

Т. П. ТИМЧЕНКО

ПРОЦЕССЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТРИФИЛИНА  
ИЗ ПЕГМАТИТОВ СИБИРИ

Минералы группы трифилина — литиофилита встречаются довольно часто в альбитизированных пегматитах. Характерной особенностью этих минералов является их неустойчивость в гипергенных условиях, где по ним интенсивно развиваются вторичные фосфаты.

Процессы изменения трифилина из пегматитов были впервые в СССР описаны А. И. Гинзбургом (1951). Им же были впервые отмечены измененные трифилины.

В нашей статье приводятся результаты изучения измененных трифилинов из пегматитов Сибири. Процессы изменения их несколько отличаются от процессов изменения трифилина, описанных А. И. Гинзбургом.

В отличие от трифилина Калбинского хребта, в изученных нами пегматитах трифилин встречается лишь в виде небольших выделений (от  $0,5 \times 1$  см до  $1,5 \times 3$  см). Располагается он обычно в нацело альбитизированных пегматитовых жилах и приурочен, большей частью, к таблитчатому альбиту.

Вместе с трифилином встречаются многочисленные вторичные фосфаты — эосфорит, фэйрфильдит, рокбриджеит, мораезит и др.

Выделения трифилина имеют обычно вытянутую (линзовидную), реже изометричную форму. Хорошо образованные кристаллы не встречены. Тесные сростания трифилина с альбитом, столь характерные для стадии альбитизации в пегматитах Калбинского хребта отсутствуют.

Цвет трифилина от грязно-зеленого до темно-синего. Окраска неравномерная, пятнистая. По краям кристаллов наблюдается густоокрашенная голубая до темно-синей каемка. Под лупой ясно видно, что окрашивающий его вивианит располагается по трещинам спайности в виде прожилков и неправильной формы пятен. В мелких осколках неизмененный трифилин водянoproзрачен, бесцветен.

В шлифах трифилин характеризуется хорошей спайностью в двух направлениях, отсутствием окраски и плеохроизма. Минерал оптически двуосен, положительн, дисперсия сильная,  $r > v$ . Показатели преломления, измеренные в иммерсионных жидкостях:  $N_g = 1,691 \pm 0,002$ ,  $N_m = 1,688 \pm 0,002$ ,  $N_p = 1,685 \pm 0,002$ ,  $N_g - N_p = 0,006$ .

Судя по кривой зависимости показателей преломления от состава трифилина (Винчелл, 1953), описываемый трифилин является средним членом ряда трифилин — литиофилит с содержанием 50—55% молекулы трифилина. Это подтверждается и химическим анализом. Содержание FeO в изучаемом минерале равно 27,12%, MnO = 22,89%. Отношение FeO : MnO = 1,2. По соотношению FeO и MnO изучаемый трифилин близок

к трифилину из Варутреска, Швеция (Mason, 1941). От трифилинов Калбинского хребта (Гинзбург, 1951) изучаемый трифилин отличается более высоким содержанием марганца (табл. 1).

Таблица 1

Содержание окислов железа и марганца в трифилинах  
(в %)

Местонахождение и автор	FeO	MnO	FeO : MnO
Трифиллин, Калбинский хребет (Гинзбург, 1951) . . . . .	27,25	16,50	1,65
Трифиллин, пегматиты Сибири . . . . .	27,21	22,89	1,18
Трифиллин, Варутреск, Швеция (Mason, 1941) . . . . .	24,33	18,95	1,28
Трифиллин, месторождение Графтон Нью-хемпшир (Mason, 1941) . . . . .	26,23	18,21	1,44

Трифиллины, не затронутые процессами замещения, в пегматитовых жилах Сибири не встречены. Слабо замещенный трифилин наблюдается только на глубине 20—30 м от поверхности. В верхних же горизонтах пегматитовых жил трифилин, как правило, замещен различными вторичными фосфатами. Часты также нацело выщелоченные кристаллы трифилина, пустоты от которых выполнены гидроокислами железа и марганца. В кристаллах трифилина, не полностью подвергшихся процессам замещения, центральная часть представлена трифилином, пронизанным по тонким трещинам вивианитом, реддингитом и фэйрфильдитом. Количество прожилков этих минералов ближе к периферии кристаллов увеличивается (особенно резко возрастает роль фэйрфильдита). По периферии же кристаллов обычно наблюдается тонкозернистая каемка (толщиной 1—2 мм) фэйрфильдита и даллита. Эта каемка часто характеризуется полосчатым строением, обусловленным субпараллельным расположением прожилков даллита. В случае ассоциации трифилина со сфалеритом, при дальнейшем выщелачивании, в пустотах на фэйрфильдит и даллит нарастают мелкие кристаллы шольцита.

