## ИЗВЕСТИЯ

# ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 165

1969

# О МЕТАСОМАТИЧЕСКИХ АМФИБОЛАХ ИЗ РАЙОНА РУДНИКА КОММУНАР (ХАКАСИЯ)

#### А. Ф. КОРОБЕЙНИКОВ

#### (Представлена профессором А. М. Кузьминым)

При изучении контактово-метасоматических образований Калиостровского участка, расположенного в экзоконтакте крупного гранодиоритового интрузива, и гидротермально метаморфизованных даек мелкозернистых диоритов Подлунного гольца были обнаружены линейные зоны альбитизированных пород. Зоны альбитизации мощностью до 0,2-2,1 м и протяженностью до нескольких десятков метров прослеживаются как в порфиритах, так и дайковых диоритах. Эти существенно альбитовые образования почти повсеместно содержат роговообманковые жилки толщиной от долей до 1-2 см. Альбитизация обычно протекает вдоль зон повышенной трещиноватости пород, распространяясь постепенно в стороны, и заканчивается полным замещением вмещающих порфиритов и диоритов кварцево-альбитовым агрегатом с жилками темно-зеленой роговой обманки. Минеральный состав метасоматической породы представлен альбитом № 1-3 (до 10-20%), зеленой роговой обманкой (до 10-18%), сфеном и эпидотом (до 2% от общего объема породы). Весьма интересным является то обстоятельство, что в последующий рудный этап зоны альбитизированных пород подвергались окварцеванию и золотому оруденению. Жильный кварц совместно с золотом, следуя вдоль зальбанд амфиболовых жилок, замещает и цементирует отдельные зерна роговой обманки или в виде мелких линзочек и кучных обособлений импреньирует кварцево-альбитовый метасоматический агрегат. Обычно центральные части метасоматических зон, содержащие самые крупные амфиболовые жилки, оказываются обогащенными жильным кварцем и золотом.

В диоритовых дайковых телах альбитизация также распространяется по зонам максимальной трещиноватости, приуроченной к эндоконтактам даек. Фронт метасоматического замещения следует вдоль контакта даек, распространяясь в дайковые тела по диагональным и продольным сколовым трещинам на расстояние 0,5—2 м, при мощности даек от 12 до 18 м. В результате возникают метасоматические зоны с неровными заливообразными краями со стороны вмещающих порфировидных габбро-диоритов. Минеральный состав этих зон аналогичен вышеописанным в порфиритах.

Своеобразно строение роговообманковых жилок. Они, как правило, линейны и относительно маломощны (до 1 см), с четкими контактами. Нередки жилки с субпараллельным или веерообразным сложением амфиболовых агрегатов, проникающие иногда в призальбандовые части жилок. В других случаях роговая обманка обособляется в виде отдельных линзочек или неправильной формы гнезд, но всегда сопровождается оторочками метасоматического альбита, что, со своей стороны, указывает на сингенетичность описываемых минералов. В период гидротермального рудного этапа зоны альбитизированных пород подвергаются окварцеванию и золотому оруденению. При этом обогащенными жильным кварцем и золотом оказываются центральные участки метасоматических зон, содержащие обычно самые крупные амфиболовые жилки. Отмеченные взаимоотношения метасоматических и более поздних жильных минеральных ассоциаций, очевидно, отражают унаследованность путей циркуляции как ранних метасоматизирующих, так и поздних золотоносных растворов.

В табл. 1 приведены составы неизмененных дайковых диоритов, аподиоритовых метасоматитов и расчет баланса вещества при метасоматозе по методу Н. И. Наковника.

