

И. Т. БАКУМЕНКО, академик В. С. СОБОЛЕВ

ВКЛЮЧЕНИЯ В МИНЕРАЛАХ ГИПЕРБАЗИТОВЫХ КСЕНОЛИТОВ АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА

При исследовании включений в минералах гипербазитовых обособлений из вулканитов Авачинской сопки нами было выявлено широкое распространение в них двух- и многофазовых включений, главной фазой которых является жидкая вода. Такие включения не были известны в минералах гипербазитовых нодулей в базальтах и кимберлитах, изученных Э. Роддером и Ж.-К. Лезье^(1, 2) (см. также⁽³⁾).

Изучавшиеся нами нодули гипербазитов встречаются в пирокластике и реже в других породах вулкана, наряду с ксенолитами пород габбро-диоритового ряда⁽³⁻⁵⁾. Обращает на себя внимание исключительная свежесть гипербазитов и полное отсутствие серпентина. Примечательно также отсутствие не только эглогитов, гранатовых перидотитов, но и классических лерцолитовых нодулей с зеленым хромдиопсидом, столь характерным для некоторых щелочных базальтоидов и связываемых с глубинными (мантийными) источниками.

Большинство «авачинских» обособлений гипербазитового состава сложено зернами маложелезистых оливина и ортопироксена (железистость колеблется около 8—10%) и всегда присутствует небольшое количество клинопироксена — диопсида. Поэтому в парагенетическом отношении эти породы являются лерцолитами, хотя по химическому составу они ближе к гарцбургитам и душитами. Из других минералов можно отметить хромшпинель в виде единичных зерен и в виде многочисленных мельчайших включений в оливине, а также паргаситовую роговую обманку, иногда хромистую⁽⁶⁾, которая вторично развивается по минералам гипербазитов. Интересны также реакционные каемки фенокристаллов бурой роговой обманки вокруг ксенолитов, в то время как внутри ксенолитов иногда развивается реакционная каемка и прожилки ортопироксена.

Реже встречаются верлиты, оливиновые и роговообманковые диопсиды и другие гипербазиты^(5, 6).

Имеющиеся в настоящее время геологические, минералогические и петрохимические данные, касающиеся гипербазитовых ксенолитов Авачи и других вулканов Восточной вулканической зоны Камчатки^(3, 5-7), указывают на четкую корреляцию химизма и других особенностей минералов и пород ксенолитов с минералами и породами соседних интрузий душит-гарцбургитовой формации (последние входят в несколько более широкий пояс, пространственно совпадающий с расположением Восточной вулканической зоны). Поэтому наиболее вероятным источником ксенолитов является неэродированное интрузивное тело серпентинизированных гипербазитов, залегающее неглубоко в фундаменте Авачинского вулкана.

Прямым подтверждением этого, по мнению Ю. П. Масуренкова⁽⁷⁾, являются также данные Г. С. Штейнберга и М. И. Зубина⁽⁸⁾, зафиксировавших под вулканом положительную гравитационную аномалию, вызванную телом с плотностью 2,95—3,2 г/см³. Вероятная глубина залегания кровли этого тела по отношению к гипсометрическим отметкам вулкана 3—5 км (1,5 км под уровнем океана).

В пользу связи ксенолитов с гипотетическими неэродированными интрузиями гипербазитов свидетельствует и более древний возраст ксенолитов (100 млн лет), установленный К. А. Скрипко, А. И. Фарберовым и

Л. Л. Шаниным⁽³⁾, хорошо согласующийся с возрастом пород фундамента и верхнемеловым возрастом близлежащих интрузий серпентинизированных перidotитов.

Изучение включений в минералах ксенолитов дает прямое подтверждение и новые доказательства подобного захвата ксенолитов серпентинизированных, а затем десерпентинизируемых пород.

В минералах ксенолитов присутствуют газово-жидкие, газовые, стекловатые, кристаллические и разные типы комбинированных включений, близких по времени образования и связанных с воздействием расплава, захватившего ксенолиты (рис. 1).

Газово-жидкие включения по аналогии с описаниями Э. Роддера, Ж.-К. Лезье и др., сначала были приняты нами за включения с жидкой CO_2 . Однако первые же опыты по гомогенизации, замораживанию и вскрытию в инертной среде показали, что включения являются существенно водными. В ортопироксене газово-жидкие включения обычно удлинены вдоль оси z и уплощены параллельно спайности, хотя встречаются трубчатые и изометричные включения (средний ряд на рис. 1). В благоприятно ориентированных плоских включениях хорошо наблюдаются границы фаз.

