

В. А. ГАЛЮК

КРИСТАЛЛЫ ФОРСТЕРИТА
ИЗ ФЛОГОПИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛДАНА
(ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

Магнезиальные разности оливиновой группы минералов, форстериты, хорошо известны в пределах флогопитовых месторождений. Нахождение форстерита обычно связано с существенно карбонатными породами, получившими название кальцифиров. Главными минералами последних являются кальцит и доломит (70—90%), в подчиненном количестве присутствуют, кроме форстерита, шпинель, диопсид, флогопит (10—30%) в качестве примеси отмечены пергасит, апатит, скаполит.

Форстерит, как преобладающий среди силикатов, обычно представлен мелкими (до 0,5 см) округлыми зернами, окрашенными в зеленоватые и зеленовато-желтые тона, более или менее равномерно распределенными среди основной массы карбонатов. Выделения форстерита, как правило, лишены правильных кристаллографических очертаний и нередко в значительной степени серпентизированы.

Форстеритовые кальцифиры распространены на ряде месторождений Алданской флогопитовой провинции: Верхне-Эмельджакском, Леглиерском и Федоровском, особенно широкое распространение они получили на Куранахских месторождениях. Кальцифиры слагают пластовые линзовидные тела или участки, не имеющие определенной правильной формы и приуроченные к архейским метаморфическим породам — диопсидовым и кварцево-диопсидовым сланцам. Как было установлено при геологической съемке, наиболее крупные участки форстеритовых кальцифиров обнаруживаются в ядрах антиклинальных и синклинальных складок.

По мнению Д. С. Коржинского (1952, 1955) и других исследователей архейских метаморфических пород Алдана, форстеритовые кальцифиры могут образовываться при региональном метаморфизме первично осадочных карбонатных отложений, содержащих примеси кремнезема и глинозема, а также в процессе метасоматического преобразования доломитов в более поздние магматическую и послемагматическую стадии.

Несмотря на относительно широкую распространенность форстерита на флогопитовых месторождениях Алдана, степень изученности этого минерала остается пока еще недостаточной: отсутствуют данные о морфологии его кристаллов, химическом составе, физических свойствах и последующих изменениях. В лучшем случае приводятся показатели преломления (n_g и n_p), по которым устанавливается соотношение форстеритовой и фаялитовой составляющих.

При изучении минералогии флогопитовых месторождений Южной Якутии нами были обнаружены крупные кристаллы в различной степени

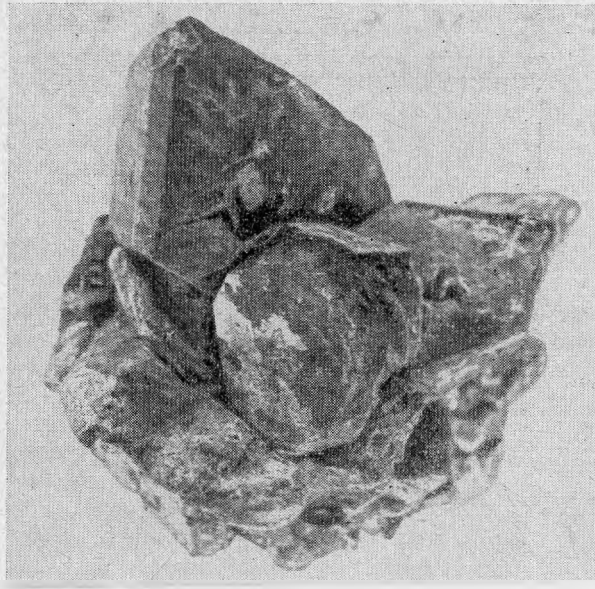


Рис. 1. Друза кристаллов форстерита. Natur. вел.

серпентинизированного форстерита. Наиболее интересные находки были сделаны на Каталахском, Леглиерском и Верхне-Эмельджакском месторождениях.

