

АМФИБОЛЫ

Амфиболы в различных количествах присутствуют в большинстве пород магматических формаций Центральной Камчатки. Достаточно хорошо разработанные методы оптической диагностики этой группы минералов дают возможность детально изучать их свойства, что в свою очередь способствует проведению корреляции различных магматических образований в целях получения дополнительных критериев для отнесения их к той или иной магматической формации.

Методика исследований

В процессе проведенных исследований было изучено и описано несколько сотен шлифов, сделано шесть полных химических анализов мономинеральных проб, а также более 50 определений показателя преломления минералов группы амфиболов. Оптическое изучение указанной группы минералов проводилось на универсальном столике Е. С. Федорова и включало детальное описание минералов, замеры их оптических констант и изучение парагенетических ассоциаций.

Установлено, что $2V$ амфиболов колеблется в зависимости от их химического состава и поэтому может служить одним из критериев сравнения этих минералов из пород различных магматических формаций. Техника определения этой константы проста и позволяет легко проводить массовые измерения. В целях надежного сравнения углов оптических осей амфиболов было сделано 630 замеров $2V$ из различных фаций изученных формаций. Все измерения делались по двум выходам оптических осей. По полученным результатам строились графики частоты встречаемости определенных значений $2V$. В дальнейшем графики сравнивались между собой. Для устранения влияния случайных замеров и погрешности метода определения $2V$ замеры объединялись поинтервально через два градуса. В зональных кристаллах амфиболов значения угла $2V$ определялись для каждой зоны в отдельности. Кроме того, производились замеры полной оптической ориентировки минералов группы амфиболов в целях детальной их диагностики.

Для изучения закономерностей изменения составов амфиболов в процессе эволюции исходных магматических расплавов иммерсионным методом были проведены массовые измерения показателей преломления этих минералов из различных магматических образований. Точность определения составила $\pm 0,003$. Химические анализы амфиболов и замеры их показателей преломления позволили использовать в качестве кривой, отражающей зависимость показателя преломления от химического состава минерала, кривую, предложенную В. С. Соболевым (1950).

Розенцвейгом и Уотсоном (Дир и др., 1965) было показано, что величина показателя преломления минералов из ряда обыкновенной роговой обманки зависит от содержания Mg и Al в шестерной координации в их составе. Построенная нами на основании химических анализов амфиболов и замеров их показателей преломления диаграмма подтверждает это положение.

Химические анализы амфиболов, использованные при построении перечисленных выше диаграмм, были выполнены в химической лаборатории Института вулканологии СО АН СССР Т. В. Долговой. Выделение мономинеральных фракций для анализа производилось электромагнитным сепарированием материала протолочных проб с последующей отборкой минерала под бинокляром. Анализы были пересчитаны на формулы минералов по катионному методу (Борнеман-Старынкевич, 1965), а результаты пересчетов использованы для диагностики минералов на диаграммах $(Al)^{IV} - (Na + K)$ и $(Al)^{IV} - [(Al)^{VI} + Fe^{3+} + Ti]$, предложенных У. А. Диром (1965), а также при построении диаграмм щелочности

$$\frac{Al}{Al+Fe+Mg+Si} \cdot 100\% - \frac{Na+K}{Al} 100\% \quad \text{и глиноземистости} \quad \frac{Si}{Al} - \frac{Mg+Fe}{Al}$$

амфиболов. Последняя диаграмма была предложена А. А. Маракушевым и И. А. Тарариным (1965) для биотитов, но оказалась вполне пригодной и для амфиболов.

Результаты наблюдений

В процессе изучения минералов группы амфибола в породах различных магматических формаций было установлено, что подавляющее большинство их относится к ряду обыкновенной роговой обманки: Однако для некоторых магматических образований оказались характерными встреченные в подчиненных количествах амфиболы куммингтонитового и паргасит-гастингитового рядов. Первые отмечаются в породах формации габбро-плагиогранитов, вторые — в некоторых породах формации габбро-сиенитов — трахиандезитов, а также в жилах-апофизах и эндоконтактах интрузивных массивов II типа формации габбро-гранодиоритов.

Формация габбро-плагиогранитов

Оптические свойства и особенности химического состава амфиболов этой формации изучались на примере двух массивов, отличающихся по условиям образования. Первый массив (район ручья Кагнисин) сформирован в течение двух фаз внедрения, второй (район р. Средней Воровской) — однофазовый, дифференцированный в интрузивной камере.

Различия в условиях образования наложили свой отпечаток и на количественное распределение породообразующих минералов. В Кагнисинском массиве амфиболы достаточно широко распространены в породах первой фазы и практически отсутствуют во второй. В плутоне района р. Средняя Воровская они характерны для эндоконтактовых зон, а в направлении к центральным частям массива количество минерала резко

уменьшается вплоть до полного его исчезновения в наиболее кислых разностях пород.

В дальнейшем дифференцированные по фазам тела будут именоваться массивами I типа, в отличие от однофазовых плутонов — II типа.

Обыкновенная роговая обманка

В наиболее основных разностях пород формации количество амфибола колеблется от 35—40% в габбро до 10—15% в кварцевых диоритах. Среди основных пород первостепенное значение имеет амфиболовое габбро, где количество обыкновенной роговой обманки превышает 40%. Степень идиоморфизма минерала в общем очень слабая, но в кварцевых диоритах и гранодиоритах несколько более высокая, чем в габбро. Размеры выделений роговой обманки в изученных породах колеблются в широких пределах — от 0,3—0,5 до 1,0 мм, достигая иногда 2,0—4,0 мм в порфиридных разностях.

Во всех описываемых плутонических образованиях окраска роговой обманки неравномерная, зеленовато-бурая. В порфиридных породах, характерных для I фазы (массивы I типа), центр вкрапленников амфибола имеет более заметный коричневато-бурый оттенок, в отличие от зеленовато-бурой периферии. Плеохроизм, как правило, очень резкий, в буровато-зеленых тонах; характерны двойники, с двумя — тремя двойниковыми полосками. Оптическая ориентировка амфибола дана в табл. 17.

Таблица 17

Оптическая ориентировка амфиболов из кварцевых диоритов I фазы формации габбро-плагиогранитов (обр. 970)

Обыкновенная роговая обманка *					Куммингтонит **				
P (110)		Np	2V	c : Ng°	Ng	P (110)		2V°	c : Ng°
Ng	Nm					Nm	Np		
71	64	35	—78	18	76	61	32	+83	18
72	62	35	—79	22	69	65	32	+82	22
70	59	41	—80	24	72	62	31	+82	20

* Цвет бурый.

** Бесцветный.

Среди включений в минерале наиболее часты неправильной формы мелкие выделения сфена и магнетита, а также иголки ильменита и апатита. Отдельные, наиболее идиоморфные зерна в габбро содержат включения плагиоклаза № 40—45. Основная же масса амфибола кристаллизуется между лейстами плагиоклаза № 30—33. Амфибол идиоморфен по отношению к кварцу, замещается биотитом (особенно в габбро и габбро-диоритах), реже образует сростки с этими минералами (в кварцевых диоритах) и часто слагает шпировидные скопления. Из вторичных изменений наиболее характерным является процесс хлоритизации.

Как уже указывалось, главными оптическими константами обыкновенной роговой обманки служат угол оптических осей и показатель преломления. Были проведены массовые замеры значений этих констант в амфиболах из пород двух указанных интрузивных массивов.

На основании измерений величины углов оптических осей были построены кривые распределения значений —2V для различных типов пород. При построении использовано 99 замеров. На прилагаемых графиках (рис. 31, а, б) нанесены кривые распределения — 2V для роговых

обманок массивов у ручья Кагнисин и массива в бассейне Средней Воровской. Все полученные кривые имеют по одному четко выраженному максимуму. Характерно, что для одноименных разностей пород (кварцевые диориты, гранодиориты) обоих массивов значения максимумов совпадают. Интервал изменения величины $-2V$ амфиболов в основных разностях несколько выше ($71-87^\circ$), чем в более кислых ($75-85^\circ$ для амфиболов Кагнисинского массива и $73-83^\circ$ для амфиболов массива в бассейне Средней Воровской). Сопоставление кривых для различных по

Таблица 18

Изменение угла оптических осей в зональных кристаллах обыкновенной роговой обманки из различных пород Кагнисинского массива формации габбро-плаггиогранитов

Номер образца	Порода	Размер зерна	—2V зон кристалла		Окраска зон	
			центральной	внешней	центральной	внешней
676/4	Габбро-диорит	Мелкое неясно-зональное	82	87	Буро-зеленая	Светло-зеленая
644/2	Горнблендит	Среднее	82	87	Буровато-зеленая	Та же
640/2	Габбро	Очень крупное	82	84	Бурая	Буровато-зеленая

основности типов пород показывает, что в более кислых разностях величина характерного максимума $-2V$ амфиболов несколько уменьшается ($80-81^\circ$) по сравнению с более основными ($82-85^\circ$).

В то же время замеры величины $-2V$ в зональных кристаллах в основных разностях пород показывают увеличение ее от центральных частей зерен к периферическим. При этом происходит и смена окраски минералов от бурой в центре до буровато-зеленой и зеленой в краевых зонах (табл. 18).

