

И. В. ГИНЗБУРГ

О ТРЕХ НЕОБЫЧНЫХ РОГОВЫХ ОБМАНКАХ
ИЗ ГРАНИТНЫХ ПОРОД

В большинстве щелочноземельных гранитных пород в качестве одного из темноватых минералов обычно отмечают обыкновенную зеленую роговую обманку. При геолого-петрографических исследованиях в различных районах СССР автор обнаружил в гранитных породах нормального ряда роговые обманки, выделяющиеся необычными для них свойствами. Так, роговая обманка из Хакасии отличалась пониженным значением $2V$ и резкой шагреновой поверхностью; роговая обманка из Тувы имела бурую окраску в зернах, а роговая обманка с Кольского полуострова выделялась очень высокими показателями преломления.

Последующее изучение, результаты которого приводятся ниже, позволило рассмотреть вероятные причины появления необычных свойств у описываемых минералов. Образцы их хранятся в Минералогическом музее АН СССР.

ГАСТИНГСИТ ЭНДОКОНТАКТОВОЙ ЗОНЫ ГРАНОДИОРИТОВ
КУЗНЕЦКОГО АЛА-ТАУ

Среди гранитоидных массивов Кузнецкого Ала-Тау (Дембо, 1956), в северо-восточной его части находится крупная Салгоно-Тигертызская интрузия с золоторудным проявлением в приконтактных зонах. Эндоконтактные образования этой интрузии, исследованные автором в 1944 г., при всем разнообразии вещественного состава и сложения, обладают одним общим признаком — присутствием роговой обманки, принадлежащей, как теперь выявлено, к гастингситу.

Грапидиориты центральных частей интрузии гипидиоморфнозернисты и состоят из плагиоклаза (№ 20—24), отчетливо решетчатого микроклина (частью микроклин-пертита), биотита, кварца и акцессорной примеси пирита и апатита. В эндоконтактных зонах уменьшается содержание микроклина и биотита (до полного исчезновения), убывает количество кварца, наряду с появлением роговой обманки, а в отдельных случаях пироксена типа диосид-авгита. Эти изменения минерального состава эндоконтактных пород отражают химическую направленность процесса взаимодействия гранитоидной магмы с вмещающими породами: обеднение эндоконтактных зон К и отчасти Al, при обогащении Са, Mg, Fe и O (замена биотита амфиболом и далее широкосеном). Эндоконтактные породы по составу более или менее отвечают тоналитам, кварцевым диоритам, диоритам, габбро-диоритам. Они характеризуются широким развитием наложенных постмагматических процессов замещения; серицитизацией, хлоритизацией,

каолинизацией, эпидотизацией и пиритизацией, которые сопровождают золоторудную минерализацию. Текстурно-структурный облик этих пород во многом определяется распределением оптически сходного гастингсита, игольчатые (0,005—0,5 мм в длину) кристаллы которого рассеяны неравномерно и в различных количествах.

Крупные (0,5—4 см в длину) кристаллы гастингсита, образующие округлые скопления до 10—20 см, встреченные в карьере на левом берегу ключа Железный, ниже пос. Случайный, послужили материалом для дальнейшего изучения. Эти скопления гастингсита находятся в эндоконтактном лейкократовом тоналите, контактирующем с порфиритами (плоскость контакта 320° , падение $230^\circ \angle 60-65^\circ$). Порфириты согласно контакту расщеплены, осветлены, с округлыми сосюритовыми псевдоморфозами по вкрапленникам плагиоклаза. Уже в 1 м от контакта они принимают обычный вид с отчетливыми вкрапленниками (до 1,5—3 мм) плагиоклаза и роговой обманки в тонкозернистой (~0,01 мм) основной массе. Эндоконтактный серый тоналит местами розовый, в связи с изменением плагиоклаза, и обогащен пиритом по трещинкам.

Гастингситовые скопления содержат до 10% частично измененного плагиоклаза (№ 20—30), отчего отвечают некоторым горнблендитам или амфиболитам¹ с офитовой структурой. Минералы примеси: хлорит, биотит, сфен, апатит, пирит, магнетит, ильменит находятся между зернами гастингсита и в краевых частях зерен, иногда проникая в плагиоклаз.

Гастингсит в породе и в зернах темно-зеленый, просвечивает только в тонких сколах; в шлифах — с резкой пагренево-голубоватой поверхностью, полупрозрачный, со слабо выраженным плеохроизмом (соответственно в обычных и тонких срезах): Ng голубовато-зеленый, светло-зеленовато-голубоватый;

Таблица 1

Химический состав и свойства гастингсита

Оксиды	Вес. %	Примеси	Вес. %	Свойства
SiO ₂	39,98	Li ₂ O	0,006	Оптические константы $n_{Ng} = 16 \pm 2^\circ$ $2V = (-) 50 \pm 2^\circ$ $N_g 1,684 \pm 0,002$ $N_p 1,668 \pm 0,002$ $N_g - N_p = 0,016$ $N_g \geq N_m > N_p$ (определено И. В. Гинзбург в белом свете)
TiO ₂	4,18	Cs ₂ O	0,003	
Al ₂ O ₃	12,07	Rb ₂ O	0,003	
Fe ₂ O ₃	5,36	Аналитик В. М. Некрасова		
FeO	9,46			
MgO	11,23	V — 0,05 — 0,5		
MnO	0,18	Cu — 0,0005 — 0,005		
CaO	12,44	Sr 0,05 — 1,0		
Na ₂ O	1,83	Аналитик С. И. Егорова		
K ₂ O	1,53			
H ₂ O ⁻	0,15	Уд. вес 3,040 (определено В. А. Амелиной на весах Вестфали)		Параметры ячейки $a_0 9,82$ $b_0 18,06$ $c_0 5,39 \text{ \AA}$ $\beta 74^\circ 53'$ (вычислено Г. А. Сидоренко по дебаграмме)
H ₂ O ⁺	1,65			
F	0,12			
Сумма	100,18			
Аналитик В. М. Некрасова				