Газово-жидкие включения в оливине, в отличие от ортопироксена, обычно имеют изометричную форму. Вследствие явления полного внутреннего отражения включения часто выглядят как существенно «газовые» (см. верхний ряд). Однако в сходящемся свете четко наблюдается кайма жидкой фазы. Различия в морфологии включений в оливине и в ортопироксене создают иллюзию, что плотность объемных включений в оливине ниже, чем плотность плоских — в пироксене, так как площадь «контуров» жидкой фазы включений в оливине действительно ниже. Объемные же соотношения фаз одинаковы, о чем свидетельствуют одинаковые температуры их гомогенизации. Поверхность включений в оливине тонко скульптурирована, благодаря чему некоторые включения по рельефу напоминают «раскристаллизованные» включения. Но наблюдения в скрещенных николях не позволяют сделать и этой ошибки. Наконец, опыты по гомогенизации включений позволяют легко отличать эти включения от стекловатых и двухфазовых включений с жидкой уголекислотой, столь распространенных в минералах обычных гипербазитовых нодулей⁽⁴⁾, выпесенных на поверхность расплавами щелочных базальтов.

Абсолютное большинство газово-жидких включений в оливине и ортопироксене «авачинских» ксенолитов гомогенизируется в жидкую фазу при температуре около 340° ($335-375^\circ$). Это сразу же показывает, что данные включения не являются ни включениями типа «жидкая CO_2 +газ», ни стекловатыми. О том, что включения не являются включениями типа «жидкая CO_2 +вода (водный раствор)», косвенно свидетельствует тот факт, что при нагревании удается гомогенизировать все включения, в то время как для «двужидких» включений характерен высокий процент взрываемости. Это наблюдение было подтверждено двумя прямыми методами: замораживанием и вскрытием в инертной среде. Охлаждение включений, даже после замерзания фазы водного раствора, не приводит к гетерогенизации «внутренней» (газовой) фазы. Температура же замерзания «внешней» фазы говорит о том, что это действительно водный раствор, а не жидкая CO_2 (точка замерзания близка к 0°). Сохраняющаяся при этом гомогенность «внутренней» фазы говорит о ее малой плотности (газ!). О низкой плотности газовой фазы свидетельствует и незначительное (до 6-кратного) увеличение объема газовой фазы при вскрытии включений. Таким образом, не остается никаких сомнений в том, что рассматриваемые включения относятся к типу «вода (раствор)+газ». В составе газовой фазы, судя по анализам газовой фазы этих включений, выполненным Н. А. Шугуровой, преобладает CO_2 (выше 90%). Но в валовом составе включений абсолютно преобладает вода.

Во многих газовой-жидких включениях (рис. 1 — верхний ряд, б, в; средний ряд, б) дополнительно присутствует сильно анизотропная кристаллическая фаза, не растворяющаяся при нагревании включений (диопсид²). Здесь же подчеркнем, что в оливине и в ортопироксене все включения являются вторичными, хотя трубчатые включения в ортопироксене можно ошибочно принять за первичные. Газово-жидкие включения иногда сопровождаются вторичным диопсидом, развивающимся вокруг них или самостоятельно по тем же трещинам. В то же время, серпентинизация даже в микромасштабах здесь не проявляется.

С газово-жидкими включениями тесно связаны некоторые типы кристаллических включений в оливине и ортопироксене.

В раннем оливине встречаются включения хромшпинели. Мельчайшие закономерно ориентированные включения веретеновидной формы равномерно рассеяны по всему зерну оливина. К поверхности включений нередко прикреплены сингенетичные «газовые» фазы в виде точек (каймы жидкой фазы не наблюдались из-за их малых размеров). Наблюдаются переходы, веретеновидных включений к включениям второго типа, приуроченность которых к трещинам очевидна. Они более крупны, имеют пластинчатую, нередко дендритовидную форму. Между ветвями дендритов нередко развит бесцветный минерал (наргасит?) и обычно присоединяются «газовые» фазы. В наиболее крупных включениях вокруг этих газовых фаз четко видны каемки жидкости, причем объемные соотношения их не отличаются от соотношений фаз в «водных» газовой-жидких включениях. Поэтому развитие веретеновидных и пластинчатых включений хромшпинели, по-видимому, сингенетично с процессами формирования газовой-жидких включений и обусловлено распадом первичных оливиновых твердых растворов.

Для многих зерен ортопироксена характерны тонкопластинчатые эпитактические вроски диоксида, напоминающие системы полисинтетических двойников. Эти прорастания образовались в результате распада твердого раствора высокотемпературного ортопироксена. Интересно, что в местах, где указанные двупироксеновые прорастания секутся вторичными зонами с газовой-жидкими включениями, вроски диоксида нередко исчезают, что косвенно говорит о синхронности этих процессов.