Таблица 19

Оптические свойства и железистость обыкновенных роговых обманок из пород I фазы формации габбро-плаггиогранитов (массив р. Кагнисин)

Номер образца	Порода	Цвет	Показатели преломления			$N_g - N_p$	с: N_g^0	$-2V^\circ$	f' , %	f'' , %
			N_g	N_m	N_p					
611/1	Габбро	Бурый	1,683	1,674	1,661	0,024	16	78	47	51
964/1	Порфиоровидное габбро	Буро-зеленый	1,674	1,665	1,652	0,022	18	83	37	42
Пр. 12	Габбро-диорит	Тот же	1,674	1,666	1,652	0,019	18	82	35	42
633/2	Кварцевый диорит	Зеленовато-бурый	1,676	1,666	1,653	1,022	19	81	38	45
934/1	То же	Тот же	1,673	1,664	1,652	3,020	18	83	36	41
953/2	» »	Светлый зеленовато-бурый	1,667	1,656	1,648	0,018	20	84	28	33
644/2	Шлир горнблендита в габбро-диоритах	Зеленый	1,660	1,654	1,643	1,017	20	83	20	26
679/1	Пегматоид в кварцевых диоритах	Зеленовато-бурый	1,665	1,658	1,646	3,019	19	85	26	32

Примечание. Показатели преломления определены с точностью $\pm 0,003$; железистость f' дана по В. Е. Трегеру (1958), f'' — по В. С. Соболеву (1950).

В табл. 19 сведены результаты изменения показателей преломления обыкновенных роговых обманок из пород I фазы формации габбро-плагиогранитов. Показатели преломления этого минерала из разных пород близки по своим значениям. Отличается от них один замер, который характеризует роговую обманку из габбро (обр. 611/1) : $N_g = 1,683$. Однако амфибол из порфириовидного габбро, который относится к наиболее ранней генерации вкрапленников, имеет показатель преломления $N_g = 1,672$, т. е. более низкое значение коэффициента железистости, чем амфибол обр. 611/1.

Куммингтонит

Амфибол куммингтонитового ряда встречается значительно реже, чем обыкновенная роговая обманка (табл. 20). Тем не менее он присутствует в породах I фазы (массивы I типа), а также в зонах эндоконтакта в плутонах II типа, где его, однако, меньше. В амфиболовых габбро I фазы Кагнисинского массива куммингтонит составляет 3—7% общего объема породы. Он образует неправильной формы зерна размером до 1 мм в диаметре. Минерал почти бесцветен и окрашен в очень слабые зеленоватые и кремовые тона; оптически положительный, $c:N_g = 18-21^\circ$ (оптическую ориентировку см. в табл. 17), в отдельных случаях образует полисинтетические двойники. Куммингтонит, как правило, выделяется после образования роговой обманки, обрастая и корродируя ее, а также кристаллизуется между зернами более ранних минералов. Он замещается биотитом и корродируется кварцем.

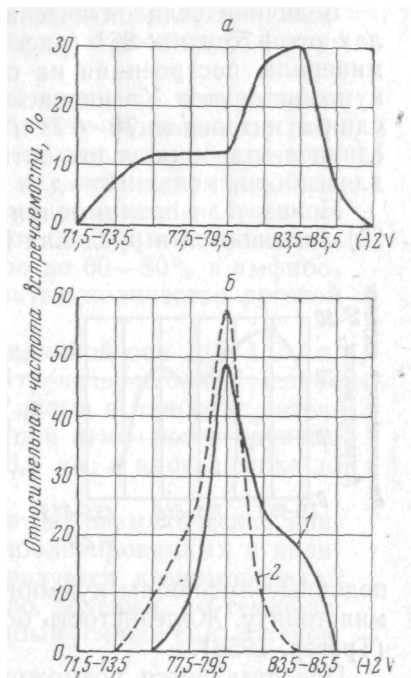


Рис. 31. Вариационные кривые углов оптических осей ($-2V$) амфиболов ряда обыкновенной роговой обманки

Формация габбро-плагиогранитов (C_1-Pg). а — габбро, габбро-диориты (ручей Кагнисин); б — кварцевые диориты, гранодиориты: 1 — ручей Кагнисин, 2 — р. Средняя Воровская

Таблица 20

Оптические свойства и железистость куммингтонита из пород I фазы формации габбро-плагиогранитов

Номер образца	Порода	Цвет	Показатели преломления			$c:N_g^\circ$	$+2V$	$f',\%$
			N_g	N_m	N_p			
611/1	Габбро	Светлый кремовый	1,669	1,652	1,643	19	+80	47
953	Габбро-диорит	Светло-зеленый почти бесцветный	1,661	1,642	1,632	20	+78	40
953/1	То же	Кремовый	1,682	1,660	1,650	16	+85	57
848/7	Кварцевый габбро-диорит	Светло-зеленый, почти бесцветный	1,668	1,650	1,642	19	+80	45
953/2	Кварцевый диорит	Бесцветный	1,662	1,647	1,636	20	+79	41
633/2	То же	Светло-зеленый, почти бесцветный	1,670	1,654	1,645	18	+81	48

Примечание. Показатели преломления определены $\pm 0,003$; железистость — по В. Е. Тререгу (1958).

Величина угла оптических осей куммингтонита изменяется в пределах от $+75$ до $+85^\circ$ (рис. 32). Кривая распределения значения $+2V$ минерала, построенная на основании 33 замеров угла оптических осей куммингтонитов Кагнисинского массива, имеет два четких максимума: один в интервале $76-77^\circ$ и второй — $82-83^\circ$. Большой максимум объединяет значения углов оптических осей куммингтонитов, характерных для габбро, меньший — для куммингтонитов из кварцевых диоритов.

Показатели преломления куммингтонитов из пород формации (табл 20) изменяются в пределах $N_g = 1,661 - 1,670$. По данным В. Е. Трегера

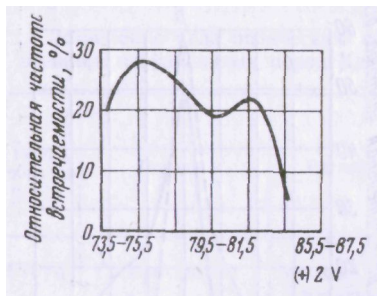


Рис. 32. Вариационная кривая углов оптических осей ($+2V$) амфиболов куммингтонитового ряда формации габбро-плагиогранитов (Сг.—Pg) из интрузивного массива в бассейне ручья Кагнисин (33 замера)

подобные амфиболы куммингтонитового ряда относятся к чистому куммингтониту. Железистость большинства из них колеблется от 40 до 48%. (Трегер, 1958).

Представляется возможным сравнить железистость указанного минерала с железистостью обыкновенной роговой обманки, взятой из того же образца (953/2); обыкновенная роговая обманка: $N_g = 1,667$; $N_m = 1,656$; $N_p = 1,648$; куммингтонит: $N_g = 1,662$; $N_m = 1,647$; $N_p = 1,636$. Железистость, определенная по диаграммам Трегера, соответственно равна 28 и 41%, т. е. куммингтонит, замещающий обыкновенную роговую обманку, в полтора раза более железистый.

Имеющиеся в нашем распоряжении два химических анализа амфиболов из шлира горнблендита в габбро-диоритах и из самих габбро-диоритов позволяют сравнить эти минералы. В первом из них содержится больше алюминия, магния, кальция, калия и воды. Интересен тот факт, что амфибол из шлира горнблендита содержит двухвалентное железо в количестве в два раза меньшем, чем амфибол из габбро-диоритов. Сравнение коэффициентов железистости показывает, что тот же амфибол значительно более магниален.

Формация габбро-сиенитов — трахиандезитов

Амфиболы распространены преимущественно в породах интрузивной фации и не характерны для пород эффузивных, где они встречаются в небольших количествах в наиболее кислых разностях — трахиандезито-базальтовых, ортоклазовых трахиандезитовых порфиритах, субвулканических габбро-сиенитах, габбро-диоритах, эпилейцитовых шонкинитах — и полностью отсутствуют в метасоматитах, связанных с породами этой фации. В настоящем разделе описываются роговые обманки только из пород интрузивной фации.

Амфиболы являются характерными породообразующими минералами в монцонитах, кварцевых сиенитах и в породах амфиболизированных и калишпатизированных зон, значительно реже они встречаются в габбро и пироксенитах. В изученных интрузивных и метасоматических образованиях присутствуют амфиболы, которые образуют непрерывную серию между рядом обыкновенной роговой обманки и рядом паргасита-феррогастингсита. Нами изучались амфиболы из интрузивных образований массивов, расположенных в бассейнах рек Средняя Воровская, Левая

Андриановка, Кувагдач, а также Евсейчиха и Озерная Камчатка. Наиболее детально исследованы амфиболы из пород двух последних интрузивных тел.

Среди изученных магматических образований выделено четыре группы пород: а) биотит-амфибол-пироксеновое и биотит-пироксеновое габбро; б) амфиболовые монцониты и кварцевые монцониты; в) сиениты и кварцевые сиениты; г) амфиболизированные и калишпатизированные габбро и пироксениты. Общее количество роговой обманки в изученных породах колеблется в значительных пределах: от 0—5% в наименее измененных метасоматическими процессами габбро до 60—80% в амфиболизированных разностях. В сиенитах и монцонитах количество роговой обманки колеблется от 10 до 50%.