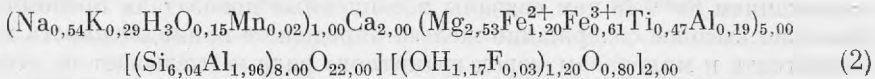
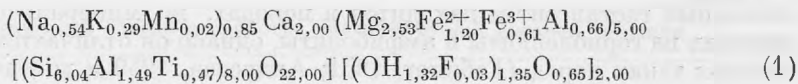
¹ Частичный химический анализ гастингситового скопления (вес. %) — Al₂O₃ + Fe₂O₃ = 14,45; CaO + MgO = 18,97 — показал соответствие содержания найденных сумм окислов с таковыми горнблендитов и плагиоамфиболитов (аналитик автор).

Nm зеленый, светло-зеленоватый; Np буровато-зеленоватый, буровато-желтый. Двойники по (010).

При увеличениях в 100 раз шагреневая поверхность у минерала исчезает и он представляется состоящим из множества мельчайших удлинённых зернышек, ориентированных оптически одинаково. Такое несовершенное строение гастингсита наблюдается и на рентгенограммах, снятых Г. А. Сидоренко: отражения на дебаеграммах сильно диффузны, а лауэ-грамма — с очень большим количеством точек на участках каждого рефлекса. Последнее характеризует своеобразную микромозаичную структуру минерала, при которой группа блок-кристаллов несколько смещена относительно других пучков, но структура асбеста еще не возникла.

Результаты химического анализа тщательно отобранного гастингсита, состав примесей, удельный вес, оптические константы и размеры элементарной ячейки приведены в табл. 1. Показательно высокое содержание стронция и примесь лития, рубидия и цезия. Повышенное значение 2V и плохая прозрачность связаны здесь с микрооблачной структурой минерала, а не с проявлением внутреннего двойникования ячеек (Гинзбург, Белова, 1960).

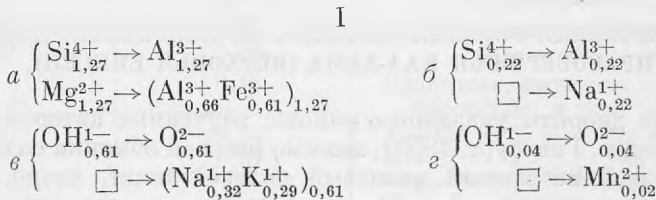
Расчет химического анализа по способу Борнеман-Старынкевич (1960) на основе $(x + y = 14327) : 13 = 1102$ дал следующие две формулы¹:



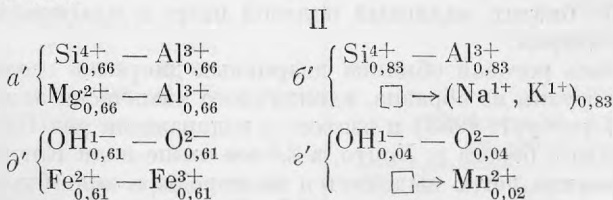
В формуле (2) вхождение H_3O^{+1} в структуру амфибола показано расчетным путем (Борнеман-Старынкевич, 1960) и экспериментально в инфракрасной области спектра (Гинзбург, Юхневич, 1962; обр. № 6).

Обращает на себя внимание отвечающее теоретическому почти идеальное распределение катионов по структурным позициям, что у амфиболов является большой редкостью.

Состав гастингсита определяется следующими изоморфными замещениями (выявляемыми при сопоставлении его формулы (1) с формулой тремолита):



Прямоугольник здесь и дальше означает пустое место между октаэдрами — позицию «А».



¹ Количество определенной H_2O^{+} точно входит в формулу минерала; отброшен избыток Ca = 0,01, что составляет 0,0025 вес. % CaO.

Замещения: a , a' свойственно чермакиту; b и b' — эдениту, а их сочетания характеризуют гастингсит; c , d , g , g' — наблюдаются во всех группах амфиболов (Гинзбург, 1961).

Оптические свойства (табл. 1) и дифракционная картина дебаеграммы типа гастингсита А (Гинзбург, Сидоренко, Рогачев, 1961) позволяют отдать предпочтение I варианту замещений, с преобладающей ролью замещения a и с отсутствием замещения d . II вариант замещений, в котором осуществляется замещение d , т. е. замена $\text{OH}^{1-} \text{O}^{2-}$ и $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$, мало вероятен, так как минерал не окрашен в бурый цвет.

Структурный тип дебаеграммы, плохая прозрачность, неотчетливый плеохроизм, величина угла оптических осей, преобладание изоморфизма $\text{Si} \rightarrow \text{Al}$; $\text{Mg} \rightarrow \text{Al}$ — все это дает основание отнести данный амфибол к гастингситу.