Кристаллы форстерита, в большей части уплощенные до таблитчатой реже призматические, обычно разобщены мелко- и среднезернистым кальцитом и лишь иногда собраны в друзы (рис. 1). Размеры кристаллов достигают 20 см в длину и 12 см в ширину, однако преобладают индивидуальные средней величины (3—8 см по длинной оси). Четко выраженные грани имеют матовую, неравномерно окрашенную поверхность, на которой заметны углубления, оставшиеся после растворения кальцита. Кристаллы с хорошо образованной головкой встречаются несравнимо чаще, чем двуконечно-развитые.

Кроме кристаллов, форстерит образует сплошные зернистые массивы, которые слагают участки размером до 0,5 м в поперечнике. Среди сплошных выделений форстерита нередко можно встретить идиоморфные кристаллы диопсида. Оба минерала обычно разделены тонкой (от 0,5 до 1 мм) каемкой доломитизированного кальцита¹, иногда эта каемка отсутствует и диопсид с форстеритом непосредственно касаются друг друга. Кристаллы диопсида, с форстеритом ассоциирует флогопит.

Наиболее распространенными кристаллографическими и габитусными формами форстерита являются грани b (010), m (110), e (111); грани c (001), d (101), h (011) получили меньшее развитие, а остальные — s (111), r (130), k (021) и g (114) — встречаются редко и занимают хорошо выраженное подчиненное положение. Грань g (114) встречена впервые, ранее ее существование не отмечалось. Для измерения граничных углов было отобрано 22 кристалла средних размеров. Мелкие кристаллы (менее 0,5 см) имеют закругленные грани и кривые ребра (как бы «оплавленные» для определения углов они менее пригодны. Средние значения граничных

¹ По данным спектрального анализа кальцит содержит значительное количество магния. §

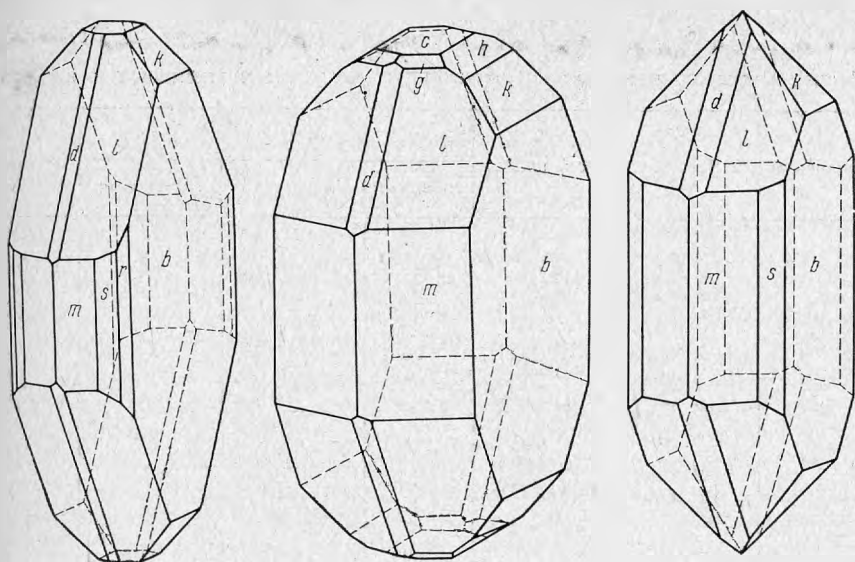


Рис. 2. Аксонометрические проекции кристаллов форстерита

углов, замеренных прикладным гониометром, приводятся ниже:

$mm''' = 49^{\circ}48'$	$kk' = 98^{\circ}03'$	$eb = 69^{\circ}36'$
$ss' = 94\ 05$	$ll' = 94\ 16$	$cg = 17\ 12$
$rr' = 71\ 00$	$ll'' = 108\ 51$	
$dd' = 103\ 02$	$ll''' = 39\ 58$	
$hh' = 60\ 45$	$cl = 54\ 04$	

По данным углов были определены геометрические константы ($a : c = 0,4678 : 1 : 0,5816$), вычислены символы граней простых форм и вычерчены наиболее характерные кристаллы форстерита. Их аксонометрические проекции изображены на рис. 2.