Размеры минеральных зерен достигают по длинной оси 1,0—1,5 мм; в некоторых породах, например в сиенитах, встречаются и более мелкие образования, но не менее 0,4х0,6 мм. В то же время в наиболее интенсивно измененных породах в зонах амфиболизации отмечаются крупные кристаллы роговой обманки размером до 3,5х6,5 мм, а иногда даже до 10 мм (по длинной оси).

Роговая обманка образует хорошо ограненные призматические кристаллы во всех породах, за исключением амфиболизированных и калишпатизированных разностей, где она характеризуется ксеноморфными очертаниями зерен. Цвет минерала, как правило, зеленый, до темно-зеленого. В отдельных случаях отмечается слабый синеватый оттенок. Плеохроизм очень резкий.

В амфиболизированных и калишпатизированных породах амфибол интенсивно развивается по пироксену вплоть до полного его замещения. В монцонитах амфибол корродируется калиевым полевым шпатом, однако наблюдаются и обратные явления. Это говорит о широком временном интервале выделения роговой обманки, начавшей кристаллизоваться раньше калиевого полевого шпата, а в дальнейшем тесно с ним сопряженной. Поздняя генерация роговой обманки образуется одновременно с поздним калиевым полевым шпатом и нарастает при этом на зерна ранее выделившегося амфибола, образуя кайму с меньшим значением угла —2V.

Для сравнения обыкновенных роговых обманок из различных магматических пород интрузивной фации формации габбро-сиенитов — трахиандезитов было сделано 244 замера величины угла оптических осей и затем построены кривые распределения этих значений для каждого из выделенных типов пород (рис. 33, 34).

Вариационные кривые распределения — 2V роговых обманок из пород интрузивного массива р. Озерная Камчатка имеют более широкие и расплывчатые максимумы, чем кривые амфиболов из пород массива р. Евсейчихи. Однако значения этих максимумов для роговых обманок из одних и тех же фаз обоих массивов близки. Как это видно из диаграмм, максимумы на кривых для роговых обманок фазы габбро отвечают более высоким значениям —2V (72—73°), чем максимумы на вариационных кривых для роговых обманок из сиенитов и кварцевых сиенитов (см. рис. 33). При этом левосторонняя асимметрия кривой —2V амфиболов района Озерной Камчатки свидетельствует о широком развитии в массиве роговых обманок с меньшими углами оптических осей (59,5—61,5°).

Таким образом, в процессе эволюции магматических образований во времени значения угла оптических осей кристаллизующихся роговых обманок уменьшаются. Обратимся к кривым распределения значений угла оптических осей роговых обманок из монцонитов, сиенитов и габбро. Вариационная кривая амфиболов монцонитов (см. рис. 33, б) имеет два максимума; один из них близок к максимуму на кривой, харак-

терной для габбро, а другой — к максимуму на кривой, характерной для сиенитов (см. рис. 33, а, б, в). Первый соответствует раннемагматической роговой обманке, второй — роговой обманке, образующейся на поздних этапах кристаллизации; последняя обрастает кристаллы ранее выделившегося амфибола. Теперь сравним кривые распределения значений угла оптических осей роговых обманок из неизменных или очень слабо метасоматически измененных биотит-амфибол-пироксено-

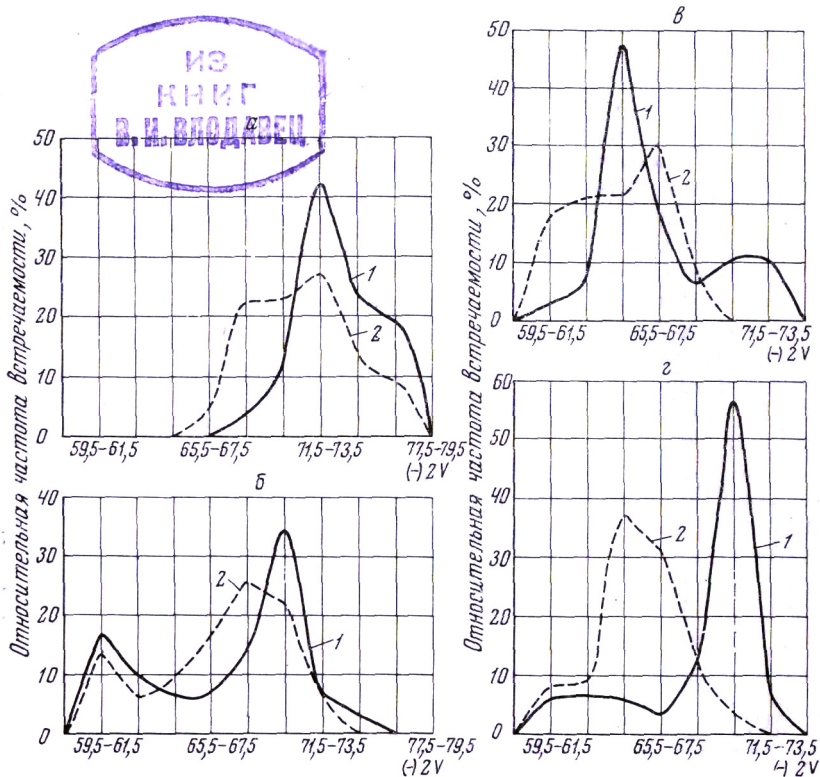


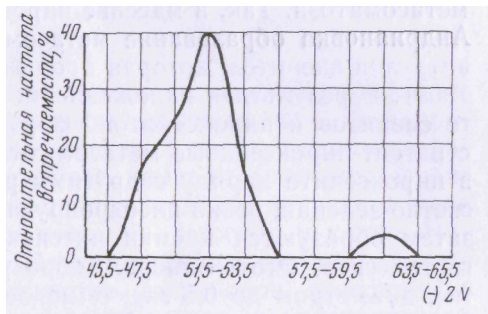
Рис. 33. Вариационные кривые углов оптических осей ($-2V$) амфиболов формации габбро-сиенитов — трахиандезитов (Pg)

1 — массив в бассейне р. Евсейчихи; 2 — массив в бассейне р. Озерная Камчатка
 а — амфибол-пироксеновые и пироксеновые габбро (1—26 замеров, 2—22 замера);
 б — амфиболовые монцониты, кварцевые монцониты (30 замеров); в — сиениты, кварцевые сиениты (1-32 замера, 2-33 - замера); г — калишпатизированные и амфиболизированные габбро (1—32 замера, 2—35 замеров)

вых габбро, а также из калишпатизированных и амфиболизированных габбро (см. рис. 33, а, г). Метасоматические роговые обманки из зон измененных пород имеют меньшие значения углов оптических осей, чем роговые обманки из неизменных или слабо измененных пород фазы габброидов. Таким образом, при наложении и интенсификации процессов метасоматоза уменьшаются значения $-2V$ в кристаллизующихся роговых обманках. При сравнении кривых распределения значений $-2V$ амфиболов из различных магматических образований субщелочной формации видно, что в раду габбро — монцонит — сиенит происходит как бы унаследование максимумов и постепенное смещение их в сторону меньших значений $-2V$. Особенно отчетливо эта закономерность обнаруживается на графиках распределения значений $-2V$ амфиболов в породах массива р. Евсейчихи, где максимум, характерный для амфиболов из габбро, с некоторым смещением наследуется максимумом, харак-

терным для раннемагматической роговой обманки в монцонитах. Последний (также с некоторым смещением) наследуется максимумом, свойственным амфиболам из сиенитов. Для кривых распределения значений $-2V$ амфиболов знаменательно и некоторое несоответствие в положении максимумов для одних и тех же петрографических разностей пород из разных интрузивных тел. Особенно показательны в этом отношении кривые распределения $-2V$ амфиболов из монцонитов (см. рис. 33, б). При общем соответствии форм кривых для двух кривых, построенных для амфиболов из двух различных массивов, раннемагматическая

Рис. 34. Вариационная кривая углов оптических осей ($-2V$) амфиболов ряда паргасита-феррогастингсита формации габбро-сиенитов — трахиандезитов (Pg) из интрузивного массива в бассейне р. Левая Андриановка (30 замеров)



роговая обманка из массива р. Евсейчихи имеет в общем более низкие значения $-2V$, чем тот же амфибол из массива в бассейне р. Озерная Камчатка.

Подтверждением полученных данных об эволюции $-2V$ роговых обманок, выражающейся в данном случае в уменьшении значений $-2V$ амфиболов в процессе кристаллизации расплава и в различных дифференциатах единого кристаллизационного ряда, служит наблюдение изменений этой константы в зональных кристаллах.

