

П. М. Вализер, В. А. Котляров, В. И. Ленных

**АССОЦИАЦИЯ ТАЛЬК+ФЕНГИТ В ПОРОДАХ  
МАКСЮТОВСКОГО  
ЭКЛОГИТ-ГЛАУКОФАНСЛАНЦЕВОГО КОМПЛЕКСА  
(Ю. УРАЛ)**

P. M. VALIZER, V. A. KOTLYAROV, V. I. LENNYKH  
ASSOCIATION TALC+PHENGITE IN ROCKS OF THE  
MAKSUTOV ECLOGIT-GLAUCOPHANESCHISTS  
COMPLEX (S. URALS)

In the maksutov eclogit-glaucophaneschists complex association talc+phengite is established in rocks of polymetamorphozed lower series, in zones of development of eclogites, garnet-glaucophane rocks and garnet-glaucophanecontaining quartzite-schists and schists (v. v. Karayanovo, Shubino etc.). Talc+phengite present in mineral associations: garnet + glaucophane + talc + phengite+ quartz, glaucophane-winchit+talc+phengite +quartz, winchit-actinolite+ garnet+ talc+ phengite+ graphite+ quartz and Na-Ca-amphibol+talc+phengite+turmalin. Talc contains to 11% of the minniasaite-component and 0.04—0.12 f. e.  $Al^{3+}$ . Phengite has 3.4—3.7 f. e.  $Si^{4+}$  and high degree of the phengitic replacement, 40—70 %. Glaucophane (Gl-component — 92 %) corresponding to Mg-member has excess of cations in octahedral positions combined with deficiency on the position M4. Winchit-actinolite is characterized by high contents of sodium (0.46—0.70 f. e.) and aluminium (0.60 — 1.15 f. e.). Garnet is zoned with replacement (Mn+Ca) by (Mg+Fe). Component composition of crystal core is pyrope 18—23, almandine 51—57, spessartite 6—12, Ca-component 14—19, and of rims-pyrope 24—27, almandine 57—59, spessartite 4—5, Ca-component 11—13. Association talc+phengite reflects ultrahigh pressures ( $P \geq 25$  kbar,  $T = 560—620^{\circ}C$ ) metamorphism of rocks of lower series of Maksutov complex.

## Введение

В настоящее время ассоциация тальк+фенгит установлена в ряде комплексов сверхвысоких давлений. Экспериментальные и природные данные позволяют говорить, что данная ассоциация фиксирует высокотемпературный глаукофановый метаморфизм [11, 13—14, 22]. Тальк+фенгит в максютовском эклогит-глаукофансланцевом комплексе развиты в несколько специфичных минеральных ассоциациях и занимают определенное положение в структуре комплекса. В работе поставлена задача описать ассоциацию тальк+фенгит и осветить значимость ее в понимании истории метаморфических процессов комплекса.

Диагностика тальк+фенгитовой ассоциации проводится методами электронографии (рис. 1, табл. 1). Для диагностики исследуемых образцов слоистых минералов, с выводами о периодах повторяемости, нарушениях структурной упорядоченности и полиптипии кристаллических структур, применялся метод косых структур. Исследуемый образец помещался в пробирку с водой и диспергировался в течение 30 минут (УЗДМ-3Т, 44 кгц). Полученная суспензия отстаивалась в течение часа, а затем с помощью капилляра наносилась на коллодиевую пленку-подложку. После полного высыхания этой капли препарат помещался в объекто-держатель гониометрической головки электронографа ЭМР-100. Для устранения электростатического заряда, возникающего на препарате при просвечивании его пучком электронов (ускоряющее напряжение 75 кв), применялась микропушка медленных электронов, установленная на гониометрической головке электронографа.

Из визуального анализа электронограмм исследуемых образцов следует, что они чаще всего представляют собой смесь, по крайней мере, двух слоистых силикатов диоктаэдрической и триоктаэдрической разновидности.

На электронограммах (рис. 1 а, б) на первом эллипсе отчетливо проявлены рефлексы 111 и 021, геометрический анализ характера расположения высот которых показывает, что они подчиняются моноклинному закону  $2D=h2p+l2g$ . Интенсивность рефлексов на 2, 5, 6 и 7 эллипсах и высот рефлексов на 1 и 2 эллипсах позволяет

Результаты расфировки электронограмм косых текстур некоторых слюд

№ пробы № эллипса	95-8в	87-27а	87-22а	570-8ф	2D*расч[2]	2D**расч[3]	h k l	
		2Дэксп, мм			2М1	1М	2М1	3Г
1	10.3		-	10.0	10.6	10.0	113	112
	10.3		-	10.0	10.6	10.0	113	112
	11.2	11.5	-	11.1	11.3		114	
	12.4		-	12.1	12.5	12.4	024	022
	13.7	13.2	-	13.2	13.7		114	
	14.5	14.9	-	14.4	14.4	14.8	115	112
	15.6		-	15.4	15.7		025	107
	16.7	16.3	-	16.4	16.9	16.1	115	113
	17.6	17.7	-	17.6	17.6		116	108
	18.8	18.9	-	18.4	18.8	18.6	026	023
Параметры ячейки								
$a_0 \text{ \AA}$	5.20	5.19		5.25	5.175			
$b_0 \text{ \AA}$	8.88	9.05		9.09	8.96			
$c_0 \text{ \AA}$	19.5	19.7		19.8	20.0			
$\beta$ град	95.5	95.4		95.6	95.5			

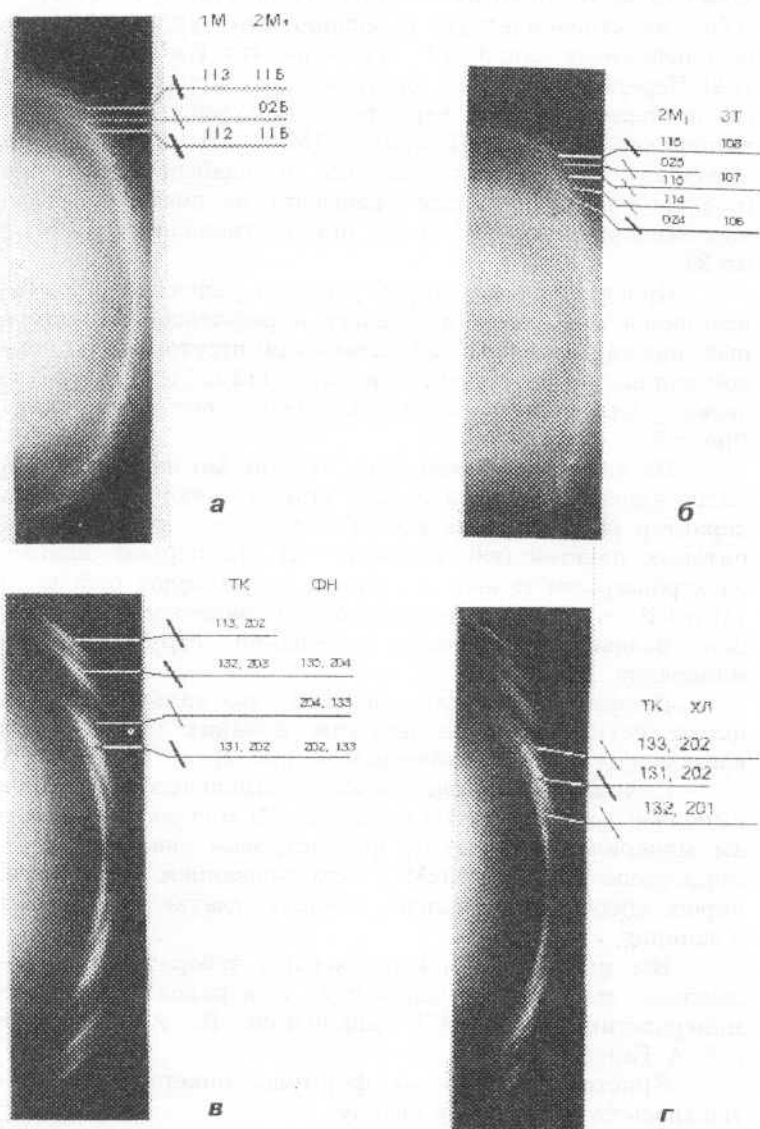


Рис. 1. Электронограммы косых текстур слюд:  
 а — фенгит, 1M+2M<sub>1</sub> (1 эллипс); б — фенгит, 2M<sub>1</sub>+3T (1 эллипс); в — тальк+фенгит, (2 эллипс); г — тальк+хлорит (2 эллипс)

заклЮчить, что один из слоистых силикатов представляет собой диоктаэдрическую разновидность с укладкой слоёв по слюдистому закону (2 : 1) — фенгит (табл. 1, обр. 5, 7, 9). Чередование (через один) сильных и слабых рефлексов на первом эллипсе характерно для смеси политипных модификаций 1М и 2М1, причем  $1М > 2М1$  (рис. 1а). Иной характер чередования сильных и слабых рефлексов (рис. 1б) на этом эллипсе указывает на смесь политипных модификаций 2М1 и 3Т при соотношении  $0.5 \text{ 2М1} + 0.5 \text{ 3Т}$ .

