

Л. Ш. БАЗАРОВ, Я. А. КОСАЛС, В. А. СЕНИНА

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИННВАЛЬДИТ-АМАЗОНИТ-АЛЬБИТОВЫХ АПОГРАНИТОВ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 22 II 1971)

Существуют две точки зрения на генезис амазонитовых гранитов: 1) кристаллизация амазонита из обогащенного летучими и редкими щелочами магматического расплава (<sup>1, 2</sup>); 2) послемагматический генезис (амазонитизация) в результате метасоматической переработки ранее раскрысталлизованных гранитов (<sup>3, 4</sup>) с образованием литионит-амазонит-альбитовых апогранитов (<sup>3</sup>). Сторонники первой точки зрения полагают, что в условиях повышенных содержаний лития и фтора гранитный расплав может сохраняться до 550° при устойчивости лепидолита, альбита и амазонита и топаза в связи с расширением поля кристаллизации кварца. Сторонники второй связывают амазонитизацию гранитов с поздней щелочной стадией постмагматического процесса при температурах 250—200° (<sup>4</sup>).

Нами исследовались включения кварца из различных зон циннвальдит-амазонит-альбитовых апогранитов. Изучавшиеся породы приурочены к зонам интенсивной трещиноватости в апикальной части гранитного массива. Геолого-петрографическими и минералого-геохимическими исследованиями установлено, что изучаемые апограниты развиваются по биотитовым гранитам I и лейкократовым гранитам II и III фаз и отчасти по вмещающим сланцам. Проведенные нами исследования включений расплавов кварца гранитов представили возможность оценить температурные условия их кристаллизации (<sup>6</sup>). Интервал температур гомогенизации с учетом новых дополнительных результатов составил 800—1020°.

В строении изучавшихся апогранитов по минеральным парагенезисам и пространственному положению устанавливается вертикальная и горизонтальная зональность: 1) неизмененные граниты I и II фаз; 2) микроклинизированные и мусковитизированные, слабо альбитизированные граниты I и II фаз; 3) протолитионит-микроклин-альбитовые апограниты; 4) циннвальдит-амазонит-альбитовые апограниты; 5) циннвальдит-альбит-амазонитовые апограниты; 6) полосчатые циннвальдит (криофиллит)-амазонит-альбитовые апограниты; 7) циннвальдит (альбит)-топаз-кварцевые экзоконтактовые грейзены; 8) кварц-амазонитовые жилы (в гранитах, апогранитах и сланцах). Минералого-петрографические исследования основных породобразующих минералов апогранитов позволили выделить в пределах изучавшихся зон несколько (до 4) генераций минералов.

Следует отметить изменение состава альбита снизу вверх по разрезу от №№ 12 (зоны 3, 4) до №№ 0—2 (зоны 6, 8).

В кварце всех исследованных зон были обнаружены газожидкие включения с различным соотношением фаз газ:жидкость (от 10:90 до 90:10). Фазовый состав включений — газ и жидкость (солевой раствор). В кварце из кварц-амазонитовых жил (8-я зона) в составе включений присутствует также жидкая CO<sub>2</sub>, составляющая до 8% объема включений. Первичные включения встречаются редко, обычно они более или менее изометричной формы, располагаются по два-три, не имеют связи с залеченными трещинами. Вторичные включения многочисленны, располагаются в пределах залеченных трещин, различны по фазовым соотношениям. Го-

могенизация высокотемпературных включений осуществляется в жидкую и газовую фазы, низкотемпературных — в жидкую. Общее количество изучавшихся включений превышает 5 тыс. Достоверные результаты получены по существенно меньшему количеству включений (табл. 1).

Таблица 1

Результаты гомогенизации газовой-жидких включений в кварце из амазонитовых апогранитов

№ зоны	Породы	Тип включений	Агрегатное состояние в момент гомогенизации	Интервал т-ры гомогенизации включений, °С	Число двойных гомогенизаций
1	Неизмененные граниты	Первичные расплавы	Расплав	800—1020	28
2	Микроклинизированные, мусковитизированные граниты	Первичные жидко-газовые	Размер включ. < 0,001 мм	Не исследовались	
3	Протолитионит-микроклин альбитовые апограниты				
4	Цинвальдит-амазонит-альбитовые апограниты	Первичные	Жидкое — газовое	640—710	33
5	Цинвальдит-альбит-амазонитовые апограниты	Вторичные	Жидкое	200—560	360
		Первичные	Жидкое — газовое	410—620	35
6	Цинвальдит (криофиллит)-амазонит-альбитовый апогранит	Вторичные	Жидкое	200—350	290
		Первичные	Жидкое — газовое	400—520	100
7	Грейзены цинвальдит-топаз-кварцевые	Вторичные	Жидкое	200—320	400
8	Кварц-амазонитовые жилы	Размер включений < 0,001 мм		Не исследовались	
		Первичные	Жидкое — газовое		
		Вторичные	Жидкое	150—260	780

Для сопоставления результатов, полученных методом гомогенизации включений, нами были проделаны анализы полевых шпатов из всех зон (кроме 7-й) методом Барта<sup>(5)</sup> (табл. 2). Сопоставляя полученные результаты, можно видеть хорошее совпадение значений соответствующих температур. Температуры по методу Барта несколько ниже полученных методом гомогенизации. Наиболее близкие значения получены для 2-й и 8-й зон. Максимальные различия характерны для зон с наиболее интенсивными метасоматическими преобразованиями. Это связано с трудностями отбора мономинеральных фракций калиевых полевых шпатов (амазонита) в альбитизированных породах. Малые размеры включений в кварце 2-й и 3-й зон и сравнительно высокая плотность растворов в наиболее высокотемпературных включениях 4-й зоны однозначно свидетельствуют о спокойной обстановке и весьма малом развитии свободного объема (трещиноватости) в период кристаллизации упомянутых зон при температурах выше 700°.

