

Т. Ю. БАЗАРОВА, А. А. КРАСНОВ

ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ ЛЕЙЦИТСОДЕРЖАЩИХ БАЗАЛЬТОИДОВ

(Представлено академиком В. С. Соболевым 27 VIII 1974)

В настоящее время есть сведения о температурах и последовательности кристаллизации таких породообразующих минералов щелочных, и в частности лейцитсодержащих, базальтоидов, как оливин, пироксен, апатит, плагиоклаз, калишпат, нефелин, амфибол и биотит. Однако до сих пор методом гомогенизации включений расплава не было получено достоверных сведений о температурах кристаллизации лейцита, несмотря на то что в лейците всегда обнаруживается большое количество включений минералообразующих сред. Характерны выдержанность морфологии, фазового состава и фазовых соотношений во включениях расплава в кристаллах лейцита одной породы. Как правило, включения расплава подчеркивают зональность роста в кристаллах лейцита (рис. 1 а, б, рис. 2 з, и), т. е. они были захвачены при кристаллизации лейцита и, таким образом, обязаны нести информацию об условиях его кристаллизации. В опубликованных нами ранее данных, касающихся гомогенизации включений расплава в лейцитах фергусит-порфиоров Восточного Памира и современных лав Везувия (^{1, 3, 4}), обращает на себя внимание отсутствие гомогенизаций во включениях до очень высоких температур (1600–1670°). Другими авторами (²) гомогенизация включений расплава в лейцитах также не была достигнута. Отсутствию гомогенизации в нормальных, казалось бы, включениях расплава мы не могли до настоящего времени найти объяснения. Только длительное детальное изучение при больших увеличениях включений расплава в лейците позволило обнаружить, что 95% всех раскристаллизованных включений изначально не герметичны. Из остальных 99% разгерметизируются в процессе экспериментов по гомогенизации. Процесс разгерметизации протекает без характерных для него признаков. Принимая во внимание тенденцию включений расплава в лейците к разгерметизации, надо оценить температуры кристаллизации лейцита методом гомогенизации включений расплава предельно осторожно, обязательно учитывая взаимоотношения лейцита в породе с другими минералами. Метод закалки, который пользуются некоторые исследователи (²), неприменим совсем.

Нам удалось гомогенизировать включения расплава в относительно низкотемпературных лейцитах таких базальтоидов, как лейцититы из вершинной части кратера вулкана Високе (Западная ветвь Восточно-Африканской рифтовой системы), и вайомингит с лейцитовых холмов Пйелоу-стоунского парка, присланные нам доктором К. Яги.

Изучавшиеся лейцититы — это порфировая порода, сложенная вкрапленниками лейцита и в подчиненном количестве — моноклинного пироксена, расположенных в полустекловатой основной массе. В лейците наряду с кристаллитами пироксена обнаружено большое количество первичных включений расплава. Особый интерес представляет обр. № 950 с мелкими вкрапленниками лейцита, в которых обнаружены включения расплава двух генетических типов. Включения каждого типа встречаются в разных вкрапленниках, только в единичных случаях те и другие встречены одновременно (в этом случае включения второго типа играют роль мнимовто-

ричных). Вкрапленники с включениями первого типа встречаются в резко подчиненном количестве. Включения этого типа как приурочены к зонам роста (рис. 1а), так и бессистемно распределены во вкрапленниках лейцита. Они имеют близкую к изометричной форму. Большинство включений значительно раскристаллизованы, но встречаются и слабо раскристаллизованные, не типичные по форме для лейцита, включения.

Фазовый состав таких включений либо газ (3%) + стекло (80%) + рудные фазы + несколько бесцветных и слабо-зеленоватых неограниченных кристаллических фаз (рис. 1в), либо различные комбинации только что перечисленных фаз примерно в тех же соотношениях (г, д). В процессе нагревания при температуре около 800° начинается плавление кристаллических фаз, которое заканчивается при 1100°. Рудные фазы, представляющие собой в сечении чаще всего треугольник (рис. 1в-д), плавятся в интервале температур 1150–1170°. Полная гомогенизация включений осуществляется при температуре 1230°. Степень раскристаллизации большинства включений значительно выше, чем в только что описанных. Полная гомогенизация основной массы включений происходит в интервале температур 1230–1250°.

