

вблизи стехиометричных составов, отвечающих соединениям $\text{Na}_6\text{Si}_2\text{O}_7$ ($3\text{Na}_2\text{O} \times 2\text{SiO}_2$) и Na_2SiO_3 ($\text{Na}_2\text{O} \times \text{SiO}_2$), соответственно.

Литература:

1. Арискин А.А., Поляков В.Б. (2008) Моделирование молекулярно-массовых распределений и оценка концентрации иона O^{2-} в полимеризованных силикатных расплавах. Геохимия. № 5. С. 467-486.
2. Поляков В.Б., Арискин А.А. (2008) Моделирование состава и пропорций анионов в полимеризованных силикатных расплавах (метод Монте-Карло) // Физика и химия стекла. Т. 34. № 1. С. 66-80.
3. Mysen B., Richet P. Silicate glasses and melts: properties and structure. Amsterdam: Elsevier, 2005. 560 p.

ЗОНАЛЬНОСТЬ ПЛАГИОКЛАЗА КАК ИНДИКАТОР МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОД ВУЛКАНОМ БЕЗЫМЯННЫЙ, КАМЧАТКА

Щербаков Василий Дмитриевич

Геологический ф-т МГУ, Москва, vasiliy7@gmail.com

Вулкан Безымянный (Камчатка) расположен в Центральной Камчатской депрессии и является частью Ключевской группы вулканов. Безымянный один из самых активных андезитовых вулканов мира: с момента катастрофического извержения 30 марта 1956 года произошло около 17 крупных эксплозивных извержений. Продуктами извержения Безымянного являются роговообманковые (до 1958 г) и двупироксеновые андезиты.

Благодаря чувствительности состава плагиоклаза к температуре, давлению и содержанию воды в расплаве, а также очень медленной взаимной диффузии Si и Al в кристаллической решетке, он способен регистрировать и сохранять в своей зональности сложную историю магматических очагов. Зональность плагиоклаза из изученных андезитов была использована для восстановления истории и оценки параметров магматического очага в период 2000-2007 гг.

Среди кристаллов плагиоклаза в андезитах вулкана Безымянный выделяются три генерации: основная генерация имеет размер 0,5-2 мм, крупные вкрапленники (> 3 мм) представлены сростками зерен со сложной зональностью, микровкрапленники имеют размер <0,2-0,3 мм. Зональность плагиоклаза сложена чередованием трех основных элементов, каждый из которых имеет определенную тенденцию изменения состава:

Зоны с осцилляционной зональностью имеют постоянный состав 50-60 мол.% анортита с небольшими частыми вариациями состава плагиоклаза вдоль профиля в пределах 5 мол.% анортита. Формирование осцилляционной зональности является следствием периодического диффузного голодания кристалла при медленном росте из расплава [3].

Зоны резорбции характеризуются резким повышением содержания анортита и текстурами растворения (туннельное растворение, бухтообразные границы). Максимально неравновесное растворение сопровождается захватом большого количества мелких расплавных и флюидных включений. Содержание анортита в этих зонах достигает 85 мол. %.

Зоны с нормальной зональностью отражают постепенное изменение состава плагиоклаза от основного к более кислому в сторону края зерна.

Зональность большинства вкрапленников представлена характерным чередованием вышеперечисленных элементов от центра к краю зерна в следующей последовательности: зона с осцилляционной зональностью → зона резорбции → зона с нормальной зональностью → зона с осцилляционной зональностью (рис.1). Крупные вкрапленники состоят из нескольких таких циклов, зерна размером 0,5-2 мм содержат 1-2 цикла, а микровкрапленники обычно имеют нормальную зональность.

Во вкрапленниках основной генерации каждого извержения можно выделить ядро и кайму. Ядро характеризуется постоянным составом (50-60 мол. % анортита) и осцилляционной зональностью. Кайма состоит из зоны резорбции и зоны с нормальной зональностью и имеет толщину 70-150 мкм. Состав каймы имеет более анортитовый состав по сравнению с ядром. Зональности кайм вкрапленников одного извержения имеют одинаковое строение, в то время как зональность ядер не обнаруживает никаких корреляций (рис. 2).