Таблица 1

	1	2				3				
Окислы	вес, %	кол-во вещества	вес, %	кол-во в∋щества	прив- нос (+)	вынос (—)	вес, %	кол-во ве- щест- ва	прив- нос (+)	вы- нос
SiO <sub>2</sub>	52,42	146,8	57,06	158,7	11,9	100 M-30	62,43	170,0	23,2	
TiO <sub>2</sub>	0,88	2,5	0,65	1,8		0,7	0.37	1,0		1,5
$Al_2O_3$	16,13	45,2	18,44	51,9	6,7		19,38	52,3	7,1	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,63	7,4	- 1,82	5,1		2,3	н/о	50 67	小人	7,4
FeO	6,00	16,8	4,37	12,2		4,6	3,20	8,8	al eriet	8,0
MnO	0,14	0,4	0,05	0,1		0,3	н/о	Con S	合于,	0,4
CaO	7,15	20,0	6,69	18,6		1,4	3,74	10,2		9,8
MgO	6,05	16,9	2,14	6,0		10,9	0,38	1,0		16,9
$P_2O_5$	0,19	0,5	0,33	0,9	0,4		0,52	1,5	1,0	a contra
Na <sub>2</sub> O	3,45	9,7	4,87	13,6	3,9	Contra Mg	1,50	20,5	10,8	
K <sub>2</sub> O	0,46	1,3	0,57	1,6	0,3		0,60	1,7	0,4	
п. п. п.	4,99	, 13,9	2,56	7,5	101	6,4	1,76	4,9	1253	9,0
Объемный вес	2,80		2,78		- 11 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12	Links		1 <sup>241</sup> 2-01 814-15		ENA
Сумма	100,46	280,0	99,68	<b>2</b> 78,0	23,2	26,6	99,88	271,0	42,5	52,0

Изменение состава и баланс вещества при альбитизации мелкозернистых диоритов (в граммах на 100 куб. см породы)

1—неизмененный дайковый мелкозернистый диорит Подлунного участка, 2—альбитизированный мелкозернистый диорит с амфиболовыми жилками Подлунного участка, 3— кварцево-альбитовый агрегат за счет мелкозернистого диорита с редкими амфиболовыми жилками Подлунного участка.

Как видно из таблицы, в зонах кремнево-натрового метасоматоза наблюдается высокая подвижность кремния, натрия, кальция, магния и железа.

При метасоматозе диоритов происходил привнос натрия и кремния и некоторое перераспределение вещества с локальным перемещением сидерофильных элементов в пределах самих зон послемагматической альбитизации. Очевидно, образование амфиболов шло в основном за счет выравнивания составов вмещающая среда — раствор, причем железо, кальций, алюминий и магний поступали из боковых пород. Проникающие по трещинам в диориты и порфириты щелочные растворы первоначально, видимо, разлагали темноцветные компоненты пород. Высвобождающиеся ионы железа и магния накапливались в растворе, а затем шли на построение метасоматических амфиболов, образующих отдельные линзочки и узелки, обрастающие альбитом. Количество таких линзочек по мере развития процесса кремнево-щелочного метасоматоза постепенно возрастало, и они сливались в отдельные полоски, а затем и целые жилки.

Золотины, пространственно ассоциирующие с этими жилками, обычно размещаются между отдельными зернами роговой обманки и жильного кварца, причем последний корродирует амфибол. Они по трещинам замещают зеленую роговую обманку, образуя иногда интересные золотинки удлиненно-призматической и столбчатой форм, путем полного замещения отдельных кристаллов амфиболов. Значительно реже золотины появляются среди альбитового агрегата.

#### Зеленая роговая обманка из альбитизированных пород

Роговая обманка-1 обычно в виде таблитчатых и шестоватых зерен или волокнистых агрегатов. Отдельные индивиды темно-зеленого амфибола длиной до 1 см при ширине 0,3—0,4 см располагаются поперек или диагонально к контактам жилок.

Химический состав, оптические свойства, удельный вес, состав элементов-примесей и межплоскостные расстояния роговой обманки-1 приведены табл. 2 и 3.