Присутствие на втором эллипсе рефлексов, подчиняющихся моноклинному закону и рефлексов характерных для пиррофиллита или талька при отсутствии на первом эллипсе интенсивных рефлексов 112 и 114, диагностических для пиррофиллита, позволяет выделять смесь  $\text{Phe} + \text{Tc}$ .

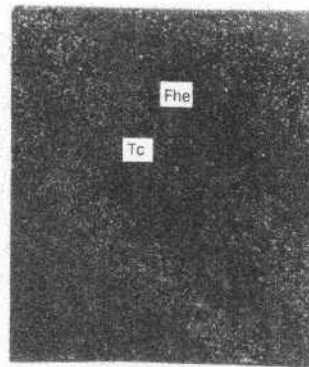
На электронограмме (рис. 1г, обр. 26) на втором эллипсе кроме рефлексов талька присутствуют отражения, характер расположения которых говорит о наличии хлоритовых пакетов (тип слоев 2 : 2). На первом эллипсе электронограмм талька и хлорита отсутствуют рефлексы 111 и 021, что свидетельствует о беспорядочном чередовании разных межслоевых смещений структур этих минералов.

Профильный анализ показал, что тальк и фенгит имеют четкие границы пластин, никаких реакционных кайм между ними не наблюдалось (рис. 2).

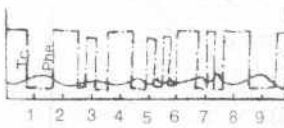
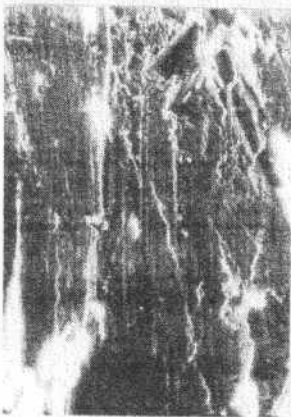
Силикатный анализ пород и отдельных минералов выполнен по стандартной методике. Микропробные анализы минералов выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММА-202М с использованием стандартов: пироп, спессартин, диопсид, жадеит, глаукофан, фенгит и санидин.

Все исследования выполнены в лаборатории комплексных методов исследования минералов Института минералогии УрО РАН, аналитики В. А. Котляров и Л. А. Ганеева.

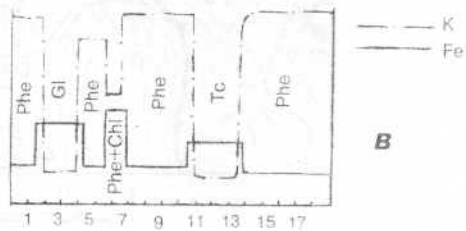
Кристаллохимические формулы минералов рассчитывались по катионному методу.



**a**



**б**



**в**

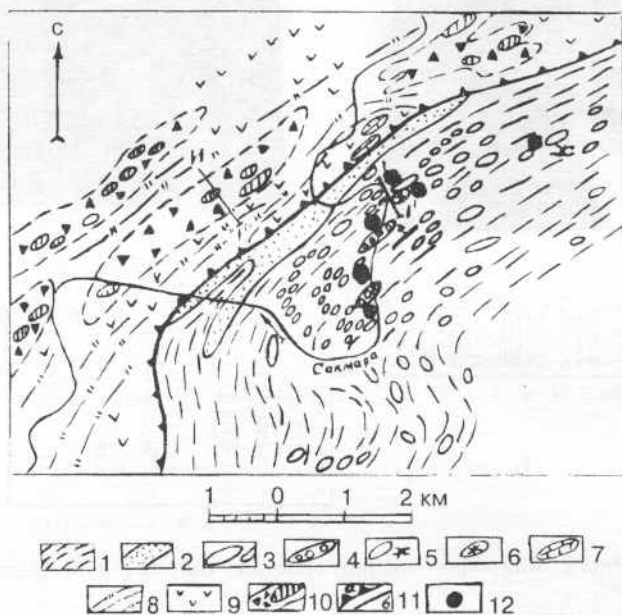
Рис. 2. Микрофотографии сростков талька (Tc) и фенгита (Phe).

а — характеристическая картина по К, обр. 8; б-в — энергодисперсионные спектры по К и Fe : б — обр. 4; в — обр. 10

## Геологическое положение и петрография пород

Данные по геологическому строению, условиям метаморфизма, метаморфической зональности и внутренней структуре максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса читатель найдет в работах А. А. Алексеева, П. М. Вализера, Н. Л. Добрецова, О. А. Захарова, В. И. Ленныха и других [1—5, 8—9, 16—17]. Последние данные о внутреннем строении комплекса позволяют выделить в пределах комплекса две тектонически совмещенные, формационно различные толщи: нижнюю — существенно терригенную эклогитсодержащую и верхнюю — офиолитоподобную.

Ассоциация тальк+фенгит в максютовском эклогит-глаукофансланцевом комплексе встречается в породах нижней полиметаморфической серии, в зонах развития эклогитов, кварц-жадеитовых и гранат-глаукофановых пород, разнообразных глаукофансодержащих кварцитосланцах и сланцах районов д. Караяново, Ивановка,



Антигнан, Шубино и других (рис. 3). Тальк+фенгит установлены в различных по составу и минеральным ассоциациям породах (табл. 2, 3).

Тальк-фенгитсодержащие гранат-глаукофановые и глаукофановые сланцы слагают слои мощностью до 30 см среди такого же состава сланцев и графитистых кварцито-сланцев, интенсивно смяты в складки до мелко-плойчатых сланцев (рис. 4а, 4б).

Тальк+фенгит+амфиболовые породы представлены мелкими (5 — 40 см) будинами и слоями мощностью до 10 см, смятыми в складки среди графитистых и гранат-глаукофановых кварцито-сланцев (рис. 4в) или образуют прерывистые зоны и линзы на контакте будинированных тел эклогитов и гранат-глаукофановых пород (рис. 4г).

Редко встречаются тальк+фенгитовые с турмалином породы в виде прослоев в графитистых сланцах.

Минеральные ассоциации с тальк+фенгитом фиксируют трещиноватость, линейность и плоскости складок, имеющие С-В или Ю-З ориентировку осей.

Химический состав пород с ассоциацией тальк+фенгит представлен в таблице 4. По особенностям состава они могут быть разделены на три группы:

1) гранат-глаукофановые и графитсодержащие кварцито-сланцы, типичные для максютовского комплекса;

2) гранат-глаукофановые и глаукофановые породы, которые отличаются от аналогичных пород высоким содержанием воды, что отражает значительную долю слоистых минералов в породе и кальция, который связан в амфиболе;

3) актинолит-слюдистые породы характеризуются высокими содержаниями магния, повышенными — кальция и воды.

