

Образование антидромной серии вулкана Кизимен (Камчатка)

С. В. Трусов, П. Ю. Плечов

Геологический ф-т МГУ, кафедра петрологии, kizimen@mail.ru

Процесс смешения контрастных по составу магм описан для многих магматических систем. Основным механизмом такого смешения является поступление порций основной или средней (базальтовой, андезитовой) магмы в коровый очаг, который, как правило, содержит более кислую (дацитовую, риодацитовую) магму. Большинство таких магматических систем обнаруживается в островодужных обстановках, для которых характерны долгоживущие очаги кислой магмы (вулканы Карымский, Малый Семейчик, Ааг и Арик, Кизимен, Дикий Гребень, Менделеева – Курило-Камчатская о.д.; Redoubt, Dutton, Southwest Trident – Алеутская о.д.; Krakatau, Pinatubo – Филиппинская о.д., а так же Unzen в Японии, Soufriere Hills на Антильской о.д. и ряд других).

Вулкан Кизимен расположен в тектонически активной зоне сочленения грабена Центрально-Камчатской Депрессии с горстом Восточного хребта, на западном склоне южной части Тумрокского хребта. Кизимен является действующим вулканом (в настоящее время проявляется лишь фумарольная активность), его возраст составляет около 12 тыс.лет. Состав вулканитов варьирует от дацитов до андезибазальтов с преобладанием андезитов. Эруптивная история Кизимена подразделяется на несколько больших циклов, разделенных паузами в вулканической активности. В течение каждого цикла проявляется увеличение основности продуктов извержений. Наряду с этим отмечается общее увеличение основности вулканитов с начала деятельности вулкана. [1].

Мы предполагаем, что под вулканом Кизимен существует долгоживущий очаг кислой магмы, в который поступают порции базальтовой магмы. Последние, в свою очередь, разбавляют и прогревают вещество очага и являются причиной антидромных последовательностей продуктов вулканизма.

Реликты риолитовых расплавов

Для реконструкции параметров исходной магматической камеры, минимально затронутой процессами смешения, были изучены породы наиболее древней (из сохранившихся) дацитовой экструзии «Горб» на западном склоне вулкана, образовавшейся во время первого эруптивного цикла.

Для пород экструзии, представленных дацитами (65 вес. % SiO_2), характерно чередование серых и красных разновидностей, идентичных по валовому составу, но отличающихся количеством сферолитов в стекле (в красных - 50, в серых - 5 об.%). Сферолиты (200-400 мкм в диаметре) сложены плагиоклазом An_{41-40} , кварцем и небольшим количеством окислов железа.

Вкрапленники (30 % породы) представлены амфиболом (магнезиальная роговая обманка), плагиоклазом, ортопироксеном, кварцем, магнетитом и ильменитом и погружены в кислое стекло (76-78% вес. SiO_2). Сложнозональные плагиоклазы представлены двумя типами: первые, с натриевым ядром и более кальциевой каймой (An_{44-47} и An_{51-55} соответственно) и вторые, с богатым кальцием ядром и более натриевой каймой (An_{68-81} и An_{48-57} соответственно). Вкрапленники Орх практически незональны ($\text{En}_{63-65}\text{Wo}_{1-2}$), в них встречены твердофазные включения кварца и Сl-апатита. В малом количестве встречаются вкрапленники кварца (~1% фенокристов). Обнаружены первично магматические сростки титаномагнетита ($\text{Mt}_{0.81}\text{Usp}_{0.19}$) и ильменита ($\text{Ilm}_{0.73}\text{Hem}_{0.27}$). Совместная кристаллизация вкрапленников ильменита и титаномагнетита свидетельствует об окисленной обстановке в магматической камере, которая оценена с помощью программы QUIF [2], и составляет $f\text{O}_2 = -11.65$ (QFM+2.3).

Давление оценено по роговообманковому геобарометру [3] в 1.2 -1.6 кбар, что соответствует глубине 4-6 км. Температуры оценены по плагиоклаз-амфиболовому равновесию [4] (760-750°C) и магнетит-ильменитовому равновесию (834 – 822°C)[2].

