

И. В. ГИНЗБУРГ, З. П. РАЗМАНОВА

**РЕЗУЛЬТАТЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗУЧЕНИЯ
БУРОГО ФАССАИТА ИЗ ЯКУТИИ**

Бурый фассаит из Якутии обратил на себя внимание как объект, достойный специального рентгеновского изучения. По порошковой рентгенограмме — это V структурный тип (Гинзбург, Сидоренко, 1964), по особенностям состава — пироксен, богатый Al в тетраэдрах и Al, Fe³⁺, Ti³⁺ в октаэдрах при предельном содержании Са в восьмивершинных полиэдрах. Он отвечает фассаитам с максимальным содержанием Al_{IV} и (Al, Fe³⁺, Ti³⁺)_{IV}, известным в СССР и за рубежом (Гинзбург, 1971, 1972). У метасоматических фассаитов на монокристаллах не определялись пространственная группа и параметры ячейки, не индицировалась порошковая рентгенограмма. У магматического фассаита из шт. Квебек изучена структура и получены параметры ячейки (Reasog, 1967).

Пространственная группа бурого фассаита из Якутии определялась на осколках монокристаллов (Мо-излучение, камера Вайсенберга, D=69 мм). Отсняты следующие развертки: *h0l*, *h1l*, *h2l*, *hk0*. На них выявлена моноклиная сингония минерала. На развертках, которые были проиндицированы, присутствуют следующие отражения:

$$\begin{array}{lll} h0l & h = 2n, & l = 2n; \\ h1l & h + l = 2n, & l - \text{любые}; \\ h2l & h = 2n, & l - \text{любые}; \\ hk0 & h + k = 2n, & \end{array}$$

которые удовлетворяют условиям: $h+k=2n$ для *hkl* и $l=2n$ для *h0l*. Эти погасания указывают на пространственные группы *C2/c* и *Cc*. Центр симметрии рентгеновскими статистическими методами не определялся и допускалась нецентросимметричная пространственная группа *Cc*. Отсутствие у бурого фассаита пьезоэффекта (определено А. Ф. Соловьевым на физфаке МГУ) — не признак центра симметрии, т. е. вероятны обе пространственные группы. Однако при полном структурном анализе другого фассаита (Reasog, 1967) определена пространственная группа *C2/c*. Она отмечалась у известкового пироксена — диопсида и ранее (Wycoff, Merwin, 1925; Warren, Bragg, 1928). Отсюда для якутского фассаита принимаем базациентрированную *C2/c* решетку.

Параметры элементарной ячейки бурого фассаита из Якутии определялись четыре раза в трех осколках его монокристаллов в рентгеновском гониометре (с D=69 мм) на молибденовом и медном излучении. Условия съемки и найденные значения параметров приведены в табл. 1.

Значения всех параметров элементарной ячейки, полученные для зерна 1, оказались весьма малыми, особенно a_0 . Повторные определения еще на

Параметры элементарной ячейки * бурого фассаита из Якутии

№ зерна	Исходные снимки	$a_0, \text{Å}$	$b_0, \text{Å}$	$c_0, \text{Å}$	β	$V, \text{Å}^3$
1	Развертка $h0l$ и рентгенограмма вращения вокруг b_0 (Мо-излучение)	9,58	8,78	5,23	$106^\circ 24'$	422,0
2 (измерение 1)	Развертка $h0l$ и рентгенограмма вращения вокруг b_0 (Мо-излучение)	9,59	8,80	5,26	106 23	425,9
2 (измерение 2)	Развертка $hk0$ (Мо-излучение)	9,62	8,76	5,26*	106 23*	425,6
3	Развертки $h0l$ и $hk0$ (Си-излучение)	9,55	8,68	5,22	106 00	416,0
Среднее из всех измерений	—	9,59	8,76	5,24	106 16	422,6

* Линейные параметры элементарной ячейки у зерен 1 и 2 вычислялись по нескольким базальным отражениям: например, у зерна 2 (измерение 2) для a_0 по 400 a , 600 a , β , 800 a , 10.0.0 a , 14.0.0 a ; для b_0 по 040 a , 060 a , β , 0.10.0 a , β , 0.12.0 a ; у зерна 3 — по дальним базальным отражениям: a , 10.0.0 a_1 , a_2 ; b_0 0.10.0 a_1 , a_2 ; c_0 006 a_1 , a_2 . Приведены средние значения вычисленных параметров
** Взяты из измерения 1 того же зерна.

двух зернах (2 и 3) тоже дали низкие значения линейных параметров и острого угла β . Погрешность в определении линейных параметров в камере Вайсенберга вызвана съемкой без эталона и невозможностью учесть влияние поглощения для осколка монокристалла. Максимальная разница в величинах параметров: a_0 ($\Delta=0,07 \text{ Å}$), b_0 ($\Delta=0,12 \text{ Å}$), c_0 ($\Delta=0,04 \text{ Å}$), β ($\Delta=0^\circ 24'$) в трех зернах (1, 2, 3) отражает погрешность измерений.