Расчет химического анализа по способу И. Д. Борнеман-Старынкевич [3] на основе (x+y=13615): 13=1047 дает следующую кристаллохимическую формулу амфибола:

$$(Na_{0.13}K_{0.06}H_{3}O_{0.73})_{1,0}Ca_{2.03} (Mg_{1.38}Fe_{2.72}^{+2}Mn_{0.07}Fe_{0.48}^{+3}Ti_{0.03}A_{10.32})_{5,0} \cdot \\ \cdot [Si_{7,44}A_{10.56}]_{8,0}O_{22} [(OH_{1.37}Cl_{0.03})_{1.40}O_{0.6}]_{2,0}.$$
(1)

Теоретически [3] и экспериментально [6] доказано, что H<sub>3</sub>O входит в структуру амфиболов, что позволяет написать формулу (1). В полученных формулах имеется небольшой избыток Са (0,03), который можно не учитывать, ибо он составляет всего 0,179 вес. % СаО. Этот избыток кальция скорее всего обусловлен некоторой механической загрязненностью амфибола кальцитом или изоморфным замещением натрия, который может занимать восьмое катионное место в структуре роговой обманки [2, 12]. В остальном же устанавливается почти идеальное распределение катионов по структурным позициям, отвечающее теоретическому.

Исходя из сопоставления формулы (1) с формулой тремолита по методу И. В. Гинзбурга [5, 7], оптических свойств и типа дебаеграммы (табл. 3) для сине-зеленой роговой обманки-І можно наметить следующие изоморфные замещения:

Замена кремния на алюминий, как указывает В. С. Соболев [12], должна сопровождаться одновременным добавлением натрия Si<sup>+4</sup>  $\rightarrow$  Al<sup>+3</sup>, Na<sup>+1</sup> и с обязательной заменой MgSi  $\rightarrow$  Al<sub>2</sub>, как это отмечается у авгитов. Итак, химический состав, структурный тип кристаллической решетки, оптические свойства, преобладание изоморфизма Si<sup>+4</sup>  $\rightarrow$  Al<sup>+3</sup>, Mg<sup>+2</sup>  $\rightarrow$  Fe<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>  $\rightarrow$  Fe<sup>+3</sup>, Al<sup>+3</sup> позволяют отнести данный амфибол к зеленой роговой обманке, переходной к ферротремолиту [8].

### Амфибол из скарново-магнетитовых залежей

Амфибол-II наблюдается в экзоскарнах в виде гнездообразных агрегатов лучистого и волокнистого сложения среди диопсида и магнетита. В последнем случае амфибол появляется в форме волокнистых оторочек на контактах жильного золотоносного кварца, секущего магнитный железняк. Иногда он образует амфиболмагнетитовые мелкие жилки, линзочки, неправильной формы скопления и просечки среди уралитизированных габбро-диоритов и эффузивов экзоконтакта гранодиоритового плутона.