Изучение шлифов показало, что замещение трифилина начинается с появления в нем тонких прожилков реддингита. Выделения последнего приурочены к трещинам спайности трифилина (рис. 1). Реддингит характеризуется хорошо выраженной спайностью в одном направлении и менее ясно выраженной в другом, почти перпендикулярном первому. В проходящем свете минерал бесцветный, не плеохроитует. Оптически изученный минерал двуосный, положительный, угол  $2V$  большой. Дисперсия слабая,  $r > v$ . Угол погасания  $Ng$  со спайностью равен  $10—12^\circ$ . Показатели преломления, измеренные в иммерсионных жидкостях:  $Ng = 1,680 \pm 0,002$ ,  $Np = 1,648 \pm 0,002$ , двупреломление  $Ng - Np = 0,032$ . По описанным свойствам данный минерал может быть определен как реддингит. Провести какие-либо анализы его не удалось, так как он обнаружен только в шлифах. По периферии выделений реддингита развивается, в небольшом количестве, вивианит. Часто наблюдается выполнение одних и тех же прожилков реддингитом и вивианитом.

В более измененных трифилинах, кроме указанных минералов, в прожилках встречается бесцветный радиально-лучистый фэйрфильдит. Он ассоциирует с реддингитом, интенсивно замещая последний. Ближе к периферии кристаллов трифилина фэйрфильдит образует самостоятельные

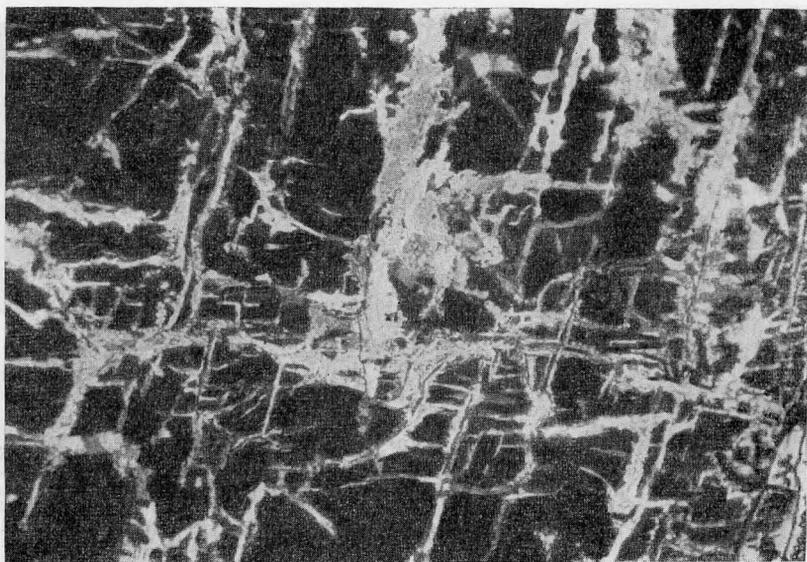


Рис. 1. Прожилки реддингита (серое) в трифилине (черное).  
Центральная часть кристалла трифилина. Ув.  $3,7 \times 8$ . Ник.  $\pm$

выделения. Агрегаты его слагают описанную выше полосчатую каемку по контакту трифилина с альбитом (рис. 2). Описываемый минерал макроскопически белого цвета, прекрасно растворяется во всех кислотах, не дает реакции на сульфат-ион и цинк. В шлифах данный минерал, при одном николе, бесцветный, без плеохроизма, характеризуется радиально-лучистым строением, отдельные зерна имеют «метельчатую» структуру (рис. 3). Удлинение минерала положительное. Погасание агрегатов неравномерное, облачное. Минерал двусный, положительный, угол  $2V$  большой.

Оптические исследования показывают, что показатели преломления фэйрфильдитов, образующихся по трифилину, колеблются в небольших пределах. Так, фэйрфильдит, располагающийся в виде каемки по границе измененного трифилина и альбита, отличается более высокими показателями преломления:  $N_g = 1,664 \pm 0,002$ ,  $N_m = 1,648 \pm 0,002$ ,  $N_p = 1,644 \pm 0,002$ . Данный фэйрфильдит можно сравнить с фэйрфильдитом из Полаанда (штат Мэн, США), характеризующимся содержанием  $FeO = 4,75\%$ ,  $MnO = 14,82\%$  (табл. 2). Однако большинство изученных нами фэйрфильдитов, слагающих псевдоморфозы по трифилину, обладают более низкими показателями преломления ( $N_g = 1,653 - 1,656$ ) и по оптическим свойствам более близки к фэйрфильдиту из пегматитов Туркестанского хребта (табл. 2), где он впервые был обнаружен на территории СССР (Гинзбург, 1952).

Рентгенограмма изучаемого фэйрфильдита идентична с рентгенограммами фэйрфильдита из пегматитов Туркестанского хребта и месторождения Бакфилд, штат Мэн, США (табл. 3).