Состав расплава в магматической камере оценивался по стекловатым расплавленным включениям во вкрапленниках ортопироксена (среднее, вес.%): SiO_2 - 77.73, TiO_2 - 0.21, Al_2O_3 - 12.63, FeO_{tot} - 1.27, MnO - 0.09, MgO - 0.16, CaO - 1.28, Na_2O - 2.78, K_2O - 3.40. Составы стекол основной массы в образце, идентичны составам расплавленных включений, что позволяет пренебречь возможными процессами смешения.

Реликты базальтовых расплавов

Чтобы оценить параметры базальтовой магмы поступающей в кислый очаг, были исследованы андезибазальты последнего эруптивного цикла, и прежде всего расплавные включения в оливине.

Для андезибазальтов характерны темно-серая окраска и порфировая структура с многочисленными вкрапленниками плагиоклаза, которые преобладают и в основной массе. Среди фенокристаллов андезибазальтов, кроме плагиоклаза, составляющего 65-75% всех вкрапленников, присутствуют так же ортопироксен (15-20%), клинопироксен (5-8%), оливин (3-5%) и титаномагнетит (2-4%). Вкрапленники составляют 40-45% породы, поры 1-2% и основная масса 54-60%. Основная масса состоит из микролитов плагиоклаза, клинопироксена, оливина, титаномагнетита и небольшого количества стекла.

Вкрапленники оливина имеют состав ядер Fo_{79-72} и более железистую кайму мощностью 10-15 мкм, в которой состав меняется до Fo_{62} . Некоторые вкрапленники оливина окружены каймой (3-10 мкм) низкокальциевого пироксена ($En_{59-53}Fs_{34-29}Wo_{17-7}$). Для ядер оливина характерны включения плагиоклаза An_{91-87} . Клинопироксен имеет небольшую нормальную зональность $En_{44-38}Fs_{15-10}Wo_{47-39}$. В нем так же, как и в оливине обнаружены включения плагиоклаза An_{91-87} . Ортопироксен, как и в описанных дацитах, имеет состав ($En_{63-65}Wo_{1-2}$) а также содержит твердофазные включения Cl-апатита и кислые (77-78 вес.% SiO_2) стекловатые расплавные включения. Некоторые вкрапленники окружены каймой клинопироксена. Вкрапленники плагиоклаза подразделяются по составу ядер на два типа. Для первых характерно наличие высококальциевого ядра (An_{91-87}) и чуть более натриевых краевых зон (An_{89-81}). Плагиоклазы второй группы имеют состав ядра An_{55-45} и краевых зон - An_{75-65} . Состав микролитов плагиоклаза в основной массе - An_{67-54} . Реликты амфибола представляют собой агрегаты зерен плагиоклаза, пироксенов и магнетита, сохранившие морфологию первичного амфибола.

Парагенезис $Fo_{79-75} - An_{91-87} - En_{44}Fs_{16}Wo_{40}$ является наиболее ранним для данной породы, а возможно и для всех основных пород, изверженных Кизименом.

Для восстановления состава базальтового расплава был проведен ряд термометрических экспериментов с расплавными включениями в оливинах. Для этой цели отбирались зерна с достоверно первичными расплавными включениями не несущими признаков перекристаллизации или вторичных изменений. Размер отобранных расплавных включений 10-40 мкм. После термометрических экспериментов составы расплавных включений были пересчитаны до равновесия с минералом хозяином в соответствии с [5]. Рассчитанная температура кристаллизации оливина - $1110 \pm 10^\circ C$. Получившиеся составы первоначальной магмы отвечают базальтам (46-47 вес.% SiO_2) умеренно-калиевой серии.

Признаки смешения магм

Практически все изверженные породы Кизимена несут в себе различные признаки смешения магм, к числу которых относятся:

I) в дацитах: 1) присутствие реликтов зерен магнезиального оливина с включениями хромистого шпинелида; 2) сосуществование двух типов плагиоклаза с дискретными группами ядер (высоко- и низкокальциевые ядра)

II) в андезитах: 1) сосуществование двух типов плагиоклаза с дискретными группами ядер (высоко- и низкокальциевые ядра); 2) одновременное присутствие вкрапленников магнезиального оливина и кварца 3) наличие амфибола различной степени сохранности в одной породе (идиоморфные кристаллы; зерна амфибола, частично разложенные на агрегат безводных минералов, с сохранением амфибола в ядре зерна; агрегаты плагиоклаза, пироксенов и магнетита, наследующие форму кристаллов первичного амфибола)

III) в андезибазальтах: 1) сосуществование двух типов плагиоклаза с дискретными группами ядер (высоко- и низкокальциевые ядра); 2) наличие агрегатов плагиоклаза, пироксенов и магнетита, наследующих форму кристаллов первичного амфибола.