Как правило, в ядрах этих кристаллов угол оптических осей больше, чем на периферии, причем переход постепенный. Однако в монцонитах массива в бассейне р. Евсейчихи в отдельных кристаллах отмечается резкий переход. В этом случае смена происходит следующим образом. $-2V$ центральных частей некоторых крупных зерен размером 1—1,5 мм равен 74° . Затем к периферии это значение постепенно уменьшается и достигает $70-71^\circ$. Далее в кристалле появляется резкая граница, а затем угол оптических осей уменьшается до 60° . Резкость указанной границы подчеркивается интенсивностью зеленой окраски: цвет центральных частей (при изменении от 74 до 70°) светло-зеленый, а периферические зоны (при изменении от 70 до 60°) окрашены в густые зеленые тона. Форма границы между зонами неправильная. Нужно отметить также, что полученные значения углов оптических осей в зональных кристаллах роговых обманок соответствуют максимумам на кривых распределения значений $-2V$ для пород данной формации. Как уже указывалось, $-2V=74^\circ$ (центры кристаллов) отвечают максимуму значений для роговых обманок из габбро; $-2V=71^\circ$ (резкая граница зон) — для раннемагматических роговых обманок из монцонитов; $-2V=60^\circ$ (края кристаллов) — для роговых обманок более поздних генераций в монцонитах и зонах метасоматоза. По-видимому, процесс смены значений угла оптических осей в зональных кристаллах отражает допускательный некоторыми исследователями переход по составу от магнизиальных роговых обманок к железистым феррогастингситам в ходе эволюции субщелочных расплавов. Наличие такого процесса подтверждается присутствием в зонах максимального метасоматоза (массив в бассейне р. Андриановки) амфиболов паргасит-феррогестингситового ряда.

В нашем распоряжении имеется анализ кальциевого амфибола из монцонитов формации габбро-сиенитов— трахиандезитов, показываю-

щий высокое содержание Са и Al (см. табл. 25). Специальное изучение особенностей его химического состава и сравнение кристаллохимической формулы с типовыми для кальциевых амфиболов (на чем мы подробно остановимся в разделе «Обсуждение результатов») показали, что он является промежуточным между рядом обыкновенной роговой обманки и рядом паргасита-феррогастингсита, причем по составу очень близок к последнему.

Наиболее широко распространены, однако, гастингситы в породах тех интрузивных массивов, где в значительной мере развиты процессы метасоматоза. Так, в массиве пироксенитов бассейна верховьев р. Левая Андриановка образование метасоматических зон связано с внедрением интрузии сиенитов, которая прорывает пироксениты (Флеров, Колосков, 1965). В результате наложения метасоматических процессов на контакте сиенитов и пироксенитов формируются своеобразные ортоклаз-гастингсит-пироксеновые метасоматиты. На начальных стадиях изменения в пироксените наряду с другими реакционными минералами возникает светло-зеленая, резко плеохроирующая роговая обманка, вокруг которой затем образуются каемки интенсивного зеленого, слегка голубоватого гастингсита. Этот минерал образует зерна чаще неправильной формы, диаметром до 0,5 мм, темно-зеленого цвета с синеватым оттенком и резким плеохроизмом. При изучении оптических свойств гастингсита была также построена кривая распределения значений $-2V$ (см. рис. 34). Указанная кривая имеет два максимума. Первый находится в области значений $-2V = 51,5-53,5^\circ$ и второй $-2V = 61,5-63,5^\circ$. Первый максимум выражен наиболее четко и объединяет до 40% замеров.

Углы $-2V$ гастингсита самые минимальные по сравнению с углами амфиболов ранее описанных массивов. В то же время в метасоматитах из массива Левого Андриановки присутствует в очень незначительных количествах и амфибол с углом оптических осей $61,5-63,5^\circ$, который наиболее характерен для амфиболов сиенитов (массив в бассейне р. Евсейчихи, см. рис. 33).

Сопоставление показателей преломления амфиболов из пород формации показывает, что в ряду габбро — сиенит показатели преломления кристаллизующихся амфиболов увеличиваются (табл. 21). Однако

Таблица 21

Оптические свойства и железистость обыкновенных роговых обманок из пород интрузивной фации формации габбро-сиенитов—трахиандезитов

№ п/п	№ образца	Порода и место взятия образца	Цвет	Показатели преломления *			$-2V^\circ$
				Ng	Nm	Np	
1	1155/1	Габбро, р. Средняя Воронская	Желтовато-зеленый	1,680	1,672	1,662	
2	3093/2	Габбро, р. Евсейчиха	Светло-зеленый	1,675	1,668	1,659	
3	3616	Монцонит, р. Озерная Камчатка	Зеленый	1,680	1,672	1,660	64,65,68
4	133	Монцонит, р. Евсейчиха	Тот же	1,670	1,663	1,650	—
5	3523а	Сиенит, р. Кувагдач	» »	1,686	1,680	1,666	—
6	3103-2	Кварцевый сиенит, р. Озерная Камчатка	»	1,685	1,679	1,665	68,67,70
7	3605	Сиенит, р. Озерная Камчатка	»	1,689	1,681	1,668	—
8	63-Ап	Габбро, р. Озерная Камчатка	Темно-зеленый	1,673	1,666	1,652	—
	3622-8		Зеленый				
	63						

* Определены с точностью $\pm 0,003$.

дальнейшая интерпретация данных о колебаниях железистости (в соответствии с колебаниями Ng, Np) представляет значительные трудности в связи с необходимостью сопоставления кривых, отражающих зависимость N от f , характерных для двух рядов амфиболов: ряда обыкновенной роговой обманки и ряда паргасита—феррогастингсита,— тогда как аналогичной кривой для промежуточных (между указанными рядами) амфиболов нет. Однако можно говорить о том, что увеличение показателей преломления, по-видимому, связано с увеличением железистости амфибола.

Формация габбро-грано диоритов

Изучение оптических свойств и химического состава амфиболов из пород формации проводилось для нескольких массивов, как сформированных в течение двух фаз внедрения (массивы I типа), так и однофазовых, дифференцированных в интрузивных камерах (массивы II типа). К первым относятся изученные амфиболы массива на водоразделе рек Юртиная, Утудумец и Кенсол, ко вторым — массива у ключа Начального и перевала Кирганикского. По химическому составу и оптическим свойствам подавляющее большинство амфиболов относится к ряду обыкновенной роговой обманки, и только в экзо- и эндоконтактах массивов II типа в небольших количествах отмечается амфибол гастингситового ряда.

Обыкновенная роговая обманка

Во всех магматических образованиях формации роговая обманка является одним из главных породообразующих минералов, составляя 10—20% от общего объема породы в биотит-амфибол-пироксеновых габбро, до 40% — в амфиболовых, биотит-амфиболовых габбро и габбро-диоритах, до 20—25% — в кварцевых диоритах, 7—12% — в гранодиоритах и 5—7% в гранитах. Цвет минерала зеленый с бурым оттенком. Изменение окраски по осям следующее: Ng — густо-зеленая, бурая; Nm — желто-зеленая, серо-зеленая; Np — светло-желтая и желтая.

В основных породах формации амфибол образует резко ксеноморфные зерна. Степень идиоморфизма повышается с возрастом кислотности пород, и в гранодиоритах встречается короткопризматические кристаллы этого минерала. Диаметр зерен также колеблется: от 1—3 мм в габбро до 0,2—1 мм в гранодиоритах. Весьма часто отмечаются зерна, обладающие двойниковым строением.

Кристаллы роговой обманки в основных породах нередко содержат хорошо ограненные мелкие включения плагиоклаза (№ 40—41), а также сфена, апатита, циркона и рудного минерала. В этих породах амфибол кристаллизуется в интерстициях между зернами плагиоклаза и пироксена, часто замещающая последний. В средних и кислых по составу породах он корродируется кварцем и калишпатом. Наблюдался также его сростки с биотитом, который иногда развивается, замещая амфибол. Из процессов вторичного изменения обыкновенной роговой обманки наиболее широко развит процесс хлоритизации.

Массовые измерения величин углов оптических осей роговых обманок (136 замеров) показали, что интервал изменения их лежит в пределах от 65 до 81° (рис. 35). При этом положении максимумов —2V на кривых распределения несколько отличаются для двух изученных массивов. Для массива в бассейне р. Кенсол они соответствуют 70—71°, а рек Юртиной и Утудумца 74—77°, причем если максимумы для первой и второй фаз внедрения массива в бассейне р. Кенсол совпадают, то для массива в районе рек Юртиной и Утудумца такого совпадения не

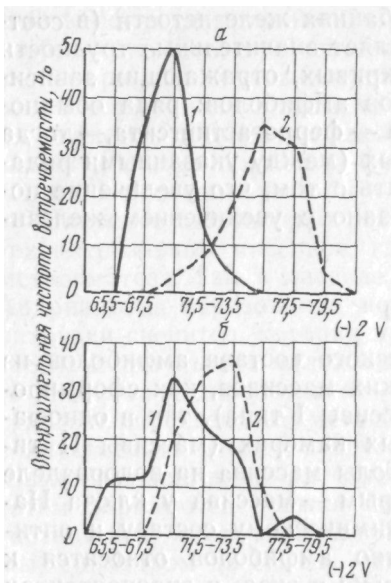


Рис. 35. Вариационные кривые углов оптических осей ($-2V$) амфиболов ряда обыкновенной роговой обманки формации габбро-гранодиоритов (N₁)

1 — массив в бассейне р. Ксенол; 2 — массив в бассейне р. Удугумец
 а — габбро, габбро-диориты (1—30 замеров; 2—33 замера), б — диориты, кварцевые диориты, гранодиориты (1—43 замера, 2—33 замера)

наблюдается: максимум $-2V$ для II фазы смещается по сравнению с I фазой в стороны меньших значений угла оптических осей.

Таким образом, сравнение полученных максимумов показывает, что во всех изученных магматических образованиях (в одних и тех же массивах) наиболее широко представлены очень близкие по значениям угла оптических осей амфиболы. В то же время роговые обманки из одноименных пород различных массивов

несколько различаются. Особенно существенны различия обыкновенных роговых обманок из пород первых фаз внедрения.