Спектральным анализом в фэйрфильдитах из пегматитовых жил Сибири обнаружены следующие элементы:  $P > 10\%$ ,  $Ca > 10\%$ ,  $Mn > 10\%$ ,  $Fe \approx 5\%$ ,  $Si, Sr, Al \approx 0,5\%$ ,  $Be \approx 0,6-0,9\%$ ,  $Mg \approx 0,1-0,3\%$ .

При изменении фэйрфильдита окраска его меняется от желтовато-белой до темно-желтой и зеленовато-желтой. Показатели преломления зеленовато-желтого фэйрфильдита значительно выше (до 1,694). Под микро-

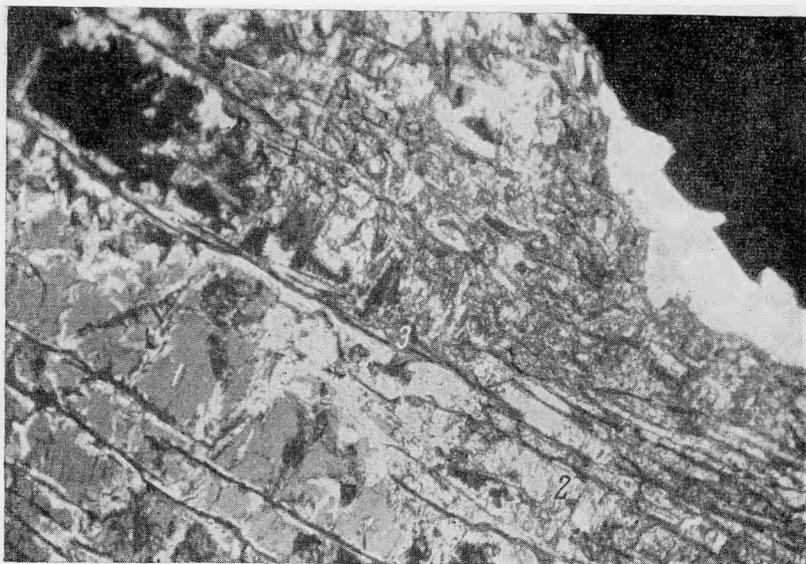


Рис. 2. Красная часть кристалла триффина  
1 — триффин; 2 — фэйрфильдит; 3 — даллит. Ув.  $3,7 \times 8$ , Ник. +

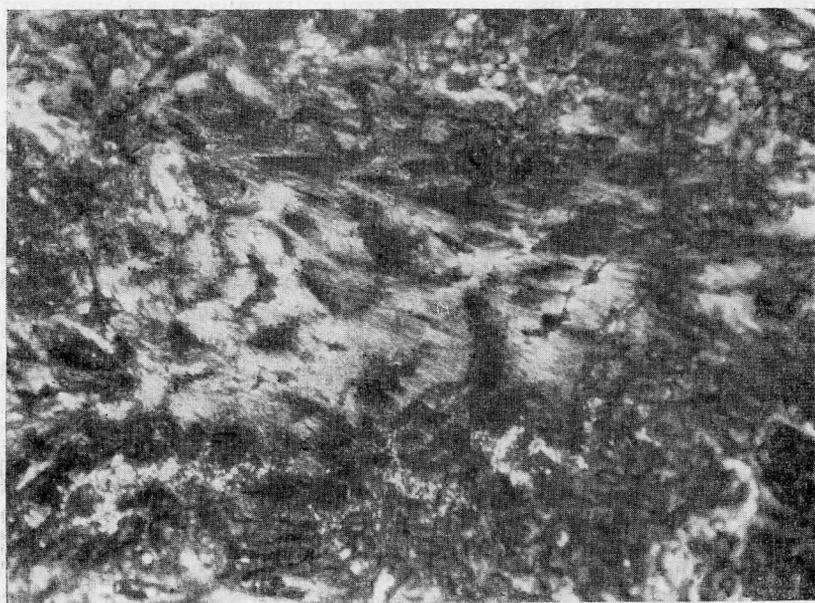


Рис. 3. Радиально-лучистый фэйрфильдит, образовавшийся по триффину.  
Ув.  $8 \times 8$ . Ник. +

Таблица 2

## Оптические свойства фэйрфильдитов

Характеристика минерала	Цвет	Ng*	Nm*	Np*
В псевдоморфозах по трифилину, Сибирь	Белый, желтовато-белый	1,653	1,645	1,635
То же	То же	1,656	1,640	1,637
»	»	1,664	1,648	1,644
Частично окисленный, Сибирь	Зеленовато-желтый	1,694		1,675
Из пегматитов Туркестанского хребта, СССР (Гинзбург, 1952)	Белый, желтовато-белый	1,654	1,644	1,638
Поланд, шт. Мэн, США (Verman, Gonyer, 1930) FeO = 4,75%; MnO = 14,82%	Белый	1,660	1,650	1,640
Бренчвилл, шт. Коннектикут, США (FrondeU, 1955) FeO = 3,42%, MnO = 17,40%	»	1,654	1,644	1,636

\* Ошибка определения показателей преломления везде равна  $\pm 0,002$ .

