

## Динамика островодужных вулканических систем сквозь призму расплавных включений

Плечов П.Ю.

Геологический факультет МГУ, Москва, Россия, [pavel@web.ru](mailto:pavel@web.ru)

## Dynamics of island-arc volcanic systems via melt inclusion study

Plechov P.Yu.

Geological department of Moscow State University, Moscow, Russia, [pavel@web.ru](mailto:pavel@web.ru)

**Summary.** Melt inclusions in island arc volcanics often shows contrast composition to whole rocks. Some bright examples will demonstrate several types of island arc magmas. The first example shows results of melt inclusion study of widely distributed low-silica olivine-anorthite cumulative blocks in silica-rich pyroclastic deposits. Melts, which calculated from melt inclusions has low-K basaltic composition and could be in equilibrium with olivine and plagioclase at  $T=970-1080^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  3-3.5 wt. %. Determined melts are contrast in composition to whole rocks, but it could be parental melts for volcanic series of investigated volcanoes. Second example shows mixing dynamics between rhyolitic and basaltic melts just before eruption. Melt inclusions are falls to two contrast groups of basaltic and rhyolitic composition, whereas whole rocks are andesitic and dacitic. Fractionation and mingling dynamics of magmas is discussed. Thus, dynamics of island arc volcanism and details of different magma type interaction are exposed through melt inclusion study.

Островодужные магматические системы отличаются максимальным разнообразием проявлений вулканизма среди всех геотектонических обстановок. Многочисленные данные, полученные методами изучения расплавных включений в минералах-вкрапленниках, позволяют утверждать, что в большинстве островодужных магматических систем присутствуют контрастные по составу расплавы, которые не отвечают валовым

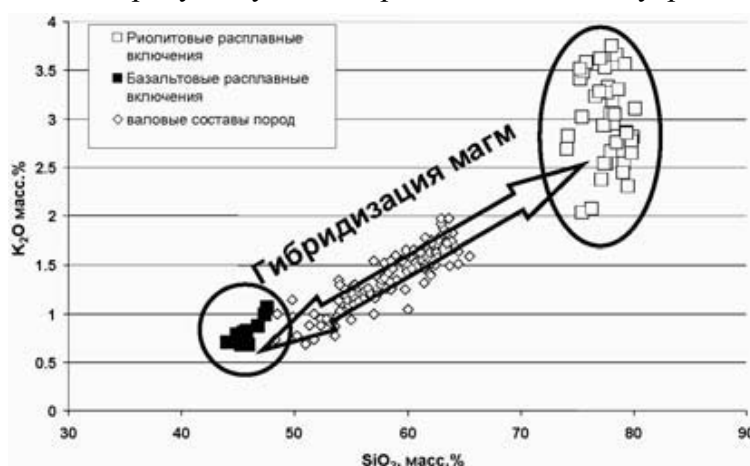


Рис. 1. Fig. 1.

составам изверженных пород. В данном докладе будут рассмотрены несколько конкретных примеров типичных островодужных вулканов, на которых выделены контрастные по составу расплавы и дана интерпретация этих данных в рамках моделей островодужного вулканизма.

Наиболее распространенными эффузивными породами в пределах островных дуг являются представители низкокальциевой островодужной

серии, для которых характерны большие объемы кислых пирокластических пород и андезитовые стратовулканы посткальдерного типа. Среди пирокластических отложений описаны фрагменты кумулятов ультраосновного состава, сложенные преимущественно оливином и анортитом (Плечов и др., 2008a). Изучение расплавных включений в оливине из этих образцов показало, что 1) расплавы соответствуют базальтам низкокальциевой островодужной серии, которые крайне редки среди изверженных пород изученных вулканических центров; 2) полученные составы базальтовых расплавов могли являться родоначальными магмами для всего спектра пород низкокальциевых островодужных серий. Температуры кристаллизации наиболее ранних оливинов и плагиоклазов оцениваются в

970-1080°C при содержании воды в расплаве 3-3.5 вес.% и фугитивности кислорода  $\Delta NNO=1-2$  (Плечов и др., 2008a). С помощью масс-балансовых расчетов оценена степень фракционирования родоначальных расплавов при образовании оливин-анортитовых кумулятивных горизонтов, которая варьирует от 22 до 46 % для различных вулканов.

В продуктах извержений вулкана Кизимен (Камчатка) изучены расплавные включения во вкрапленниках оливина, ортопироксена и плагиоклаза (Трусов, Плечов, 2005). Составы расплавных включений образуют две контрастные группы, базальтового и риолитового состава, тогда как валовые составы изверженных пород отвечают ряду андезит-дацит (рис.1). Составы питающих магматическую систему расплавов, определенных по расплавным включениям в минералах меланократовых нодулей, соответствуют базальтам, тогда как в парагенезисе вкрапленников приповерхностной магматической камеры фиксируются включения только риолитового состава. Хорошо видно, что пород, соответствующих по составу питающим расплавом среди лав практически нет. Все лавы являются гибридными, образующимися за счет смешения базальтовой питающей магмы и магмы кислого состава. Не обнаружено расплавных включений промежуточного состава, т.е. смешение расплавов не успевало пройти на химическом уровне. Это отражается в неравновесных парагенезисах гибридных пород, содержащих вкрапленники кварца и оливина, роговые обманки с реакционными каймами, два типа вкрапленников плагиоклаза (с прямой и обратной зональностью внешних зон).

