

ВУЛКАНИЗМ

И ГЛУБИНЫ ЗЕМЛИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1971

РЕЛИКТОВЫЕ МИНЕРАЛЫ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОДАХ

Ю. П. МАСУРЕНКОВ, О. Н. ВОЛЫНЕЦ
Институт вулканологии СО АН СССР

Неоднократно описывались случаи частичного расплавления включений магматических и осадочных пород в эффузивных образованиях преимущественно в некках, силлах, дайках, равно как и плавления вмещающих пород непосредственно в области контакта (Уокер и Полдсваарт, 1950; Жабин, Черепивская, 1964 и др.). Согласно данным многих авторов, в участках максимального плавления включения (или вмещающие породы) настолько меняют свой облик, что приобретают вид настоящих эффузивных пород, содержащих 40—60% стекла, вкрапленники в которых являются реликтовыми минералами материнских пород.

Петрографическое изучение плавленных пород показало, что стекло появляется прежде всего на границах зерен кварца и полевых шпатов, затем на границах между полевыми шпатами. Темноцветные минералы, особенно водосодержащие, начинают изменяться (распадаться) еще до появления стекла вследствие термального метаморфизма. Указанные наблюдения хорошо согласуются с данными экспериментов по плавлению гранитов и диабазов (Krank, Oja, 1960). Быстрее всего растворяется щелочной полевой шпат. Кварц обычно более трещиноват, чем в материнских породах, но зерна его чистые и имеют со стеклом четкие резкие контакты, причем стекло нередко дает в них глубокие заливки. В плагиоклазе в отличие от кварца, обычны широкие краевые зоны частично растворенного материала. Нередко также прогрессивное

растворение вдоль трещин спайности захватывает весь кристалл плагиоклаза, за счет чего он приобретает ситовидный, губчатый облик. При этом губчатое ядро может быть окружено узкой внешней зоной чистого плагиоклаза, соответствующего по составу микролитам в новообразованном стекле и связанного с кристаллизацией возникшего расплава. Из цветных минералов биотит и роговая обманка обычно не сохраняются в таких плавленных включениях, частично распадаясь на окислы железа, титана, плагиоклаз и ортопироксен, а частично и растворяясь.

Корродированные губчатые и ситовидные кристаллы плагиоклаза, оплавленные зерна кварца с глубокими заливами стекла, совершенно аналогичные по морфологии «фенокристам» плавленных включений, весьма обычны в вулканических породах. Однако по поводу их генезиса не существует единого мнения. Одни исследователи (Ритман, 1964) считают эти признаки достаточными для того, чтобы отнести подобные вкрапленники к реликтовой фазе — ксенокристаллам того вещества, за счет которого образовалась содержащая их анатектическая или гибридная магма; другие — предполагают их интрателлурическое происхождение и наблюдающееся плавление вкрапленников связывают с резкими изменениями $P-T$ условий при подъеме магмы от одного уровня к другому, более высокому, или в момент извержения (внедрения) (Бородаевская, 1961; Vance, 1965).

Приведенный литературный обзор показывает принципиальную возможность образования пород эффузивного облика с реликтовыми фенокристаллами за счет плавления кристаллических пород. Однако изложенные данные еще не решают предложенную альтернативу происхождения корродированных вкрапленников в лавах. Наиболее перспективным в этом отношении кажется статистическое изучение состава и морфологии вкрапленников эффузивных пород, содержащих плавленные включения, при соответствующем изучении минералов в последних.

Первые работы подобного рода были сделаны для четвертичных вулканитов Авачинско-Жупановской группы вулканов на Камчатке. Притом было установлено два типа включений плавленных полнокристаллических пород: 1) значительно более кислые, чем вмещающие породы; 2) близкие по составу к вмещающим или даже более основные, чем они.

Примером первого служит включение плавленного гранодиорита в базальте Корякского вулкана (табл. 1). Размеры включения $50 \times 30 \times 20$ см.