Рис. 3. Схематическая геологическая карта максютовского комплекса в районе д. Караяново [2]:

1—6 — нижняя серия: 1 — слюдяные и графитистые кварциты и сланцы с гранатом, глаукофаном и лавсонитом, 2 — слюдяные кварциты и сланцы, 3 — диопсид-жадеитовые эклогиты, 4 — титанистые эклогиты, 5 — гранат-жадеит-кварцевые породы, 6 — энстатитовые породы; 7—10 — верхняя серия: 7 — мраморы, 8 — графитистые кварциты, 9 — метабазальты, 10 — зоны меланжа с антигоритовыми серпентинитами, «кальциевыми» эклогитами и лавсонитовыми родингитами; 11 — зона надвига (а) и другие контакты (б); 12 — тальк+фенгитовые проявления



Таблица 2

Минеральные ассоциации тальк+фенгитсодержащих пород

№ п/п	Gl	Bar	Ak-Win	Gt	Graph	Q	Ab	Chl	Rut	Sph	Mt	Tur
1					+	+		+				
2						+						
3					+	+						
4		+				+	+			+		
5	+			+		+				+		
6	+					+	+				+	
7			+				+					
8			+				+					
9	+	+	+	+	+	+				+		
10	+					+				+		
11	+					+				+	+	
12	+					+				+	+	
13	+	+	+	+		+		+				
14	+			+	+	+						
15	+		+			+		+				
16	+		+	+		+	+	+				
17		+										
18		+	+	+	+	+				+		
19	+		+	+	+	+				+		
20		+	+	+		+		+	+	+		
21	+	+	+	+		+		+	+		+	
22	+			+		+			+	+		
23						+	+	+				
24					+	+						+
25								+				
26								+				
27								+				
28						+		+				

*Примечания:* 1 — графитистый кварцито-сланец, обр. 87-5, район д. Максютово; 2 — слюдяной сланец, обр. 87-15, руч. Карамаль; 3 — графитистый сланец, обр. 95—11/5, район д. Ивановка; 4 — актинолит-слюдистый сланец, обр. 87-60, район д. Караяново; 5 — гранат-глаукофановая порода, обр. 570-8ф, там же; 6 — амфиболовый сланец, обр. 570-11к, там же; 7 — актинолит-слюдистая порода, обр. 87-27а, там же; 8 — то же, обр. 87-27б, там же; 9 — графитистый сланец, обр. 95-8в, там же; 10 — гранат-глаукофановый сланец, обр. 94-1, правый берег р. Сакмара в 3 км ниже д. Караяново; 11 — то же, обр. 94-2, там же; 12 — глаукофановый сланец, обр. 87-41а, там же; 13 — гранат-глаукофановый сланец, обр. 95-35, там же; 14 — графитистый кварцито-сланец, обр. 87-42а, там же; 15 — то же, обр. 95-20, там же; 16 — то же, обр. 95-20/1, там же; 17 — графитистый кварцит, обр. 95-19, правый берег р. Сакмара в 4 км ниже д. Караяново; 18 — то же, обр. 95-19/2, там же; 19 — то же, обр. 94-31а, правый берег р. Сакмара в 4,5 км ниже д. Ка-

раяново; 20 — актинолитовая порода, обр. 95-22, район д. Антинган; 21 — гранат-глаукофановый сланец, обр. 95-13/3, там же; 22 — то же, обр. 87-496, р. Ташла район д. Федосеевка; 23 — слюдяной сланец, обр. 40-37, район д. Шубино; 24 — графитистый сланец, обр. 87-53, руч. Зерикля; 25 — тальковый сланец, обр. 87-39а, р. Сакмара район д. Сабырово; 26 — то же, обр. 87-22а, район д. Караяново; 27 — слюдяной сланец, обр. 87-22в, там же; 28 — слюдяно-кварцевый сланец обр. 5005, там же.

Таблица 3

Тальк, фенгит, хлорит:  
параметры элементарной ячейки и политипия

№№ п/п		a (a sin β)	b	c	град. β	политип
1	Tc	5.24	9.10			
	Phe	5.19	8.98	19.7	95.5	2M1
	Chl		9.17			
2	Phe	5.21	9.01	10.0	99.9	1M
	Tc	5.26	9.12			
3	Phe	5.19	8.98	9.7	100.2	1M
	Tc	5.25	9.12			
	Phe					2M1
4	Tc	5.31	9.24			
	Phe	5.26	9.11	20.4	95.4	2M1
5	Tc	5.31	9.22			
	Phe	5.25	9.09	19.8	95.6	2M1
6	Tc	5.26	9.15			
	Phe	5.22	9.03	19.7	95.8	2M1
	Tc	5.26	9.15			
7	Phe	5.19	9.05	19.7	95.4	2M1
	Chl	5.30	9.15	14.2	97.2	
	Tc	5.28	9.18			
8	Phe	5.21	9.08	20.6	95.2	2M1
	Chl	5.32	9.18	14.0	97.2	
	Tc	5.26	9.12			
9	Phe	5.20	8.88	19.5	95.5	2M1
				29.0		3T
10	Phe	5.20	9.01	9.9	100.2	1M
	Tc	5.26	9.18			
	Phe	5.18	9.01	20.1	95.7	2M1
11	Tc	5.24	9.11			
	Phe	5.17	9.08	20.1	95.7	2M1
12	Phe	5.20	9.00	9.9	99.9	1M
	Tc	5.25	13			
15	Phe	5.20	9.00	9.8	100.1	1M
	Tc	5.26	9.13			

Окончание таблицы 3

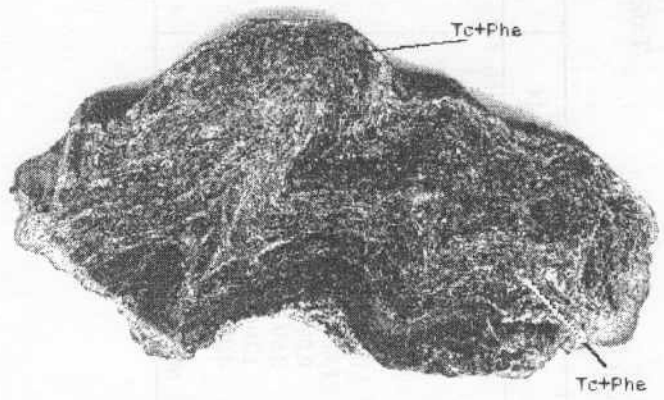
№№ п/п		a (a sin β)	b	c	град. β	политип
16	Phe	5.20	9.00	19.3	95.4	2M1
	Phe	5.20	8.99	9.9	100.0	1M
	Tc	5.26	9.15			
17	Phe	5.20	8.99	19.5	95.4	2M1
	Phe	5.21	9.02	9.9	100.2	1M
	Tc	5.26	9.14			
18	Phe	5.20	9.01	19.5	95.3	2M1
	Tc	5.25	9.12			
	Phe	5.21	9.00	19.5	95.7	2M1
19	Phe	5.19	8.99	9.9	100.1	1M
	Tc	5.25	9.13			
	Phe	5.19	9.07	20.1	95.7	2M1
20	Phe	5.23	9.01	9.9	100	1M
	Tc	5.25	9.12			
	Phe	5.20	9.00	9.9	100.0	1M
21	Tc	5.26	9.15			
	Phe	5.20	9.00	19.5	95.3	2M1
	Tc	5.26	9.11			
22	Phe	5.20	8.98	19.8	95.6	2M1
	Tc	5.28	9.21			
	Phe	5.22	9.14	19.8	95.6	2M1
23	Tc	5.25	9.11			
	Phe	5.20	8.97	19.9	95.7	2M1
	Tc	5.25	9.14	9.7	99.7	
24	Tc	5.27	9.13			
	Chl	5.35	9.22	14.4	96.7	
	Phe	5.20	9.00	19.7	95.6	2M1
27	Chl	5.28	9.17			

Положение точек составов пород с ассоциацией тальк+фенгит отражено на диаграммах АСФ и АКФ, где также показаны составы пород, содержащих тальк+фенгитовую ассоциацию из других регионов мира (рис. 5).