скопом видно, что по бесцветным зернам фэйрфильдита с низкой интерференционной окраской образуется минерал, характеризующийся индиговыми синими аномальными интерференционными окрасками. В проходящем свете минерал имеет светло-желтый цвет. Показатели преломления его:  $Ng = 1,694 \pm 0,002$ ;  $Np = 1,675 \pm 0,002$ . У темно-желтой разности измененного фэйрфильдита показатели преломления увеличиваются до  $Ng = 1,712 \pm 0,002$ ;  $Np = 1,704 \pm 0,002$ . В отличие от обычного фэйрфильдита, минерал оптически отрицателен, характеризуется аномальными интерференционными окрасками, наличием плеохроизма ( $Ng$  — желтый,  $Np$  — бесцветный). Рентгеновское изучение показало, что данный минерал является ксантоксенитом  $Ca_2Fe^{3+}(PO_4)_2(OH) \cdot 1,5H_2O$  (табл. 4). Таким образом, мы имеем случай окисления фэйрфильдита и перехода его в ксантоксенит. Теоретически возможность этого перехода указывалась А. И. Гинзбургом (1954). Описываемый минерал по оптическим свойствам (табл. 5) и рентгеновским данным близок к ксантоксениту из Палермо, Ньюхемшир (FrondeU, 1949).

Можно предположить, что минерал с показателями преломления  $Ng = 1,694$ ,  $Np = 1,675$  является промежуточным между ксантоксенитом и фэйрфильдитом и содержит как двухвалентное, так и трехвалентное железо. Колебания показателей преломления этой переходной разности, вероятно, зависят от соотношения  $Fe^{2+}$  и  $Fe^{3+}$ .

Вивианит образует прожилки по спайности трифилина. Он часто ассоциирует в прожилках с реддингитом, выделяясь несколько позже него. Реже вивианит встречается в виде самостоятельных выделений. Кристаллы вивианита собраны в радиально-лучистые агрегаты.

Минерал характеризуется хорошо выраженной спайностью в одном направлении. Удлинение пластинок положительное. Плеохроизм от светлоголубого ( $Np$ ) до бесцветного ( $Ng$ ). Минерал оптически двуосный, положительный, угол  $2V$  большой, порядка  $70-80^\circ$ . Дисперсия ясная,  $v > r$ . Показатели преломления колеблются в пределах:  $Ng = 1,630 - 1,646 \pm 0,002$ ;  $Np = 1,580 - 1,593 \pm 0,002$ .

Таблица 3

## Межплоскостные расстояния фэйрфилдита

Фэйрфилдит*, Туркестан- ский хр., СССР		Фэйрфилдит**, Сибирь		Фэйрфилдит***, В. Бак- филд, шт. Мэн. (Frondeil, 1955)		Фэйрфилдит*, Туркестан- ский хр., СССР		Фэйрфилдит, Сибирь		Фэйрфил- дит, В. Бак- филд, шт. Мэн. (Frondeil, 1955)	
I	d <sub>x</sub>	I	d <sub>x</sub>	I	d <sub>x</sub>	I	d <sub>x</sub>	I	d <sub>x</sub>	I	d <sub>x</sub>
				2	7,06					3	1,934
		3	6,54	9	6,40	3	1,922	4	1,922	5	1,928
		5	6,25	—						1	1,902
		1	5,02	6	5,08			1	1,825	4	1,828
		3	4,43	5	4,53					6	1,801
		2	4,27	6	4,33	9	1,790	3	1,785	3	1,744
				1	3,06			3	1,729	5	1,730
				6	3,60	4	1,716	2	1,707	5	1,722
		3	3,51	3	3,48	8	1,692	4	1,686	6	1,690
				2	3,34					2	1,672
				10	3,23			1	1,645	2	1,657
10	3,16	10	3,16	7	3,20			2	1,614		
9	3,02	5	2,99	8	3,03			2	1,553		
				7	2,86	5	1,517	4	1,504		
5	2,81	4	2,83	5	2,84			1	1,474		
9	2,66			2	2,80	3	1,426	5	1,418		
4	2,55	9	2,59	3	2,57			3	1,367		
2		2	2,51	4	2,52	3	1,323	3	1,322		
7	2,46	6	2,44	7	2,46			1	1,281		
		3	2,28	5	2,30			4	1,262		
				3	2,24			2	1,183		
		3	2,21	2	2,21			2	1,169		
		2	2,14	4	2,17	4	1,157	8	1,153		
		1	2,12	5	2,13	9	1,095	8	1,094		
7	2,10	2	2,07	6	2,10	7	1,067	7	1,058		
		5	2,03	7	2,04			3	1,047		
				1	1,986			7	1,029		
		1	1,964	3	1,963			3	1,011		

\* Fe-изл., 2R = 57,9 мм, d = 0,06.