Таблица 1. Сравнительная характеристика пород влк. Кизимен

Образец	TR-01-03	TR-01-04	TR-01-07	TR-01-15	TR-01-11	TR-01-08	TR-01-09a
Порода	Д	Д	А	А	АБ	АБ	Б (вкл.)
Возраст, т.л.	10	10	10	11	2	1	>1
SiO ₂ %	65.50	64.49	62.02	59.83	53.98	55.65	51.00
Са ядр. Pl	+	+	+	+	+	+	+
Na ядр. Pl	+	+	+	+	+	+	+
Ol, реликты	+	+	-	-	-	-	-
Ol, вкр.	-	-	+	+	+	+	+
Hb, вкр.	+	+	+	+	-	-	-
Hb, реликты	-	-	-	+	+	+	+
Orx, вкр.	+	+	+	+	+	+	+
Срх, вкр.	-	-	-	-	+	+	+
Qtz вкр.	+	+	-	+	-	-	-

Примечания: Д – дациты, А – андезиты, АБ – андезибазальты, Б – базальты, Са ядр. Pl – плагиоклазы с высококальциевым ядром (An₇₅₋₉₀), Na ядр. Pl – плагиоклазы с натриевым ядром (An₄₅₋₅₅), вкр. – вкрапленники, Ol – оливин, Hb – роговая обманка, Орх – ромбический пироксен, Срх – моноклинный пироксен, Qtz – кварц.

В табл.1 суммированы характеристики представительных образцов, образующих ряд от дацитов до базальтов. Во всех изученных образцах присутствуют 2 типа вкрапленников плагиоклаза (с прямой и обратной зональностью). Также, во всех образцах, включая дациты отмечен оливин. В андезитах, андезибазальтах и базальтах он образует вкрапленники и иногда отмечается в основной массе породы в виде скелетных кристаллов, а в дацитах отмечаются реликты вкрапленников оливина, по которым развивается ортопироксен и магнетит. Роговая обманка также присутствует во всех породах серии. В дацитах и андезитах она представлена хорошо оформленными вкрапленниками, тогда как в андезибазальтах и базальтах по роговой обманке развивается агрегат клинопироксена, магнетита и плагиоклаза. Вкрапленники кварца встречены в дацитах и в андезитах, причем в андезитах (обр. TR-01-15) они присутствуют наряду с вкрапленниками магнезиального оливина.

Таким образом, антидромная серия вулкана Кизимен представляет собой уникальный объект, в котором последовательно представлены различные стадии смешения риолитовых и базальтовых магм, состав которых реконструирован по сохранившимся расплавленным включениям. Внедрение порции базальтовой магмы в очаг с риолитовой магмой приводит к образованию гибридных пород дацитового, андезитового и андезибазальтового состава.

Литература

1. Мелекесцев И.В., Пономарева В.В., Волынец О.Н. Вулкан Кизимен (Камчатка) - будущий Сент-Хеленс? // *Вулкнология и сейсмология*, 1992, N4, с. 3-32
2. Anderson, D.J., Lindsley, D.H., and Davidson, P.M. QUILF: a PASCAL program to assess equilibria among Fe-Mg-Ti oxides, pyroxenes, olivine and quartz.// *Comput. Geosci.*, 1993, №19, pp.1333-1350.
3. Anderson, J. L., Smith, D. R. The effect of temperature and oxygen fugacity on Al-in-hornblende barometry // *American Mineralogist*, 1995, №80, p.549-559.
4. Blundy J.D., Holland T.J.B. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer // *Contrib. Min. Petrol.*, 1990, №104, pp.208-224
5. Danyushevsky L. V., Della-Pasqua F. N., Sokolov S. "Re-equilibration of melt inclusions trapped by magnesian olivine phenocrysts from subduction-related magmas: petrological implications"// *Contrib. Mineral. Petrol.*, 2000, №138, pp. 68-83.