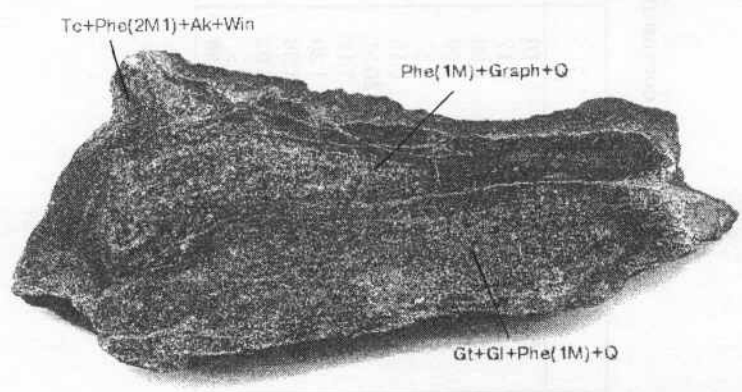
Таблица 4

Химический состав пород с ассоциацией гальк+фенгит

Элемент	4	6	7	8	10	11	12	14	19
№ п.п.									
SiO <sub>2</sub>	53.24	41.84	55.10	51.62	53.15	57.71	59.09	85.08	75.37
TiO <sub>2</sub>	0.24	1.08	0.17	0.17	0.73	0.52	0.68	0.25	0.65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.18	16.05	6.90	7.32	11.20	9.33	6.82	5.00	9.79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62	5.13	1.50	1.37	3.31	3.77	2.28	0.61	3.31
FeO	4.54	4.21	4.53	3.63	4.97	4.49	4.46	1.43	2.45
MnO	0.20	0.14	0.15	0.09	0.21	0.24	0.16	0.05	0.30
MgO	17.43	5.97	20.51	19.83	16.84	14.20	18.53	0.81	2.31
CaO	7.17	16.08	7.18	5.77	0.36	0.59	0.39	0.31	1.10
Na <sub>2</sub> O	2.40	2.32	1.20	1.53	2.13	3.59	3.19	0.48	0.62
K <sub>2</sub> O	1.60	0.40	1.08	1.20	1.78	1.10	0.77	1.65	1.54
H <sub>2</sub> O	3.44	12.32	4.52	3.56	4.60	3.99	3.30	4.30	1.94
F	-	0.14	-	-	-	-	-	-	-
Сумма	100.06	100.90	99.36	99.57	99.28	99.53	99.67	99.92	99.38



**a**



**b**

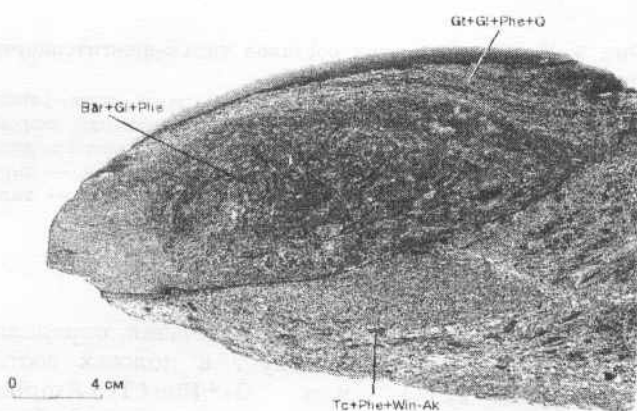


Рис. 4 Положение Tc+Phe в породах максютовского комплекса:

- а — в смятых в складку глаукофановых и графитистых сланцах;
- б — в мелкошлойчатом Gt-Gl-содержащем графитистом сланце;
- в — в мелких будинах амфиболитовых пород среди графитистых сланцев;
- г — в Gt-Gl и Gt-Amph сланцах

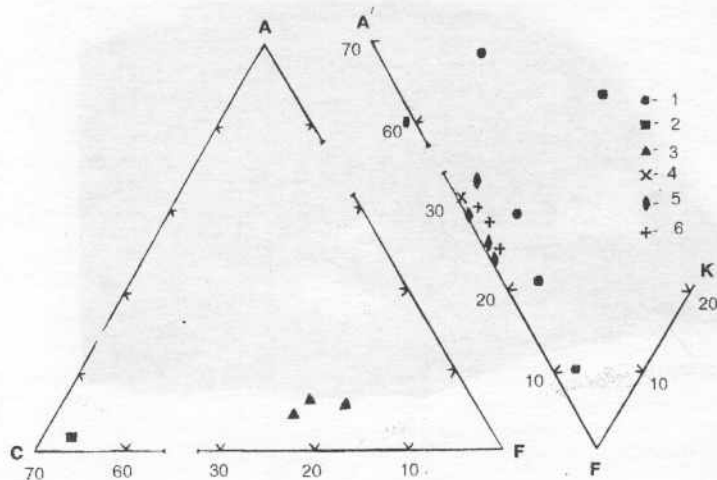


Рис. 5. Положение точек составов тальк-фенгитсодержащих пород на диаграммах ACF и AFK:

1—3 — максютовский комплекс: 1 — гранат-глаукофановые и глаукофановые сланцы, гранат-глаукофан-графитсодержащие кварцито-сланцы; 2 — амфиболовый сланец; 3 — гранат-актинолит-сланцевая и актинолит-сланцевая порода; 4—5 — западные Альпы: 4 — пиррожадеитовая порода [14]; 5 — хлоритоидные сланцы [13]; 6 — тальк-гранат-кианитовые породы Кокчетавской глыбы [10]

### Минералы

**Белая слюда** мелкочешуйчатая, определяет сланцеватость породы, присутствует в полосах состава  $Phe+Tc$ ,  $Gt+Phe+Tc+Q$  или  $Gt+Phe+Tc+Amph+Q$ . В отдельных образцах наблюдаются две разноориентированные ее генерации. По особенностям состава отвечает типичным фенгитам с высокой степенью фенгитового (38—78 %) и парагонитового (10—24 %) замещений, содержаниями кремния (3.38—3.70 ф. е.), и железистостью 14—37 %, т. е. по составу обычны для ассоциаций комплексов сверхвысоких давлений (табл. 5, рис. 6). Фенгиты с ориентировкой несогласной со сланцеватостью характеризуются максимальными содержаниями  $Selad-comp$ ,  $Si$  и  $F$  (табл. 5, анал. 9).

Фенгиты из парагенезиса с тальком кристаллизовались в полиморфной модификации 2M1, редко — 3T. Фенгиты из остальных пород этих зон — в полиморфной модификации 1M или — 1M+2M1 и только более поздние имеют полиморфную модификацию — 2M1.

**Тальк** мелкочешуйчатый, слагает мономинеральные, или совместно с фенгитом, полосы и линзы, замещается хлоритом. По составу от идеальной формулы, отличается относительно высоким содержанием алюминия (0.03—0.21 ф. е) и железа (0.16—0.56 ф. е.). Содержание  $\text{Fe}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  варьирует в пределах 7—18 % (рис. 7), причем тальк из включений в гранате характеризуется максимальными содержаниями железа (табл. 5, 9а, 18а). Отличается от талька из пироксеновых пород массива Дора Майяр только высокой железистостью. Повышенное содержание железа — характерная особенность талька во всех его ассоциациях с фенгитом.

**Амфиболы** в тальк+фенгитсодержащих породах представлены широким по составу спектром разновидностей — барруазитом, Na-барруазитом, винчитом, Са-глаукофаном, глаукофаном и актинолитом, причем часто по две—три разновидности в одной ассоциации (табл. 5, рис. 8—9). Барруазит — Na-барруазитовые амфиболы имеют широкие вариации по Са-comp (41—70 %) и  $\text{Al}^{\text{VI}}$

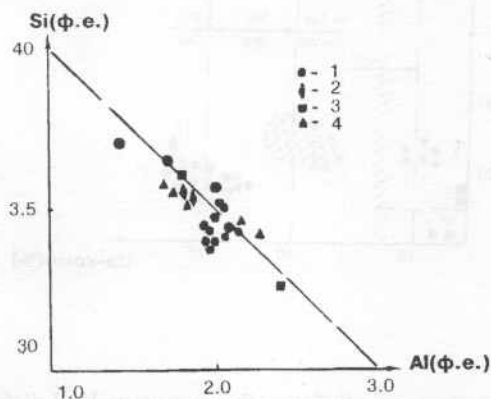


Рис. 6. Изображение типов фенгитов диаграммой содержания Si — Al (ф. е.):

1 — максютовский комплекс; 2—4 — западные Альпы: 2 — пироповых кварцитов [21]; 3 — из мегакристалла пироба [21]; 4 — хлоритовых сланцев [14]



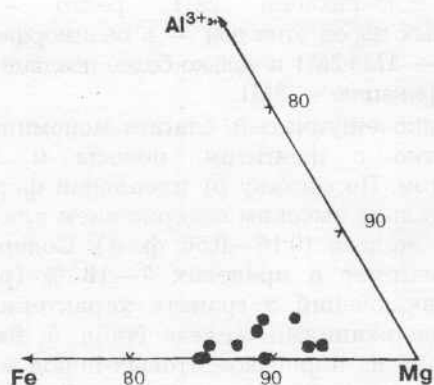


Рис. 7. Соотношение  $Al^{3+}$  — Mg-Fe в тальке.