Включения расплава второго генетического типа резко преобладают. Они располагаются по зонам роста, но бывают рассредоточены и довольно бессистемно в зернах лейцита, имеют часто неравновесную для лейцита форму. Фазовый состав — стекло (совершенно свежее, желтовато-зеленого цвета, рис. 1б). В процессе экспериментов по гомогенизации в интервале температур 700–740° включения гетерогенизируются. Появившийся пузырек газовой фазы не превышает 2% объема включения. При температурах 800–820° отмечается побурение, стекло становится неоднородным (девитрификация). При температурах 1000–1050° содержимое включений представляет собой однородный расплав, в котором свободно перемещается пузырек газовой фазы. Гомогенизация включений этого типа осуществляется в очень узком температурном интервале, соответствующем 1100–1110°.

В других образцах обнаружен только один генетический тип включений, по морфологии, фазовому составу, фазовым соотношениям и фазовым изменениям в процессе экспериментов по гомогенизации аналогичных описанным выше раскристаллизованным включениям. Гомогенизация этих включений осуществляется в интервале температур 1200–1220°.

В пироксене изучавшихся лейцититов также были встречены включения расплава. Все включения одинаковы по морфологии и фазовому составу, ничем не отличаются от многократно описанных для пироксенов различных базальтоидов. Общий интервал температур гомогенизации включений 1140–1240°.

Изучавшийся нами вайомингит представляет собой порфировую породу с параллельно ориентированными вкрапленниками красновато-желтого магнезального биотита и небольшими кристаллами диопсида. Основная масса сложена мелкими полигональными и округлыми кристаллами лейцита и в подчиненном количестве кристалликами диопсида и апатита. В интерстициях — свежее зеленовато-желтое стекло. Во всех породообразующих минералах вайомингита, кроме апатита, были обнаружены и изучены включения расплава.

В биотите обнаружены первичные и мнимовторичные включения расплава; те и другие встречаются в небольших количествах. Форма первичных включений — от идеально ограниченной (рис. 2в) до неправильной (г, д). У ограниченных включений отчетливо видна ориентировка в соответствии с кристаллографической формой минерала-хозяина. Размеры включений варьируют от 10 до 50 мкм. По фазовому составу первичные включения можно подразделить на двухфазовые (газ + стекло, рис. 2а), трехфазовые (газ + стекло + кристаллическая фаза, б) и многофазовые (газ + + стекло + несколько кристаллических фаз, в-д). Соотношения газовой фазы со всеми прочими постоянны и соответствуют примерно 20:80.

Многофазовые включения приурочены к центральным зонам вкрапленников, двух- и трехфазовые включения тяготеют к периферийным участкам. Одна из кристаллических фаз во многих включениях представляет собой бесцветный шестигранник, изотропный в скрещенных николях. Вероятно, это — лейцит. Плавление этой фазы начинается при температуре около 1100° . Гомогенизация первичных включений осуществляется в интервале температур $1240-1270^{\circ}$. Максимальные температуры характерны для включений из центральных зон.

Мнимовторичные включения расплава приурочены к залеченным трещинкам, секущим вкрапленники биотита под различными углами (рис. 2а). Фазовый состав этих включений газ (5%) + стекло (95%). Форма включений чаще неправильная. Гомогенизация их осуществляется в интервале температур $1040-1100^{\circ}$.

В пироксене встречаются первичные включения расплава, приуроченные к центральным зонам удлинённых кристаллов и расположенные цепочкой вдоль геометрической оси кристалла (рис. 2ж). Фазовый состав включений газ + стекло + кристаллические фазы. Одна из кристаллических фаз (бесцветный шестигранник) аналогична описанной выше и, вероятно, тоже является лейцитом. Гомогенизация включений происходит в интервале температур $1220-1270^{\circ}$.