Изменение $-2V$ в зональных кристаллах роговой обманки из жил-апофиз, развитых в массиве по ключу Начальному (табл. 22), показывает, что центральные, более ранние зоны кристаллов имеют большие углы $-2V$, чем краевые, более поздние, что находится в полном соответствии с изменением значений максимумов на кривых распределения значений $-2V$ для массивов рек Юртиная и Удугумец.

Таблица 22

Величина угла оптических осей и характер зональности в роговых обманках из жил-апофиз (ключ Начальный)

№ обр.	Порода	Характер кристалла	Зона кристалла	
			центральная	внешняя
668	Порфириовидный габбро-диорит	Мелкое зерно	-87°	-79°
		Крупный вкрапленник *	-84°	-78°
		Средний вкрапленник	-85°	-76°
665/2	Амфиболовое габбро	Амфиболовое габбро	-83	-78

* Внешняя зона окрашена гуще, чем центр

Проведенные нетроструктурные исследования массива в бассейне р. Кенсол показывают, что наиболее ранняя генерация роговой обманки, ассоциирующая с интрателлурическим плагиоклазом № 46—50, характеризуется отчетливой линейной ориентировкой, и на диаграммах структурного анализа длинные оси ее (оси С) ориентированы строго определенным образом, образуя поясные тектониты, что в совокупности с петрографическими особенностями (выдержанность размеров, коррозия более поздними минералами и т. д.) позволяет считать ее интрателлурической, существовавшей в виде кристаллов в момент выполнения магмой интрузивной камеры и фиксирующей движение магмы. В целях сопоставления амфиболов из различных пород формации было проведено измерение их показателей преломления. В общем, как и наиболее характерные значения $-2V$, показатели преломления амфиболов из всех разностей по-

род близки между собой и изменяются в пределах 1,669—1,675. Исключение представляет обыкновенная роговая обманка из гранита, показатель преломления которой равен 1,682 (табл. 23).

Таблица 23

**Оптические свойства и железистость обыкновенных роговых обманок из пород
формации габбро-гранодиоритов**

(массив в бассейне рек Юртиния и Утудумец)

Номер образца	Порода	Фаза	Цвет минерала и характер изменений	Показатели преломления			Ng-Np	c: Ng°	-2V°	f'	f''
				Ng	Nm	Np				%	
808/1	Кварцевое габбро	I	Зеленовато-бурый, свежий	1,669	1,663	1,650	0,019	15	72,74, 77	32	37
848/ 13а	Кварцевый габбро-диорит	I	Зеленый, свежий	1,672	1,667	1,656	0,016	15		35	40
915/5	Кварцевый габбро-диорит	I	Интенсивно зеленый, свежий	1,673	1,668	1,654	0,019	16		36	41
849	Габбродиорит	I	Зеленый, свежий	1,674	1,669	1,652	0,022	16	76,76, 77,72	37	42
914/1	Кварцевый габбро-диорит	I	Темно-бурозеленый, свежий	1,679	1,670	1,661	0,018	14	72	42	47
848/ /13	Кварцевый диорит	II	Травяно-зеленый, свежий	1,669	1,664	1,648	0,021	18		32	37
710/3	Гранодиорит	II	Травяно-зеленый, свежий	1,675	1,668	1,654	0,021	16	74	37,5	42
793	Гранит	II	Интенсивный травяно-зеленый, свежий	1,682	1,675	1,663	0,019	14		46	50
52/III	Гранодиорит	II	Зеленый, слабохлоритизированный	1,671	1,666	1,651	0,020	21		34	39
258/1	Гранодиорит	II	Зеленый, слабохлоритизированный	1,671	1,662	1,651	0,020	15		34	39

Примечание. f'—железистость; f''—по В. Е. Трегеру (1938); f''—по В. С. Соболеву (1950).

Таким образом, сравнивая показатели преломления обыкновенной роговой обманки из двух крайних типов пород — габбро и гранитов, можно, по-видимому, говорить о том, что железистость роговой обманки из самых поздних образований (гранитов) более высокая, чем железистость того же минерала из сравнительно более ранних пород габбро.

Гастингсит

Амфибол ряда гастингсита — паргасита отмечается в зонах эндо- и экзоконтакта некоторых интрузивных массивов II типа. Так, в эндоконтактах жил-апофиз массива у ключа Начального волокнистый синезеленый амфибол встречается в виде вкрапленников в габбро-порфири-тах, а в массиве у перевала Кирганикского аналогичный амфибол развивается в эндоконтактах интрузии в роговиках по пироксеновым порфири-там. Характерные оптические свойства — цвет, плеохроизм, величина угла оптических осей, а также ориентировка оптической индикат-рисы позволяют довольно уверенно определять минерал как гастинг-сит. Особенности пространственного распределения этого амфибола (приуроченность его к контактовым зонам интрузий), а также харак-

Оптические константы гастингсита (обр. 919/1) из габбро-порфири-тов жилы-апо-физы массива у ключа Начального следующие: грань—Сп (ПО): Ng = 62; Nm = 78; Kp = 30; -2V = 28° (значения -2V в других зернах составляют 30, 33, 27, 24, 25, 30, 31, 34, 26); c: Ng = 29.

терные морфологические особенности зерен, зачастую отчетливо замечающих более ранние материалы, позволяют, по-видимому, говорить о метасоматической природе гастингсита в породах изученной формации.

Формация гранодиорит-порфиоров — дацитов

Амфибол в магматических образованиях формации гранодиорит-порфиоров — дацитов — второй по распространенности минерал. Нами изучались только интрузивные магматические образования. Наиболее характерными формами их проявления являются дайки, жилы и мелкие штокообразные тела. Значительно реже отмечаются достаточно крупные интрузивные массивы. В целях сравнения оптических свойств амфиболов из различных пород данной формации были изучены следующие группы интрузивных тел:

а) жилы и субвулканические интрузии в бассейне р. Кирганик, сложенные диорит-порфиритами и кварцевыми диорит-порфиритами;

б) жилы и штоки в бассейне р. Кагнисин, сложенные гранодиорит-порфирами;

в) интрузивный массив в бассейне р. Касанга, сложенный порфиroidными гранитами и гранодиорит-порфирами.

Согласно проведенному детальному оптическому изучению амфибола, он относится к ряду обыкновенной роговой обманки, содержание которой варьирует от 3—5% в наиболее кислых разностях (в некоторых дайках и в крупных интрузивных массивах порфиroidных гранитов) до 35—40% в диорит-порфиритах (дайки и штокообразные тела). В порфиroidных породах большая часть амфибола присутствует в виде свежих вкрапленников, количество которых колеблется в пределах 20—30% от общего их числа. Среди вкрапленников часто можно четко выделить две генерации амфибола.

Первая генерация образует крупные, отлично ограненные кристаллы, иногда опациitized с краев и окруженные каемками из агрегата мелких зерен рудного минерала (размер таких кристаллов достигает 0,5x 1,0 мм; 1,0x5 мм). Количество их колеблется от 10 до 20% общего числа вкрапленников роговой обманки.

Вторая генерация характеризуется менее идиоморфными кристаллами и зернами гораздо меньших размеров (0,2—0,5 мм), причем в наиболее хорошо раскристаллизованных разностях пород эти размеры соответствуют размерам других, позже образовавшихся минералов.

Существует, по-видимому, и третья генерация роговой обманки, которая характеризуется ксеноморфными очертаниями, очень мелкими (до 0,1—0,2 мм) размерами зерен и присутствует в виде отдельных редких зерен в основной массе порфиroidных пород. Отмечаются и некоторые отличия в оптических свойствах этих трех генераций амфибола, на которых мы остановимся ниже.

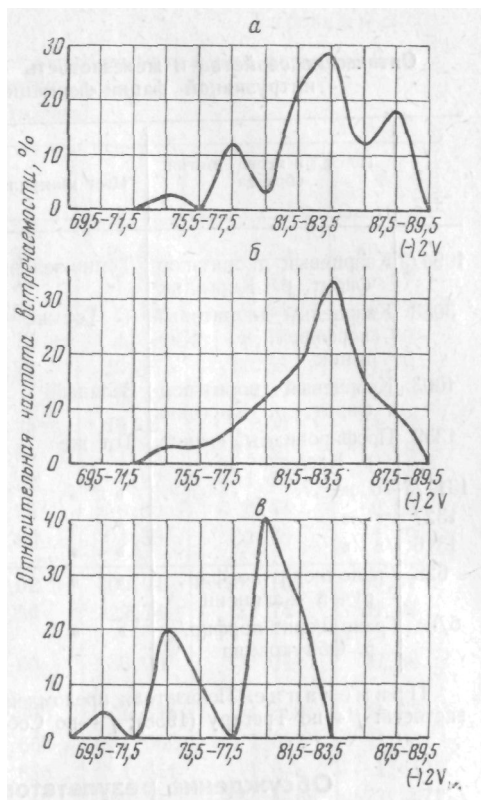
Окраска минерала зеленая, с желтым оттенком. Интенсивность последнего несколько колеблется для амфиболов из различных пород. Характер плеохроизма следующий: Ng — желтовато-зеленый, Nm — светлый желто-зеленый, Np — светлый зелено-желтый.

