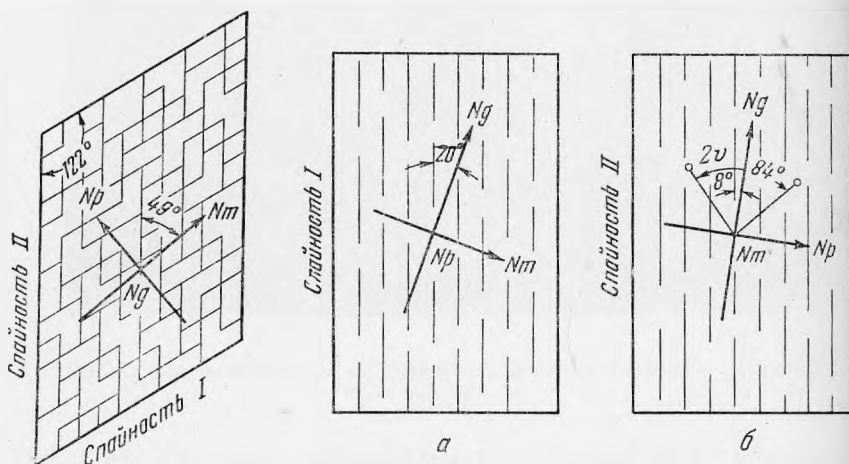


Рис. 1. Оптическая ориентировка фенаксита

Фенаксит приурочен к крупноблоковой зоне в центральной части пегматитового тела, существенно состоящей из прозрачного адуляра, нефелина и эгирин-авгита. Фенаксит встречается в интерстициях нефелина, эгирин-авгита и эвдиалита, но чаще всего приурочен к межзерновым пространствам адуляра, выделяющегося после нефелина, эгирин-авгита, сфена, эвдиалита. Фенаксит часто ассоциируется с канаситом, причем последний всегда сосредоточивается в периферических частях фенаксита.

Ксеноморфные зерна фенаксита достигают иногда размера 2—4 см в поперечнике. Минерал светло-розового цвета, прозрачный или полупрозрачный. Твердость 5—5,5. Имеется совершенная спайность в двух направлениях под углом 122°. Блеск на плоскостях спайности перламутровый, излом занозистый. При истирании превращается в спутанноволокнистый асбестовидный агрегат. В пламени паяльной трубки даже в толстых ку-

сочках легко сплавляется в зеленое стекло. В восстановительном пламени порошок становится магнитным. В кислотах растворяется с выпадением кремнезема. Удельный вес 2,744 (определен с помощью пикнометра).

Плоскость оптических осей (001),  $N_g = b$ ,  $2v = +84^\circ$ ,  $N_g = 1,567$ ,  $N_m = 1,560$ ;  $N_p = 1,541$ ;  $N_g - N_p = 0,026$ . Измерения показателей преломления сделаны в желтом свете ( $\lambda = 589,3 \text{ m}\mu$ ) с помощью микрокристаллрефрактометра. Угол погасания спайности I к  $N_g - 20^\circ$ , спайности II к  $N_m - 49^\circ$  (рис. 1). Минерал моноклинной сингонии, что подтверждается также и данными рентгеноструктурного анализа.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Спектральным путем Н. Н. Колесниковым в минерале установлены следующие элементы: Si, Na — сильные линии; Mn, Fe, K — выше средних линий; Mg, Al, Ca — средние линии; Ti, Ba — следы линий; Cu, Zr, Sr — ничтожные следы.

Химический анализ двух различных образцов из одного и того же пегматитового тела и их пересчет приведены в табл. 1.

В образце I определение воды выше  $110^\circ$  вызвало сомнение, поэтому для контроля было решено проверить содержание воды в третьем образце. Определение воды методом Пенфильда дает результаты, близкие ко второму анализу:  $H_2O^- = 1,12\%$ ;  $H_2O^+ = 0,91\%$ .

Пересчет химических анализов приводит к следующей формуле:



На основании пересчетов химических анализов фенаксит может быть отнесен или к группе апофиллита, по классификации Strunz (1941), или к группе слюдоподобных минералов, по А. Г. Бетехтину (1950). Однозначное решение станет возможным лишь после окончания рентгеноструктурных исследований, проводимых под руководством академика Н. В. Белова.

### РЕНТГЕНОВСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Межплоскостные расстояния фенаксита приведены в табл. 2. Для определения симметрии, параметров и пространственной группы минерала Д. Л. Рогачевым было проведено исследование фенаксита методом монокристалла<sup>1</sup>. Исследование проводилось с помощью рентгеновской камеры производства Кембриджского университета. Камера позволяла производить съемку методами вращения, колебания и Лауэ. Для определения в монокристалле симметрии, а также направления кристаллографических осей проведено исследование полихроматическим методом, так как внешняя форма обломка не позволяла судить об этом. Наиболее быстрым и надежным путем решения этих вопросов нам представляется предложенный А. И. Заславским метод съемки лауэграммы на цилиндрическую пленку с последующим построением по снимку стереографической проекции. Преимущество цилиндрической пленки перед применяемой обычно плоской заключается в том, что она регистрирует значительно большее число рефлексов и потому позволяет ограничиться одним снимком. При помощи сетки кривых  $\rho = \text{const.}$  и  $(90 - \varphi) \text{ const.}$ , разработанных С. Рошем (S. Rösch, 1926) и описанных Е. Шибольдом и Е. Шнейдером (E. Schie-

<sup>1</sup> Исследование монокристалла проводилось в лаборатории рентгенографии химического факультета Ленинградского государственного университета при консультации А. И. Заславского.