#### Таблица 2

Химический состав и свойства метасоматических амфиболов рудного поля Коммунар

	170	166		Crošerza
Окислы	вес % вес % вес 9		вес %*)	Своиства
SiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> FeO MnO MgO CaO Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O Cl F H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> Cумма O=Cl, F	46,76 0,26 4,72 3,99 20,48 0,53 5,84 11,95 0,60 0,30 0,13 0,05 2,14 1,78 100,53 0,09	44,08 0,11 1,23 1,55 21,37 н/о 5,11 17,42 н/о н/о 0,10 0,11 0,11 0,62 99,81	49,55 0,12 1,60 1,74 23,82 5,74 12,87 0,11 0,12 1,34 1,89 100,00 -0,12 99,88	<ul> <li>170. Зеленая роговая обманка-І из квар- цево-альбитовых метасоматитов Калиост- ровского участка:</li> <li>Оптические константы: 2V=(-) 56-57°, сNg=15.16°, Ng=1,679-1,682, Nm=1,670- 1,673, Np=1,661-1,663, Ng-Np=0,018- 0,19. Удлинение положительное. Дисперсия отчетлива (p&gt;v). Уд. вес= 3,278 (опре- делен пикнометрически). Степень желези- стости fm % (по В. С. Соболеву)=80,7.</li> <li>Плеохроизм по схеме: Ng=сине-зеленый или голубовато-зеленый, Nm=светло-зеле- ный, Np=светло-зеленовато-желтый или соломенно-желтый. Элементы-примеси: Ni=0,03, Au-0,001, Ag-0,0001 (золото и серебро, проявленное в амфиболах, вероят- но, обусловлено тончайшими вростками золотин, эпигенетическим по отношению к амфиболам.)</li> <li>166. Амфибол из скарново-магнетитовых залежей Калиостровского участка: Оптические константы: 2V=(-) 60-62°, сNg=14°, Ng=1,670-1,677, Nm=1,667- 1,670, Np=1,665-1,660, Ng-Np=0,015- 0,017, удлинение положительное. Уд. вес= 3,237. Степень железистости fm %=80,2.</li> <li>Плеохроизм: Ng-зеленый с синим оттен- ком, Nm-желто-зеленый, Np-бледно-зеле-</li> </ul>
		dia n		0,06, Ni-0,03, Co-0,001, Cu-0,003, Au- 0,001, Ag-0,0001.

\*) Анализ является пересчетным благодаря исключению 6,97% CaO за счет тонковкрапленного в амфибол кальцита (на основании рентгеноструктурного и микроскопического исследования). Химические анализы выполнены в Центральной лаборатории Красноярского геологического управления.

Размер амфиболовых выделений не превышает нескольких сантиметров в поперечнике при 5—18 см в длину, а отдельные индивиды его в среднем составляют 0,5—1,5 × 0,2—0,5 см. Как правило, описываемый амфибол темно-зеленого или серо-зеленого цвета и по внешнему облику напоминает агрегаты актинолита. Зеленый амфибол часто замещает с краев или по спайности зерна диопсида или заполняет промежутки между призмами последнего. Иногда на контактах агрегатов магнетита и жильного кварца возникают веерообразные контактово-реакционные оторочки лучистого амфибола. Более вероятно образование этих амфиболов за счет разложения диопсида и магнетита, когда поступающие золотоносные растворы заимствовали при растворении ранних минералов ионы железа и магния. Все это дает основание говорить о метасоматическом происхождении амфибола-II в период гидротермального метаморфизма скарново-магнетитовых образований.

Под микроскопом амфибол-ІІ проявляется в форме удлиненно призматических и таблитчатых зерен или параллельно-шестоватых и волокнистых агрегатов. Окрашен в густо-зеленый или светло-зеленый цвет.