В целом среднеарифметические значения параметров бурого фассаита из Якутии резко выделяют его среди других известковых пироксенов: фассаитов, авгитов и диопсидов-геденбергитов. Бурый фассаит из Якутии имеет необычайно малые параметры элементарной ячейки, в том числе ее объем.

Для индентирования порошковой рентгенограммы бурого фассаита использована дифрактограмма, полученная Г. А. Сидоренко на дифрактометре, выверенном по NaCl; запись сделана на Си-излучении без фильтра. Проиндентированы первые 48 пиков дифрактограммы (табл. 2), исходя из параметров элементарной ячейки фассаита, полученных на его монокристаллах: a_0 9,59; b_0 8,76; c_0 5,24 Å и β $106^\circ 16'$ (табл. 1, среднее). Произведено три тура расчетов межплоскостных расстояний на БЭСМ-3М по программе счета $\sin\theta/\lambda$. В результате составлена таблица межплоскостных расстояний и миллеровских индексов (табл. 2). Из этой таблицы исключены линии $hk0$, $h0l$, $h1l$, $h2l$ с нулевой интенсивностью, определенной из соответствующих вайсенбергограмм.

Индентирование порошковой рентгенограммы позволило уточнить линейные параметры элементарной ячейки фассаита. Каждый из линейных параметров определялся по нескольким пикам дифрактограммы, а угол моноклинности взят из развертки $h0l$: a_0 9,69₂; b_0 8,81; c_0 5,27₁ Å; β $106^\circ 16'$; V 432,06 Å³. Значения вычисленных при индентировании линейных параметров ячейки оказались большими, чем измеренных на снимках монокристаллов.

Разница для каждого параметра достигает: $\Delta a_0=0,10$; $\Delta b_0=0,05$; $\Delta c_0=0,03 \text{ Å}$, что находится в пределах максимальных ошибок определения

Межплоскостные расстояния и миллеровские индексы бурого фассаита из Якутии

Эксперимент			Расчет			Эксперимент			Расчет			Эксперимент			Расчет		
<i>l</i>	<i>d/nα</i>	<i>d/nα</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/nα</i>	<i>d/nα</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/nα</i>	<i>d/nα</i>	<i>hkl</i>	<i>l</i>	<i>d/nα</i>	<i>d/nα</i>	<i>hkl</i>		
3	3,28	3,32	021	1	1,839	1,842	331	1	1,563	1,559	113						
5	3,20	3,20	220	—	—	1,834	422	1	1,553	1,551	600						
10	2,97	2,97	221	2	1,824	1,821	510	2	1,534	1,532	350						
7	2,93	2,92	310	—	—	1,821	222	2	1,525	1,526	351						
3	2,87	2,88	311	1	1,804	1,803	132	—	—	1,526	602						
5	2,536	2,541	202	1	1,783	1,781	241	1	1,504	1,504	532						
—	—	2,530	002	1	1,770	1,759	421	—	—	1,502	133						
5	2,500	2,495	221	2	1,731	1,731	150	1	1,500	1,495	332						
1	2,360	2,367	131	1	1,696	1,704	312	—	—	1,499	423						
1	2,334	2,326	400	1	1,688	1,687	442	1	1,468	1,468	060						
2	2,288	2,284	311	1	1,663	1,664	313	—	—	1,468	333						
1	2,218	2,216	112	—	—	1,661	042	1	1,463	1,465	152						
1	2,194	2,194	022	—	—	1,665	242	3	1,415	1,410	531						
—	—	2,201	222	—	—	1,665	151	—	—	1,413	351						
3	2,132	2,132	330	1	1,625	1,627	223	—	—	1,410	061						
3	2,114	2,116	331	2	1,613	1,613	151	2	1,399	1,400	260						
3	2,092	2,095	421	—	—	1,613	531	—	—	1,399	352						
1	2,057	2,057	420	—	—	1,617	441	—	—	1,395	152						
3	2,016	2,020	041	1	1,602	1,599	440	—	—	1,394	133						
—	—	2,017	402	1	1,573	1,575	023	1	1,374	1,380	261						
1	1,960	1,961	132	—	—	1,572	530	—	—	—	—						

Линии (№ 2, 7, 8, 23, 27, 37), принадлежащие только β-излучению, не указаны.

на монокристаллах (см. выше). При этом параметры и объем ячейки бурого фассаита из Якутии остаются меньшими, чем известно у других известковых пироксенов.