Приведенный пример эндоконтактового гастингсита, вопреки мнению Виноградской (1959), указывает на связь состава амфибола с составом содержащих его пород.

Существенно плагиоклазовые богатые Са гранитные породы — тоналиты и кварцевые диориты — сопровождаются насыщенным Са амфиболом. На составе гастингсита сказались также обогащенность эндоконтактовых зон такими элементами, как Ti, Sr, и концентрация в них Rb, Cs, Li. Хотя описанный гастингсит и находится в породах, по минеральному составу похожих на горнблендиты и амфиболиты, однако он отличается от роговых обманок таких пород (Габинет, 1951; Андреева, 1959 и др.) повышенным содержанием Fe^{2+} (с чем связаны повышенные показатели преломления). Довольно высокое содержание железа определяет принадлежность нашего гастингсита к минералам пород гранитного ряда и указывает на его образование в условиях повышенной щелочности (Коржинский, 1950) по сравнению с образованием роговых обманок отмеченных основных пород.

Эндоконтактовые разновидности гранитов — кварцевые диориты и тоналиты — вероятнее всего, возникли в процессе диффузионного магматического замещения (ассимиляции) вмещающих пород. Гастингситовые скопления могли возникнуть в результате наиболее интенсивного проявления диффузионно-магматического замещения, а не в результате позднематической переработки ксенолитов порфиритов в твердом состоянии.

БАЗАЛЬТИЧЕСКАЯ РОГОВАЯ ОБМАНКА ИЗ КВАРЦЕВЫХ ДИОРИТОВ ПРАВОБЕРЕЖЬЯ КАА-ХЕМА (ВЕРХОВЬЯ ЕНИСЕЯ)

Кварцевые диориты указанного района, изученные автором в 1945—1946 гг. (Лебедев, Гинзбург, 1958), помимо роговой обманки содержат плагиоклаз, пседвойникованный калиевый полевой шпат, кварц, пироксен, биотит, магнетит, циркон, сфен. В породах, по новым данным, устанавливаются следующие парагенетические ассоциации (в последовательности появления): пироксен и плагиоклаз № 50—45; роговая обманка и плагиоклаз № 45—35; биотит, калиевый полевой шпат и плагиоклаз № 35—25, в присутствии кварца.

Исследовалась роговая обманка кварцевых диоритов северной части Байсутской интрузии из образца, идентичного химически анализированному (Лебедев, Гинзбург, 1953) и взятого с водораздела рек Брень — Хопто, со стороны правого берега р. Хопто, в 2,5 км выше пади Ключиной.

Роговая обманка легко выделяется из породы в виде бурых (коричневых) короткостолбчатых кристаллов 0,5—3 мм длиной и 0,2—1,5 мм шириной. Кристаллы ее с хорошо развитыми ровными блестящими гранями. Всегда наблюдались широкая призма (110) и верхний пинакоид (001),

реже боковой пинакоид (010), еще реже узкий передний пинакоид (100) и грани головки (101), (011).

Под микроскопом амфибол с правильными очертаниями, идиоморфный. Некоторые его зерна содержат мельчайшие включения кварца или более крупные пластинки слюды, окаймленные скоплениями зернышек магнетита. Реликты пироксена отсутствуют, сростания с биотитом неориентированные. Спайность совершенная по призме и едва выражена по (010). Редки двойники по (110), а также сростки отдельных кристаллов под углом 15—45° к спайности по призме. Угол между спайностью по призме ~ 55°.

Большинство кристаллов однородные, плеохроирующие по схеме соответственно в обычных и более толстых срезах: Ng тускло-зеленый или серовато-зеленый; Nm — зеленовато-бурый или зелено-бурый; Np — серовато-желтый или буровато-желтый (измерено в белом свете). Незначительная часть зерен с краев и по трещинам несколько изменена и обладает голубоватыми тонами плеохроизма. Оптические и физические константы и химический анализ тщательно отобранной пробы минерала приведены в табл. 2.

Окраска минерала в зернах, тона плеохроизма, высокое содержание окисного железа — все это позволяет называть изученную роговую

Таблица 2

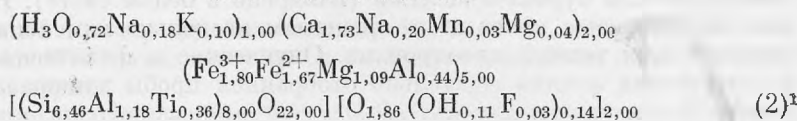
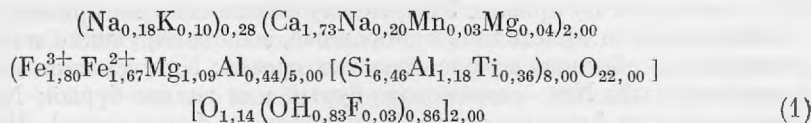
Химический состав и свойства базальтической роговой обманки