Таблица 1

Химические анализы базальта Корякского вулкана, включенного в него плавленного гранодиорита и плагиоклаза из включения

| Компоненты | Базальт (обр. 323) | Плавленный гранодиорит (обр. 134/63) | Плагиоклаз из включения гранодиорита (обр. 134-А/63) | Компоненты | Базальт (обр. 323) | Плавленный гранодиорит (обр. 134/63) | Плагиоклаз из включения гранодиорита (обр. 134—А/63) |
|--------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|-------------------------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| SiO ₂ | 51,82 | 62,88 | 57,42 | Na ₂ O | 2,12 | 4,94 | 6,40 |
| TiO ₂ | 0,78 | 0,39 | 0,02 | K ₂ O | 1,51 | 1,80 | 1,03 |
| Al ₂ O ₃ | 18,36 | 17,67 | 23,89 | H ₂ O ⁻ | 0,10 | 0,56 | 0,61 |
| Fe ₂ O ₃ | 5,07 | 0,72 | 0,66 | H ₂ O ⁺ | 0,50 | 2,13 | 1,43 |
| FeO | 4,05 | 2,36 | 0,69 | S | 0,09 | Не опр. | Не опр. |
| MnO | 0,21 | 0,06 | Не опр. | P ₂ O ₅ | 0,09 | 0,14 | 0,28 |
| MgO | 7,00 | 1,28 | 0,13 | С у м м а | 100,70 | 99,47 | 99,62 |
| CaO | 9,00 | 4,54 | 7,06 | | | | |

Аналитики Н. Н. Постникова, Т. В. Долгова.

В результате плавления гранодиорит преобразован в эффузивного облика породу типа дацита с 20—60% основной массы. Вкрапленники представлены пелитизированным плагиоклазом, кварцем и ортопироксеном. Плагиоклазы незональны. Судя по данным изучения на универсальном столике, состав их достаточно однороден и лежит в пределах 35—42% An. Близкие данные получены и по показателям преломления ($N_g = 1,556$, $N_p = 1,549$, состав 39—40% An) и по результатам химического анализа (см. табл. 1) — 37,6% An. Кристаллохимическая формула плагиоклаза, рассчитанная по катионному методу, следующая: $(Na_{2,29}K_{0,26}Ca_{1,40}Fe^{+2}_{0,11}Mg_{0,03})_{4,09}(Si_{10,62}Al_{5,20}Fe^{+3}_{0,09})_{15,91}O_{32}$.

Основная масса состоит из стекла с показателем преломления 1,517, содержащего микролиты пироксена и плагиоклаза. Последние по составу близки к вкрапленникам — андезин № 41.

Характерной особенностью породы являются отчетливые структуры плавления вкрапленников (особенно наглядные для кварца и пироксенов, но заметные также и для плагиоклазов): сглаживание внешних граней кристаллов, появление округлых форм, образование заливов стекла по трещинам и плоскостям спайности.

По валовому химическому составу, а также составу и оптическим свойствам минералов плавленые гранодиориты весьма близки развитым в пределах фундамента вулкана миоценовым гранодиоритам, отторженным от которых они, по-видимому, и являются. Судя по имеющимся данным о глубине становления миоценовых интрузий, ксенолит был захвачен на глубине не более 2—3 км. За счет воздействия базальтовой магмы гранодиорит расплавился в среднем на 20—60% и приобрел облик вулканической породы. При этом усвоения частично расплавленного ксенолита не произошло, а образовался почти несмешивающийся объем дацитового расплава в базальтовой магме (границы ксенолита четкие). Последнее прекрасно согласуется с теоретическими представлениями Ф. Г. Смита (1968) о плавлении гранитных пород основной магмой.

Таким образом, в данном случае минералы плавленого гранодиорита не попали во вмещающий базальт, однако если бы они там были, их легко было бы принять за реликтовые вследствие резкой разницы состава базальта и включения. Так, кварц отмечается только во включении и не присутствует в базальте, плагиоклаз включения имеет состав андезита № 35—42, тогда как только нормативный состав плагиоклаза базальта — лабрадор № 64, а модальный состав вкрапленников еще более основной.

Очевидно, что выявление реликтовой фазы в лавах в случаях, подобных изложенному, когда основная магма плавит кислые породы, наиболее просто и достаточно надежно.

