

Причины роста экструзивного купола вулкана Шивелуч.

П.Ю.Плечов*, М.Ю.Пузанков**, О.В.Дирксен**, Н.П.Латышев*

*Москва, Геологический факультет МГУ, pavel@web.ru

**Петропавловск-Камчатский, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Вулкан Шивелуч является одним из наиболее активных вулканов мира, на котором примерно раз в 100-500 лет происходят катастрофические извержения [1]. Между катастрофическими извержениями (последние были в 1856 и 1964 гг.) с периодичностью 6-25 лет происходят крупные эксплозивные извержения, сопровождающиеся сходом пирокластических потоков (последнее такое извержение происходило в 2001 г. и описано в [4]). Рост экструзивных куполов практически постоянно сопровождается сходом небольших пирокластических потоков (до нескольких раз в день), остающихся в пределах эксплозивной воронки. Отличительной чертой продуктов извержений Шивелуча является их однородный минералогический состав (наличие вкрапленников базальтической роговой обманки и плагиоклаза) и обилие мантийных ксенолитов.

Постоянный рост экструзивных куполов (со скоростью до 3м/сутки, а в среднем 20-25м/год [4]), сопровождающийся обвалами и мелкими пирокластическими потоками, раз в 6-12 лет приводит к крупным эксплозивным извержениям, с периодичностью в столетие, после небольшого перерыва в активности происходит катастрофическое взрывное извержение с разрушением экструзивных куполов. Такая закономерная периодичность, наблюдающаяся на протяжении практически всего голоцена, свидетельствует о постоянной движущей силе роста экструзивных куполов и постоянном образовании новых порций магм. При этом, постоянно накапливающиеся количественные изменения в магматической системе Шивелуча, приводят к периодическим извержениям.

В пределах кратера вулкана Шивелуч в июле 2002 года были отобраны образцы для изучения состояния вещества экструзии и получения современной порции материала, слагающего экструзивный купол Шивелуча. Породы светло-серого цвета, порфиновые. Вкрапленники представлены плагиоклазом и роговой обманкой. По содержанию SiO₂ и суммы щелочей состав породы попадает в поле андезитов, практически у самой границы с полями дацитов и трахиандезитов и может быть классифицирован как андезидацит, представляющий наиболее кислые разности пород Шивелуча. По содержанию K₂O породы являются умеренно-калиевыми. Вкрапленники плагиоклаза часто содержат включения роговой обманки, при этом крупные вкрапленники плагиоклаза имеют чистую середину (без вростков), а вростки роговой обманки приурочены к краевым частям вкрапленников плагиоклаза, что свидетельствует о том, что роговая обманка начала кристаллизоваться позже, чем плагиоклаз. Небольшие мезовкрапленники плагиоклаза образуют многочисленные сростки с роговой обманкой. Роговая обманка представлена вкрапленниками различных размерностей. Крупные вкрапленники (3-5 мм) иногда резорбированы по краям (но без кайм опацификации) и содержат многочисленные вростки плагиоклаза в центральных частях. Более мелкие вкрапленники роговой обманки также часто содержат многочисленные вростки плагиоклазов и титаномагнетита в центральных частях.. Общее содержание пироксенов среди вкрапленников не превышает первых процентов. Основная масса частично раскристаллизована, структура мелкозернистая, микролитовая. Микролиты представлены андезином и небольшим количеством низкокальциевого пироксена. Между микролитами плагиоклаза есть значительные промежутки, заполненные кристаллитами и вулканическим стеклом. В основной массе отмечаются немногочисленные зерна рудного минерала, апатита и очень редко роговая обманка.