Окислы	Вес. %	Свойства
SiO ₂	41,35	Оптические константы cNg 15° ± 30' 2V (—) 60° ± 1° дисперсия не выражена Ng 1,677 ± 0,003 Nm 1,670 ± 0,003 Np 1,666 ± 0,003 Ng > Nm > Np (ρ — красный свет, λ 735 мμ ν — синий свет, λ 470 мμ) (—) 2V = 71°ρ и 58°ν cNg = 15°ρ и 16°30'ν Наклонная дисперсия оптических осей, биссектрис и осей индикатрисы: A = 11°, (ρ > ν) Ng = 48' B = 2°, (ρ < ν) Nm = 30' } (ρ > ν) cNg = 1°30' } (ρ < ν) Np = 36' (определено И. В. Гинзбург)
TiO ₂	3,08	
Al ₂ O ₃	8,79	
Fe ₂ O ₃	15,29	
FeO	12,77	
MgO	4,85	
MnO	0,22	
CaO	10,33	
Na ₂ O	1,25	
K ₂ O	0,49	
H ₂ O ⁻	0,25	
H ₂ O ⁺	0,69	
F	0,18	
Сумма	99,54	
O = F —	0,07	
Сумма	99,47	
Аналитик В. М. Некрасова		
Примеси:		Параметры ячейки a ₀ 9,91 b ₀ 18,30 c ₀ 5,27 Å β 75°04' (вычислено Г. А. Сидоренко по дебаграмме *)
	V 0,05	
	Zr, Cu, Cr 0,05 —0,005	
	Ni, Sc 0,005 —0,05	
	Be 0,0005—0,005	
Аналитик С. И. Егорова		
Средняя магнитная восприимчивость χ = 12,17·10 ⁻⁶ см ³ /г (определена Г. Л. Адян)		Уд. вес 3,17 (определено Е. П. По- годиной методом гидростатического взвешивания)

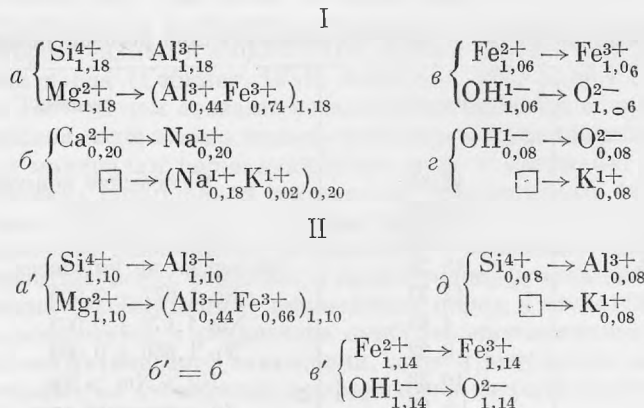
* Дебаграмма с четкими отражениями.

обманку базальтической, несмотря на пониженные значения показателей преломления.

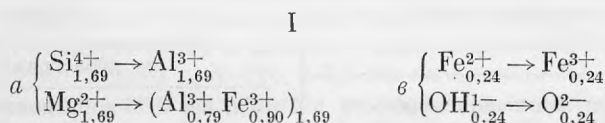
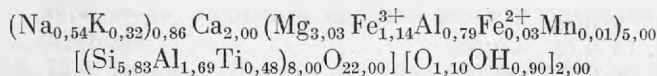
Расчет формулы минерала выполнен на основе (O, OH, F) : 24, так как другие основы (Борнеман-Старынкевич, 1960) не подходят. В первом варианте подсчета на основе $25\ 536 : 24 = 1064,00$ получен недостаток OH = $= 0,07$, что составляет $\sim 0,07\ H_2O$ и восполняется за счет H_2O^- . При отнесении $0,07\ H_2O^-$ к H_2O^+ основа расчета увеличивается — $25575 : 24 = 1065,64$. Результаты второго варианта расчета следующие:



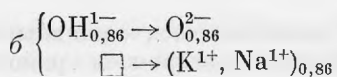
Для формулы (1), исходя из состава тремолита, вероятны следующие изоморфные замещения:



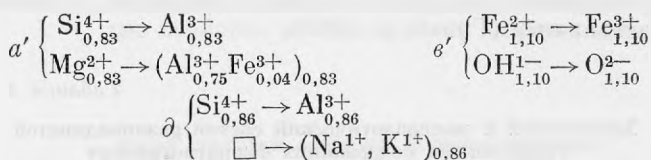
Оптические константы базальтической роговой обманки и структурный тип дебаеграммы (Гинзбург, Сидоренко, Рогачев, 1961) допускают замещения обоих вариантов — I и II. Количественно преобладающие замещения определяют принадлежность минерала к группе базальтических (ϵ и ϵ') роговых обманок (a и a'). Замещение b и b' присуще рихтериту. Характерной особенностью данной базальтической роговой обманки является то, что почти все (I) или все (II) Fe^{3+} у нее связано с окислением Fe^{2+} , т. е. с заменой OH на O. У классической базальтической роговой обманки базальтов Чехословакии (Heritsch, Riechert, 1960) формула и изоморфные замещения близки к нашей:



¹ H_3O^+ найдено экспериментально (Гинзбург, Юхневич, 1962; обр. № 4).



II



У другой базальтической роговой обманки из Штеермарк (Heritsch, Bertoldi, Walitzi, 1960) в полученном нами I варианте замещений Fe^{3+} совсем не связано с замещением OH на O. Получается, что роговая обманка глубинных пород — гранитоидов — строго говоря, более базальтическая, т. е. более окисленная, чем роговая обманка излившихся пород базальтов из Чехословакии и особенно из Штеермарк.

Обе роговые обманки базальтов содержат больше Mg, чем наша, так как они входят в состав основных пород.