Таблица 3

170				166				
Ι	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	Ι	$\frac{d_{\alpha}}{\dot{n}}$	I	$\frac{d_{\alpha}}{n}$	
$\begin{array}{c} 10\\ 2\\ 2\\ 1\\ 1\\ 1\\ 5\\ 2\\ 4\\ 10\\ 2\\ 3\\ 5\\ 8\\ 6\\ 6\\ 1\\ 4\\ 7\\ 3\\ 3\\ 7\\ 3\\ 7\\ 1\\ 1\\ 3\\ 2\\ 6\\ 6\\ 4\\ 4\\ 9\\ 1\\ 4\\ 8\end{array}$	$\begin{array}{c} - \\ 8.50 \\ 4.57 \\ 4.25 \\ 4.08 \\ 3.91 \\ 3.77 \\ 3.64 \\ (3.47) \\ 3.40 \\ 3.29 \\ 3.15 \\ (3.12) \\ 2.95 \\ 2.82 \\ 2.73 \\ 2.61 \\ 2.56 \\ 2.46 \\ (2.39) \\ 2.35 \\ 2.29 \\ 2.22 \\ 2.18 \\ 2.05 \\ 2.03 \\ 1.979 \\ (1.934) \\ 1.905 \\ 1.874 \\ (1.824) \\ 1.758 \\ 1.728 \\ 9.695 \\ 1.656 \\ 1.647 \\ 1.629 \\ 1.592 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 3 \\ 3 \\ 5 \\ 4 \\ 4 \\ 1 \\ 10 \\ 6 \\ 5 \\ 3 \\ 3 \\ 1 \\ 6 \\ 5 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \\ 7 \\ 6 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 4 \\ 1 \\ 6 \\ 4 \\ 3 \\ 9 \\ 1 \\ 8 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \\ 5 \\ 5 \\ \end{array}$	$\begin{array}{c}\\ 1,561\\ 1,542\\ 1,522\\ (1,510)\\ 1,477\\ 1,464\\ 1,447\\ 1,370\\ 1,362\\ 1,351\\ 1,343\\ (1,331)\\ 1,315\\ 1,303\\ 1,288\\ 1,274\\ 1,237\\ 1,220\\ 1,206\\ 1,196\\ 1,178\\ (1,168)\\ 1,132\\ 1,120\\ 1,178\\ (1,168)\\ 1,132\\ 1,120\\ 1,095\\ 1,087\\ 1,080\\ 1,068\\ 1,053\\ 1,044\\ 1,035\\ 1,028\\ 1,013\\ 1,010\\ 0,998\\ 0,989\\ 0,985\\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} 2\\ 10\\ 1\\ 3\\ 2\\ -\\ -\\ 5\\ 1\\ 10\\ -\\ -\\ 5\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\ -\\$	$(9,25) \\ 8,48 \\ 4,54 \\ 4,25 \\ 3,99 \\ \\ (3,47) \\ 3,40 \\ 3,25 \\ 3,15 \\ 2,97 \\ 2,88 \\ 2,74 \\ (2,61) \\ 2,55 \\ 2,40 \\ \\ 2,36 \\ \\ 2,36 \\ \\ 2,18 \\ (2,06) \\ 2,03 \\ \\ \\ (1,831) \\ \\ \\ (1,831) \\ \\ \\ (1,831) \\ \\ \\ \\ (1,624 \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ $	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{c}             1,565 \\             1,542 \\            $	

Section 4	S. States	Межплоскостные рассеяния в амфиболах	
Трубка	БСВ-1,	Fe — антикатод, без фильтра, Д = 57,3 мм, экспозиция 3 часа	

170 — зеленая роговая обманка-II из кварцево-альбитовых метасоматитов Калиостровского участка (Северная линза); 166-волокнистый амфибол-II из контакта кварцевых жилок с метасоматическим

магнетитом Калиостровского участка (Южная линза).

Анализы выполнены в Центральной лаборатории Западно-Сибирского геологоулравления Б. Г. Эренбургом.

Химический состав, оптические свойства, удельный вес, состав элементов-примесей и межплоскостные расстояния амфибола-II сведены в табл. 2 и 3. Пересчет химического анализа по способу И. Д. Борнеман-Старынкевич [3] на основе (x+y=13536): 13=1041 дал следующую кристаллохимическую формулу амфибола:

# $(Ca_{2.12}H_{3}O_{0.88})_{3.0} (Mg_{1.38}Fe_{3.18}^{+2}Fe_{0.21}^{+3}Ti_{0.01}Al_{0.23})_{5.0} [Si_{7.92}Al_{0.08}]_{8.0} \times$