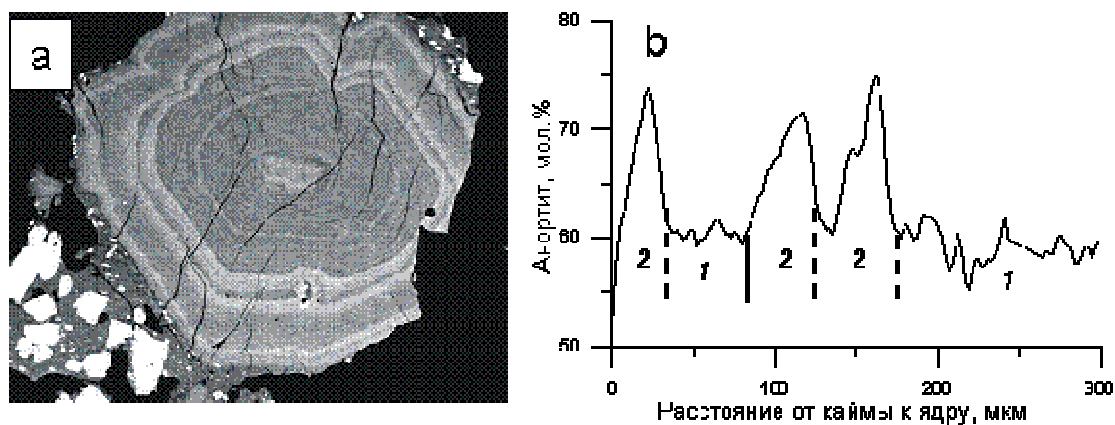


Рис.1. Зональность типичного вкрапленника плагиоклаза из андезитов вулкана Безымянный. а – изображение вкрапленника в отраженных электронах, б – профиль состава вкрапленника плагиоклаза. Пунктирной линией показаны поверхности растворения, цифрами обозначены зоны с осцилляционной (1) и нормальной (2) зональностями.

Резорбция плагиоклаза, отмеченная во всех вкрапленниках за исследованный период, вызвана периодическим повышением температуры в магматической системе или ее части. Магматические инъекции горячей магмы в

относительно холодный магматический очаг – наиболее вероятная причина вызывающая нагрев и резорбцию плагиоклаза.

Продукты извержений вулкана Безымянный не несут прямых свидетельств смешения двух магм, таких как темноцветные включения с закаленными краями (вулканы Кизимен, Монтсеррат, Унзен) или смешение контрастных по составу стекол (вулкан Бакенинг). О возможном смешении можно судить лишь по косвенным признакам: резорбция плагиоклаза, каймы разложения вокруг роговой обманки [1], магнезиальные каймы вокруг ортопироксена, ксенокристаллы оливина и клинопироксена, окруженные реакционными каймами. Температура стабильности парагенезиса фенокристаллов, определенная по клинопироксен-ортопироксеновому равновесию составляет 915-940°C, а температура кристаллизации основной массы - 950-1050 °C. Таким образом магматический камера или её часть, испытала нагрев с 1956 года (890 °C, [1]), а также испытывает нагрев перед каждым извержением.

Формирование зон резорбции с повышенным содержанием анортита при повышении температуры может происходить при повышении Ca/Na отношения в расплаве за счет растворения плагиоклаза с содержанием анортита >0,5 без привноса вещества в систему. Однако масс-балансовый расчет показывает, что растворение всех вкрапленников плагиоклаза не может вызвать стабильность на ликвидусе плагиоклаза с содержанием анортита выше 0,75 (согласно модели плагиоклаз-расплав, учитывающей влияние воды на состав плагиоклаза [2]). Следовательно, максимальное наблюдаемое содержание анортита (85 мол.%) не может быть объяснено изохимическим нагревом системы и требует добавления вещества с более высоким Ca/Na отношением. Таким веществом могут быть базальты, характерные для Ключевской группы вулканов.

Составы высокомагнезиальных и высокоглиноземистых базальтов вулкана Ключевской, расположенного в 10 км от вулкана Безымянный, были использованы для определения возможных пропорций смешения, необходимых чтобы объяснить наблюдаемое содержания анортита в плагиоклазе на ликвидусе (85 мол.%) при нагреве. Масс-балансовые и тепловые расчеты показали, что максимальные отмеченные в природных образцах содержания анортита могут быть достигнуты при смешении высокоглиноземистых базальтов с кислой магмой магматической камеры в пропорции 6:1. Физически это означает, что вкрапленники с максимальным содержанием анортита из кислого расплава попадали во внедрившийся расплав ассимилировавший ~15% окружающего кислого расплава, при этом температура ликвидуса возрастает на ~100°C.