Анализируя полученные результаты, можно отметить следующее: кристаллизация неизмененных исходных гранитов осуществлялась в интервале температур 800—1020°. Формирование микроклинизированных мусковитизированных гранитов и протолитионит-микроклин-альбитовых\* апогранитов осуществлялось в интервале выше 710 и ниже 800°. К сожалению, вследствие малых размеров включений (< 0,001 мм) осуществить их гомогенизацию не удалось, и температурный интервал формирования устанавливается по «вилке» между температурами выше- и нижележащих пород. Цинвальдит-амазонит-альбитовые апограниты формировались в интервале температур 640—710°, причем начальные этапы формирования

\* Альбит I генерации (зоны 3 и 4 апогранитов) замещает парагенезис кварц + микроклин.

проходили при участии жидких растворов, а поздние (менее плотных) — газовых. Это обстоятельство связано, по-видимому, с увеличением свободного объема (трещиноватости) при понижении температуры. Сравнительно небольшое изменение объема породы при снижении температуры от 710

Т а б л и ц а 2

Температуры кристаллизации гранитов и апогранитов  
(по методу Т. Барта (5))

№ зоны	Минерал	Аб в КЩШ, % (a)	Аб в Пл, % (b)	a/b	Т-ра кристаллизации, °С	
					шкала 1956 г.	по диаграмме (?)
1	Калишпат из гранитов I фазы	39	75	0,52	770	770
		43,5	80	0,54	800	800
2	Микроклин	38	90	0,42	680	670
		38,4	92	0,41	670	670
3	»	35	88	0,40	660	650
		35,5	95	0,37	630	630
4	Амазонит	28	95	0,29	560	570
		28	96	0,27	550	550
		25	95,5	0,25	525	530
5	»	20	96,5	0,20	480	485
		16	96,6	0,16	440	440
6	»	12	95	0,12	380	375
		10	94	0,10	360	360
8	»	10	95	0,10	360	360
		7	96	0,07	350	300—310

до 640° вызывает существенное изменение плотности растворов вплоть до изменения агрегатного состояния. Это оказывается возможным лишь при малом количестве растворов, присутствовавших в виде тонких пленок в системе межзерновых и поровых пространств. Циннвальдит-альбит-амазонитовая зона формировалась в интервале температур 410—620°; полосчатая циннвальдит (криофиллит)-амазонит-альбитовая — в интервале 400—520°; циннвальдит-топаз-кварцевые грейзены (экзоконтактные) — в интервале 350—400° (по «вилке»); кварц-амазонитовые жилы — в интервале 260—350°.

Альбит II, III и IV генераций из зон 5, 6 и 8 апогранитов, по нашему мнению, находится в парагенетических соотношениях с кварцем соответствующих зон. Полученные авторами температуры формирования этих зон хорошо совпадают с экспериментальными данными (8) и результатами изучения температур кристаллизации альбита (9).

Представляется несомненным, что в процессе формирования апогранитов при снижении температуры в результате остывания интрузива уменьшение объема породы с неизбежностью вызывает развитие системы трещин. Развитие трещин приводит к уменьшению давления и температуры минералообразующих растворов и, как следствие, изменению концентрации элементов. В этих условиях кристаллизующаяся система (апограниты) будет стремиться выравнять снизившееся в связи с развитием трещин давление минералообразующих растворов. Это выравнивание осуществляется за счет перемещения растворов по системе межзерновых, поровых и трещинных пространств из областей с большим давлением к области со снизившимся давлением. Выравнивание давления в нашем случае вновь приводит к увеличению плотности растворов. Изменение соотношения раствор + кристаллическая фаза в пользу раствора, а также наличие градиента температур снизу вверх по разрезу приводят к качественно иным физико-химическим условиям. Изменения условий с неизбежностью вызывают изменения состава и соотношений кристаллизующихся минералов. На наш взгляд, именно этими обстоятельствами и обуславливается возникновение зональности изучавшихся апогранитов.

Авторы признательны акад. В. С. Соболеву за помощь и ценные советы, полученные в процессе проведения исследований.

Институт геологии и геофизики  
Сибирского отделения  
Академии наук СССР  
Новосибирск

Поступило  
25 I 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> О. Д. Левицкий и др., Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрогр., минерал. и геохим., в. 100 (1963). <sup>2</sup> В. И. Коваленко, М. И. Кузьмин, Ф. А. Летников, ДАН, 190, № 2 (1970). <sup>3</sup> А. А. Беус, Э. А. Северов и др., Альбитизированные и грейзенизированные границы (апограниты), М., 1962. <sup>4</sup> Л. Г. Фельдман, А. Н. Бугаец и др., В сборн. Геол. месторожд. редких элементов, в. 31, М., 1967. <sup>5</sup> Т. Ф. Барт, Измерения палеотемператур гранитных пород, М., 1962. <sup>6</sup> Л. И. Базаров, Я. А. Косалс, В. А. Сенина, ДАН, 189, № 4 (1969). <sup>7</sup> Н. В. Давиденко, Геохимия, № 5 (1966). <sup>8</sup> P. M. O'gville, Am. J. Sci., 261, № 3, 201 (1963). <sup>9</sup> В. С. Соболев, И. Т. Бакуменко, Бюлл. Польской Акад. наук, сер. геол. и геофиз. наук, 12, № 2 (1964).