

## АМФИБОЛЫ ИЗ КОНТАКТОВО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗОВАНИЙ АМПАЛЫКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е. А. БАБИНА

(Представлена объединенным научным семинаром геологоразведочного факультета)

Амфиболы в контактово-метасоматических образованиях Ампалыкского месторождения пользуются широким распространением. Они встречаются в роговиках, скарнах и рудах, или являются продуктами гистерогенного разложения пироксена. Поэтому амфиболы Ампалыкского месторождения отличаются довольно широким генетическим и минералогическим разнообразием и занимают далеко неодинаковое место в общем контактово-метасоматическом процессе.

Амфиболы представлены четырьмя генерациями обыкновенной роговой обманки, актинолитом, тремолитом, гастингситом, дашкесанитом и паргаситом. Все оптические константы амфиболов приведены в табл. 1, химические анализы в табл. 2, а спектральные в табл. 3.

Роговая обманка первой генерации образует мелкие изометричные и короткопризматические зерна, изолированные агрегаты в роговиках. Размер зерен от 0,15 до 0,23 мм в поперечнике. Состав роговой обманки I по диаграмме В. Е. Трегара [4] указывает на содержание 45—57% железистой и 55—43% магнезиальной молекул.

Роговая обманка второй генерации встречается только в скарнах. Нередко она образует крупные скопления с шестоватыми и призматически-пластинчатыми агрегатами в скарнах пироксенового, гранато-пироксенового состава. Отложение ее происходило после выделения основной массы скарновых минералов и роговой обманки I. В зонах катаклаза агрегаты роговой обманки II деформированы, изогнуты и разбиты многочисленными трещинками, по которым развиваются кальцит, хлорит, пренит и сульфиды. Размер зерен роговой обманки II измеряется в пределах от 0,8 до 1,6 мм в поперечнике. Из приведенных данных оптических свойств роговая обманка II содержит 32—45% железистой и 68—55% магнезиальной частиц. Колебания показателей преломления и непостоянство молекулярного состава вызвано, по-видимому, разнообразием исходных первичных пород, за счет которых возникли скарны.

Рентгеноструктурный анализ подтвердил параметры обыкновенной роговой обманки:  $a \sin \beta = 9,60 \text{ кх}$ ;  $B = 18,14 \text{ кх}$ ;  $C \sin \beta = 5,15 \text{ кх}$ .

Данные химического анализа, приведенные в табл. 2, нами были пересчитаны на кристаллохимическую формулу по методу И. Д. Борнеман-Старынкевич [1] с типовой формулой  $x_2-z y_5 z_8 [O,OH]_{24}$ , в которой сумма катионов группы  $y$  и  $z$  равна 13.

## Оптические свойства амфиболов

Название минералов и их генерации	Цвет минерала	Плеохроизм и схема плеохроизма	Показатели преломления	Величина двупреломления	Угол погасания (C:Ng)	2V
Роговая обманка I	Слабо окрашена в зеленый цвет	$N_g$ —Зеленый $N_m$ —нежно-зеленый $N_p$ —желтовато-зеленый $N_g > N_m > N_p$	$N_g = 1,682 - 1,690 \pm 0,002$  $N_p = 1,658 - 1,668$	0,022—0,024	15—17°	(—)67°—(—)70°
Роговая обманка II	Темно-зеленый	$N_g$ —буровато-зеленый $N_m$ —зеленовато-бурый $N_p$ —зеленовато-желтый $N_g > N_m > N_p$	$N_g = 1,670 - 1,680 \pm 0,001$ $N_m = 1,662 - 1,670 \pm 0,001$ $N_p = 1,651 - 1,659$	0,019—0,021	15—18°	(—)69—75°
Роговая обманка III	Травяно-зеленый, буровато-зеленый	$N_g$ —бледно-зеленый $N_m$ —травяно-зеленый $N_p$ —желтовато-зеленый $N_m > N_g > N_p$	$N_g = 1,665 \pm 0,001$ $N_p = 1,648 \pm 0,001$	0,017	18—21°	(—)78°
Роговая обманка IV	Буровато-зеленого цвета	$N_g$ —зеленовато-бурый $N_m$ —желтоватый $N_p$ —желтовато-зеленый $N_g > N_m > N_p$	$N_g = 1,683 \pm 0,001$ $N_p = 1,661 \pm 0,001$	0,022	12°	(—)70°
Актинолит	Зеленый	$N_g$ —зеленовато-желтый $N_m$ —бледно-зеленый $N_p$ —бесцветный $N_g > N_m > N_p$	$N_g = 1,664 - 1,649 \pm 0,002$ $N_m = 1,632 - 1,638 \pm 0,002$ $N_p = 1,623 - 1,637 \pm 0,002$	0,021—0,022	16°	(—)82—(—)85°
Термолит	Бесцветный	—	$N_g = 1,638 \pm 0,002$ $N_p = 1,614 \pm 0,002$	0,024	18—20°	—