Нахождение базальтической роговой обманки в породах гранитного ряда отмечается впервые. Ее присутствие в гранитных породах свидетельствует о высоком потенциале кислорода в них в период кристаллизации роговой обманки, т. е. повышенный потенциал кислорода, достаточный для перехода почти всего Fe^{2+} в Fe^{3+} , возможен в условиях кристаллизации магмы не только на земной поверхности, но и в глубинах земли. В данном случае условия образования, выразившиеся в высоком парциальном давлении кислорода (достигнутом в земной коре), определили собою состав и свойства амфибола.

Бурю окраску базальтической роговой обманки, керсутитов и катафоритов эффузивных пород связывают с явлениями их окисления при извержении. Рассмотренная базальтическая роговая обманка гранитоидов, подобно керсутиту интрузивных пород, приобрела бурю окраску при глубинных процессах минералообразования. Экспериментально бурая окраска амфиболов получена при температуре 900° (предшествующей их разрушению), независимо от исходной их окраски и первоначального отношения $\text{Fe}^{2+} : \text{Fe}^{3+}$. Более подробно это явление будет рассмотрено в другой работе автора. Однако уже сейчас можно сделать вывод о том, что бурая окраска природных амфиболов (базальтической роговой обманки, баркевикита, керсутита, антофиллита, катафорита и др.) не связана непосредственно с количеством в них Fe^{3+} . Не исключено, что бурая окраска природных и стожженных амфиболов является результатом своеобразного их состояния, аналогичного установленному в оливинах, богатых окисным железом (Гинзбург, Лисицина и др., 1962). Это состояние характеризует начальную стадию распада минерала с выделением необычайно тонкодисперсного Fe_2O_3 , которое не улавливается рентгеном и инфракрасным спектром, но проявляется в буро-черной окраске и теоретически определяется расчетом формулы минерала.

ФЕРРИГАСТИНГСИТ МИКРОКЛИНОВЫХ ГРАНИТОИДОВ ВЕРХОВЬЯ Р. АЧИ (СЕВЕРО-ВОСТОК КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА)

Микроклиновые гранитоиды верховья р. Ачи слагают краевую часть огромного Мурманско-Иоканьтского массива. Они имеют облик мигматитов и, очевидно, возникли в процессе магматического замещения, сопровождаемого образованием гранитной магмы.

Отдельные, наиболее отличающиеся составные части этих мигматитовых гранитоидов, изученных автором в районе горы Каютынской в 1952 г., характеризуются следующим вещественным составом (табл. 3). Некоторые дополнительные данные об этих породах и слагающих их минералах приведены ранее (Гинзбург, 1960).

Таблица 3

Химический и минералогический состав разновидностей гранитоидов, содержащих ферригастингсит

	1	2	3
SiO ₂	63,85	67,88	71,78
TiO ₂	0,72	0,52	0,45
Al ₂ O ₃	15,93	14,47	13,62
Fe ₂ O ₃	2,26	2,97	2,21
FeO	2,51	2,21	1,13
MgO	2,70	1,16	0,26
CaO	3,85	2,71	2,07
Na ₂ O	4,36	3,30	2,11
K ₂ O	3,03	4,44	5,69
P ₂ O ₅	0,03	—	0,04
MnO	0,09	0,06	—
H ₂ O ⁻	0,08	—	0,21
П.п.п.	0,31	0,27	0,79
Сумма	99,72	99,99	100,36
Микроклин	—	60,0	34,6
Плагиоклаз	56,2	16,6	36,2
Кварц	8,3	7,0	18,3
Бiotит	21,7		8,0
Ферригастингсит	2,0	} 13,5	1,4
Пироксен	4,9		—
Ортит	2,8	—	—
Апатит	1,2	0,4	0,4
Сфен	1,6	—	0,6
Рудные	1,3	2,5	0,5
Сумма	100,0	100,0	100,0

1 — кварцевый диорит. Юго-западный отрог горы Каютынской.
2 — кварцевый сиенит. Вершина горы Каютынской. 3 — гранит. Северо-западнее оз. Чили-Явр. Аналитики 1 и 3 В. Г. Загинайченко, 2 — Е. А. Кульчицкая.

Состав пород и содержание в них ферригастингсита непостоянны. Количество последнего колеблется от 0,5 до 20 объемных процентов. С увеличением содержания в породах микроклина и уменьшением плагиоклаза количество роговой обманки убывает до полного исчезновения.

Ферригастингсит горы Каютынской в зернах зеленовато-черный, в краях и тонких сколах слабо просвечивающий темно-зеленым, в порошке зеленый, черта зеленая. Он образует короткостолбчатые или шестоватые кристаллы (0,5—1,5 мм) без вертикальной штриховки на гранях призмы

(110) без головок. В породе образует скопления, сопровождаемые пироксеном, биотитом и акцессорными минералами. Под микроскопом ферригастингсит сильно плеохроирует: Ng ярко-зеленый, Nm желто-зеленый или буро-зеленый, Np зеленовато-желтый. Заметна дисперсия оптических осей: $\rho < \nu$. Остальные свойства минерала и его химический состав помещены в табл. 4.