Каждый вкрапленник плагиоклаза из одного извержения имеет собственную уникальную историю кристаллизации, отраженную в индивидуальной зональности ядер зерен. Для этого необходимо существование большой магматической камеры с различной кристаллизационной историей в разных ее частях, в противном случае зональность всех плагиоклазов была бы

одинаковой. Каймы, имеющие схожее строение в большинстве вкрапленников одного извержения отражают период кристаллизации непосредственно перед извержением. Триггером извержений являются инъекции свежей магмы в очаг, вызывающие резорбцию плагиоклаза и более высокую кальциевость плагиоклаза в кайме. Извержения вулкана Безымянный в последнее десятилетие происходят 1-2 раза в год. Следовательно, поступление свежей магмы в очаг должно происходить с такой же частотой или чаще.

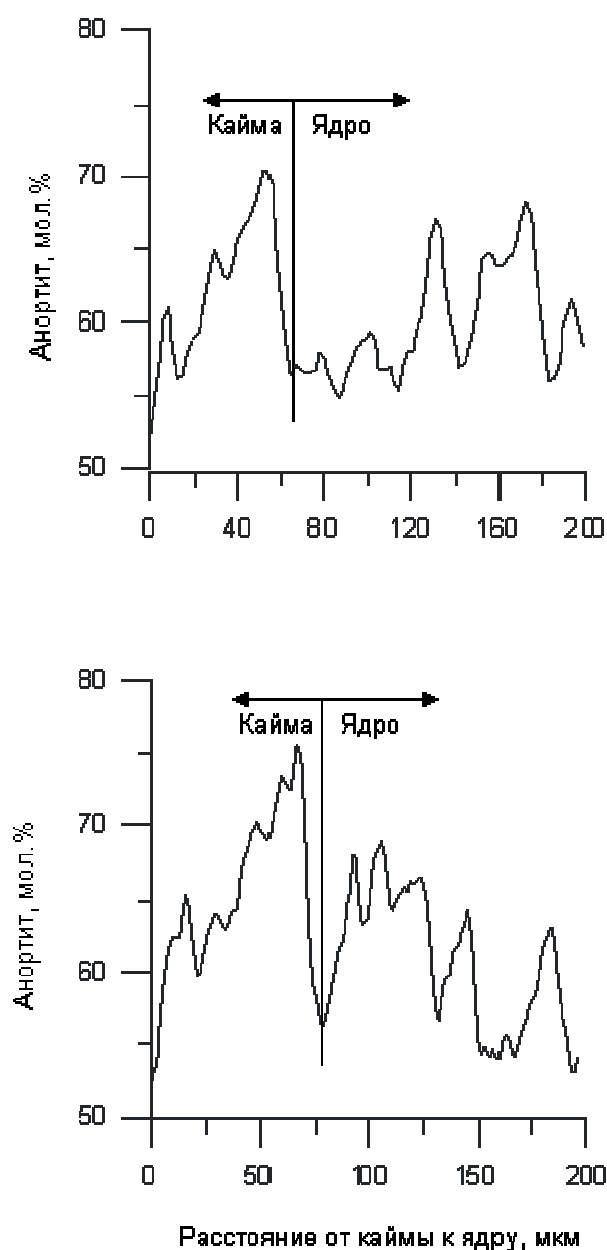


Рис.2. Профили состава плагиоклаза двух вкрапленников извержения вулкана Безымянный 11 января 2005 года.

Скорость кристаллизации плагиоклаза после внедрения новых порций горячей магмы (кристаллизации с зон с нормальной зональностью) выше, чем скорость кристаллизации зон с осцилляционной зональностью за счет большей степени переохлаждения. Длительность предэруптивного периода может быть оценена по периоду повышенной сейсмичности предшествующему извержению, который составляет от двух недель до двух месяцев. Исходя из этого, максимальная скорость роста составляет 1-10 мкм в день.

Автор выражает благодарность П.Ю. Плечову (Геологический факультет МГУ) и П.Э. Избекову (Геофизический Институт Университета Аляски) за неоценимый вклад в данное исследование.

Литература:

1. Плечов П.Ю., Цай А.Е., Щербаков В.Д., Дирксен, О.В. Роговые обманки в андезитах извержения 30 марта 1956 г. вулкана Безымянный и условия их опацификации // Петрология, 2008, т.16, №1, с.21-37
2. Pletchov P.Yu., Gerya T.V. Effect of H₂O on plagioclase-melt equilibrium // Experiment in GeoSciences, 1998, 7(2): 7-9
3. Sibley D.F., Vogel T.A., Walker B.M., Byerly G. The origin of oscillatory zoning in plagioclase: a diffusion and growth controlled model // American Journal of Science, 1976, 276:275–284