Продолжение таблицы 1

Название минералов и их генерации	Цвета минералов	Плеохроизм и схема плеохроизма	Показатели преломления	Величина двупреломления	Угол погасания (C:Ng)	2V
Гастингсит	Буровато-зеленый	$N_g$ —густо-зеленовато-синий $N_m$ —голубовато-зеленый $N_p$ —светло-коричневый $N_g > N_m > N_p$	$N_g = 1,712 \pm 0,002$ $N_p = 1,692 \pm 0,002$	0,020	17°	(—)40—42°
Дашкесанит	Буровато-зеленый	$N_g$ —зеленовато-синий $N_m$ —голубовато-зеленый $N_p$ —желтый $N_g > N_m > N_p$	$N_g \pm 1,731 \pm 0,002$ $N_p = 1,712 \pm 0,002$	0,019	10°	(—)30°
Паргасит	Синевато-зеленый	$N_g$ —зеленовато-синий $N_m$ —светло-зеленый $N_p$ —зеленовато-желтый $N_g > N_m > N_p$	$N_g = 1,644 \pm 0,001$ $N_p = 1,628 \pm 0,001$	0,018	22°	(—)54°

При расчете амфиболов кислород (O, OH, F) приравнивался к 24. Исходя из расчета, формула роговой обманки II приняла следующий вид:  $[Ca_{1,93} Na_{0,54} K_{0,33} (H_3O)_{0,20}]_{3,0} \times [Fe_{2,52}^{II} Mg_{0,56} Fe_{1,04}^{III} Al_{0,74} Ti_{0,15}]_{5,0} (Si_{6,12} Al_{1,88}) O_{22,0} (O_{1,15} OH_{0,85})_{2,0}$ .

Роговая обманка третьей генерации характеризуется более низкотемпературными условиями образования. Она замещает пироксен ранних генераций, в скарнах и роговиках нарастает на зернах последнего, корродирует его, или образует сплошные участки с реликтами пироксена в измененных скарнах и магнетитовых рудах. Основная масса роговой обманки III отложилась после отложения магнетита в стадию поздней гидротации. Агрегаты этой роговой обманки состоят из призматических и призматически-волокнистых зерен. По диаграмме Трегера роговая обманка III содержит 25% железистой и 75% магниальной молекул. Пересчет на кристаллохимическую формулу тем же методом, что и для роговой обманки II, дал следующую формулу:  $(Ca_{1,85} Na_{0,45} K_{0,21})_{2,51} \times (Fe_{1,24}^{II} Mg_{2,84} Mn_{0,035} Fe_{0,56}^{III} Ti_{0,035} Al_{0,29})_{5,0} \times (Si_{6,54} Al_{1,46})_8 O_{22,0} (OH)_2$ .

Роговая обманка четвертой генерации ассоциирует с низкотемпературными минералами — кальцитом, кварцем, халькопиритом и галенитом. Форма зерен удлинненно-призматическая, шестоватая, а размер их не превышает десятых долей мм.

Актинолит среди амфиболов находится в подчиненном количестве. Он ассоциирует с рудными минералами, замещает пироксен и роговую обманку ранних генераций. В шлифах он наблюдается радиально-лучистыми, тонковолокнистыми и игольчатыми агрегатами. Размер зерен изменяется в пределах от  $0,05 \times 0,095$  мм до  $0,15 \times 1,25$  мм. По оптическим свойствам минерал содержит 20—35% железистых и 80—65% магниальных молекул. Пересчеты химического анализа (табл. 2) на кристаллохимическую формулу позволили установить следующую формулу актинолита:  $(K_{0,02} Na_{0,08} Ca_{1,98})_{2,08} (Mg_{4,70} Fe_{0,32}^{II} Fe_{0,34}^{III})_{5,36} [Si_{7,58} Al_{0,40} Mn_{0,08}]_8 O_{22,6} [OH_{1,0} O_{1,6}]_{2,0}$ .