Форстерит в неизменном виде — минерал желтого или зеленовато-желтого цвета со стекляннм или жирным блеском. Однако чаще он имеет окраску более темных тонов (зеленовато-бурую до темно-зеленой, почти черной) вследствие серпентинизации, которая развивается избирательно и обусловливает неравномерное окрашивание. Ясная спайность по (001) и (010) и твердость 6 характерны только для неизменного минерала, у серпентинизированных разностей твердость понижается до 3—4, направления плоскостей спайности определяются с трудом, кристаллы становятся очень хрупкими. В разбавленной холодной HCl форстерит не растворяется, даже при воздействии кислоты в течение нескольких суток.

Форстерит обладает высоким светопреломлением и сильным дупреломлением. Это подтверждается следующими данными: $n_g = 1,691—1,695$; $n_m = 1,671—1,675$; $n_p = 1,652—1,655$; $n_g - n_p = 0,037—0,040$ ¹. Величина угла оптических осей колеблется около 90° , приобретает обычно положительное значение. Оптически отрицательные форстериты встречаются реже, в данном случае значения $2V$ также близки к 90° . В соответствии с таблицами, устанавливающими зависимость оптических свойств и химического состава (Винчеллы, 1953; Трегер, 1958), содержание фаялитового минала в алданских форстеритах находится в пределах от 9 до 11% (мол.).

¹ Определения оптических констант проведены старшим научным сотрудником Минералогического музея МГРИ Е. С. Доброхотовой.

Таблица

Расчет формулы и минералов форстерита по данным химического анализа*

Компоненты	Вес. %	Мол. колич.	Вычитание			Остаток форстерита мол. колич.
			лимонита	магнетита	серпентина	
SiO ₂	34,60	5 757	—	—	487	5 270
TiO ₂	Не обн.	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	1,94	190	—	—	39	151
Fe ₂ O ₃	5,24	328	66	262	—	—
FeO	9,29	1 292	—	262	—	1 030
MgO	46,67	11 573	—	—	789	10 784
CaO	1,50	267	—	—	—	267
MnO	0,42	58	—	—	—	58
K ₂ O	Не обн.	—	—	—	—	—
Na ₂ O	» »	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	0,95	526	—	—	526	—
H ₂ O ⁻	0,12	66	66	—	—	—
П. п. п.	Не обн.	—	—	—	—	—
Сумма . .	100,73	20 057	132 0,7%	524 2,6%	1841 9,2%	17 560 87,5%

* Аналитик И. М. Бендер, геохимическая лаборатория МГРИ.

Таблица 1 (окончание)

Компоненты	Расчет минералов			Расчет формулы форстерита			
	фаялита 2FeO·SiO ₂	форстерита 2MgO·SiO ₂	остаток	Атомн. колич. анионов	Атомн. колич. катионов	Коеффициенты	Сумма валентностей катионов
SiO ₂	539	4731	—	10 540	5270	0,99	3,96
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	15	136	—	453	302	0,06	0,18
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—
FeO	1030	—	—	1 030	1030	0,19	0,38
MgO	—	9034	1750	9 034	9034	1,75	3,50
CaO	27	240	—	267	267	0,05	0,1
MnO	6	52	—	58	58	0,01	0,02
K ₂ O	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁻	—	—	—	—	—	—	—
П. п. п.	—	—	—	—	—	—	—
Сумма	1617 9,2%	14 193 80,8%	1750 10,0%	21 834 —	— —	— —	8,14 —

Данные о химическом составе, вычисленном по оптическим константам, подтверждаются химическим анализом, результаты которого вместе с расчетами формулы и миналов форстерита приводятся в табл. 1.