Химический состав и свойства ферригастингсита

Таблица 4

Состав		Свойства
Окислы	Вес. %	
SiO ₂	39,20	Оптические константы $cNg 10^\circ \pm 2^\circ$ $2V(-) 65^\circ \pm 1,5^\circ$ $Ng 1,686 \pm 0,002$ $Nm 1,680 \pm 0,002$ $Np 1,674 \pm 0,002$ $Ng - Np = 0,012$ $Ng > Nm > Np$ (определено И. В. Гинзбург в дневном свете)
TiO ₂	4,00	
Al ₂ O ₃	13,97	
Fe ₂ O ₃	17,58	
FeO	0,95	
MgO	10,85	
MnO	0,85	
CaO	9,10	
Na ₂ O	1,46	
K ₂ O	1,66	
H ₂ O ⁻	0,38	
H ₂ O ⁺	0,55	
Cl	Нет	
F	0,40	
Сумма	100,68	Параметры ячейки $a_0 9,87$ $b_0 18,17$ $c_0 5,37 \text{ \AA}$ $\beta 74^\circ 20'$ (вычислено Г. А. Сидоренко по дебаеграмме)
-- O = F	0,17	
	100,51	
Аналитик Р. Л. Тимофеева		Уд. вес 3,20 (среднее из двух определений И. В. Гинзбург и В. А. Амелиной на весах Вестфали)
Примеси:		
Nb 0,01 — 0,1		
Sn 0,001 — 0,01		
Zn, Zr } 0,005 — 0,05		
V, Sc }		
Be, Cu 0,0005 — 0,005		
Аналитик С. И. Егорова		

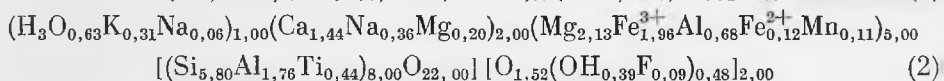
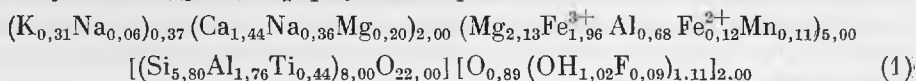
Зерна ферригастингсита под микроскопом при самых больших возможных увеличениях представляются монокристалльными, что подтверждается рентгеновски: его дебаеграмме и лауэграмме (полученным Г. А. Сидоренко) свойственны четкие отражения.

Химический анализ ферригастингсита, свободного от посторонних включений, был сделан микрометодом из навески ~1,500 мг, что позволило выполнять по несколько контрольных определений, давших хорошую сходимость.

В ходе расчета формулы минерала из цифр анализа выявлено, что всю определенную воду H₂O⁺ и H₂O⁻ надо считать входящей в кристаллическую структуру минерала. Из сравнения основ расчета найдено, что формула минерала должна рассчитываться на основе (O, OH, F) : 24 = 27 003 : : 24 = 1125,1. Вычислено по сумме валентностей катионов 0,90 OH, а

определено из цифр анализа 0,905 OH, что находится в пределах допустимой погрешности расчета.

Получена следующая формула минерала:



Если производить возможные замещения в формуле (1), взяв за исходный тремолит, то получатся те же группы замещений, что у базальтической роговой обманки Тувы, мало отличающиеся и количественно. Если производить изоморфные замещения в формуле (2), где есть H_3O^{1+} , то появится дополнительная группа замещений: $OH_{0,63}^- \rightarrow O_{0,63}^{2-}$; $\square \rightarrow H_3O^{1+}$. Аналогичное замещение имеет место и у двух предыдущих амфиболов в формулах (2), составленных с учетом H_3O^{1+} .

Ферригастингсит Кольского полуострова, как и описанный выше гастингсит Хакассии, близки по содержанию O в позиции гидроксила. Однако

Таблица 5

Значения межплоскостных расстояний изученных роговых обманок

Гастингсит				Базальтическая роговая обманка						Ферригастингсит			
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
8,17	9	1,201	1	8,4	10	1,720	1	1,175	1	3,71	1	1,149	1
3,35	5	1,083	3	4,94	5	1,690	4	1,168	1	3,35	3	1,085	3
3,25	4	1,051	5	4,58	4	1,653	7	1,153	1	3,13	9	1,054	6
3,11	7	1,029	6	3,38	6	1,626	4	1,140	1	2,94	2	1,036	5
2,97	4	1,017	1	3,27	5	1,589	8	1,130	1	2,698	10	1,0	
2,83	3	0,989	6	3,13	9	1,564	2	1,119	1	2,581	9	1,0	
2,69	10	0,982	1	2,99	3	1,543	3	1,092	1	2,538	7	—	—
2,57	8ш	—	—	2,96	6	1,524	6	1,085	5	2,332	8	—	—
2,31	2ш	—	—	2,80	4	1,508	6	1,065	1	2,152	7	—	—
2,15	4	—	—	2,70	10	1,477	2	1,054	7	2,001	6	—	—
2,04	3ш	—	—	2,60	7	1,465	2	1,051	7	1,964	1	—	—
1,686	1	—	—	2,55	8	1,445	8	1,043	1	1,872	1	—	—
1,645	4	—	—	2,39	1	1,370	6	1,036	4	1,820	1	—	—
1,611	1	—	—	2,34	7	1,361	1	1,017	1	1,694	1	—	—
1,581	5	—	—	2,29	2	1,342	5	1,012	2	1,649	2	—	—
1,543	1	—	—	2,22	1	1,327	1	1,007	2	1,626	1	—	—
1,517	1	—	—	2,17	8	1,318	6	0,9886	8	1,581	7	—	—
1,498	2	—	—	2,02	7	1,301	6	0,9825	7	1,511	2	—	—
1,440	8	—	—	1,982	1	1,285	3	0,9807	7	1,442	8	—	—
1,363	3	—	—	1,940	1	1,278	3	—	—	1,367	5	—	—
1,338	4	—	—	1,894	1	1,234	1	—	—	1,344	1	—	—
1,307	3	—	—	1,872	3	1,221	1	—	—	1,203	1	—	—
1,295	1	—	—	1,820	3	1,206	6	—	—	1,195	1	—	—
1,281	1	—	—	1,757	3	1,195	1	—	—	1,166	1	—	—

Условия съемки: Fe-излучение; $D = 57,3$; $d = 0,4$ мм; d/n приведены в kX .