Таблица 2

Данные химических анализов амфиболов

Состав минералов	Роговые обманки		Актинолит обр. 341	Гастингсит обр. 613	Дашкесанит обр. 727
	II генера- ция обр. 51	III генера- ция обр. 474			
SiO <sub>2</sub>	37,75	44,78	53,38	40,43	37,59
TiO <sub>2</sub>	1,21	0,42	0,06	0,41	0,33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,17	10,21	0,96	10,25	11,23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,42	5,10	3,28	11,10	7,35
Feo	18,57	10,15	2,91	17,53	20,66
Mno	0,14	0,15	0,20	1,29	0,36
Mgo	2,30	13,46	23,58	5,18	4,83
CaO	11,73	11,86	13,71	10,64	12,42
Na <sub>2</sub> O	1,76	1,60	0,30	1,21	1,10
K <sub>2</sub> O	1,55	1,11	0,22	1,08	1,27
H <sub>2</sub> O	2,80	1,15	1,42	0,97	1,12
Cl	—	—	сл.	—	0,077
F	—	—	0,013	0,009	1,94
	100	100	100	100	100

Актинолит неустойчивый, легко замещается хлоритом, биотитом и флогопитом.

Тремолит обнаружен редкими игольчатыми агрегатами. Он охотно ассоциирует с актинолитом и является гистерогенным образованием, возникшим в результате разложения пироксена в скарнах. С понижением температуры актинолит и тремолит становятся неустойчивыми и замещаются хлоритом. Размер зерен тремолита не превышает  $0,3 \times 0,16$  мм. Об оптических свойствах тремолита можно судить по табл. 1.

Гастингсит встречается совместно с дашкесанитом в метасоматически измененных скаполитизированных породах. В скарнах он обнаружен в ассоциации с роговой обманкой II генерации. Кристаллы его длиннопризматические, довольно крупные от нескольких миллиметров до сантиметра. Кристаллохимическая формула гастингсита, полученная в результате пересчета химического анализа (табл. 2) по методу И. Д. Борнеман-Старынкевич, примет следующий вид:  $(\text{Na}_{0,35} \text{K}_{0,20})_{0,55} \text{Ca}_{1,74} (\text{Mg}_{1,19} \text{Fe}^{2,27} \text{Mn}_{0,16} \text{Fe}^{1,27} \text{Al}_{0,11})_{5,0} (\text{Si}_{6,22} \text{Ti}_{0,05} \text{Al}_{1,73})_{8,0} \text{O}_{22,0} (\text{OH})_{1,97}$ .

Дашкесанит образует крупные гнезда и скопления в скарнах. Иногда он располагается мелкими столбчатыми кристаллами совместно с флогопитом. Распространение его весьма ограниченное. Размер зерен не превышает десятых долей мм. Оптические свойства приведены в табл. 1, а химический и спектральный состав — в табл. 2 и 3. После пересчета химического анализа дашкесанита на кристаллохимическую формулу, последняя примет следующий вид:  $(\text{Ca}_{2,12} \text{Na}_{0,35} \text{K}_{0,27} \text{Mg}_{0,26})_{3,0} (\text{Fe}_{2,75} \text{Mg}_{0,88} \text{Fe}_{0,89} \text{Mn}_{0,06} \text{Al}_{0,42})_{5,0} (\text{Si}_{6,10} \text{Al}_{1,86} \text{Ti}_{0,04})_{8,0} \text{O}_{22,0} (\text{OH})_{1,77} \text{Cl}_{0,17} \text{F}_{0,95})_{2,09}$ .

Паргасит встречается совместно с флогопитом в виде единичных зерен и пластинчатых агрегатов. Оптические свойства паргасита показаны в табл. 1.