Значительно больший интерес представляют, по-видимому, случаи, когда лава содержит плавленые включения близкого к ней или более основного состава, хотя здесь выделение реликтовой фазы в лавах весьма затруднительно.

Включения подобного типа, представленные полнокристаллическими породами габброидного состава, были встречены в современных андезито-базальтах вулкана Авача.

Минеральный состав включений представлен в табл. 2.

Плагиоклаз отвечает по составу битовниту № 70—90, причем распределение составов, по данным оптических измерений, близко к нормальному, а наиболее часто встречающиеся значения соответствуют 81—85% An (см. рис. 2, б). Ортопироксен относится к бронзиту с содержанием $FeSiO_3$ — 18 — 28%.

Как следует из табл. 2, все включения содержат стекло. Показатель преломления стекла лежит в пределах 1,560—1,564 и не зависит от содержания стекла во включении. Структурные взаимоотношения стек-

**Минеральный состав включений габбро в андезито-базальтах
Авачинского вулкана**

| Состав | Объемные % | | | | Вмещающий андезито-базальт |
|-----------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| | обр. 8/66 | обр. 7/66 | обр. 9/66 | обр. 6/66 | |
| Плагиоклаз | 63,7 | 75,0 | 57,7 | 55,2 | 32,0 |
| Роговая обманка | 25,2 | 6,2 | 17,3 | 2,8 | Ед. зерна |
| Ортопироксен | 4,0 | 11,3 | 5,8 | 10,3 | 9,0 |
| Клинопироксены | 2,3 | 1,2 | 3,8 | 1,7 | 3,0 |
| Магнетит | 4,0 | 2,5 | 5,8 | 2,4 | 1,0 |
| Стекло | 0,8 | 3,8 | 9,6 | 27,6 | 55,0 |

ла с минералами включений свидетельствуют о наложенности процесса плавления на полностью раскристаллизованную породу (рис. 1, I).

Стекло появляется на межзерновых контактах в виде пленки, разделяющей минералы. При дальнейшем увеличении степени плавления оно вторгается в интерстиции либо концентрируется в округлые «капли» размером 0,10—0,5 мм, «съедающие» края граней кристаллов. От «капель» и интерстиционных выделений стекла отходят тонкие жилки, пересекающие минералы включений по трещинам и плоскостям спайности. Мелкие выделения стекла по трещинкам есть в кристаллах и без видимой связи с каплями его в интерстициях (см. рис. 1, I). Характерна пузыристая текстура стекол, причем поры занимают едва ли не половину объема капель. Интенсивность плавления плагиоклазов обычно выше, чем пироксенов.

При достаточно высокой степени плавления порода распадается на слагающие ее минералы и по структуре становится вулканической, аналогичной вмещающему ее андезито-базальту: как и там, в ней порфиновые выделения минералов погружены в стекловатый базис. Реликтовая природа вкрапленников такой породы, как и подобных вкрапленников в андезито-базальтах, может быть установлена лишь при изучении последовательных стадий плавления и минералогических исследованиях.

Статистический анализ составов плагиоклазов во включениях габброидов и вкрапленников этого минерала во вмещающих их андезито-базальтах показывает, что модальный интервал генерации самых основных плагиоклазов в лавах (70—90% An) соответствует такому для плагиоклазов включений (рис. 2, б). Плагиоклазы указанной генерации в лавах характеризуются обильными включениями стекла, округлой, вытянутой вдоль плоскостей спайности либо неправильной дендритовидной формы (обусловленной трещиноватостью кристаллов). Нередко стекла настолько много, что оно переполняет зерна плагиоклаза, придавая им губчатый облик.

Сходство состава и морфологических особенностей генерации основных плагиоклазов в лавах с плавленными кристаллами плагиоклаза во включениях габброидов, а также изученные переходы включений габброидов в андезито-базальтах от полнокристаллических пород до пород эффузивного облика при возрастании степени плавления позволяют рассматривать данную генерацию плагиоклаза в лавах как реликтовую, унаследованную от неполностью расплавленного габбро. При этом, исходя из кривых распределения составов плагиоклазов, можно оценить количество этих реликтовых кристаллов в лавах. Судя по графику (см. рис. 2, б), реликтовая фаза составляет 10—20% по отношению к общему количеству вкрапленников плагиоклаза.