Химический состав фенаксита и его расчет  
Образец I

Компо- ненты	Вес. %	Молеку- лярное количество X 1000	Атомное количество X 1000	Адуляр, атомное количество	Атомное количество X 1000	Атомное количество кислорода	Кратные	Расчет
SiO <sub>2</sub>	60,14	10013	10013	642	9371	18742	Si=8	$\frac{\langle O \rangle}{M} = \frac{24883}{16231} = 1,53 = 3 : 2$ $\frac{Si}{M - Si} = \frac{9371}{6860} = 1,37 = 4 : 3$ $\frac{Na, K, Ca}{Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mg, Mn} = \frac{2180 + 2222 + 114}{1730 + 164 + 329 + 114} =$ $= \frac{4516}{2337} = 2 : 1 = 4 : 2$ <p>Тип эмпирической формулы: <math>M_6Si_8(O, OH, F)_{21}</math></p> <p>Формула минерала:  <math>(K, Na, Ca)_4(Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mg, Mn)_2[Si_4O_{10}]_2(OH, F)</math></p>
TiO <sub>2</sub>	0,06	7	7		7	14	$\left. \begin{array}{l} Fe^{+2} \\ Fe^{+3} \\ Mg \\ Mn \end{array} \right\} = 1,95$	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,10	107	214	214				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,32	82	164		164	246		
FeO	12,45	1730	1730		1730	1730		
MgO	0,46	114	114		114	114	$\left. \begin{array}{l} Na \\ K \\ Ca \end{array} \right\} = 3,89$	
CaO	0,64	114	114		114	114		
MnO	2,34	329	329		329	329		
Na <sub>2</sub> O	6,77	1090	2180		2180	1090	$\left. \begin{array}{l} Na \\ K \\ Ca \end{array} \right\} = 3,89$	
K <sub>2</sub> O	11,48	1218	2436	214	2222	1111		
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,76				<u>16231</u>			
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,40	1333				1333		
F	0,23	121				60		
Сумма	100,15							
O = F <sub>2</sub>	0,09							
	100,06					<u>24883</u>		

Образец 11

Компоненты	Вес. %	Молекулярное количество X 1000	Атомное количество X 1000	Алюяр, атомное количество	Атомное количество X 1000	Атомное количество кислорода	Кратные	Расчет
SiO <sub>2</sub>	60,54	10079	10079	384	9695	19390	Si = 8	«O» $\frac{24970}{M} = \frac{24970}{17067} = 1,46 = 3 : 2$
TiO <sub>2</sub>	0,04	5	5		5	10	Fe <sup>+2</sup>	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,66	64	128	128			Fe <sup>+3</sup>	$\frac{Si}{M - Si} = \frac{9695}{17067 - 9695} = \frac{9695}{7372} = 1,31 = 4 : 3$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,54	98	196		196	294	Mg	
							Mn	
FeO	12,49	1736	1736		1736	1736		$\frac{Na, K, Ca}{Fe^{+2}, Fe^{+3}, Mg, Mn} = \frac{2422 + 2358 + 131}{1736 + 196 + 351 + 173} = \frac{4911}{2456} = 2 : 1 = 4 : 2$
MgO	0,70	173	173		173	173		
CaO	0,74	131	131		131	131		
MnO	2,49	351	351		351	351	K	
Na <sub>2</sub> O	7,51	1211	2422		2422	1211	Na	Тип эмпирической формулы: M <sub>6</sub> Si <sub>8</sub> (O, OH, F) <sub>21</sub>
K <sub>2</sub> O	11,71	1243	2486	128	2358	1179	Ca	
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,78				17037			Формула минерала: (K, Na, Ca) <sub>4</sub> (Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup> , Mg, Mn) <sub>2</sub> [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ] <sub>2</sub> (OH, F)
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,67	372				372		
F	0,47	247				123		
Сумма	100,34							
O = F <sub>2</sub>	0,20							
	100,14					249,0		

Аналитик З. П. Горощенко.

1 Средний из двух анализов дает целые коэффициенты при группах [Fe] : [Na] = 2 : 4.