# $\times O_{22} [(OH)_{1.33} Cl_{0.03} F_{0.03})_{1.39} O_{0.61}]_{2.0}.$

Как и в амфиболе-I, в амфиболе-II появляется незначительный избыток кальция (0,12), составляющий не более 0,77 вес % СаО, что, вероятно, обусловлено механическими примесями тонковкрапленного кальцита. В отличие от зеленой роговой обманки-I амфибол-II не содержит в своем составе Na и K, что обусловлено, вероятно, очень низким содержанием щелочей в окружающих скарнах в период отложения амфиболов и специфическим составом метаморфизирующих растворов или неточностью выполненного анализа. В целом кристаллохимическая формула (II) очень близка к формуле роговой обманки-1, как и оптические свойства (см. табл. 2). Наблюдается только меньшее содержание в амфиболе-II, что, по-видимому, объясняется несколько пониженным парциальным давлением кислорода (или повышением рН растворов) при ее образовании, нежели при отложении роговой обманки-1, как это экспериментально показано Эрнстом [6]. Если же сравнить содержание кислорода, заменяющего ОН в амфиболах-I и II, который может служить показателем насыщенности системы кислородом при их кристаллизации, то оказывается, что оно должно быть примерно одинаковым для тех и других. В целом эти системы должны характеризоваться несколько пониженным парциальным давлением кислорода. Вполне возможно, что некоторую роль при этом мог играть и фтор, содержание которого (в группе ОН) в амфиболе-ІІ вдвое больше, чем в роговой обманке-1, а последнее в известной мере могло сказаться на некоторых оптических свойствах роговой обманки-II. Так, например, показатели преломления амфиболов-II несколько меньше по сравнению с таковыми роговой обманки-I, хотя степень железистости в них примерно одинакова (fmI = 80,7 a fmII = 80,2).

При сопоставлении формулы (II) с формулой тремолита по методу И. В. Гинзбурга [8, 10], оптических свойств и рентгенограмм (табл. 3) для амфибола-II намечаются следующие изоморфные замещения:  $Mg^{+2} \rightarrow Al^{+3}$ , Fe<sup>+3</sup> и  $Mg^{+2} \rightarrow Fe^{+2}$  менее Si<sup>+4</sup>  $\rightarrow Al^{+3}$  и O'H<sup>-1</sup>  $\rightarrow$  Ci<sup>-1</sup>, F<sup>-1</sup>, O<sup>-2</sup>, что характерно для всех групп амфиболов [7].

Таким образом, и здесь химический состав, структурный тип кристаллической решетки, оптические свойства, плеохроизм в зелено-голубоватых тонах и преобладание изоморфизма, весьма характерного для амфиболов, позволяют отнести данный амфибол к ферротремолиту [8].

Роговая обманка-І была подвергнута термическому анализу. Дифференциальная кривая нагревания ее, показанная на рис. 1-1, в общем сходна с термическими кривыми амфиболов, опубликованными в литературе [1, 10, 11], и отличается от них несколько необычной конфигурацией и слабым проявлением эндотермических эффектов. Отчетливо устанавливаются три температурные остановки. До температуры 120— 130° происходит выделение главного количества адсорбционной воды, что фиксируется плавным характером кривых нагревания (рис. 1-1) и обезвоживания (рис. 1-2). Первый эндотермический эффект, в отличие от известных в литературе [11], значительно сдвинут вправо (появляется при температуре 610° вместо 450—520°) и, очевидно, отвечает началу дегидратации роговой обманки, когда выделяется конституци-

4. Заказ 5375.

49

(II)

онно-цеолитная вода, составляющая до 50% всей воды в минерале [10]. Выделение конституционной воды при сравнительно низкой температуре 500° без разрушения кристаллической решетки, как указывает В. С. Соболев [12], обусловлено окислением закисного железа в окисное, когда совершается изоморфная замена ионов  $OH^{-1}$  на  $O^{-2}$ . Согласно исследованиям Д. С. Белянкина и Е. В. Донской [1] при температуре 600° большая часть железа в амфиболах оказывается уже окисленной.

Второй эндотермический эффект при температуре 1020—1060° отмечает полное разрушение решетки амфибола и приводит к выделению остаточной конституционной воды с образованием клинопироксена и гематита [10].