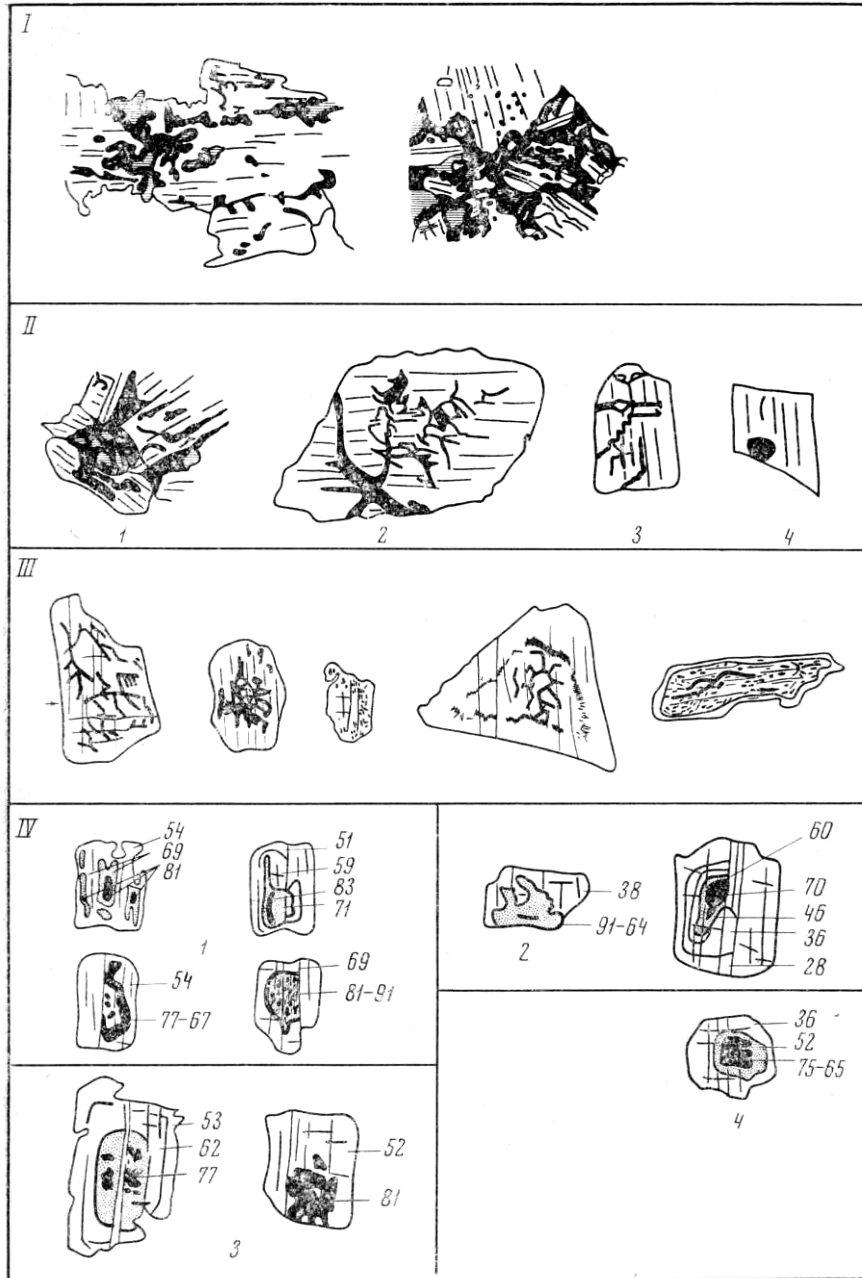


Рис. 1. Структура плавления и морфология реликтовых кристаллов плагиоклаза во включениях габброидов и лавах Авачинско-Жупановской группы вулканов (в I—III черное стекло, заштрихованное — газовые пустотки); I — структуры плавления во включениях габброидов в андезито-базальтах вулкана Авача; II — включение плавленого габброида в дацитах вулкана Жупановского: 1 — структура плавления, 2, 3, 4 — морфология кристаллов плагиоклаза; III — реликтовые кристаллы с включениями стекла в дацитах и липаритах вулкана Купол; IV — морфология и состав реликтовых ядер плагиоклаза; 1 — андезитах, 2 — дацитах вулкан Купол, 3 — в липаритах вулкана Купол, 4 — в дацитах вулкана Жупановского