Для анализа был отобран форстерит, наименее подверженный серпентинизации (образец взят из выработок шахты № 6 Леглиерского месторождения). Предварительное изучение анализированного материала в шлифах под микроскопом показало, что, кроме форстерита и тончайших прожилков серпентина, здесь присутствуют магнетит и гидроокислы железа. Поэтому при расчетах были исключены из химического анализа: H_2O^- + эквивалентное количество Fe_2O_3 на лимонит — 0,7% (мол.); оставшаяся Fe_2O_3 и соответственная ей часть FeO на магнетит — 2,6% (мол.), а также H_2O^+ , SiO_2 , MgO и частично Al_2O_3 ¹ на серпентин — в общей сложности 9,2% (мол.). Таким образом, в рассматриваемом анализе на долю форстерита приходится 87,5% (мол.).

Полученный после вычитания примесей лимонита, магнетита и серпентина анализ минерала был рассчитан на миналы и формулу форстерита. При расчете предполагалось, что Al, Ca и Mn являются изоморфными примесями, замещающими в октаэдрах ионы Mg и Fe^{2+} .

Э. Н. Елисеев (1957), рассматривая химические анализы оливина из различных литературных источников, обратил внимание на присутствие в минерале «примесей (возможно изоморфных)» Al (до 0,5%), Ca (до 0,33%), Mn (до 0,5%), Ti (до 0,15%) и др. Предположение Э. Н. Елисеева в дальнейшем подтверждается А. С. Поваренных (1966), который устанавливает содержания этих элементов как изоморфных примесей в следующих пределах: Al — до 1,7%, Ca — до 2,2%, Mn — до 5,7%. По мнению У. Дир и др. (1965), в ромбических силикатах атомы кремния не замещаются алюминием, а октаэдрические позиции заняты почти исключительно двухвалентными атомами, однако в публикуемых ими анализах оливина Al входит в группу последних. Поэтому при расчете миналов Al, Ca и Mn нами были отнесены к изоморфным примесям Mg и Fe и разделены пропорционально отношению фаялитовой и форстеритовой составляющих. Из данных пересчета следует, что рассматриваемый минерал включает 9,2% (мол.) фаялитового минала и значительное количество избыточного магнезия, который, видимо, в качестве изоморфной примеси присутствует в магнетите (до 12% MgO, по данным Д. П. Сердюченко, 1952, для магнетитов Алданского района).

Если принять анализ форстерита, исключая примеси лимонита, магнетита, серпентина и избыточного MgO, за мономинеральное образование, то после расчета обычным кислородным методом получим следующую формулу:



Как видно из формулы, сумма валентностей катионов равна 8,14, что компенсирует сумму отрицательных валентностей кислорода, правда, с некоторым избытком.

Геологам, ведущим исследования флогопитовых месторождений Алдана, хорошо известно о проявлении здесь в широких масштабах явления собирательной перекристаллизации. Именно благодаря этому процессу, как в настоящее время считается установленным (Коржинский, 1952, 1955), возникли крупные кристаллы флогопита, диопсида, шпинели.

Нам представляется, что образование значительных по размерам кристаллов форстерита в пределах флогопитовых месторождений Южной Якутии обусловлено также процессом перекристаллизации мелкозернистых его

¹ Количество глинозема, входящее в состав «серпентиновой части» анализированного материала, определено из химического анализа серпентина, образовавшегося по форстериту (см. табл. 2).

Расчет формулы серпентина по данным химического анализа *

Компоненты	Вес. %	Мол. колич.	Вычитание		Остаток серпентина, мол. колич.	Расчет формулы серпентина			
			кальцита	лимонита		Атомн. колич. анионов	Атомн. колич. катионов	Коэффициенты	Сумма катионов
SiO ₂	37,74	6279	—	—	6279	12 558	6 279	1,98	7,92
TiO ₂	Не обн.	—	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	0,39	38	—	—	38	114	76	0,02	0,06
Fe ₂ O ₃	4,11	257	—	257	—	—	—	—	—
FeO	Не обн.	—	—	—	—	—	—	—	—
MgO	38,56	9562	—	—	9562	9 562	9 562	3,0	6,0
CaO	1,35	239	222	—	17	17	17	0,01	0,02
MnO	0,04	—	—	—	—	—	—	—	—
K ₂ O	Не обн.	—	—	—	—	—	—	—	—
Na ₂ O	» »	—	—	—	—	—	—	—	—
H ₂ O ⁺	14,90	8269	—	1990	6279	6 279	12 558	3,96	3,96
H ₂ O ⁻	1,64	910	—	910	—	—	—	—	—
П.п.п.(CO ₂)	0,98	222	222	—	—	—	—	—	—
Сумма . . .	99,71	25 776	444	3157	22 175	28 530	—	—	17,96

Аналитик Л. В. Букасова, геохимическая лаборатория МГРИ.