Этим двум эндотермическим эффектам соответствуют резкие изломы на кривой потери в весе (рис. 1-2). До температуры 100° потеря в весе происходит постепенно и отмечается плавной кривой, характерной для выделения адсорбционной воды, и вес роговой обманки-I снижается на 1,2%. Затем при температуре 500—530° выделяется конституционная вода, что фиксируется на кривой обезвоживания (рис. 1-2), и при температуре 625—675° появляется второй скачок, который совпадает с первым эндотермическим эффектом (рис. 1-1), после чего образец вновь приобретает постоянный вес.

Следующая резкая убыль в весе, отвечающая полному выделению конституционной воды, наблюдается при температуре 870—920°, при этом вес минерала снижается на 2,3% от первоначального. Последнее согласуется с данными химического анализа (табл. 1). Эта убыль в ве-



Рис. 1. Термические кривые роговой обманки-I: 1—дифференциальная кривая нагревания роговой обманки-I; 2 — график потери веса роговой обманки-I при нагревании в воздухе

се не соответствует второму эндотермическому эффекту на кривой нагревания (рис. 1-1), поскольку, как известно, реакция не успевает за записью температур на пирометре [10]. Исследования многих авторов показывают, что потеря в весе при нагревании амфиболов на воздухе не соответствует убыли воды, так как при этом наряду с дегидратацией одновременно протекает процесс окисления двухвалентного железа в трехвалентное с присоединением кислорода воздуха и изменением оптических свойств минерала [1, 10, 11].

50

1. Метасоматические процессы, с которыми связано образование сине-зеленых роговых обманок, относятся к поздней щелочной стадии околотрещинного метасоматоза по классификации Д. С. Коржинского [14]. Высокая подвижность кремния и натрия и низкая подвижность алюминия и железа в зонах альбитизации, очевидно, характеризует низкотемпературную стадию метасоматоза.

2. Из анализа формул роговых обманок со всей очевидностью вытекает тесная связь их состава с составом среды, в которой они образуются. На это неоднократно указывали для амфиболов многие исследователи [7, 12, 13, 14, 15, 16]. Достаточно напомнить, что значительная железистость наших амфиболов, по-видимому, обусловлена повышенным содержанием в составе ранее образованных метасоматических пород кремнезема и натрия. Отношение MgO: FeO: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (I-1,5:5,1: :1,0 и II-3,3:13,7:1,0) является особенно чувствительным показателем щелочности при данной температуре, поскольку MgO более сильное основание, чем FeO, и, тем более, чем Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Соответственно этому весьма высокое содержание двухвалентного железа в изученных амфиболах может в некоторой мере служить показателем повышенной щелочности среды, что подтверждается и полевыми наблюдениями над минеральными парагенезисами. Заниженное содержание глинозема в изученных амфиболах по сравнению с описанными в литературе метасоматическими амфиболами [14], очевидно, обусловлено как инертностью поведения алюминия в метасоматическом процессе, так и незначительным его содержанием в растворах, формировавших амфиболы. По-видимому, в начальный этап метасоматоза почти весь алюминий, извлекаемый из боковых пород, шел на построение альбита, н к периоду отложения роговых обманок его концентрация в растворах резко снизилась.

3. Общей особенностью изученных амфиболов является сине-зеленый плеохроизм, пониженные показатели преломления при высоком содержании железа и гидроксила. Согласно общей железистости (fm % = 80,7 и 80,2) оба амфибола попадают на вариационную линию, которая построена для сине-зеленых роговых обманок из кристаллических сланцев и роговиков и не сопоставляется с метасоматическими сине-зелеными роговыми обманками из других районов [14]. В то же время они достаточно отчетливо обособляются от высокотемпературных роговых обманок [13]. Общая железистость, полученная на основании оптических данных, амфиболов-I и II по кривой 1, построенной для метасоматических роговых обманок [14], составляет 33-39 молекулярных процента. Такое резкое отклонение от данных химанализов (более чем вдвое) не позволяет пользоваться указанным графиком. Очевидно, все это констатирует то обстоятельство, что формирование описываемых сине-зеленых роговых обманок метасоматической фации. происходило в специфических условиях.