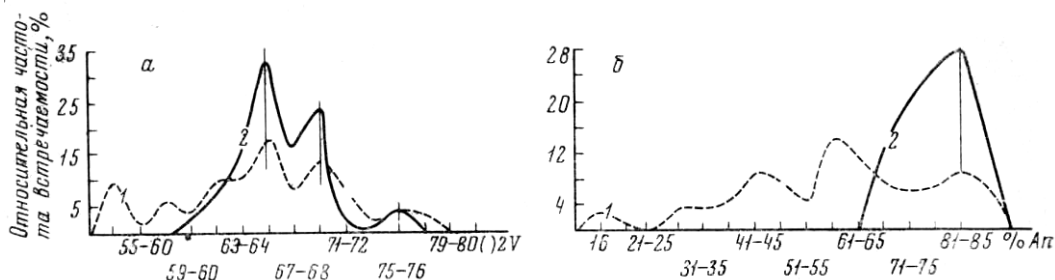


Рис. 2. Частота встречаемости ортопироксенов (а) и плагиоклазов (б) в вулканических породах (1) и плавленных включениях габбро (2) Авачинского вулкана
Количество замеров в вулканических породах: ортопироксены — 50, плагиоклазы — 200; во включениях: ортопироксены — 44, плагиоклазы — 25

Обращает на себя внимание также сходство величины углов ($2V$), а следовательно, и составов ортопироксенов в лавах и включениях (см. рис. 2, а). Только наиболее железистые ортопироксены в лавах ($2V$ менее 58°) не находят себе аналогов среди пироксенов включений. Остальные, более магнезиальные пироксены, составляющие около 80% общего числа вкрапленников этого минерала в лавах, аналогичны пироксенам частично расплавленных габброидов. При этом наблюдается совпадение не только характерных максимумов на кривых, но и относительного количества пироксенов разных генераций.

Указанное совпадение составов ортопироксенов с учетом изложенных данных о плавленных включениях дает основание предполагать, что хотя бы часть вкрапленников ортопироксена в лавах также является реликтовой.

Включения плавленных габброидов, подобных описанным, отмечаются среди более кислых пород изученного региона, хотя и в меньших количествах. Такое включение встречено, например, в дацитах в основании Жупановского вулкана. Химический состав его (аналитик Г. Ф. Некрасова) и вмещающей породы приводится ниже.

| Компоненты: | Дацит (обр. 80) | Плав- ленное габбро (обр. 81) | Компо- ненты: | Дацит (обр. 80) | Плав- ленное габбро (обр. 81) | Компо- ненты: | Дацит (обр. 80) | Плав- ленное габбро (обр. 81) |
|--------------------------------|-----------------|--|-------------------|--------------------|--|-------------------------------|--------------------|--|
| SiO ₂ | 64,44 | 52,20 | MnO | 0,16 | 0,26 | H ₂ O ⁻ | 0,24 | 0,10 |
| TiO ₂ | 0,61 | 1,35 | MgO | 2,20 | 4,72 | H ₂ O ⁺ | 0,32 | 0,68 |
| Al ₂ O ₃ | 15,22 | 17,00 | CaO | 5,00 | 8,76 | P ₂ O ₅ | 0,17 | 0,11 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,29 | 3,49 | Na ₂ O | 4,38 | 4,22 | С у м м а | 99,81 | 100,27 |
| FeO | 2,75 | 6,71 | K ₂ O | 2,03 | 0,67 | | | |

Включение характеризуется теми же признаками плавления, которые были описаны для включений в Авачинских андезито-базальтах (см. рис. 1, II). По модальному составу оно отличается от последних полным отсутствием во вкрапленниках роговой обманки и более широким интервалом основных плагиоклазов (от 30 до 90% An). Однако относительно кислые плагиоклазы состава 30—50% An слагают только узкие внешние зоны кристаллов, занимая не более 5—10% общего объема их и никогда не встречаются в рядах кристаллов. При сравнении составов плагиоклазов включения и вкрапленников вмещающего его дацита обнаруживается хорошая сходимость их в области основных плагиоклазов (сравнивались составы центральных зон кристаллов). Учитывая морфологические особенности вкрапленников в лавах (обилие в них включений стекла и т. д.), следует признать, что и в этом слу-

чае присутствует реликтовый плагиоклаз основного (70—90% An) состава.