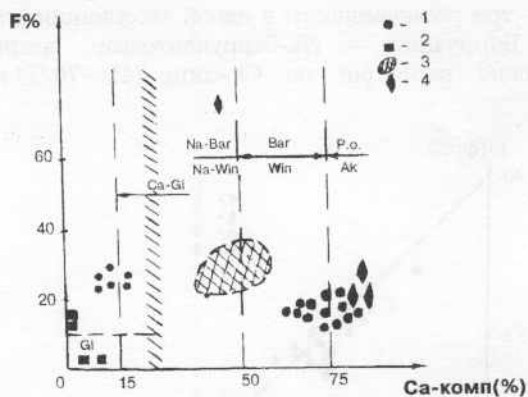
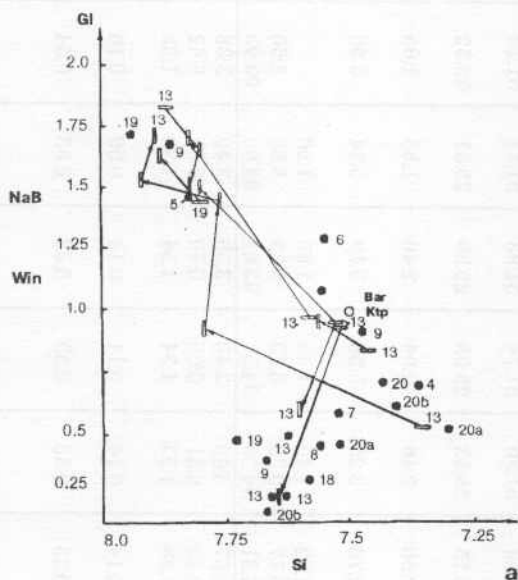


Рис. 8. Состав амфиболов. Диаграмма по Н. Л. Добрецову [3]:  
 1—2 — из ассоциации Tc+Phe: 1 — максютовского комплекса; 2 — массива Dora Maira [22]; 3—4 — максютовского комплекса: 3 — баррузит-натриевые баррузиты из эклогитов [2, 7]; 4 — винчит-актинолиты из различных сланцев верхней толщи



6

Рис. 9. Диаграммы Si - Na[B] (а) и Na[B] - Na[A] (б) в амфиболах:

1 — незональный амфибол; 2—3 — зональный амфибол:  
2 — центр зерна; 3 — край зерна; 4 — направление зональности.

Таблица 5  
Химический состав минералов из тальк-фенгитсодержащих пород максютовского комплекса

Компонент	Phe											
	4	5	7	8	9	9a	9б	13	18	19	20	20a
№ п/п												
SiO <sub>2</sub>	52.12	51.19	52.65	53.28	56.19	54.74	52.54	51.50	51.74	51.83	51.34	51.16
TiO <sub>2</sub>		0.64	0.98	0.71								
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.12	25.52	26.93	25.82	18.45	21.87	25.15	25.53	25.05	25.59	25.51	25.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.54	1.51	1.73	1.78	5.90	4.22	2.50	2.46	2.04	2.40	1.55	1.85
MnO		0.17										
MgO	5.51	3.19	4.02	4.04	5.55	4.03	2.78	3.25	5.58	3.19	5.34	5.50
CaO		0.29										
Na <sub>2</sub> O	1.37			1.13	1.13	1.57	1.32	1.46	1.48	1.60	1.50	
K <sub>2</sub> O	8.88	10.47	9.56	9.81	7.10	8.24	9.77	10.20	8.70	9.35	8.69	8.60
Сумма	94.54	92.98	95.87	95.44	94.32	94.28	94.31	94.26	94.57	93.84	94.03	93.93
Si	3.43	3.50	3.41	3.48	3.70	3.65	3.57	3.49	3.40	3.50	3.40	3.38
Al	0.57	0.50	0.59	0.52	0.30	0.35	0.43	0.51	0.60	0.50	0.60	0.62
Al	1.38	1.56	1.47	1.47	1.13	1.37	1.58	1.53	1.34	1.54	1.39	1.35
Fe <sup>3+</sup>												
Fe <sup>2+</sup>	0.08	0.08	0.09	0.10	0.32	0.24	0.14	0.14	0.11	0.14	0.09	0.10
Mn		0.01										
Mg	0.54	0.32	0.39	0.39	0.54	0.40	0.28	0.33	0.55	0.32	0.53	0.54
Ti		0.03		0.03								
Ca		0.02										
Na	0.18		0.79	0.82	0.15	0.15	0.21	0.17	0.19	0.10	0.20	0.19
K	0.74	0.92			0.60	0.70	0.85	0.88	0.73	0.81	0.74	0.73

Продолжение таблицы 5

Компо- нент	Phe		Tc									
	206	23	4	5	7	8	9	13	18	18a	19	20
№ п/п												
SiO <sub>2</sub>	51.74	51.37	60.11	61.48	59.13	61.20	60.26	58.09	60.41	60.10	59.36	59.45
TiO <sub>2</sub>		0.5		0.02	0.09	0.03						
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.65	27.28	1.21	0.65	2.72	1.01	1.26	0.94	1.16	1.26	1.13	1.00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>					1.25							
FeO	1.79	1.51	7.43	3.19	2.94	3.54	6.20	10.01	5.09	6.72	9.09	6.74
MnO		0.09			-							
MgO	5.40	3.18	26.33	26.90	28.34	27.48	26.46	25.40	27.47	27.22	25.69	26.99
CaO		0.25			0.30	0.35	0.22					
Na <sub>2</sub> O	1.44	-			0.20	0.90						
K <sub>2</sub> O	8.78	11.56		0.59	0.22							
Сумма	93.80	95.74	95.08	94.13	95.06	95.38	94.18	94.24	94.13	95.30	95.27	94.18
Si	3.44	3.43	3.94	4.11	3.83	4.03	3.97	3.85	3.95	3.91	3.94	3.91
Al	0.56	0.57	0.06	-	0.17	-	0.03	0.07	0.05	0.09	0.06	0.08
Al	1.37	1.58	0.03	0.03	0.04	0.08	0.07	-	0.04	0.01	0.03	-
Fe <sup>3+</sup>					0.06							
Fe <sup>2+</sup>	0.10	0.08	0.41	0.18	0.16	0.20	0.34	0.56	0.28	0.36	0.50	0.37
Mn		0.01		-	-							
Mg	0.53	0.32	2.57	2.68	2.74	2.70	2.60	2.51	2.68	2.63	2.54	2.64
Ti		0.02			-	0.02						
Ca		0.02		0.02		0.02						
Na	0.19											
K	0.74	0.98		0.05		0.08						