Несколько пониженное двухпреломление обоих амфиболов и снижение углов 2V и cNg (2V до 56° и cNg до 14—16°), по-видимому, объясняются значительными замещениями Mg+<sup>2</sup> и Al+<sup>3</sup> на Fe<sup>+2</sup> и Fe<sup>+3</sup>, происходящими в решетке, и не столько связаны с внутренним двойникованием ячеек [4] или появлением микроблочности [7]. Как указывает В. С. Соболев [12], такая замена влечет за собой значительное изменение 2V и даже ориентировки эллипсоида. Таким образом, полученные нами данные еще раз подтверждают заключение В. С. Соболева о том, что в амфиболах увеличение содержания железа закономерно уменьшает отрицательный угол оптических осей.

51

Появление синей окраски в шлифах у описываемых амфиболов, вероятно, связано также с повышением содержания закисного и окисного железа, точнее, их особым положением в структуре минералов в присутствии гидроксила и частично натрия [12].

4. Нередкая пространственная приуроченность золотин к железистым амфиболам и обнаружение последних в зонах гидротермального метаморфизма пород может служить одним из поисковых критериев на рудное золото в районе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Д. С. Белянкини Е. В. Донская. Термооптическое исследование минерала актинолита. Изв. АН СССР, сер. геол., № 1, 1939.

2. Г. Б. Бокий. Кристаллохимия, Изд. МГУ, 1962.

3. И. Д. Борнеман-Старынкевич. Химическая формула минералов, т. IV,

Амфиболы. Зап. Всес. Мин. о-ва, ч. 89, вып. 2, 1960. 4. И. В. Гинзбург. Гастингсит зоны щелочно-гранитного метасоматоза и изо-морфизм в моноклинных амфиболах. Тр. Минерал. музея, вып. 10, 1961. 5. И. А. Гинзбург, Г. А. Сидоренко, Д. Л. Рогачев. О зависимости

между главными изоморфными замещениями и некоторыми параметрами кристаллической структуры амфиболов. Тр. Минерал. музея, вып. 11, 1961. 6. И. В. Гинзбург, Г. В. Юхневич. О ионе гидроксония в амфиболах. Гео-

химия, № 1, 1962. 7. И. В. Гинзбург. О трех необычных роговых обманках гранитных пород. Тр.

Минерал. музея, вып. 13, 1962.

8. У. А. Диридр. Породообразующие минералы. Изд. Мир, 1966.
9. Д. С. Коржинский. Метасоматическая зональность при околотрещинном метаморфизме и жилы. Зап. Всес. мин. о-ва, ч. 85, вып. 4, 1947.
10. Л. Н. Овчинников. Контактово-метасоматические месторождения Среднего

и Северного Урала. Тр. Горно-геол. ин-та УФАН СССР, вып. 39, 1960. 11. Л. Н. Овчинников, А. С. Шур, Н. Т. Елькина. Термоаналитическое ис-

следование амфиболов некоторых скарновых зон Урала. Тр. Первого совещания по термографии. М., Изд. АН СССР, 1953.

12. В. С. Соболев. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львов. гос. универ., 1949. 13. В. С. Соболев. Значение железистости фемических минералов и вспомога-

тельные диаграммы для определения составов биотитов, роговых обманок и ромби-ческих пироксенов. Минерал. сб. Львов. геол. о-ва, № 4, 1950.

14. Л. И. Шабынин. Еще раз о значении железистости фемических минералов.

Минерал. сб. Львов. геол. о-ва, № 12, 1958. 15. G. W. de Vore. The association of stringli polarizing cations with Weakly polarizing cations influence in element distribution, mineral composition and cristal growth. I. Geol., № 2, 1957. 16. R. Kretz. The distribution on certain elements among coexisting, calcic pyro-

xenes, calcic amphiboles and biotites in skarns. Geoch. Cosm. Acta, № 3-4, 1960.