В породах экструзивного купола отмечается большое количество ксенолитов и ксенокристов цветных минералов. Они имеют размеры от долей миллиметра до десятков сантиметров и, как правило, ориентированы согласно флюиальности породы. Минералы ксенолитов реагируют с кислым расплавом. Иногда ксенолиты полностью изменяют свой состав, а иногда вокруг ксенолитов образуются реакционные каймы симплектитовых сростаний ортопироксена и магнетита, на которые нарастает кайма базальтической роговой обманки. В некоторых микроксенолитах сохраняются реликты магнезиального оливина (Fo_{82.8}), по которым за счет реакции с кислым расплавом образуются симплектитовые сростки ортопироксена (#Mg - 79.9) и титаномагнетита. Вокруг микроксенолита, в некоторых частях фиксируется зональная кайма, внутренней части сложенная рудным минералом, затем идет зонка, существенно обогащенная ортопироксеном и внешняя зона представлена роговой обманкой. Наличие амфибола в каймах

вокруг ксенокристов оливина свидетельствуют о высоком флюидном давлении (>100 МПа) и, следовательно, ксенокристы и микроксенолиты должны были попасть в расплав на глубине не менее 3-4 км.

Расплавные включения. Плагноклаз, роговая обманка, ортопироксен и магнетит содержат стекловатые расплавные включения. Наиболее обильны расплавные включения в роговой обманке (наряду с многочисленными включениями плагноклаза и рудного минерала). Они имеют размеры 10-50 мкм. Форма включений овальная или ромбовидная. Газовый пузырек занимает от первых процентов до 15 % от объема включений. Невыдержанность объема газового пузырька во включениях и присутствие многочисленных сингенетичных газовых включений может свидетельствовать о гетерогенном захвате части включений и об активной дегазации магм в ходе кристаллизации. Во включениях встречаются крупные кристаллы-узники апатита, ортопироксена и рудного минерала. В плагноклазе также отмечается большое количество стекловатых расплавных включений, выполняющих зоны роста минерала. Как правило, таких зон расплавных включений не более одной на каждый кристалл и они располагаются ближе к краям зерна плагноклаза. Включения в плагноклазе стекловатые, газовый пузырек больше, чем во включениях в роговой обманке, часто достигает 20% и больше от объема включения. Включения в зоне роста располагаются достаточно широкой полосой.

Нами были изучены полностью стекловатые включения без газовых пузырьков (или с пузырьками не превышающими 1% от объема включения) и составы стекол приведены в табл.

Табл.1 Составы представительных стекловатых расплавных включений в роговой обманке, плагноклазе и титаномagnetите и стекла основной массы из пород экструзии 2002 г.

Номер	SH3-G15	SH3-G16	SH3-G16A	SH3-G17	SH3A-G2	SH3A-G3	SH3A-G7	SH3A-G16	SH3-G9	SH3A-G6
SiO ₂	71.89	76.00	72.94	80.25	74.38	72.43	75.97	76.66	69.36	70.56
TiO ₂	0.31	0.26	0.39	0.31	0.23	0.21	0.30	0.27	0.36	0.24
Al ₂ O ₃	14.66	13.38	14.00	12.51	13.90	15.39	12.88	13.80	16.38	17.19
FeO	2.90	0.64	1.82	1.32	1.58	1.15	1.90	1.17	1.45	0.75
MnO	0.03	0.03	0.00	0.10	0.05	0.00	0.08	0.02	0.00	0.02
MgO	0.00	0.00	0.26	0.11	0.01	0.00	0.02	0.07	0.56	0.00
CaO	0.27	0.69	0.43	0.62	0.77	1.96	0.34	1.08	3.55	2.97
Na ₂ O	5.47	5.01	5.03	1.85	5.04	6.65	4.56	3.28	5.28	6.39
K ₂ O	3.52	3.13	3.85	2.53	3.36	1.80	3.42	3.17	1.89	1.52
P ₂ O ₅	0.37	0.10	0.30	0.23	0.10	0.11	0.26	0.13	0.46	0.17
Cl	0.19	0.30	0.26	0.16	0.22	0.10	0.03	0.12	0.10	0.04
S	0.31	0.26	0.27	0.03	0.12	0.05	0.13	0.14	0.01	0.07
Состав минерала-хозяина*	71.5	68.5	68.5	67.6	66.3	43.6	-	68.6	-	-
Минерал-хозяин	Horbl	Horbl	Horbl	Horbl	Horbl	Plag	TiMt	Horbl	-	-

Примечания: номера, начинающиеся с SH3 из образца ПК-02/3, с SH3a - из образца ПК-02/3a. SH3-G9 и SH3a-G6 - стекла основной массы. Все приведены в пересчете на безводный остаток.