Продолжение таблицы 5

Компо- ненты № п/п	9			13			18			19		
	Gl	Bar	Gl	Win	Ak	Ak	Ak	Ca-Gl	Gl	Ca-Gl	Ca-Gl	
SiO <sub>2</sub>	58.06	51.26	57.59	55.57	55.34	55.14	54.51	57.90	57.88	56.88		
TiO <sub>2</sub>												
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.02	9.32	11.43	6.74	3.65	3.26	3.10	11.17	11.51	10.45		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>												
FeO	7.53	8.73	9.79	7.00	6.81	8.11	7.24	7.89	8.26	7.87		
MnO					0.31							
MgO	12.55	14.19	11.24	17.25	19.14	18.58	19.64	12.62	11.54	14.84		
CaO	1.54	9.56	0.93	6.95	11.12	10.77	11.25	2.43	1.31	3.12		
Na <sub>2</sub> O	6.41	4.32	6.24	3.67	0.91	1.55	1.59	5.50	6.36	4.21		
K <sub>2</sub> O												
Сумма	97.11	97.36	97.22	97.45	97.28	97.42	97.33	97.51	96.86	97.37		
Si	7.86	7.35	7.80	7.58	7.64	7.67	7.58	7.80	7.88	7.56		
Al	0.14	0.65	0.20	0.42	0.36	0.33	0.42	0.20	0.12	0.44		
Al	1.62	0.92	1.62	0.66	0.23	0.21	0.09	1.57	1.73	1.20		
Fe <sup>3+</sup>												
Fe <sup>2+</sup>	0.85	1.05	1.11	0.80	0.79	0.94	0.84	0.89	0.94	0.87		
Mn					0.04							
Mg	2.53	3.03	2.27	3.51	3.94	3.85	4.07	2.53	2.54	2.94		
Ti												
Ca	0.22	1.47	0.14	1.02	1.64	1.60	1.68	0.35	0.19	0.44		
Na	1.68	1.20	1.64	0.97	0.24	0.42	0.43	1.44	1.68	1.08		
K												



Продолжение таблицы 5

Компо- нент	Gt											
	13			18			19			20		
	(r)	(c)	(r)	(r)	(c)	(r)	(r)	(c)	(r)	(c)	(r)	
№ п/п												
SiO <sub>2</sub>	38.77	40.18	38.88	39.07	39.98	40.30	39.05	39.93	39.17	39.66	38.34	39.10
TiO <sub>2</sub>		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.85	21.15	20.92	20.61	21.26	21.44	22.02	21.96	21.51	20.79	20.60	21.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>												
FeO	26.32	21.62	23.06	22.98	22.96	25.19	25.41	25.95	24.83	25.49	22.41	23.30
MnO	2.11	2.13	4.32	5.25	4.47	2.26	2.50	2.20	2.03	3.78	4.24	1.74
MgO	5.08	6.50	5.12	4.11	5.80	6.78	5.81	5.98	5.60	3.54	3.08	4.95
CaO	5.99	7.48	6.73	7.03	5.18	3.78	4.96	3.76	6.41	6.62	10.41	8.85
Na <sub>2</sub> O												
K <sub>2</sub> O												
Сумма	99.12	99.06	99.03	99.05	99.65	99.75	99.75	99.78	99.57	99.88	99.06	99.06
Si	3.07	3.13	3.07	3.11	3.33	3.14	3.05	3.12	3.06	3.15	3.05	3.07
Al	1.94	1.94	1.95	1.93	2.08	1.97	2.03	2.02	1.98	1.95	1.93	1.96
Fe <sup>3+</sup>												
Fe <sup>2+</sup>	1.74	1.41	1.52	1.53	1.60	1.64	1.68	1.70	1.62	1.69	1.49	1.53
Mn	0.14	0.14	0.29	0.35	0.32	0.15	0.16	0.15	0.14	0.23	0.28	0.12
Mg	0.60	0.76	0.60	0.49	0.72	0.79	0.68	0.70	0.65	0.42	0.36	0.58
Ti												
Ca	0.51	0.62	0.57	0.60	0.46	0.32	0.42	0.32	0.54	0.56	0.89	0.74
Na												
K												



Компо- нент № п/п	Gt					Chl	
	20		21			23	28
	(с)	(r)	(с)	(z)	(r)		
SiO <sub>2</sub>	39.02	39.56	37.27	37.16	37.04	32.47	33.56
TiO <sub>2</sub>						0.14	0.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.65	21.53	21.39	22.54	22.48	21.69	22.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>							
FeO	23.21	24.59	23.29	23.16	26.36	14.51	16.79
MnO	2.85	1.41	4.69	1.18	0.70	0.39	0.15
MgO	4.02	6.00	4.04	5.49	6.10	24.59	23.00
CaO	9.31	5.92	8.56	10.19	6.43	0.16	0.07
Na							
K						0.09	
Сумма	99.06	99.01	99.24	99.72	99.11	94.04	96.05
Si	3.09	3.11	2.95	2.89	2.90	3.06	3.14
Al			0.05	0.11	0.10	0.94	0.86
Al	1.92	1.99	1.95	1.99	1.98	1.47	1.60
Fe <sup>3+</sup>							
Fe <sup>2+</sup>	1.53	1.61	1.54	1.50	1.72	1.03	1.18
Mn	0.19	0.09	0.31	0.05	0.05	0.03	0.01
Mg	0.47	0.70	0.48	0.64	0.71	3.46	3.20
Ti						0.01	0.01
Ca	0.79	0.50	0.72	0.85	0.54	0.01	0.01
Na							
K						0.01	

(0.26 — 0.93 ф. е.), низкую железистость (16—22 %). В ассоциации с глаукофаном они имеют недостаток катионов в позиции M4 и высокое содержание Al<sup>VI</sup> (табл. 5, анал. 9). Выделяются две разновидности: — барруазит — Na-барруазиты с высокими содержаниями Al > 9 мас. % и суммы Ca+Na в позиции A > 0.5 ф. е. (анал. 13), слагают центральную часть будин гранат-глаукофановых пород и малоизмененные зоны в гранат-глаукофановых сланцах, замещаются глаукофаном; — барруазит — Na-барруазиты с содержанием Al < 7.2 мас. % и суммы Ca+Na в позиции A < 0.2 ф. е., представляющие ряд барруазит — винцит, слагают полосы и зоны совместно с тальком и фенгитом.

Глаукофаны — Ca-глаукофаны характеризуются широкой вариацией замещения Al+Ca на Si+Na и отвечают по составу Mg-члену глаукофанового ряда. Анализ зональности кристаллов глаукофана показывает обогащение сердцевин Ca и Mg, в то время как периферия

содержит больше Na и Fe (табл. 5, анал. 9, 19) или, наоборот, — сердцевина богата Na, а периферия — Ca при очень незначительном колебании  $Si^{4+}$ , Mg и Fe (табл. 5, анал. 13). Для ряда глаукофанов (табл. 5, анал. 5, 6, 9, 19) устанавливаются низкие содержания щелочных катионов (1.52—1.59 ф. е.) в позиции M 4.

Для винчит-актинолитовых амфиболов определены незначительные колебания в составе — по Ca-comp (69—82 %) и F (11—23 %), более широкие по  $Al^{VI}$  (0.04—0.53 ф. е.). Отчетливой зональности в кристаллах не наблюдается, устанавливаются очень незначительные колебания по Ca и Na, Al и Si (табл. 5, анал. 13). Позиция M4 полностью заполнена щелочными катионами. По сравнению с актинолитами из пород верхней толщи максютовского комплекса содержат значительно больше  $Al^{VI}$  и Na.

Анализ зональности и взаимоотношения амфиболов указывает на отсутствие реакционных замещений между глаукофаном и барруазит-винчитом ( $Al < 1.15$  ф. е.), наблюдаются замещения барруазита ( $Al > 1.50$  ф. е.) глаукофаном и натриево-кальциевых и натриевых амфиболов актинолитом.

Однозначно, наблюдается в тальк+фенгитовых слоях и зонах непосредственно в контакте с тальком или фенгитом натриево-кальциевый амфибол барруазит-винчитового ряда с содержаниями: (ф. е.)  $Si = 7.30—7.56$ ,  $Al=0.60—1.15$  (рис. 10). Кальциевый глаукофан — глаукофан в ряде образцов (5, 6) так же имеет непосредственный контакт с тальк-фенгитом, в других образцах (9, 13, 19) слагает отдельные полосы и зоны.

**Г р а н а т** от мм до 15 мм в диаметре имеет неравномерное распределение в породе, чаще слагает зоны и полосы. Имеет различную степень изменения от чистых до атоллоидных кристаллов. Самыми частыми и заметными минеральными включениями в нем являются кварц, хлорит, фенгит, глаукофан, графит, тальк.