На основе изучения расплавных включений, эволюции физико-химических параметров магмы непосредственно перед и во время извержения и оценок времени по незавершенным минеральным реакциям предлагается следующий механизм взаимодействия инъекций основной магмы с веществом приповерхностных очагов кислого состава:

Инъекции основной магмы поднимаются и внедряются в приповерхностный очаг в виде даек. При попадании в вязкую среду кислых расплавов они продолжают подниматься вверх, постепенно деформируясь за счет сопротивления вязкой среды и возникающих конвекционных течений. При этом, происходит фрагментация внедряющейся магмы на глобулы различного размера, распределяющиеся по объему магматического очага. При движении глобул в вязкой среде возможен механический захват посторонних вкрапленников из вмещающей магмы. Базальтовая магма начинает кристаллизоваться вследствие резкого контраста температур. Эта кристаллизация носит преимущественно фракционный характер, так как время кристаллизации мало по сравнению со временем, необходимым для диффузионного переуравновешивания ранее кристаллизовавшихся вкрапленников. Окружающая магма прогревается за счет теплообмена с внедрившейся порцией базальтов и выделившейся теплотой при кристаллизации базальтовых глобул.

Уравновешивание по температуре базальтовых глобул с окружающим расплавом вызывает массовую кристаллизацию минералов из базальтового расплава. Количество и состав образующегося при этом остаточного расплава внутри глобул будет являться преимущественно функцией температуры, к которой стремится магматическая система при термическом равновесии. Поскольку температура внутри и снаружи глобул после уравновешивания одинакова, мы можем ожидать близкие по составу расплавы как внутри глобул, так и в окружающей их магме. Время, в течение которого может существовать в неизменном виде остаточный расплав, ограничено общим остыванием магматической системы.

Частично раскристаллизованные глобулы, находящиеся в магматическом очаге в течение долгого времени, будут постепенно распадаться на отдельные кристаллы и гломеропорфировые сростки. Остаточный расплав из глобул при этом процессе будет иметь возможность смешаться с матричным расплавом окружающей магмы. Фемические минералы (например, оливин) сформированные при кристаллизации базальтовой магмы реагируют с остаточным расплавом и полностью дезинтегрируются в течение 4-12 лет в зависимости от размера зерен (Coombs et al., 2004; Dirksen et al., 2006). Пироксен может диффузионно переуравновешиваться с магмой примерно за эти же интервалы времени.

Скорости диффузии CaAl – NaSi в плагиоклазе крайне низки, поэтому плагиоклазы зачастую сохраняют сложную зональность в течение всей жизни магматического очага.

Из описанного выше ясно, что непосредственное смешение базальтового и риолитового расплавов не происходит. Процесс взаимодействия базальтов и риолитов при подчиненном количестве базальтов проходит в несколько стадий. На первой стадии базальтовая магма кристаллизуется, формируя кристаллы и остаточный расплав. На второй стадии остаточный расплав смешивается с матричным расплавом вмещающей магмы, а кристаллы частично или полностью переуравновешиваются с этим же матричным расплавом. При новых инъекциях базальтов и прогреве магмы очага эти кристаллы могут частично или полностью растворяться, адаптируя состав матричного расплава к более высокой температуре.

Численное моделирование эволюции базальтовых глобул в кислом магматическом очаге с учетом кристаллизации базальтового расплава и теплообмена с окружающей магмой (Плечов и др., 2008b) показало, что время кристаллизации базальтовых глобул пренебрежимо мало по сравнению со временем, необходимым для хоть сколько-нибудь существенного диффузионного обмена между базальтовым и риолитовым расплавом. Смешение расплавов за счет диффузии и даже уравнивание парагенезисов не могло произойти за время, сравнимое со временем, прошедшим с момента инъекции базальтового расплава до извержения (дни и месяцы).

При вышеизложенном механизме гибридизации следует ожидать появление в расплавных включениях и интерстициальных стеклах двух различных по составу типов кислых расплавов. Дискретность составов кислых стекол зафиксирована в образцах вулканов Безымянный, Бакенинг, Кизимен (Камчатка), Унзен (Япония). Наиболее ярко дискретность составов проявлена в концентрациях  $K_2O$  и  $TiO_2$ . При этом, низкокалиевые и низкотитанистые риолитовые расплавы образуются при быстром фракционировании базальтовых инъекций в кислые очаги.

Таким образом, изучение расплавных включений в динамических вулканических системах в сочетании с методами петрологии и математического моделирования позволило выявить механизмы фракционирования и гибридизации магм в островодужной обстановке.

#### **Литература:**

- Плечов П.Ю., Шишкина Т.А., Ермаков В.А., Портнягин М.В. (2008a) Условия формирования алливалитов (оливин-анортитовых кристаллических включений) Курило-Камчатской островной дуги. // Петрология, 2008, т.16, N3, с 1-30
- Плечов П.Ю., Фомин И.С., Мельник О.Э., Горохова Н.В. (2008b) Эволюция состава расплава при внедрении базальтов в кислый магматический очаг. // Вестник МГУ, сер. IV, геол., 2008, №4 (в печати).
- Трусов С.В., Плечов П.Ю. Образование антидромной серии вулкана Кизимен (Камчатка) // Международное петрографическое совещание "Петрография XXI века", г. Апатиты, 2005
- Coombs M.L., Gardner J.E. Reaction rim growth on olivine in silicic melts: Implications for magma mixing // American Mineralogist, 2004, т. 89, с. 748–759.
- Dirksen O., Humphreys M.C.S., Pletchov P., Melnik O., Demyanchuk Y., Sparks R.S.J., Mahony S. The 2001-2004 dome-forming eruption of Shiveluch volcano, Kamchatka: Observation, petrological investigation and numerical modelling // JVGR, 2006, Volume 155, Issues 3-4, 15 July 2006, Pages 201-226.