Многообразие минеральных форм амфиболов в контактово-метасоматических породах и рудах Ампалыкского месторождения объясняется замещением одних компонентов другими. Из приведенных химических анализов и кристаллохимических формул видно, что роговая обманка третьей генерации и актинолит охотно отдавали  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и щелочи, обогащаясь одновременно кремнеземом, магнием и титаном. В более поздних амфиболах, таких как гастингсит, дашкесанит, наблюдается привнос Cl, F и вынос щелочей и кремнезема. Происходит изменение первоначального состава минералов. Так, роговая обманка второй генерации отличается повышенным содержанием железа, титана, а роговая обманка третьей генерации характеризуется увеличением содержания кремнезема и магния. Гастингсит и дашкесанит отличаются от роговых обманок несколько повышенным содержанием  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и присутствием фтора и хлора. Изменение химического состава амфиболов нашло отражение и в оптических свойствах их. Чаще эти изменения сказываются на величине угла оптических осей от  $(-)$   $30^\circ$  до  $(-)$   $85^\circ$  и угла угасания от  $10$  до  $22^\circ$ . Для роговой обманки наблюдалось уменьшение показателей преломления от первой генерации к третьей. Гастингсит и дашкесанит, встречающиеся в аналогичных условиях, имеют близкий показатель преломления. Некоторые исследователи считают, что на оптические свойства и, в частности, на показатель преломления влияет содержание железа, магния и их соотношения. В этом случае интересны данные В. А. Дипир [2], который утверждает, что при повышении содержания двухвалентного железа в амфиболах повышаются их показатели преломления. В нашем случае (табл. 2) содержание закиси железа в роговой обманке II сравнительно выше по отношению роговой обманки III и актинолита, но несколько меньше, чем в дашке-

Данные спектрального анализа

Таблица 3

Минералы	В процентах													
	Ti	Mn	Ni	Co	Cr	As	Zn	Pb	Cu	La	Au	Ba	V	Mo
Роговая обманка II	0,1	0,1	0,001	0,001	0,001	0,001	—	—	0,001	сл.	0,001	—		
Роговая обманка III	—	—	0,001	0,001	—	—	0,1	0,03	0,01	0,001	—	0,001		
Роговая обманка IV	—	—	—	0,001	—	0,001	0,3	0,001	0,001	0,001	—	—	0,001	0,1
Актинолит	0,01	—	—	—	—	—	0,01	—	0,001	0,001	—	—	0,001	
Гастингсит	0,01	—	0,01	0,001	0,001	—	—	—	0,01	0,001	—	—	—	
Дашкесанит	—	—	0,01	—	—	—	0,01	—	—	—	—	—	0,001	

саните и гастингсайте. Показатели преломления амфиболов увеличиваются пропорционально содержанию двухвалентного железа. Л. Н. Овчинников, А. С. Шур и Н. Т. Елькина [3] связывают зависимость показателей преломления амфиболов с окислением железа и потерей воды при метасоматозе. Переход  $Fe^{II}$  в  $Fe^{III}$  сопровождается повышением показателя преломления. Кроме зависимости между окислением железа и потерей воды, на величину показателя преломления сказывается содержание глинозема, с увеличением которого повышается показатель преломления амфиболов. Выводы, сделанные Л. Н. Овчинниковым и др., подтверждаются и нашими анализами (табл. 2). Повышение показателей преломления у амфиболов Ампалыкского месторождения является следствием окисления железа при контактово-метасоматическом процессе и сопровождается уменьшением угла погасания и угла оптических осей. Из сказанного можно сделать следующие выводы.

1. Среди всего разнообразия амфиболов в контактово-метасоматических образованиях Ампалыкского месторождения преобладает обыкновенная роговая обманка.

2. Оптические константы амфиболов зависят от химического состава их, от парагенетических ассоциаций и условий образования при контактово-метасоматических процессах; от содержания в них железа и от степени его окисления.

3. По своим парагенетическим особенностям амфиболы тесно ассоциируют со скарновыми, рудными и низкотемпературными минералами. В общей парагенетической схеме минералообразования амфиболы начинают отлагаться в стадию образования роговиков, интенсивно выделяются в гипогенную эпоху и заканчивается процесс их выделения в низкотемпературной стадии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Борнемам-Старынкевич. Руководство по расчету формул минералов. Изд. Наука, 1964.
  2. В. А. Дир. Состав и парагенезис роговых обманок комплекса Гледен-Тьет в Пертмире. Переводы геол. и полезн. иск. Изд АН СССР, 1940.
  3. А. Н. Овчинников, А. С. Шур и Н. Г. Елькина. Термоаналитическое исследование амфиболов некоторых скарновых зон Урала. Тр. 1-го совещания по петрографии. Изд. АН СССР, 1953.
  4. В. Е. Трегер. Таблицы для оптического определения породообразующих минералов. Госгеолтехиздат, 1958.
-