\*\* Fe-изл., 2R = 57,3 мм, d = 0,06.

\*\*\* Fe-изл., Mn-фильтр.

При окислении  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$  густота окраски минерала увеличивается до темной оливково-зеленой (по Nr) и бурой. Вероятно, вивианит переходит в  $\beta$ -керченит и оксикерченит.

Темно-зеленый минерал приурочен обычно к периферии кристаллов трифилина и развивается по вивианиту. Минерал образует тонковолокнистые, радиально-лучистые агрегаты. В проходящем свете характеризуется зеленой окраской и резким плеохроизмом: от светло-зеленого по Nr до темно-зеленого по Ng. Удлинение минерала положительное. Интерференционная окраска высокая, порядка 0,025—0,030. Минерал оптически двуосный, положительный. Показатели преломления колеблются в пределах: Ng = 1,890—1,897; Nr = 1,870—1,875. По периферии агрегатов

Таблица 4

Межплоскостные расстояния ксантоксенита

Ксантоксенит*, Сибирь		Ксантоксенит**, Палермо, Ньюхемпшир (FrondeU, 1949)		Ксантоксенит, Сибирь		Ксантоксенит, Палермо, Ньюхемпшир (FrondeU, 1949)	
<i>I</i>	<i>d<sub>α</sub></i>	<i>I</i>	<i>d<sub>α</sub></i>	<i>I</i>	<i>d<sub>α</sub></i>	<i>I</i>	<i>d<sub>α</sub></i>
5	6,18	5	6,24	8	1,645	1	1,65
4	4,85	4	4,94	3	1,564	1	1,57
2	4,30			8	1,527	3	1,53
3	3,76			3	1,480		
8	3,47	7	3,48	3	1,459		
7	3,20	8	3,22	4	1,437	1	1,44
6	3,11	2	3,12	3	1,410	1	1,41
10	3,02	10	3,05	3	1,390	1	1,36
4	2,97	1	2,96	5	1,365		
10	2,70	9	2,73	1	1,322		
2	2,66	2	2,68	5	1,301	1	1,30
3	2,63	4	2,60	1	1,262		
5	2,44	2	2,46	2	1,234		
1	2,38	1	2,36	4	1,227		
4	2,29	2	2,30	1	1,211		
7	2,21	6	2,23	3	1,180		
6	2,07	1	2,08	2	1,153		
1	2,03	1	2,01	1	1,139		
2	1,995			3	1,117		
1	1,934			2	2,106		
3	1,877			1	1,084		
3	1,830	1	1,84	1	1,067		
4	1,738			2	1,043		
8	1,716	2	1,72	2	1,036		
				3	1,018		

\* Fe-изл., 2R = 57,3 мм, d = 0,06.

\*\* Fe-изл., Mn-фильтр.

— главные линии ксантоксенита.

..... линии фэйрфильдита (по Д. Ж. Фишеру, 1958).

Таблица 5

Оптические свойства ксантоксенита

	Ng	Nm	Np
Из пегматитов Сибири . . . . .	1,712±0,002		1,704±0,002
Из Палермо, Ньюхемпшир (Fron- dell, 1949) . . . . .	1,724±0,003	1,715±0,003	1,704±0,003

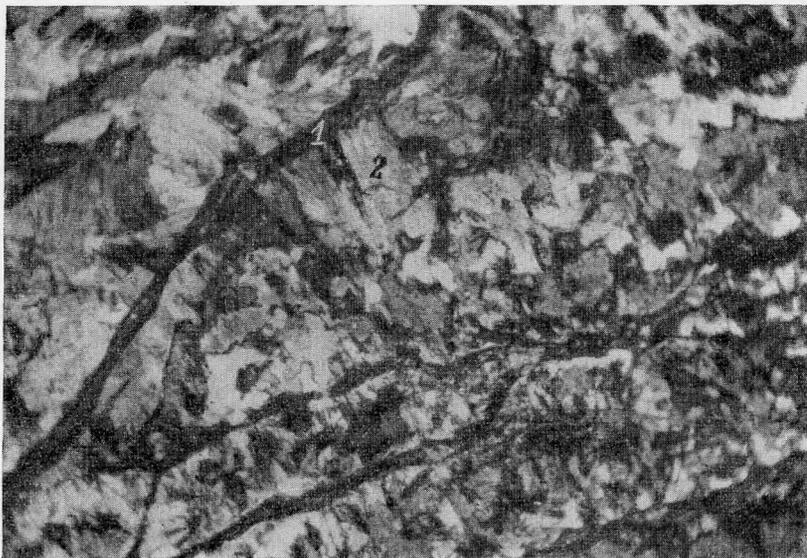


Рис. 4. Прожилки даллита (1) в файрфильдите (2). Псевдоморфоза по трифилипу. Ув.  $20 \times 8$ . Ник. +

темно-зеленого минерала образуются мелкие изометричные выделения черного цвета, непрозрачные в проходящем свете, вероятно, гидроокислы марганца.