В диорит-порфиритах (р. Кирганик) часто наблюдается явление прорастания роговой обманкой I генерации крупных зерен плагиоклаза. В гранодиорит-порфирах из небольших тел (ручей Кагнисин) во вкрапленниках роговой обманки включены мелкие, но хорошо ограненные кристаллы плагиоклаза № 38—40. Нередко в зернах роговой обманки наблюдаются мелкие включения апатита и магнетита.

В кварцевых диорит-порфиритах (дайки и массив в бассейне р. Кирганик), а также в гранодиорит-порфирах (дайки и небольшие штоки — ручей Кагнисин) преобладает роговая обманка первой генерации.

Рис. 36. Вариационные кривые углов оптических осей амфиболов ряда обыкновенной роговой обманки формации гранодиорит-порфиров — дацитов (N₁)

a — диоритовые порфиры (р. Кирганик, 33 замера); *б* — гранодиорит-порфиры (р. Кагнисин, 33 замера); *в* — порфирированные гранодиориты и граниты (р. Касанга, 20 замеров)



В порфирированных гранитах (р. Касанга) при микроскопическом исследовании вследствие наиболее высокой степени раскристаллизации пород дать четкое выделение генераций в общем трудно. Однако в резкопорфирированных породах фации эндоконтактов представляется возможным выделить те же три генерации роговой обманки.

Из процессов позднего замещения амфибола широко развита хлоритизация. При сравнении оптических констант роговой обманки из различных пород формации было установлено, что наибольшее колебание в значениях испытывает угол оптических осей. Произведенные измерения позволили построить кривые распределения $-2V$ роговых обманок из главных типов магматических пород формации (рис. 36, б).

При построении диаграммы было использовано 86 замеров. Полученные вариационные кривые по морфологии резко отличаются от всех охарактеризованных ранее. Коренное отличие заключается в том, что на этих кривых имеется от одного до трех, реже четырех, максимумов, причем главные максимумы почти всегда соответствуют одной из генераций амфибола.

В гранодиорит-порфирах, развитых в бассейнах р. Кагнисин и в диоритовых порфиритах р. Кирганик, замерялись значения $-2V$ преимущественно у вкрапленников роговой обманки; представляет интерес в связи с этим совпадение максимума, характерного для кагнисинских гранодиорит-порфиров, и одного из максимумов, свойственных кирганикским диорит-порфиристам.

Измерение $-2V$ ранних генераций роговой обманки, а также центральных частей крупных зональных кристаллов показывает, что их значения высокие. Таким образом, учитывая изложенное, а также анализируя кривые распределения значений $-2V$, можно говорить о том, что в процессе кристаллизации роговой обманки и появления все большего числа генераций угол оптических осей амфиболов постепенно уменьшается. Кроме того, сравнивая величины максимумов, можно говорить о том, что большая часть роговой обманки выделялась в виде ранних генераций.

В нашем распоряжении имеются также замеры показателей преломления обыкновенных роговых обманок из различных пород данной формации (табл. 24). Сравнение их показало широкие интервалы колебаний значений, что, по-видимому, связано с колебаниями в составе амфиболов. Общая железистость обыкновенных роговых обманок из различных пород формации изменяется от 41 до 59%.

Оптические свойства и железистость обыкновенных роговых обманок из пород интрузивной фации формации гранодиорит-порфиров—дацитов

Номер образца	Порода и место взятия образца	Цвет минералов	Показатели						-2 V ⁰	f'	f''
			N _{гг}	N _ш	N _р	N _{г-р}	c: N _{гг} ⁰	°			
1094/3	Кварцевым диорит-порфирит, р. Кирганик	Темно-зеленый	1,679	1,670	1,661	0,018	17	75	42	47	
3083	Кварцевый диоритовый порфирит, р. Кирганик	Тот же	1,676	1,666	1,649	—	—	—	38	45	
1003	Кварцевый диорит-порфирит, р. Кирганик	Зеленый	1,683	1,672	1,663	—	—	—	47	51	
1339	Порфиroidный гранит, р. Касанга	Тот же	1,676	1,665	1,650	0,020	16	82,81	38	45	
1317/1	То же	» »	1,683	1,672	1,662	0,021	15	82,80	74,75	47	51
1327	» »	» »	1,678	1,668	1,660	—	—	77	41	46	
1316	» »	» »	1,685	1,679	1,664	—	—	75,70	50	53	
628	Гранодиорит-порфир, ручей Кагнисин	» »	1,674	1,664	1,652	—	—	—	37	42	
б/н	Гранодиорит-порфир, р. Облуковина	» »	1,690	?	1,666	—	19	70	57	59	

Примечание. Показатели преломления определены с точностью $\pm 0,003$; f— железистость: f'—по Трегеру (1958); f''—по Соболеву (1950).

?

Обсуждение результатов

В соответствии с химическими анализами изученные амфиболы, согласно классификации У. Ф. Дира, Р. А. Хауи и Дж. Зусмана (1965), относятся к подгруппе кальциевых. Пять из них, отобранные из гранитоидных формаций, относятся к ряду обыкновенной роговой обманки, а

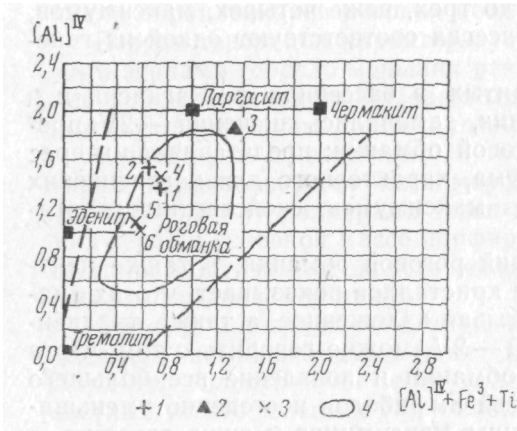


Рис. 37. Колебания химических составов кальциевых амфиболов из plutonic образований, различных магматических формаций Центральной Камчатки

1—3— амфиболы: 1— из габбро-плагиигранитов, 2—из габбро-сиенитов — трахиандезитов, 3— из габбро-гранодиоритов; 4— поле составов обыкновенных роговых обманок. (Цифры на диаграмме соответствуют порядковым номерам химических анализов в табл. 25)

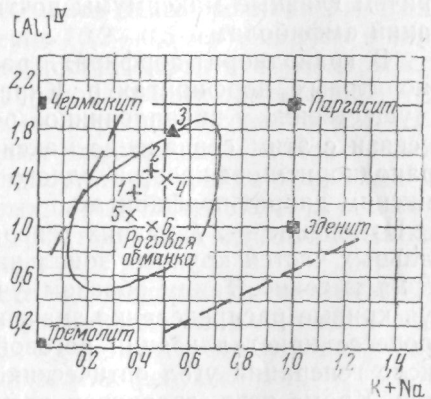


Рис. 38. Колебания химических составов кальциевых амфиболов из plutonic образований различных магматических формаций Центральной Камчатки.

Условия обозначения те же, что на рис. 37

**Химические составы амфиболов из различных пород магматических формаций
Центральной Камчатки, %**
(Аналитик Т. В. Долгова)

Оксиды	1	2	3	4	5	6
SiO	46,90	46,04	42,96	45,50	47,72	46,80
TiO ₂	1,68	1,77	1,36	1,87	1,69	1,87
Al ₂ O ₃	7,83	9,11	14,55	8,19	6,43	5,77
Fe ₂ O ₃	3,60	2,23	4,72	4,07	3,39	3,60
FeO	13,17	6,24	6,75	10,46	10,58	11,78
MnO	0,25	0,18	—	0,75	—	—
MgO	12,91	17,25	13,25	14,01	15,48	14,14
CaO	11,28	12,15	12,66	11,74	11,50	11,68
Na ₂ O	1,22	1,17	1,21	1,27	1,19	1,16
K ₂ O	0,38	0,67	0,96	0,80	0,43	0,82
H ₂ O+	0,75	2,52	1,60	1,35	1,78	1,79
Σ	99,97	99,33	99,92	100,01	100,19	99,41
Стандартная железистость (f')	36,51	16,89	22,20	29,74	27,74	31,91
Общая железистость	41,80	21,00	34,60	36,00	33,04	37,60
Ng	1,674	1,660	1,670	1,671	1,669	1,673
Nm	1,665	1,654	1,663	1,662	1,662	1,664
Np	1,652	1,643	1,650	1,651	1,648	1,649
2V°	—	—83	—70; —72	—69; 70 —72	—64; —68 —69; —68 —71; —69	—73; —71
c:Ng°	—	20	17,20	20	14,16	22
Ng—Np	—	—	—	0,020	—	—