Сравнение бурых фассаитов из Якутии и Квебека. Самый близкий к изученному фассаиту по окраске, кристаллооптическим свойствам, а главное по химическому анализу и кристаллохимической формуле оказался бурый фассаит из Квебека (табл. 3), для которого имеются параметры ячейки и расшифрована структура (Pearson, 1967). Однако оба пироксена существенно различаются по параметрам ячейки, определенным у каждого тем же способом, т. е. на монокристаллах (см. табл. 3). У якутского по сравнению с квебекским они меньше: a_0 на 0,20 Å; b_0 на 0,15 Å; c_0 на 0,08 Å; β на 22' и V на 23,7 Å³, т. е. на 5,3%. Такие значительные различия в размерах ячейки при практически одинаковом составе у пироксенов обнаружены впервые. Известные ранее незначительные отклонения относились к ошибкам измерений и расчетов. Указанные различия параметров не могут быть просто объяснены исходя из обычных представлений о генезисе фассаита: метасоматическом (Якутии) или магматическом (Квебек).

Лауэграммы якутского фассаита (по которым он отбирался для съемки в камере Вайсенберга) не обнаружили признаков астеризма, сегментности и двойникования.

Специфичность бурого фассаита из Якутии выражается в уплотненной ячейке. По-видимому, он является особой структурной разновидностью фассаитового пироксена.

Сравнение якутского и квебекского фассаитов

Состав, свойства		Якутия*	Квебек**
Кристаллохимическая формула	$X=M2$	$(Ca_{0,94}Mg_{0,06})_{1,0}$	$(Ca_{0,97}Mg_{0,02}Mn_{0,01})$
	$Y=M1$	$(Mg_{0,61}Fe_{0,03}^{2+}Fe_{0,18}^{3+}Al_{0,10} \times$	$(Mg_{0,55}Fe_{0,06}^{2+}Fe_{0,16}^{3+}Al_{0,17} \times$
	$Z=T$	$\times Ti_{0,08}^{3+})_{1,0} (Si_{1,56}Al_{0,44})_2O_6$	$\times Ti_{0,08})_{1,0} (Si_{1,51}Al_{0,49})_2O_6$
Параметры ячейки	a_0	9,59 Å	9,79*** Å
	b_0	8,76	8,91***
	c_0	5,24	5,32***
	β	106°16' (73°44')	105°54' (74°06')
		$V=422,6 \text{ Å}^3$	$V=446,3 \text{ Å}^3$
Плеохроизм		В фиолетово-бурых тонах	От светло-бурого до розовато-бурого
Зональность		Связана с дисперсией и видна в разрезах с выходами оптических осей	Обычная, по составу
Погасание		Аномальное: серо-сине-фиолетовое до желто-красно-бурого	Структура песочных часов с аномальными цветами от синих до бурых
Оптические константы	$c : Ng^\circ$	46—51	33—37
	$2V^\circ$	49—64	58—64
	Дисперсия	Сильная: $B > A$	Не указана
	n_g	1,751—1,747	1,745
n_m	Среднее 1,736	1,732	
n_p	1,724—1,727	1,725	

* Бурый фассаит, слагающий ядра крупных (до 0,5 см) кристаллов ярко-зеленого фассаита, выделен из метасоматической породы типа пироксеновых скарнов, которые развиты в эндоконтакте одного из тел трапповых долеритов, расположенных в зоне Ахтарандинского разлома по среднему течению р. Вилюй (Надеждина и др., 1962; Гинзбург и др., 1971).

** Фассаит образует крупные вкрапленники в своеобразных контактовых породах — океантах, развитых в нефелиновых якупирангитах на границе с карбонатитовым комплексом в районе Ока, шт. Квебек, Канада (Peacor, 1967; Гинзбург, 1971, 1972).

*** Округлено до второго знака после запятой.

Литература

- Гинзбург И. В. Алумосиликатный пироксен как показатель особенностей дифференциации магм и кристаллизации расплавов, бедных кремнием. — Сборник материалов Международного геохимического конгресса (тезисы докл.). ВИНТИ, 1971.
- Гинзбург И. В. Об алумосиликатном пироксене — фассаите метасоматических и магматических пород. — Новые данные о минералах СССР, вып. 21. Изд-во «Наука», 1972.
- Гинзбург И. В., Сидоренко Г. А. Некоторые особенности кристаллохимии пироксенов, выявленные при их диагностике по дебаэграммам. — Минералы СССР, 1964, вып. 15.
- Гинзбург И. В., Телешева Р. Л., Осолодкина Г. А., Унанова О. Г. Вариации состава одних и тех же пироксенов (по данным химических анализов). — Новые данные о минералах СССР, вып. 20. Изд-во «Наука», 1971.
- Надеждина Е. Д., Юдина В. В., Яковлевская Т. А. Зональный фассаит из метасоматически измененного траппа среднего течения р. Вилюя. — Труды ИГЕМ АН СССР, 1962, вып. 77.
- Peacor D. R. Refinement of the crystal structure of a pyroxene of formula $M_1M_2(Si_{1,5}Al_{0,5})O_6$. — Amer. Min., 1967, 52, № 1—2.
- Warren B. E., Bragg W. L. The structure of diopside $Ca Mg (SiO_3)_2$. — Z. Krist., 1928, 69, H. 1—2.
- Wyckoff R. W. G., Merwin H. E. The space group of diopside $Ca Mg Si_2O_6$. — Amer. J. Sci., 1925, 9.