По описанным выше свойствам темно-зеленый минерал относится скорее всего к группе рокбриджита-фронделита.

В некоторых случаях по периферии кристаллов измененного трифилина располагаются выделения темно-бурого минерала. В минерале сохраняется направление спайности трифилина. Кроме остатков трифилина, минерал содержит большое количество непрозрачных черных включений (по-видимому, гидроокислов марганца). В проходящем свете цвет минерала темно-бурый, плеохроизм отсутствует. В скрещенных николях минерал почти изотропный, но местами слабо просвечивает бурым цветом. От известных продуктов изменения трифилина (сиклерита, рокбриджита, гетерозита) он отличается отсутствием плеохроизма. Возможно, что этот минерал является измененным сиклеритом, частично превращенным в гетерозит.

Все описанные выше минералы, особенно слагающие краевые части кристаллов трифилина, — файрфильдит, сиклерит (?), рокбриджит (?), секутся многочисленными прожилками позднего апатита типа даллита или карбонатистого фтор-апатита (рис. 4). Сферолиты даллита выполняют многочисленные трещины, совпадающие главным образом с направлением спайности трифилина, создавая сетку с прямоугольными ячейками (рис. 2). Внутри этих ячеек располагаются остатки измененного трифилина, файрфильдит, рокбриджит и другие минералы. Количество даллита резко увеличивается в периферических частях кристаллов трифилина, особенно на границе их с альбитом. Часто кристаллы измененного трифилина с поверхности окружены пленкой халцедоноподобного вида, состоящей из сферолитов даллита. Прожилки последнего по тонким трещинкам проникают и в альбит, окружающий измененный трифилин.

В сферолитах даллита зонами располагаются непрозрачные темные включения; обычно наблюдается чередование (в крупных сферолитах) концентрических участков без включений с участками, содержащими большое число их. Оптический знак сферолитов отрицательный. Показатели преломления колеблются в пределах:  $N_o = 1,613 - 1,616 \pm 0,002$ ;  $N_e = 1,605 - 1,609 \pm 0,002$ ;  $N_o - N_e = 0,008 - 0,007$  (табл. 6). Согласно показателям преломления описанный апатит является промежуточным по составу между даллитом и карбонатистым фтор-апатитом (А. Н. Винчелл, Г. Винчелл, 1953; Дж. Д. Дэна и др., 1954).

Рентгеновский анализ подтвердил принадлежность данного минерала к группе апатита.

Таблица 6

## Оптические свойства даллитов, образующихся по трифилину

Местонахождение	$N_o$	$N_e$
Пегматиты из Сибири . . . . .	1,613—1,616	1,605—1,609
Пегматиты Калбинского хр. (сферолиты)*	1,623	1,617
» » » (волокна)* .	1,618	1,614

\* Гинзбург, 1951.

В некоторых шлифах измененного трифилина среди радиально-лучистых сферолитовых агрегатов даллита наблюдались небольшие выделения кальция.

Во многих случаях каемки, сложенные радиально-лучистым даллитом, покрываются тонкой пленочкой смеси гидроокислов железа и марганца. В случае образования пустот на месте измененного трифилина иногда появляются натечные образования гидрогётита и псиломелана.

Трифилин почти всегда ассоциирует с выделениями сфалерита (марматита). Последний находится или в виде мелких включений в периферических частях кристаллов трифилина, или в виде крупных образований, контактирующих с кристаллами последнего. Во всех случаях, когда трифилин достаточно изменен, в выщелоченных участках трифилина, в пустотах, появляются друзы очень мелких кристаллов шольцита (Тимченко, Сидоренко, 1962) — кальциевого фосфата цинка. Кристаллы шольцита нарастают на измененный трифилин, замещенный фэйрфильдитом, даллитом и др. Иногда они частично слагают каемку измененного трифилина на контакте его со сфалеритом.

В некоторых случаях, при полном выщелачивании трифилина, в пустотах от него, наблюдаются довольно крупные (0,3—0,2 см) кристаллы бледно-голубого фоссофиллита (Тимченко, Сидоренко, 1962). Кристаллы шольцита и фоссофиллита могут находиться в пустотах, расположенных в одном и том же образце. В некоторых случаях наблюдались корочки кристаллов шольцита на выделениях фоссофиллита.