разностей, являющихся составной частью кальцифиров регионально-метаморфического или метасоматического происхождения.

Образованные в результате перекристаллизации крупные кристаллы а также сплошные зернистые массы вторичного форстерита в различной степени серпентинизированы вплоть до их полного замещения (псевдоморфизмы серпентина по форстериту широко распространены на участке Таборны Верхне-Эмельджажского месторождения). Выделение серпентина в виде пластинчатого агрегата начинается с краев зерен и распространяется внутрь их по трещинкам спайности, образуя характерную петельчатую структуру, петли которой содержат реликтовые участки неизмененного форстерита. При углублении процесса изменения участки внутри петель покрываются многочисленными неправильными трещинами, выполненными также тонкочешуйчатыми серпентином, иногда с выделениями рудного минерала — магнетита или гематита. Необходимо отметить, что серпентинизация форстерита максимально проявляется вблизи контактов с кальцитом, отложение которого, видимо, происходило сингенетически с образованием серпентина.

В табл. 2 приводятся химический анализ и расчет на формулу серпентина, псевдоморфно образованного по форстериту. При расчете учитывались посторонние примеси кальцита (1,7 мол. %) и лимонита (12,3 мол. %) ¹, образовавшегося, по-видимому, за счет магнетита. Анализированный серпентин имеет следующую формулу:



¹ К лимониту отнесена вся избыточная сверх формулы серпентина (3MgO · 2SiO₂ · 2H₂O) вода.

Серпентин при воздействии низкотемпературных растворов может перетлагаться по трещинам, в условиях гипергенеза он разрушается и дает начало водным магнезиальным силикатам (девейлит, керолит), а также опалу и халцедону. Эта ассоциация включает, кроме того, выделения прозрачного кальцита.

Выводы

1. На флогопитовых месторождениях Южной Якутии были встречены крупные кристаллы форстерита, содержащие от 9 до 11 мол. % фаялитового минала.

2. Образование крупных кристаллов форстерита — результат длительной перекристаллизации мелких зерен форстерита из кальцифиров, имеющих осадочно-метаморфическое или метасоматическое происхождение.

3. При воздействии углекислых гидротермальных растворов форстерит замещается серпентином вплоть до образования полных псевдоморфоз. Серпентинизация форстерита сопровождается выделением гематита или магнетита и доломитизацией кальцита.

ЛИТЕРАТУРА

- Винчелл А., Винчелл Г. Оптическая минералогия. ИЛ, 1953.
- Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Д. Ж. Породообразующие минералы, т. 1, 3. Изд-во «Мир», 1965.
- Киселев Э. Н. Рентгенометрическое изучение минералов изоморфного ряда форстерит-фаялит.— Записки Всес. мин. об-ва, 1957, ч. 86, вып. 6.
- Коржинский Д. С. Геологические предпосылки минерально-сырьевой базы Алданского горнопромышленного района.— Труды Якутской компл. экспед. СОПС АН СССР, 1952, вып. 1.
- Коржинский Д. С. Очерк метасоматических процессов.— В сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. Изд-во АН СССР, 1955.
- Поваренных А. С. Кристаллохимическая классификация минеральных видов. Киев, изд-во «Наукова думка», 1966.
- Сердюченко Д. П. Железные руды Алданского горнопромышленного района.— Труды Якутской компл. экспед. СОПС АН СССР, 1952, вып. 1.
- Трегер В. Е. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. Госгеолтехиздат, 1958.