в первом из них втрое больше Fe^{3+} , что определяет более высокий потенциал кислорода при его образовании. Судя по содержанию Fe^3 , потенциал кислорода при образовании ферригастингсита мог соответствовать таковому при кристаллизации базальтической роговой обманки Тувы. В ферригастингситах Fe^{3+} больше, чем в последней, а Fe^{3+} , связанного с $OH^{1-} \rightarrow O^{2-}$, меньше. Видимо, это указывает на некоторую связь данного замещения с бурой окраской. У амфиболов с Fe^{3+} , находящихся в других гетероизоморфных парах (Гинзбург 1961): 1) $Si^{4+} \rightarrow Al^{3+}$; $Mg^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ и 2) $Ca^{2+} \rightarrow Na^{1+}$; $Mg^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$, бурая окраска не отмечалась. Данный амфибол назван ферригастингситом, а не базальтической роговой обманкой из-за отсутствия бурой окраски. В нем TiO_2 — 4%, но он не бурый, как керсутит. По аналогии с пироксенами (Цветков, 1951) принимаем, что здесь Ti четырехвалентный и входит в тетраэдр (см. расчет) и допускаем, что Ti^{4+} в тетраэдрах не окрашивает минерал в бурый цвет.

Ферригастингсит в щелочноземельных гранитных породах ранее не отмечался, он известен в некоторых сиенитах и щелочных сиенитах.

У биотита гранитоидов горы Каютынской содержание Fe_2O_3 , хотя и меньше FeO ¹, но последнее выше содержания, обычного для биотита гранитоидов, и приближается к таковым сиенитов. Клинопироксен этих гранитоидов оптически близок геденбергиту, но зеленый в зернах, как ферриавгит или фассаит, что указывает на повышенные количества в нем Fe_2O_3 .

Итак, все темноцветные минералы пород горы Каютынской обнаруживают высокое значение Fe^{3+} , что служит признаком высокого потенциала кислорода при их образовании.

НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ

1. Все три описанных амфибола относятся к группе обыкновенных роговых обманок, структурному типу гастингсита А (Гинзбург, Сидоренко, Рогачев, 1961). Общей их особенностью является повышенное содержание кислорода, занимающего позицию гидроксила. В связи с этим предлагается различать «бедные водою» и «богатые водою» амфиболы.

Среди «бедных водою» амфиболов выделяются бурые разновидности, в частности базальтическая роговая обманка, керсутит, катафорит, баркевикит и другие, в которых все или почти все Fe^{3+} связано с замещением OH^{1-} на O^{2-} . В остальных «бедных водою», но не бурых амфиболах только часть Fe^{3+} связана с O^{2-} , а главная часть Fe^{3+} находится в других гетероизоморфных парах (Гинзбург, 1961):



Термины «базальтический» и «окисленный» могут применяться лишь к амфиболам, бурым в зернах и в шлифах.

2. Состав и некоторые свойства амфиболов до некоторой степени могут служить критерием физико-химических условий системы в период их образования. Так, опытным путем показано (Ernst, 1958) увеличение Fe^{3+} за счет Fe^{2+} в щелочных амфиболах при повышении парциального давления кислорода в закрытой системе. В открытой системе с повышением потенциала кислорода при отжиге амфиболов и естественным путем, за счет кислорода воздуха, переход Fe^{2+} в Fe^{3+} сопровождается изменениями окраски амфиболов.

3. Из рассмотрения приведенных и других формул амфиболов со всей очевидностью вытекает тесная связь их состава с составом среды, в

¹ Неполный анализ биотита Al_2O_3 — 19,16; Fe_2O_3 — 9,97; FeO — 11,30; CaO — 1,37; MgO — 9,65 выполнен Г. А. Осолодкиной.

которой они образуются. Это, а также данные о взаимном изменении амфиболов и других совместно находящихся с ними темноцветных минералов (De Vogt, 1957; Kretz, 1960 и др.), как и полевых шпатов (Коржинский, 1946 и др.), показывает ошибочность мнения Виноградской (1959) об отсутствии связи между составом амфиболов и составом содержащих их пород. Петрографы постоянно обнаруживают и подчеркивают такую связь. Достаточно сказать, что с увеличением в составе пород кремнезема и щелочей амфиболы становятся все более железистыми. Это иллюстрируется и тремя описанными здесь амфиболами.