По химическому составу отвечает кальциевым пироп-альмандинам, зонален (табл. 5, рис. 11). По типу зональности и вариации компонентного состава выделяют следующие его разновидности.

В основном для изученных гранатов характерным является замещение (Ca+Mn) на (Mg+Fe) увеличивающееся от центра кристалла к краю. Анализы 19а, 20 и 20а представляют компонентный состав сердцевины (мол. %

Py 12—23, Alm 49—57, Spess 6—12, Ca-comp 14—29) и краевых частей кристаллов (мол. % Py 17—27, Alm 52—59, Spess 2—5, Ca-comp 11—25).

К предыдущему типу зональности близка зональность, при которой в краях кристалла убывает Ca и одновременно возрастает Mg и Fe, а Mn меняется незначительно. Гранат имеет близкий компонентный состав: (мол. %) центр — Py 18—19, Alm 48—54, Spess 9—12, Ca-comp 16—24; край — Py 22—25, Alm 53—55, Spess 9—12, Ca-comp 11—13.

В крупных гранатах до 6 мм (табл. 5, анал. 18, 19) встречается зональность с замещением Mg на Mn от центра кристалла к краю и, соответственно с незначительным уменьшением Ca и увеличением Fe (рис. 11). Гранат имеет

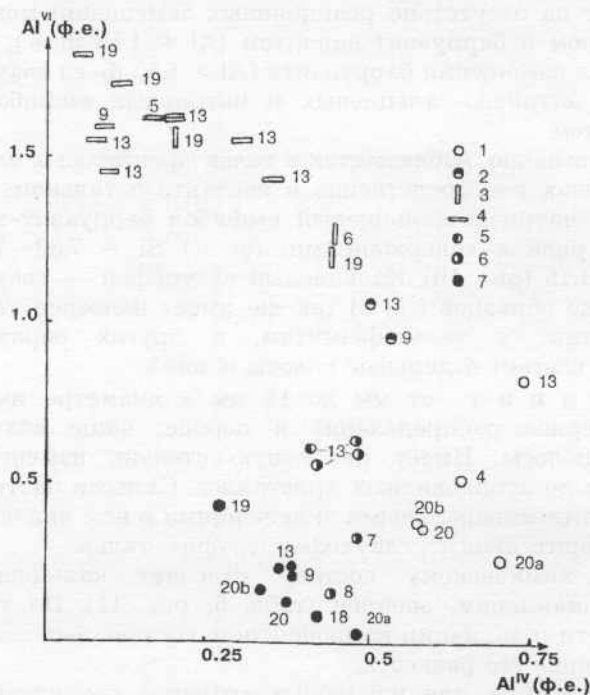


Рис. 10. Соотношение  $Al^{VI} - Al^{IV}$  в амфиболах:

- 1 — барруазит; 2 — натриевый барруазит; 3 — глаукофан;  
4 — кальциевый глаукофан; 5 — натриевый винчит; 6 — винчит;  
7 — актинолит

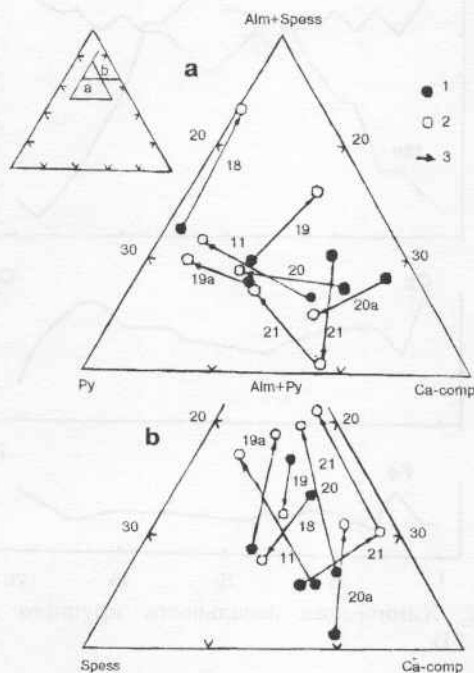


Рис. 11. Компонентный состав гранатов и их химическая зональность:

1 — ядро кристалла, 2 — кайма кристалла, 3 — направление зональности

в центре кристалла компонентный состав (мол. %) Py 22—26, Alm 48—55, Spess 5, Ca-comp 18—21, а в краях Py 14—16, Alm 51—58, Spess 8—12, Ca-comp 20.

В гранате размером до 12—15 мм наблюдается сложная зональность с замещением Mn на Mg + Ca от центра к средней части кристалла и Ca на Mg + Fe в краях кристалла (рис. 12). Анализ 21 представляет состав такого граната: сердцевина — Py 16, Alm 50, Spess 10, Ca-Comp 24; средняя часть — Py 21, Alm 49, Spess 2, Ca-comp 28 и край — Py 24, Alm 57, Spess 2, Ca-comp 18.

Можно предположить, что сингенетичными с тальк+фенгитом, являются краевые части кристаллов граната.

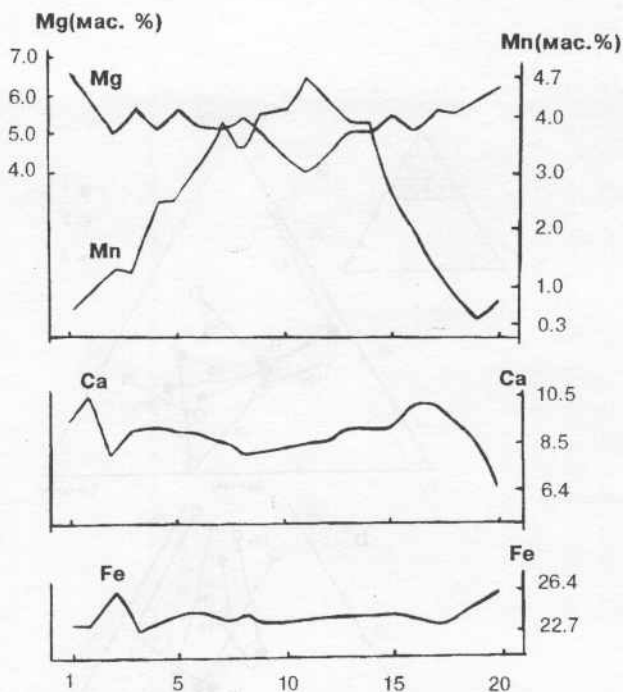


Рис. 12. Химическая зональность крупного кристалла граната (анал. 21).

**Хлорит** по составу отвечает клинохлорпеннину-прохлориту [6], т. е. низкожелезистый (21 — 25 %) с высоким содержанием кремния (3.01 — 3.10 ф. е.), замещает тальк и фенгит. Отличительной особенностью составов хлоритов из ассоциации тальк+фенгит максютовского комплекса как от хлоритов из тальк+фенгитовых ассоциаций Западных Альп, так и от хлоритов глаукофановых сланцев глаукофан-сланцевых поясов является низкое содержание железа и высокое октаэдрического алюминия (рис. 13).

#### Реконструкция давления и температуры

Термодинамические оценки условий кристаллизации тальк+фенгитовой ассоциации в максютовском комплексе могут быть определены несколькими комбинированными геотермометрами и геобарометрами в комбинации с термодинамически рассчитанными минеральными равновесиями.

Температура метаморфизма при образовании Tc+Phe ассоциации основана на оценке содержания Na/Na+K в фенгите, по гранат-амфиболовому и гранат-фенгитовому геотермометрам.

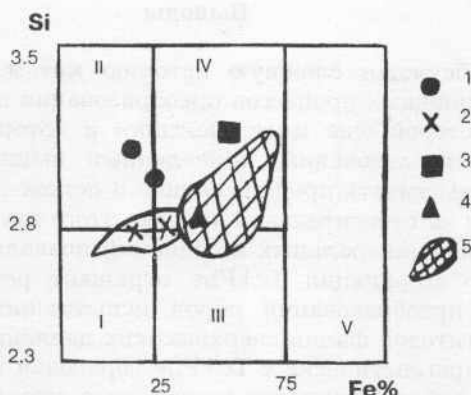


Рис. 13. Состав хлоритов из ассоциации тальк+фенгит и глаукофановых сланцев. Диаграмма по К. Б. Кебезинскому [6].