Наконец, упомянем о наличии в минералах ксенолитов вторичных расплавленных включений, которые здесь были отмечены и другими исследователями (³). В ортопироксене удавалось гомогенизировать такие стекловатые (!) включения при 1210° и выше. Раскристаллизованные включения отсутствуют. Несомненна связь стекловатых включений с процессами транспортировки ксенолитов андезитовым расплавом при извержении вулкана.

Поздние стекловатые включения нередко содержат аномально большие газовые фазы и наблюдаются совместно с сингенетичными «газовыми» включениями в пределах одной и той же залеченной трещины (рис. 1 внизу). Эти включения нами связываются с разгерметизацией (до выброса ксенолитов) и перераспределением вещества более ранних газовой-жидких включений в пределах заполняющихся расплавом лавообразованных трещин, а не с захватом вскипевшего расплава, так как в фенокристаллах такие комбинированные включения не встречены.

Таким образом, все рассмотренные включения обусловлены термическим или вещественным воздействием лав Авачинского вулкана на ксенолиты и приведенные данные позволяют перейти к вопросу о возникновении наиболее проблематичных включений — с фазой воды. Совершенно очевидно, что источником воды не мог быть расплав, транспортировавший ксенолиты, так как насыщенный водой расплав был бы существенно более низкотемпературным (при указанных температурах водное давление во включениях достигало 7–8 кбар) и признаки кипения немедленно фиксировались бы появлением в фенокристаллах комбинированных и газовой-

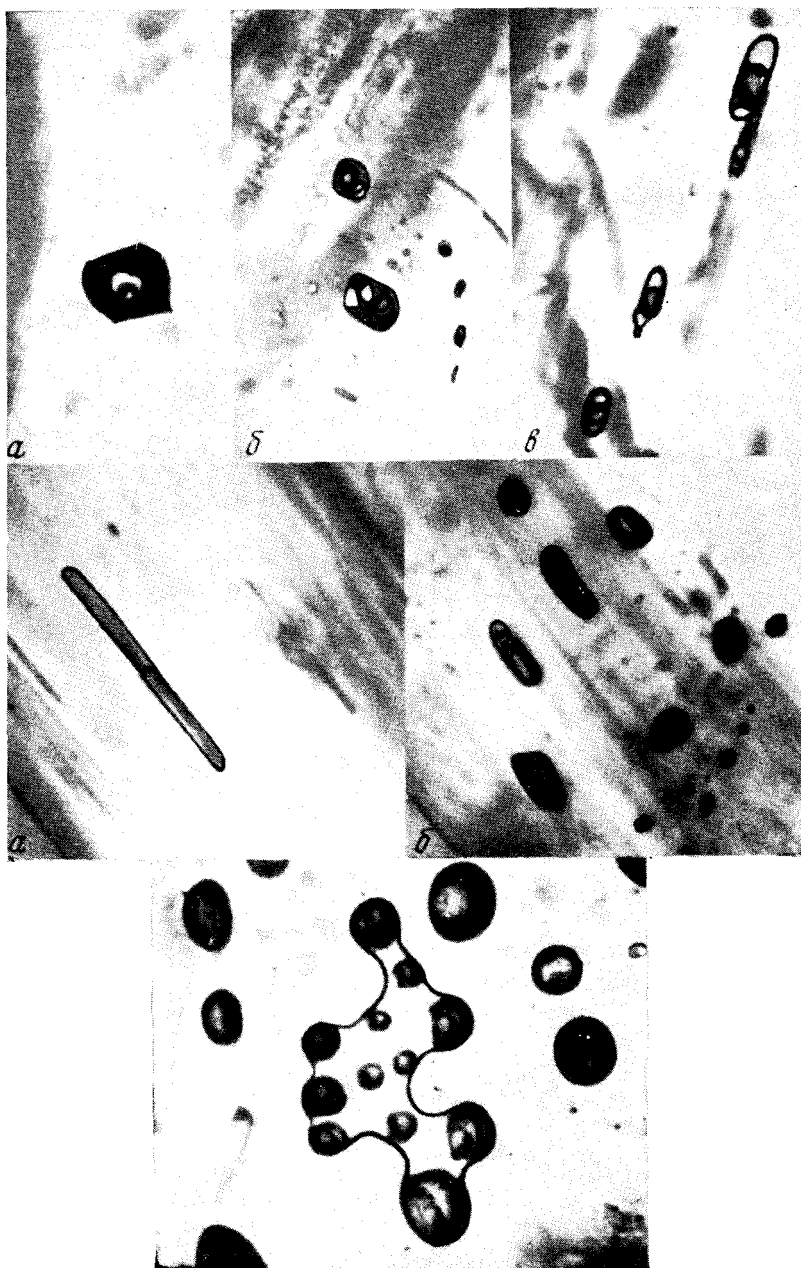


Рис. 1. Верхний ряд — вторичные газожидкие включения в оливине: *a* — двухфазовое включение изометрической формы; *б, в* — трехфазовые включения с нерастворимой фазой (диопсид?) (форма включений — изометрическая (*б*) и трубчатая (*в*)). Средний ряд — вторичные газожидкие включения в ортопироксене: *a* — удлиненное плоское включение; *б* — более поздние трубчатые и изометрические включения с нерастворимой фазой (диопсид?). Внизу — вторичные «газовые» и сингенетичные с ними комбинированные стекловато-газовые включения в оливине