Значительно чаще, чем включения плавленных габбро, в эффузивных породах изученного региона встречаются вкрапленники основных плагиоклазов (70—90% An), обладающих всеми теми признаками реликтовых кристаллов, о которых уже говорилось. Такие вкрапленники отмечены не только в андезито-базальтах, андезитах и дацитах, но и в липаритах. Распределение их в лавах достаточно равномерно, причем количество уменьшается от 10—20% (от общего числа вкрапленников плагиоклаза) в андезито-базальтах до 2—5% в липаритах. В относительно кислых лавах (особенно в липаритах) подобные плагиоклазы в виде самостоятельных вкрапленников встречаются чрезвычайно редко и, как правило, сохраняются только в виде корродированных ядер в зональных кристаллах (см. рис. I, III—IV). В шлифах можно наблюдать все стадии интенсивного растворения таких основных плагиоклазов от крупных и достаточно хорошо сохранившихся ядер до мельчайших разобренных участков основного плагиоклаза в кислых зонах. Статистическое изучение размеров плагиоклазов этой генерации (70—90% An) в разных по возрасту группах пород одного вулкана (на примере вулкана Купол) показало уменьшение их в более поздних дифференциациях по сравнению с более ранними, что свидетельствует, очевидно, о прогрессивном растворении. На то же указывает, по-видимому, уменьшение частоты встречаемости таких основных плагиоклазов, равно как и ксенолитов плавленных габбро, от основных пород к кислым.

Наличие в отличающихся одна от другой по возрасту и составу вулканических породах Авачинско-Жупановской группы вулканов включений, частично плавленных габброидов и основных плагиоклазов, имеющих реликтовый облик и отвечающих по составу плагиоклазам плавленных включений, позволяет рассматривать все изученные породы как родственные, образование которых, по крайней мере частично, связано с плавлением кристаллического субстрата, имеющего габброидный состав.

Изложенные в настоящем сообщении данные, как нам кажется, достаточно убедительно свидетельствуют о том, что хотя бы часть вкрапленников в вулканических породах может иметь реликтовое происхождение, а следовательно, нести информацию о зонах магмообразования. Научившись выделять реликтовую фазу среди фенокристов вулканических пород, мы можем получить мощное средство для познания состава глубин Земли, а изучая методами термобарометрии включения в реликтовых кристаллах, — и условий магмообразования на этих глубинах.

ЛИТЕРАТУРА

- Бородаевская М. Б.* Некоторые особенности порфирировых выделений различных генетических типов в жильных породах порфирирового сложения. — Изв. АН СССР, серия геол., 1961, № 7.
- Жабин А. Г., Черепивская Г. Е.* Реоморфические жилы расплавленного песчаника, фенитизированного песчаника и дайки туфопесчаников из Маймеча-Котуйской петрографической провинции Полярной Сибири. — Докл. АН СССР, 1964, 156, № 4.
- Ритман А.* Вулканы и их деятельность. М., «Мир», 1964.
- Смит Ф. Г.* Физическая геохимия. М., «Недра», 1968.
- Уокер Ф., Польдерварт А.* Долериты Кару Южно-Африканского Союза. — В кн.: Геология и петрография трапповых формаций. ИЛ, 1950.
- Kranck E. H., Oja R. V.* Experimental studies of anatexis. In: International geol. Congr. of the 21th sess, pt. 14. Copenhagen, 1960.
- Vance Joseph A.* Zoning in igneous plagioclase: patchy zoning. — Journal geol., 1965, v 73, N 4.