В лейците обнаружены первичные включения расплава, расположенные в кристаллах либо «венчиком» (рис. 2з), либо в шахматном порядке (и). Форма включений — негативные кристаллы. Размеры от 5 до 10 мкм. Включения однофазовые. Фазовый состав — стекло (очень свежее). Газовая фаза появляется в них при нагревании в процессе экспериментов по гомогенизации при температурах порядка $900-1000^{\circ}$ и составляет не более 2—3% объема включений. Гомогенизация включений осуществлялась в интервале температур $1150-1250^{\circ}$.

Необходимо отметить, что во всех случаях гомогенизации включений расплава в лейцитах за достоверные принимались лишь те температуры, которые оставались стабильными при повторных гомогенизациях.

Приведенные выше результаты изучения первичных и мнимовторичных включений расплавов дают возможность воссоздать температуры, последовательность и режим кристаллизации породообразующих минералов. Последовательность и режим кристаллизации исследованных лейцититов вулкана Високе представляются нам следующими. В лейцититах, примером которых может служить обр. № 949, первыми кристаллизуются в интервале температур $1240-1200^{\circ}$ пироксен вкрапленников и рудный минерал; после начала кристаллизации пироксена в интервале $1220-1200^{\circ}$ интенсивно кристаллизуется лейцит (в лейците есть кристаллиты пироксена и рудного минерала). Несмотря на узкий температурный интервал, кристаллизация осуществлялась при плавном снижении температуры, о чем свидетельствует существенная гетерогенизация включений (во включениях отчетливо видны кристаллические и пузырьки газовой фазы). Лейцититы типа обр. № 950, вероятно, завершали кристаллизацию. Два генетических типа включений свидетельствуют о двух этапах интенсивной кристаллизации. Интервал температур $1250-1230^{\circ}$ соответствует первому этапу, в котором кристаллизация происходила сначала на относительной глубине при плавном понижении температуры (равновесная форма и существенная раскристаллизация включений), а в конце интервала — при более резком (слабая раскристаллизация включений). Во второй этап, при температурах $1110-1100^{\circ}$, очевидно, произошла спонтанная кристаллизация основной массы лейцитовых вкрапленников при подъеме и излиянии. Интенсивная кристаллизация пироксена осуществлялась в интервале температур $1200-1140^{\circ}$.

Кристаллизация вайомингита началась с биотита (взаимоотношения биотита и лейцита в породе также свидетельствуют о более раннем начале кристаллизации биотита) и пироксена. При 1270° на первых этапах она

происходила интенсивно при медленном понижении температуры. Пироксен закончил кристаллизацию при температуре порядка 1220° . Для биотита в интервале $1240-1120^{\circ}$ наступил этап «спокойной кристаллизации», отмеченный полным отсутствием включений, гомогенизирующихся в этом интервале температур. В интервале $1120-1040^{\circ}$ кристаллизация происходила интенсивно, но при резком снижении температуры. Лейцит кристаллизовался весьма интенсивно при резком снижении температур от 1250 до 1150° . Закалка породы происходила, вероятно, при температуре порядка 1040° , о чем можно судить по мнимовторичным включениям в биотите. Приведенные температуры кристаллизации для лейцита не противоречат возможности его образования при более высоких температурах в других породах. Примером более высокотемпературного может служить лейцит фергусит-порфиров Восточного Памира и современных лав Везувия. Несмотря на то что включения в этих лейцитах не были гомогенизированы, ряд фактов говорит в пользу их наиболее раннего и высокотемпературного образования: 1) отсутствие кристаллических включений пироксена, 2) полное плавление содержащего включений только при температуре порядка $1300-1350^{\circ}$ и, самое главное, 3) высокие температуры гомогенизации включений в пироксене ($1340-1380^{\circ}$).

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
10 IV 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Т. Ю. Базарова, Э. А. Дмитриев, ДАН, т. 177, № 1, 185 (1967). ² В. Б. Наумов, А. П. Поляков, Геохимия, № 4, 379 (1971). ³ В. С. Соболев, Чтения им. В. И. Вернадского, т. 13, М., «Наука», 1973, стр. 34. ⁴ V. S. Sobolev, T. Yu. Bazarova, I. T. Baku-
menko, Bull. Volcanol., v. 35, № 2, 479 (1972).