Описанные процессы изменения изучаемого трифилина в общей схеме сводятся к следующему (табл. 7).

1. Гидратация трифилина, приводящая к выносу лития и частичному выносу ( $PO_4$ ). В результате этого образуются водные фосфаты железа и марганца — реддинит и виванит.

2. Образование кальциевых фосфатов, например фэйрфильдита, в условиях привноса кальция и наличия свободной фосфорной кислоты, освободившейся при гидратации трифилина. Эти минералы развиваются

главным образом по реддингиту. В некоторых случаях отмечается образование фэйрфильдита по реддингиту и вивианиту.

3. Окисление фосфатов, образовавшихся по трифилину, в условиях доступа атмосферного кислорода. Процесс выражается в появлении фосфатов, в которых часть или все железо становится трехвалентным. При окислении фэйрфильдита и вивианита образуются ксантоксенит, рокбриджеит и псиломелан.

4. Образование позднего апатита в условиях привноса  $\text{CO}_2$  (возможно, из атмосферного воздуха или из прунтовых вод). Одновременно с этим процессом происходит полное окисление ранее образованных фосфатов и вынос  $(\text{PO}_4)$ .

5. Образование фосфатов цинка при наличии сфалерита. Фосфорная кислота, поступившая в раствор после образования даллита и гидроокислов железа и марганца, взаимодействует со сфалеритом с образованием шольцита и фосфобиллита.

Процессы окисления вторичных фосфатов, образующихся по трифилину, развиваются стадийно, что было установлено для фосфатов С. П. Поповым (1938), В. Мэзоном (1944), А. И. Гинзбургом (1951, 1952, 1954). Эта стадийность выражается в образовании ряда фосфатов, содержащих вначале  $\text{Fe}^{2+}$ , затем —  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , и наконец, на последних стадиях — только  $\text{Fe}^{3+}$ .

Изменения трифилинов из пегматитов Сибири и Калбинского хребта, в отношении стадийности, протекают идентично. Характерными особенностями процессов изменения трифилина из пегматитов Сибири являются следующие.

1. Появление большого количества кальциевых фосфатов, в особенности фэйрфильдита.

Схема процессов изменения три

Стадия	Исходные минералы		Взаимодействующий раствор	
I	$6\text{Li}(\text{Fe}, \text{Mn})(\text{PO}_4)$ трифилин	+	$13\text{H}_2\text{O}$	=
II	A. $(\text{Mn}, \text{Fe})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ реддингит	+	$6\text{Ca}(\text{OH})_2 + 4\text{H}_3\text{PO}_4$	=
	B. $(\text{Mn}, \text{Fe})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + (\text{Fe}, \text{Mn})_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ реддингит вивианит	+	$12\text{Ca}(\text{OH})_2 + 8\text{H}_3\text{PO}_4$	=
III	A. $4\text{Ca}_2(\text{Mn}, \text{Fe}^{2+})(\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ фэйрфильдит	+	$4\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	=
	B. $5(\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})_3(\text{PO}_4) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ вивианит	+	$12\text{O}_2$	=
IV	$5\text{Ca}_2\text{Fe}^{3+}(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 1,5\text{H}_2\text{O} +$ ксантоксенит $+ (\text{Fe}^{2+}, \text{Mn})\text{Fe}_2^{3+}(\text{PO}_4)_3(\text{OH})_5 +$ рокбриджеит		$\text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	=
V	$24\text{ZnS} + \text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{CO}_3 +$ сфалерит даллит $+ (\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}) + (\text{MnO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}) +$ гидрогетит псиломелан		$18\text{H}_3\text{PO}_4 + 24\text{H}_2\text{O}$	=

2. Вынос лития из трифилина на ранних стадиях и небольшая роль сиклерита среди продуктов изменения трифилина.

3. Слабое изменение сульфидов по сравнению с ассоциирующим с ним трифилином. Как известно на примере Калбинских пегматитов (А. И. Гинзбург, 1951), изменение сульфидов начинается уже при процессах частичного окисления  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$  в фосфатах, образующихся по трифилину. В нашем же случае наблюдались ассоциации неизмененного сфалерита с трифилином, уже нацело замещенным агрегатом фэйрфильдита, ксантоксенита и даллита. В этих псевдоморфозах по трифилину, в пустотках, располагаются мелкие кристаллы шольцита. Таким образом, сфалерит в пегматитах Сибири начинает изменяться только после конечных стадий изменения трифилина (появление даллита и фосфатов, содержащих  $Fe^{3+}$ ).