4. В цветных минералах отношение $Mg : Fe^{2+} : Fe^{3+}$ является особенно чувствительным показателем щелочности при данной температуре (Коржинский, 1960), так как Mg более сильное основание, чем Fe^{2+} , а последнее — более сильное, чем Fe^{3+} . Соответственно повышенное содержание Fe^{3+} в изученных амфиболах может служить показателем повышенной щелочности среды. Наконец, переменное содержание в амфиболах O и OH, связанных с различными замещениями катионов, вероятно, можно использовать как признак парциального давления O (и обратно H) в магматических расплавах (подобно роли pH в водных растворах). Описанные амфиболы безусловно образовались в обстановке повышенного парциального давления кислорода, что в свою очередь характеризует повышенную щелочность расплава, которая определяет повышенную роль в них Fe^{2+} и Fe^{3+} — этих наименее сильных оснований.

5. Анализ имеющихся данных подсказывает, что у амфиболов величина $2V$ не всегда является функцией состава, иногда он определяется характером и состоянием их кристаллической структуры. Так, уменьшение $2V$ может быть связано с внутренним двойникованием ячеек (Гинзбург, Белова, 1960) или с проявлением микроблочности, едва приближающейся к поликристалличности (что показано выше на примере гастингсита Хакассии). При отсутствии таких аномалий кристаллических структур величина $2V$ отражает изменение в составе тех главных компонентов, которые сильнее искажают кристаллическую структуру из-за различия ионных радиусов (Mg, Ca, Fe^{2+} , Na).

Потеря прозрачности и неполное светопоглощение при погасании также обнаруживают связь с отмеченными у амфиболов отклонениями в кристаллической структуре или обусловлены распадом их на фазы (как выявлено у арфведсонита — Sahama, 1956). Подобные нарушения кристаллической структуры большей частью присущи приконтактовым амфиболам, т. е. они явно связаны с условиями образования и преобразования этих минералов.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева Е. Д. Габбро-пегматиты в пироксенитах горы Синой на среднем Урале. — Изв. АН СССР, серия геол., № 9, 1959.
- Борнеман-Старынкевич И. Д. Химическая формула минералов, т. IV. Амфиболы. — Зап. Всес. мин. об-ва, ч. 89, вып. 2, 1960.
- Виноградская Г. М. Амфибол из гранито-гнейса Губенского массива на южном Урале. — Зап. Всес. мин. об-ва, ч. 88, вып. 1, 1959.
- Габинет М. П. Роговая обманка из амфиболитов Мармарошского массива. — Мин. сб. Львовск. геол. об-ва, № 5, 1951.
- Гинзбург И. В. Об изменении свойств минералов горных пород в ходе региональной магматической эволюции (на примере гранитных и щелочных пород Кольского полуострова). — Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 35, вып. 2, 1960.
- Гинзбург И. В. Гастингсит зоны щелочногранитного метасоматоза и изоморфизм в моноклинных амфиболах. — Труды Минерал. музея, вып. 10, 1961.
- Гинзбург И. В., Белова Е. Н. О гастингситах с малым углом оптических осей. Докл. АН СССР, 1960, т. 134, № 3.
- Гинзбург И. В., Сидоренко Г. А., Рогачев Д. Л. О зависимости между главными изоморфными замещениями и некоторыми параметрами кристаллической структуры амфиболов. — Труды Минерал. музея, вып. 11, 1961.

- Гинзбург И. В., Юхневич Г. В. О ионе гидроксония в амфиболах.— *Геохимия*, № 1, 1962.
- Гинзбург И. В., Лисцина Г. А., Садикова А. Т., Спдоренко Г. А. Фаялит гранитных пород и продукты его изменения.— *Настоящий выпуск трудов Музея*.
- Дембо Т. М. Каледонская гранитная интрузия северной части Кузнецкого Алатау.— *Сов. геол.*, сб. 51, 1956.
- Коржинский Д. С. Принцип подвижности щелочей при магматических процессах. В кн.: *Акад. Д. С. Белянкин*. Изд-во АН СССР, 1946.
- Коржинский Д. С. Кислотность — щелочность при магматических процессах. *Международный геологический конгресс, 21 сессия, 1960. Доклады советских геологов. Проблема 14. Гранито-гнейсы*. Изд-во АН Укр. ССР, Киев, 1960.
- Лебедев А. П., Гинзбург И. В. Материалы к петрографии магматических пород северо-восточной части центральной Тувы.— *Труды Ин-та геол. наук АН СССР*, вып. 147, петрогр., № 43, 1953.
- Цветков А. И. Изоморфные замещения в группе бесщелочных пироксенов.— *Труды Ин-та геол. наук АН СССР*, вып. 138, серия петрогр., № 41, 1951.
- De Voge G. W. The association of strongly polarizing cations with weakly polarizing cations influence in element distribution, mineral composition and cristal growth.— *J. Geol.*, 65, № 2, 1957.
- Ernst W. G. Alkali amphiboles. *Carnegie Institution of Waschington (1957—1958 yb)*. 1958.
- Heritsch H., Bertoldi G., Walitzi E. M. Strukturuntersuchung an einer basaltischen Hornblende von Kuruzzenkogel südlich Fehring Steiermark.— *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 7, H. 3, 1960.
- Heritsch H., Riechert L. Strukturuntersuchung an einer basaltischen Hornblende von Gernošin C S R.— *Tscherm. Min. Petr. Mitt.*, 7, H. 3, 1960.
- Kretz R. The distribution on certain elements among coexisting calcic pyroxenes, calcic amphiboles and biotites in skarns.— *Geoch. Cosm. Acta*, 20, N 3—4, 1960.
- Sahama Th. G. Optical anomalies in arfvedsonite from Greenland.— *Amer. Mineral.*, 41, N 5—6, 1956.