жидких включений, подобных рассмотренным выше. По этой же причине исключается и более поздняя гидротермальная или фумарольная переработка, тем более, что породы исключительно свежи. Поэтому единственным источником воды могут быть процессы полной десерпентинизации самих ксенолитов, захватываемых лавой. Термическое воздействие лав на ксенолиты фиксируется разными типами включений, а о минералогических признаках процессов десерпентинизации, выражающихся в развитии более магнезиального оливина в роговиках, прожилков ортопироксена и других новообразований, говорится в (5, 6). Кстати, оливинизация и прочие вторичные изменения серпентина при различных термических воздействиях неоднократно отмечались в гипербазитах (10) и воспроизводились экспериментально (11).

Последний вопрос связан с выяснением причин, обусловивших герметичность водных включений, несмотря на прогрев ксенолитов транспортирующей лавой вулкана. Выше говорилось о высоком (7—8 кбар) давлении во включениях при температуре лав. Такое же внешнее противодействие, создаваемое андезитовым расплавом, невозможно даже при ранней кристаллизации вкрапленников (совместная кристаллизация оливина и плагиоклаза). При глубине захвата ксенолитов 5 км давление оценивается в 1,5 кбар; к моменту извержения давление было во много раз ниже, а температура во всяком случае выше 1000°. Казалось бы, включения с водой, развивающей при перегреве столь высокое давление, не встречая внешнего противодействия, должны были бы разгерметизироваться и подвергнуться перенаполнению. Однако этого не происходит. Уход воды наблюдается лишь в небольших масштабах (появление каемок роговой обманки, наличие комбинированных «газовых» и стекловатых включений). Причина такой стойкости включений нами связывается с особым автоклавным эффектом, вызванным высокой прочностью минералов ксенолитов при этих температурах, который противодействует развиваемому во включениях давлению.

Таким образом, изучение включений подтверждает гипотезу о ксеногенном захвате обломков серпентинизированных гипербазитов из интрузий, залегающих на относительно небольших глубинах в фундаменте вулкана. Поэтому отпадает противоречие, связанное с появлением нехарактерных ультраосновных нодулей в андезитобазальтах и андезитах. Впервые показано проявление автоклавного эффекта при термическом воздействии расплавов на небольшие ксенолиты. Это представляет теоретический интерес, так как, видимо, позволяет делать экстраполяции о возможном существенном повышении внутреннего давления в значительно больших масштабах в метаморфических процессах (12). Кроме того, можно рекомендовать поиски подобных включений в случаях, когда предполагаются явления десерпентинизации ультраосновных пород.

Институт геологии и геофизики
Сибирского отделения Академии наук СССР
Новосибирск

Поступило
20 VI 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ E. Roedder, Am. Mineralogist, v. 50, 1746 (1965). ² J.-C. Lézier, C. R., Ser. D, v. 263, 209 (1966). ³ Ю. П. Масуренков, А. В. Колосков, В. А. Ермаков, Сборн. Ксенолиты и гомеогенные включения, «Наука», 1969, стр. 5. ⁴ К. А. Скрипко, Э. И. Гребзды, Там же, стр. 30. ⁵ С. А. Щека, В. Г. Сахно и др., Сборн. Вопр. геол., геохим. и металлогенеза сев.-зап. сектора Тихоокеанского пояса, Владивосток, 1970, стр. 112. ⁶ С. А. Щека, Ж. А. Щека, ДАН, т. 211, № 4, 953 (1973). ⁷ Ю. П. Масуренков, Сборн. Магма малоглубинных камер, «Наука», 1970, стр. 79. ⁸ Г. С. Штейнберг, М. И. Зубин, ДАН, т. 152, № 4, 968 (1963). ⁹ Ю. П. Масуренков, О. Б. Селянгин, Сборн. Ксенолиты и гомеогенные включения, «Наука», 1969, стр. 20. ¹⁰ Ф. П. Леснов, Сборн. Проблемы петрологии ультраосн. и основных пород, «Наука», 1972, стр. 173. ¹¹ A. Becker, Zs. Deutsche geol. Ges., B. 33, 31 (1881). ¹² Н. Л. Добрецов, В. В. Ревдартто и др. Фации метаморфизма, М., 1970, стр. 432.