Кристаллохимические формулы

- 1—(Ca_{1,73}Na_{0,34}K_{0,05})_{2,12}(Fe²⁺_{1,58}Mg_{2,76}Fe³⁺_{0,40}Ti_{0,18}Mn_{0,03}Al_{0,05})_{5,00}(Si_{6,74}Al_{1,26})_{8,00}O_{22,00}(O_{1,31}OH_{0,69})_{2,00}
- 2—(Ca_{1,86}Na_{0,33}K_{0,12})_{2,31}(Fe²⁺_{0,75}Mg_{3,67}Fe³⁺_{0,24}Ti_{0,20}Mn_{0,03}Al_{0,11})_{5,00}(Si_{6,58}Al_{1,42})_{8,00}(O_{21,50}OH_{0,50})_{22,00}(OH)_{2,00}
- 3—(Ca_{1,97}Na_{0,33}K_{0,18})_{2,48}(Fe²⁺_{0,82}Mg_{2,84}Fe³⁺_{0,50}Ti_{0,15}Al_{0,69})_{5,00}(Si_{6,21}Al_{1,79})_{8,00}O_{22,00}(O_{0,45}OH_{1,55})_{2,00}
- 4—(Ca_{1,82}Na_{0,35}K_{0,16})_{2,33}(Fe²⁺_{1,26}Mg_{3,02}Fe³⁺_{0,45}Mn_{0,09}Ti_{0,18})_{5,00}(Si_{6,58}Al_{1,39}Ti_{0,03})_{8,00}O_{22,00}(O_{0,61}OH_{1,29})_{2,00}
- 5—(Ca_{1,76}Na_{0,31}K_{0,07})_{2,14}(Fe²⁺_{1,26}Mg_{3,28}Fe³⁺_{0,36}Ti_{0,10})_{5,00}(Si_{6,28}Al_{1,10}Ti_{0,08})_{8,00}O_{22,00}(O_{0,34}OH_{1,66})_{2,00}
- 6—(Ca_{1,83}Na_{0,32}K_{0,16})_{2,31}(Fe²⁺_{1,44}Mg_{3,08}Fe³⁺_{0,41}Ti_{0,07})_{5,00}(Si_{6,85}Al_{1,00}Ti_{0,14})_{8,00}O_{22,00}(O_{0,28}OH_{1,74})_{2,00}

Примечание. Роговая обманка: 1 — обр. п. 12, из габбро-диоритов первой фазы формации габбро-плагиогранитов, массив у р. Кагнисин; 2 — обр. 644/2, из шлира горнблендита в габбро-диоритах первой фазы формации габбро-плагиогранитов, там же; 3 — обр. 133, из монзонита формации габбро-сиенитов — трахизандзитов, массив 3 бассейне р. Евсейчи; 4 — обр. 3141, из габбро-диорита первой фазы формации габбро-гранодиоритов, массив в бассейне р. Кенсол; 5 — обр. 3735-а, из гранодиоритов второй фазы формации габбро-гранодиоритов, там же; 6 — обр. п. 1, из гранодиоритов второй фазы формации габбро-гранодиоритов, массив в бассейне р. Юртиная и Утудумец.

Сравнительная характеристика обыкновенных роговых обманок

Порода	Формация	Количество, %	Размер, мм	с : Kg	—2 V			
					интервал	максимум		
						I	II	III
Габбро, габбро-диориты	Габбро-плагиогранитов	35—40	0,3—1	12—19° (до 22°)	72—87°	82—85°	—	—
	Габбро-сиенитов-трахиандезитов	0—5	1-1,5	18—20°	66—77°	68—73°	—	—
	Габбро-гранодиоритов	5—25, реже до 40	1—1,5 1,5—4,0	20—22°	67—81°	68—71°	76—79°	—
Диориты, кварцевые диориты, гранодиориты	Габбро-плагиогранитов	5—10	0,5—0,7	14—17°	74—85°	80—81°	—	—
	Габбро-гранодиоритовая	10—25	0,5—1,0, реже 0,1—0,2	15-17°	66-77°	70—75°	—	—
Порфиroidные граниты, гранодиориты	Гранодиорит-порфиroidная	0—5	1,0—5,0 0,5—1,0 0,1—0,2	18—23°	70—83°	70—71°	74—75°	80—83
Гранодиорит-порфиroidы		5—15	0,2—1,0	12-14°	72—89°	82—85°	—	—
Диорит-порфиroidиты		35—40	1,0—5,0 0,1—0,2		72—89°	74—75°	78—79°	82—85
Амфиболoвые монцониты, кварцевые монцониты	Габбро-сиенитовая трахиандезитовая	20—40	0,5—1,0	17—20°	60—71°	60—61°	68—72°	
Сиениты, кварцевые сиениты		20—50	0,5—1,5	—	60—73°	65—67°	—	—
Лмфиболизирoванные габбро, калишпатизирoванные габбро		60—80	0,3—1,5		60-73°	64—65°	69—70°	

Примечание. Значение максимумов—2V взяты с графиков распределения значений-

шестой, выделенный из монцонитов формации габбро-сиенитов — трахиандезитов, очень близок к ряду паргасита-феррогастингсита (рис. 37, 38) (табл. 25). Он отличается от указанных большим содержанием в своем составе Al, Al, Fe³⁺ и Ca*. На рис. 37, 38 предложенных У. А. Диром (Дир и др., 1965), показаны колебания составов кальциевых амфиболов, выраженных в количествах атомов (Na + K) и Al, а также (Al^{VI} + Fe⁺ + Ti) и Al^{IV} на формульную единицу. Фигуративные точки анализов амфиболов из пород магматических формаций Центральной Камчатки располагаются согласно изложенной закономерности — пять из них попадают в поле, характеризующее составы обыкновенных роговых обманок, а шестой близок к ряду паргасит-феррогастингсит.

* На основании сравнения количественного распределения Al^{IV} в кальциевых амфибoлах Сундиус (Дир и др., 1965) также выделяет три ряда амфиболов. Согласно этой классификации, изученные амфиболы относятся к тем же двум рядам: к ряду обыкновенной роговой обманки и ряду паргасита-гастингсита.

из магматических пород Центральной Камчатки

Изменение, —2 V по зонам в кристалле		Показатели преломле- ния (пределы колебаний)			Цвет			Коэффициент железистости		
центр	перифе- рия	Ng	Nm	Np	Ng	Nm	Np	f°	f'	f''
82°	87°	1,683 1,674	1,674 1,665	1,661 1,652	Темно- бурый	Бурый	Бледно-желто- зеленый	24,6	16,9	21,0
—	—	1,680 1,678	1,672 1,668	1,662 1,656	Зеленый	Светло- зеленый	Бледно- зеленый	—	—	—
83—87°	76—79°	1,679 1,669	1,670 1,663	1,661 1,650	Буро- зеленый	Светло- зеленый	Светло- зеленый	25,6	29,4	36,0
—	—	1,676 1,667	1,666 1,656	1,653 1,648	Буровато- зеленый	Желто- зеленый	Светло-желто- зеленый	—	—	—
—	—	1,675 1,669	1,668 1,664	1,654 1,648	Темно- зеленый	Зеленый	Светло-желто- зеленый	22,5— 25,0	27,7— 31,9	33,1— 37,6
—	—	1,685 1,676	1,679 1,665	1,664 1,650	Буровато- зеленый	Желто- зеленый	Светло-желто- зеленый	—	—	—
—	—	1,674	1,664	1,652	Буровато- зеленый	Желто- зеленый	Светло-желто- зеленый	—	—	—
—	—	1,683 1,676	1,672 1,666	1,662 1,653	Зеленый	Светло- зеленый	Бледно- зеленый	—	—	—
74°	60°	1,680 1,675	1,672 1,668	1,662 1,649	Темно- зеленый	Зеленый	Светло- зеленый	38,1	22,2	31,6
71°	57°	1,689 1,685	1,681 1,670	1,666 1,664	Темно- зеленый	Зеленый	Светло- зеленый	—	—	—
70°	61°				Темно- зеленый	Зеленый	Светло- зеленый			

2V. Показатели преломления определялись с точностью $\pm 0,003$.

Расположение фигуративных точек на диаграммах указывает на некоторые особенности состава изученных амфиболов. Так, обыкновенная роговая обманка из габбро-диоритов формации габбро-плагиогранитов содержит в своем составе меньше щелочей и Al^{IV} , чем роговая обманка из габбро более поздней по времени проявления формации габбро-гранодиоритов. Кроме того при переходе от габбро-диоритов первой фазы к гранодиоритам второй фазы формации габбро-гранодиоритов в роговой обманке уменьшается количество Al^{IV} и соответственно увеличивается количество Si.

В гранодиоритах второй фазы массива в бассейне р. Кенсол (формация габбро-гранодиоритов) большое значение имеют роговые обманки, образовавшиеся в интрателлурических условиях, поэтому химический анализ (см. табл. 25 3735-а) минерала показывает относительно большую магнезиальность по сравнению с двумя другими анализами. Последние в общем близки между собой, но железистость амфибола

несколько возрастает в породах второй фазы (массива в бассейне р. Юртиная).

Среди замещений, определяющих основные изменения состава амфиболов, существенную роль играет изоморфизм типа Al, Al Si, (Mg, Fe²⁺).

В соответствии с этим большое значение имеет относительная глиноземистость роговых обманок. Наиболее глиноземистым является амфибол формации габбро-сиенитов — трахиандезитов (рис. 39). Среди амфиболов двух гранитоидных формаций более глиноземистыми являются роговые обманки из более древней формации габбро-плагиигранитов.

В то же время амфиболы из пород II фазы формации габбро-гранодиоритов менее глиноземисты, чем амфибол из I фазы той же формации.