1 — из ассоциации тальк+фенгит максютовского комплекса; 2 — то же, Западных Альп [14]; 3 — зеленых сланцев верхней толщи максютовского комплекса; 4 — из ассоциации фенгит+хлорит. Скирос [12]; 5 — глаукофановых и зеленых сланцев глаукофансланцевых комплексов [3]; 6 — из мегакристаллов пироба [21]; 7 — из измененных пиробов [21]. I — корундофиллиты; II — клинохлорепенины; III — рипидолиты; IV — прохлориты; V — тюрингиты

По содержанию парагонитового компонента в фенгите определены температуры для Тс+Phe из пород районов д. Караяново и Утарбаево — 480—570 °С, д. Антинган — 560—620 °С. По гранат-амфиболовому геотермометру рассчитываются более низкие параметры температуры 480 — 500 °С и 400 °С соответственно. Использование пары гранат-фенгит дает согласованные оценки температур (560—620 °С) для граната краевых частей и фенгита из пород метабазитового состава района д. Антинган. Большие погрешности в оценке температур (более низкие ее значения) по гранат-амфиболовому и гранат-фенгитовому геотермометрам связаны, по-видимому, с зональностью и высокими содержаниями Mn и Ca в гранате и Fe<sup>3+</sup> в фенгите [15, 22].

Давление при метаморфизме образования Тс+Phe ассоциации рассчитано по содержанию Si<sup>4+</sup> в фенгите и Al в тальке [19, 20—22]. Для Тс+Phe ассоциации из пород района д. Караяново определяется P = 22—36 кбар по Si<sup>4+</sup> в Phe и 22 — 30 кбар по Al в Тс при T = 550 °С, района д. Утарбаево — P = 22—28 кбар и 18—22 кбар при T = 480 — 570 °С и района д. Антинган — P = 21 — 25 кбар и 33—37 кбар при T = 560 — 620 °С соответственно.

## Выводы

Не обсуждая сложную историю метаморфических и деформационных процессов преобразования пород комплекса, в которой еще много неясного и которая требует детальных исследований, приведенный выше материал позволяет высказать предположение о положении Tc+Phe ассоциации на относительном участке этого пути.

Анализ минеральных ассоциаций позволяет сделать вывод, что ассоциация Tc+Phe отражает ретроградный P-T путь преобразования пород испытавших метаморфизм эклогитовой фации сверхвысоких давлений:

— парагенетически с Tc+Phe образован натро-кальциевый амфибол (барруазит-винчитового состава). Глаукофан кристаллизовался синхронно с Tc+Phe, однако мог быть и более ранним образованием, на что указывает разная зональность в глаукофане и его взаимоотношения с другими разновидностями амфиболов;

— барруазит-натровый барруазит [ $Al > 1.50$  ф. е.,  $(Na+K) A > 0.5$  ф. е.) первичный амфибол ряда тальк-фенгитсодержащих пород по составу и свойствам аналогичен амфиболу «титанистых» эклогитов [1—4, 8];

— фенгит из парагенезиса с тальком кристаллизовался в политипной модификации 2M1, что исходя из последовательности развития политипных модификаций белых слюд в комплексе 1M — 1M+2M1 — 2M1 — 2M1+3T указывает на его позднее образование;

— тальк+фенгитсодержащие породы имеют два типа сланцеватости и Tc+Phe чешуйки определяют вторую (F2);

— P-T поле существования Tc+Phe ассоциации в породах комплекса ограничено T 480—620 °C и P 18—25 кбар, однако нельзя исключать и более высокие значения давления.

## Литература

1. Алексеев А. А. Магматические комплексы зоны хребта Уралтау. М.: Наука, 1976. 172 с.
2. Вализер П. М., Ленных В. И. Амфиболы голубых сланцев Урала. М.: Наука, 1988. 203 с.

3. Добрецов Н. Л. Глаукофансланцевые и эклогит-глаукофансланцевые комплексы СССР. Новосибирск: Наука, 1974. 429 с.
4. Добрецов Н. Л., Добрецова Л. В. Новые данные по минералогии эклогит-глаукофансланцевого максютовского комплекса (Южный Урал)//Докл. АН СССР, 1988, т. 300 № 1, с. 195—200.
5. Захаров О. А., Пучков В. Н. О тектонической природе максютовского комплекса зоны Уралтау // Докл. Президиуму УНЦ РАН Уфа. 1994. С. 29.
6. Кепежинская К. Б. Статистический анализ хлоритов и их парагенетические типы. М.: Наука, 1965. 135 с.
7. Костюк Е. А. Статистический анализ и парагенетические типы амфиболов метаморфических пород. М.: Наука, 1970. 312 с.
8. Ленных В. И. Эклогит-глаукофановый пояс Южного Урала. М.: Наука, 1977. 160 с.
9. Путеводитель к полевым геологическим маршрутам на территории Южного Урала рабочих групп 2.1 и 2.2 летом 1985 года / Вализер П. М., Зайков В. В. и др. Препринт. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. 86 с.
10. Удовкина Н. Г. Эклогиты СССР. М.: Наука, 1985. 285 с.
11. Abraham K., Schreyer By. W. A talc-phengite assemblage in piemontite schist from Brezovica, Serbia, Yugoslavia. J. Petrol. 1975. Vol. 17. P. 421—439.
12. Baltatzis E. Distribution of elements between coexisting phengite and chlorite from low grade rocks from Skiros Island, Greece. Mineral. and Petrol. 1987. Vol. 37. P. 243—250.
13. Chopin C. Talc-phengite: a widespread assemblage in high-grade pelitic blueschists of the Western Alps // J. Petrol. 1981. Vol. 22, № 4. P. 628—650.
14. Chopin C. Coesite and pure in high-grade blueschists of the Western Alps: a first record and some consequences // Contrib. Mineral. and Petrol. 1984. Vol.86. № 2. P. 107—118.
15. Kragh E. J., Raheim A. Temperature and pressure dependence of Fe-Mg partitioning between garnet and phengite, with particular reference eclogite. Contrib. Mineral. and Petrol. 1978. Vol. 66, № 1. P. 75—80.



16. Lennykh, V. I., Valizer, P. M., Beane, R., Leech, M., and Ernst, W. G. Proterectonic evolution of the Maksyutov complex, south Urals, Russia: Implications for ultrahigh-pressure metamorphism // *Int. Geol. Rev.* 1995. Vol. 37. P. 584—600.
17. Dobretsov N. L., Shatsky V. S., Coleman R. G., Lennykh V. I., Valizer P. M., Liou J., Zhang R., and Beane R. Tectonic setting and petrology of ultrahigh-pressure metamorphic rocks in the Maksyutov complex, Ural Mountains, Russia // *Int. Geol. Rev.* 1996. Vol. 38. P. 136—160.
18. Massonne H-J. Geothermobarometrie mit Al-Gehalten in Talc. *Ber. Dt Miner Ges; Beih. Eur. Jour. Mineral.* 1990. № 2. P. 1—169.
19. Massonne H-J., Schreyer By. W. Phengite geobarometrie based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz. *Contrib. Mineral. and Petrol.* 1987. Vol. 96. № 2. P. 212—224.
20. Massonne H-J., Schreyer By. W. Stability field of the hing-pressure assemblage talc+phengite and two new phengite barometers. *Europ J Mineral.* 1989. № 1. P. 391—410.
21. Schreyer By.W., Baller Th. Talc-muscowite: synthesis of a new hing-pressure phyllosilicate assemblage // *N. Jb. Miner. Mh.*, 1977, H. 9, P. 421—425.
22. Schertl H. P., Schreyer By. W., Chopin C. The pyrope-coesite rocks and their country rocks at Parige, Dora Maira, Western Alps: detailed petrography, mineral chemistry and PT-path // *Contrib. Mineral. and Petrol.* 1991. Vol. 108. № 2. P. 1—21.