Таблица

## Межплоскостные расстояния фенаксита

Интенсивность	$d_{\alpha}$	Интенсивность	$d_{\alpha}$	Интенсивность	$d_{\alpha}$	Интенсивность	$d_{\alpha}$	Интенсивность	$d_{\alpha}$
5	6,86	2	1,995	6	2,88	1	1,961	5	1,447
2	5,21	1	1,961	6	2,71	6 шир }	1,875	5	1,375
5 дв.	{ 4,67 4,48	6 шир.	{ 1,875 1,835	5	2,62		1,835	1	1,360
				2	2,52	6	1,752	1	1,326
4	4,10	6	1,752	7	2,46	2	1,690	2	1,300
7 дв.	{ 3,55 3,44	2	1,690	1	2,29	3	1,574	2	1,258
				3	2,19	4	1,519	1	1,177
5	3,35	3	1,574	1	2,10	4	1,486	3	1,119
5	3,25	4	1,519	1	2,05			3	1,085
10	3,03	4	1,486	2	1,995				

Данные получены Н. Н. Слудской в ИГН АН СССР.

Условия съемки: фильтрованное железное излучение;  $2R=57,9$ ;  $d=0,6$  мм.

bold и E. Schneider, 1935), для зарегистрированных рефлексов были определены сферические координаты  $\rho$  и  $\varphi$ , по которым была построена стереографическая проекция исследуемого кристалла (рис. 2).

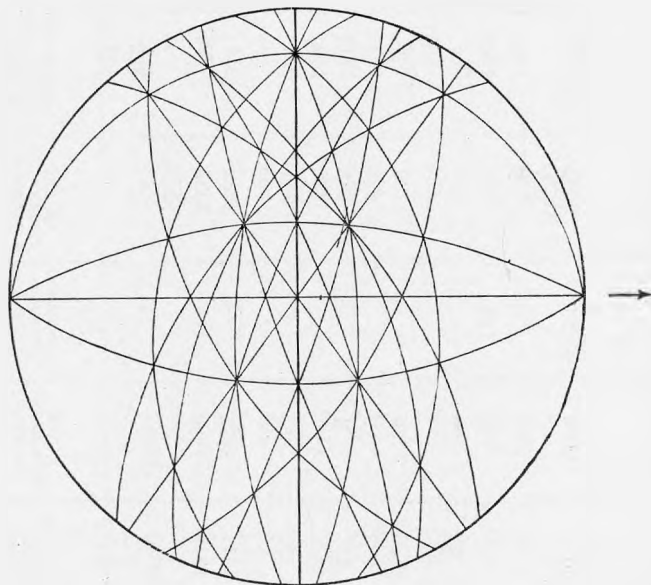


Рис. 2. Стереографическая ориентировка фенаксита, построенная по пятнам лауэграммы, снятой на цилиндрическую пленку

Наличие на стереографической проекции плоскости симметрии и перпендикулярной к ней оси второго порядка при отсутствии других элементов симметрии позволяет отнести кристалл к моноклинной сингонии (лауэ-класс  $C_{2h} = 2/m$ ).

Для определения периода идентичности вдоль оси второго порядка (оси  $b$ ) была снята рентгенограмма вращения вокруг этого направления.

Для определения размеров осей  $a$  и  $c$ , угла  $\beta$ , а также пространственной группы были сняты развертки нулевой, первой и второй слоевых линий. Развертки снимались по методу Де-Ионга на рентгеновском гониометре конструкции химического факультета Ленинградского государственного университета. Съемка производилась методом постоянного конуса при угле конуса равном  $45^\circ$  и расстоянии кристалл—пленка 50 мм.

Вычисленные параметры элементарной ячейки равны:  $a_0 = 14,95$ ;  $b_0 = 6,98$ ;  $c_0 = 9,79$ ;  $\beta = 112^\circ$ ;  $a_0 : b_0 : c_0 = 2,142 : 1 : 1,402$ . Для определения пространственной группы кристалла индцировались развертки слоевых линий. Индцирование разверток показало отсутствие рефлексов типа  $hkl$  с нечетным значением  $h + k$  и наличие всех остальных типов рефлексов.

Из всех пространственных групп, которые входят в диффракционный класс  $C_{2h} = 2/m$ , такие погасания вызывают три пространственные группы, объединенные диффракционным символом  $2/mC - / -$ , а именно:

$$C_{2h}^3 = C2/m; C_2^3 = C2; C_s^3 = Cm.$$

Однозначно определить пространственную группу в пределах указанных выше групп рентгеновские данные не позволяют.

На основании удельного веса минерала, определенного экспериментальным путем (2,744), и размеров элементарной ячейки фенаксита величина  $Z$  оказалась равной 1,95. Таким образом, ячейка содержит две формульных единицы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По физическим свойствам, химическому составу и данным рентгеновского исследования фенаксит отличается от всех известных в литературе минералов.

### ЛИТЕРАТУРА

- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.  
 Дорфман М. Д., Рогачев Д. Л., Горощенко З. П., Успенская Е. И. Фенаксит — новый минерал. См. настоящий выпуск.  
 R ö s c h S. Über Reflexphotographie. Abh. der Math. Phys. Klass. der Sächs. Akad. der Wiss., 39, № 6, 1926.  
 S c h i e b o l d E., S c h n e i d e r E. Internationale Tabellen zur Bestimmung von Kristallstructur. Gebrüder Borntraegen, Berlin, 2, 1935.  
 S t r u n t z H. Mineralogische Tabellen. Berlin, 1941.