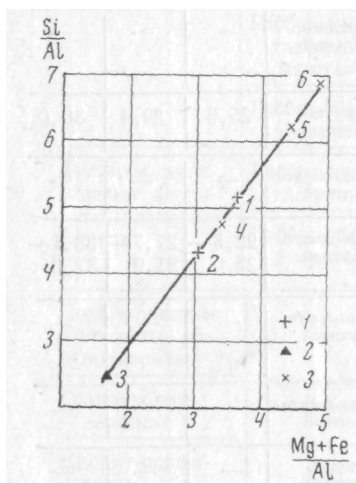


Рис. 39. Относительная глиноземистость кальциевых амфиболов из plutonic образований различных магматических формаций Центральной Камчатки

Условные обозначения те же, что на рис. 37

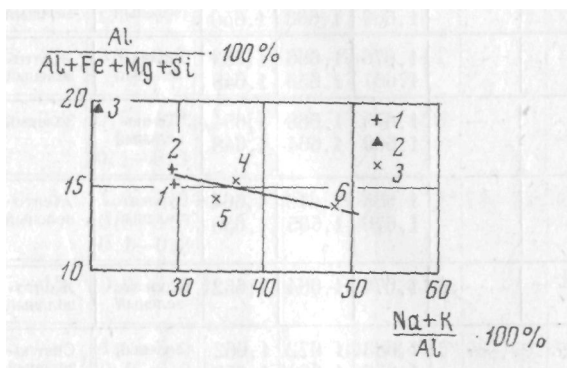


Рис. 40. Относительная щелочность кальциевых амфиболов из plutonic образований различных магматических формаций Центральной Камчатки

Условные обозначения те же, что на рис. 37

Важные изменения химического состава кальциевых амфиболов происходят также при вхождении щелочных металлов в их кристаллическую решетку, что сопровождается компенсированным замещением кремния на алюминий и, кроме того, параллельным изоморфизмом типа (Mg, Fe²⁺)Si на (Al + Fe)Al. Таким образом, намечается, по-видимому, связь щелочности амфибола с его глиноземистостью. На диаграмме (рис. 40) показана зависимость между $\frac{Al}{Al+Fe+Mg+Si}$ и $\frac{Na+K}{Al} \cdot 100\%$.

Анализируя построенную диаграмму, можно заметить, что фигуративные точки высокоглиноземистого амфибола из монзонитов формации габбро-сиенитов — трахиандезитов резко оторваны от группы точек, характеризующих амфиболы из пород гранитоидных формаций. Оценивая расположение последних, можно говорить о том, что уменьшение глиноземистости обыкновенных роговых обманок из пород гранитоидных формаций при переходе от более ранних к более поздним образованиям сопровождается увеличением щелочности кристаллизующихся амфиболов.

Изменения в химическом составе амфиболов влияют и на их оптические свойства. Так, на показатели преломления роговых обманок оказывает влияние главным образом замещение Mg на Fe. Кроме того, сказывается и количество (Al). Замещение этих двух типов, т. е. Mg на Fe²⁺ и Si на Al, сопровождается повышением показателя преломления.

Алюминий в октаэдрической координации влияет на оптические свойства почти так же, как магний (Дир и др., 1965). На рис. 41 показана диаграмма, отражающая зависимость показателя преломления изученных роговых обманок от содержания Al и Mg в октаэдрической координации. На ней обнаруживается четкая зависимость между высокими

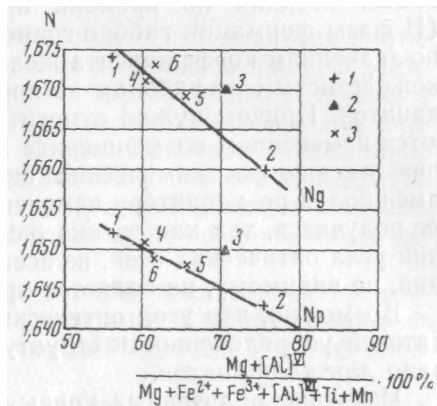
отношениями $\frac{Mg + Al^{VI}}{Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Al^{VI} + Ti + Mn} \cdot 100\%$ и низким показателем преломления, причем интересной особенностью является и то,

Рис. 41. Диаграмма зависимости между показателями преломления (Ng, Np) и отношением

$$\frac{Mg + (Al)^{VI}}{Mg + Fe^{2+} + Fe^{3+} + (Al)^{VI} + Ti + Mn} \cdot 100\%$$

для кальциевых амфиболов из plutонических образований различных магматических формаций Центральной Камчатки

Условные обозначения те же, что на рис. 37



что фигуративная точка, соответствующая амфиболу формации габбро-сиенитов—трахиандезитов «отскакивает» от линии, отражающей зависимость между указанными величинами.

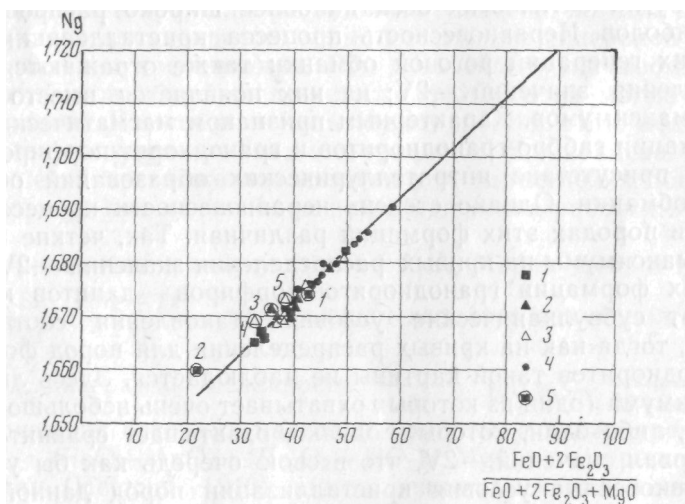


Рис. 42. Зависимость показателей преломления амфиболов от их общей железистости для plutонических образований различных магматических формаций Центральной Камчатки

1—4 амфиболы: 1 — из габбро-плагиигранитов, 2 — из габбро-гранодиоритов (I фаза). 3 — из габбро-гранодиоритов (II фаза); 4 — из гранодиорит-порфиров; 5 — фигуративные точки, отвечающие соответствующим химическим анализам (цифры на диаграмме — порядковый номер химических анализов в табл. 25)

При изучении химических характеристик амфиболов большое значение уделяется обычно соотношению магния и железа (коэффициенту железистости), а также влиянию этого отношения на показатель преломления минералов.

Нанесение химических проанализированных образцов обыкновенной роговой обманки в соответствии с их показателями преломления на диаграмму зависимости коэффициента железистости от этого показателя позволило использовать диаграмму В. С. Соболева (1950) для определения железистости амфиболов из гранитоидных пород магматических формаций Центральной Камчатки (рис. 42).

Из анализа диаграммы и табл. 26 явствует, что значения железистости роговых обманок из пород формаций габбро-гранодиоритов и габбро-плагиогранитов очень близки между собою. Однако амфиболы самых поздних по времени проявления магматических образований (II фазы формации габбро-гранодиоритов) наиболее железисты и часто по значениям коэффициента железистости приближаются к самым высокожелезистым амфиболам из пород формации гранодиорит-порфиров — дацитов. Причем нужно отметить, что полученные данные подтверждаются изменением коэффициента железистости, рассчитанного на основании имеющихся химических анализов. Если оценивать железистость амфиболов по характеру изменения $-2V$, то совпадения в результатах не получится, так как оценка железистости амфиболов, исходя из значений угла оптических осей, не всегда возможна в связи с тем, что последний, по-видимому, не является прямой функцией химического состава.

Возможно, что угол оптических осей может служить одним из показателей упорядоченности структуры амфибола, как это уже было показано для калишпатов.

Изучение полученных кривых распределения значений угла оптических осей амфиболов дает дополнительные критерии различия магматических образований, относимых к той или иной магматической формации. Закономерная смена магматических и метасоматических образований во времени в пределах одной формации приводит к уменьшению значений угла оптических осей наиболее широко распространенных в них амфиболов. Неравновесность процесса кристаллизации, появление нескольких генераций роговой обманки также отражаются на кривых распределения значений $-2V$; на них появляется вместо одного несколько максимумов. Характерным признаком магматических образований формации габбро-гранодиоритов и гранодиорит-порфиров — дацитов является присутствие интрателлурических образований обыкновенной роговой обманки. Однако степень неравновесности процессов кристаллизации в породах этих формаций различная. Так, четкие и резко различные максимумы на кривых распределения значений $-2V$ амфиболов в породах формации гранодиоритов-порфиров — дацитов как бы подчеркивают субвулканические условия становления соответствующих интрузий, тогда как на кривых распределения для пород формации габбро-гранодиоритов такой картины не наблюдается. Здесь либо имеются два максимума (один из которых охватывает очень небольшое количество замеров), либо один, который, однако, охватывает сравнительно широкий интервал значений $-2V$, что в свою очередь как бы указывает на более равновесные условия кристаллизации пород данной формации. При анализе кривых распределения значений $-2V$ в породах одного и того же петрографического типа из различных массивов одной и той же формации значения характерных максимумов в большинстве случаев близки, и, напротив, кривые для пород одного и того же петрографического типа, но из разных магматических формаций существенно различны по форме и размещению максимумов на них.

Этот факт еще раз подчеркивает возможность использования значений углов оптических осей для корреляции магматических образований.