Описанные процессы изменения трифилина (особенно на первых стадиях) отмечаются многими авторами. Так, Браш и Дэна (Brush и Dana, 1879) описывают фэйрфильдит из Бренивиля (шт. Коннектикут, США) как продукт изменения литиофилита. На месторождении Хагендорф (Müllerbauer, 1925), а также на месторождениях Обершфельцер и Бауершпен Вальдес в Германии (Laubmann и Н. Steinmetz, 1920) фэйрфильдит является продуктом изменения трифилина. А. Шольцем (Scholz, 1924) фэйрфильдит описан в тесной ассоциации с фосфоферритом (группа реддингита — фосфоферрита), где фэйрфильдит образуется позже и нарастает на фосфоферрит, так же как и в изучаемых пегматитах.

В заключение автор считает своим приятным долгом выразить благодарность А. И. Гинзбургу за многочисленные консультации в процессе обработки материала.

Таблица 7

филина из пегматитов Сибири

Образующиеся минералы	+	Оставшийся раствор
$(Mn, Fe)_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ реддингит	+	$3Li_2O + 2H_3PO_4$
$3Ca_2(Mn, Fe)(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ фэйрфильдит $6Ca_2(Mn, Fe)(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ фэйрфильдит	+ + +	$8H_2O$  $22H_2O$
$4Ca_2Fe^{3+}(PO_4)(OH) \cdot 1,5H_2O + 2(MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O)$ ксантоксенит псиломелан $3(Fe^{2+}, Mn)Fe_4^{3+}(PO_4)_3(OH)_5 + 6(MnO \cdot MnO_2 \cdot nH_2O)$ рокбриджит псиломелан	+	$25H_2O + H_3PO_4$
$5(Fe_2O_3 \cdot nH_2O) + Ca_{10}(PO_4)_6CO_3$ гидрогётит даллит	+	$7H_3PO_4$
$10CaZn_2(PO_4)_2 \cdot 2H_2O + 2Zn_2(Fe, Mn)(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ шольцит фосфофиллит	+	$H_2CO_3 + 24H_2S + 2O_2$ $H_2S + 4O_2 = H_2SO_4$

## ЛИТЕРАТУРА

- Винчелл А. Н., Винчелл Г. Оптическая минералогия. Изд-во иностр. лит-ры, 1953.
- Гинзбург А. И. Трифилин в пегматитах Калбинского хребта и процессы его изменения. — Труды Минер. муз. АН СССР, вып. 3, 1951.
- Гинзбург А. И. О фосфатах в гранитных пегматитах. — Труды Минер. муз. АН СССР, вып. 4, 1952.
- Гинзбург А. И. Файрфильдит из пегматитов Туркестанского хребта. Там же.
- Гинзбург А. И. О процессах окисления фосфатов железа в гранитных пегматитах. — Тр. Минер. муз. АН СССР, вып. 6, 1954.
- Дж. Д. Дэна и др. Система минералогии. Изд-во иностр. лит-ры. т. II. полутом 2, 1954.
- Попов С. П. Минералогия Крыма. Изд-во АН СССР, 1938.
- Тимченко Т. И., Сидоренко Г. А. Находки цинковых фосфатов в пегматитах Забайкалья. — См. в этом же выпуске раздел «Минералогические заметки».
- Berman H., Gonger F. Pegmatite minerals of Poland, Maine. — Amer. Miner., 15, p. 374, 1930.
- Brush G. J., Dana E. S. On the mineral locality at Branchvill Connecticut. — Amer. Journ. Sci., 17, p. 359, 1879.
- Fisher D. J. Pegmatite phosphates and their problems. — Amer. Miner., 43, p. 181—207, 1958.
- Fisher D. J. Addendum to the pegmatite phosphates. — Amer. Miner., 43, p. 609—610, 1958.
- FrondeU Cl. Wolfeite, xanthoxenite and whitlock from the Palermo Mine, New Hampshire. — Amer. Miner., 34, p. 692, 1949.
- FrondeU Cl. Neomesselite and beta-roselite: Two new members of the fairfieldite group. — Amer. Miner., 40, p. 828—833, 1955.
- Laubmann H., Steinmetz H. Phosphatführende Pegmatite des Oberpfälzer und Bayerischen Waldes. — Zeitschr. Kryst., 55, p. 523, 1920.
- Mason B. Some iron-manganesephosphate minerals and their alteration products, with special reference to material from Varuträsk. — Geol. Fören. Förhände, 63, II, 2, 1941.
- Müllerbauer F. Die Phosphatpegmatite von Hagendorf, Bayern. — Zeitschr. Kryst., 61, p. 318—337, 1925.
- Scholz A. Untersuchungen über Mineralführung und Mineralgenese der Bayerischen Pegmatite. — Bericht. des Naturwissenschaft. vereines zu Regensleurg. II. XVII, 1924.