*Для роговых обманок приведена магниальность ($Mg/(Mg+Fe_{общ})$), для плагноклазов указан номер (Ca/Ca+Na).

Составы стекловатых включений в роговых обманках и плагноклазах не имеют значимых отличий. Поэтому поправкой на кристаллизацию минерала-хозяина на стенки включений в данном случае можно пренебречь. О незначительной кристаллизации на стенки включений говорит также отсутствие газовых пузырьков во многих включениях. Таким образом, составы стекол расплавных включений в экструзивных породах Шивелуча могут быть непосредственно интерпретированы как составы расплавов, существовавших в магматической системе.

Оценка параметров кристаллизации. Кристаллизация роговой обманки позволяет говорить о том, что расплав был близок к водонасыщенным условиям при давлениях более 1 кбар. Практическое отсутствие чермакитового минерала в составе амфиболов, позволяет говорить о низкотемпературных условиях формирования. Поэтому, давление нами было принято около 1 кбар. [Толстых и др., 2000] изучали флюидные включения в плагноклазе, которые оказались заполнены

чистой углекислотой с плотностью 0.13-0.45 г/см³ (T_m -56.7, T_h(газ) 8.0-31.0 °C). При допущении температуры в диапазоне 1000-1100 C, Толстых и др. [3] оценивают давление в 350-1600 бар. Реальные температуры кристаллизации роговой обманки и плагиоклаза лежат в диапазоне 830-900 C (обсуждается ниже) и диапазон давлений, рассчитанных по плотности включений [5] соответствует 27.5 - 133 МПа.

При заданном давлении (1 кбар) по плагиоклаз-амфиболовому термометру Holland&Blundy, 1994 были рассчитаны температуры кристаллизации. В качестве исходных данных использовались включения роговой обманки в плагиоклазе и плагиоклаза в роговой обманке. Все температуры лежат в диапазоне 829-898 C. Оценка температур по составам расплавных включений при заданной фугитивности кислорода на уровне буфера NNO и давлении 1 кбар для образцов Молодого Шивелуча с помощью программы MELTS - 2.04 дает диапазон 824-900 C, что хорошо совпадает с результатами амфибол-плагиоклазового термометра. Толстых и др.[3] фиксировали температуры гомогенизации включений в плагиоклазе в диапазоне 970-1150 C. Завышенные, по отношению к расчетным, температуры гомогенизации могут быть следствием частичной потери воды из включений или получены при гомогенизации изначально гетерогенных включений (расплав + газовая фаза).

Резкая смена состава роговой обманки по ходу кристаллизации со скачкообразным увеличением магнезиальности, совпадающая по времени с образованием насыщенных включениями зон в плагиоклазах и появление небольшого количества пироксенов хорошо объясняются попаданием в приповерхностный очаг новой порции основной магмы, которая разбавила остаточный расплав, сделав его более магнезиальным и более кальциевым, что отражено в составе основной массы. Отсутствие порций основных магм неизбежно привело бы к появлению кварца на ликвидусе магматической системы. Отсутствие кварца во вкрапленниках свидетельствует о постоянном подмешивании более основных расплавов и их эффективном перемешивании с существующими в магматической камере магмами. Ксенолиты перидотитов привносятся вместе с поступающими порциями основных магм и распределяются по объему магматической камеры до попадания материала в колонну экструзивного купола.

Нами предлагается модель, предполагающая наличие близповерхностного очага, заполненного кислой магмой. Движущей силой роста экструзивных куполов являются небольшие по объему инъекции базальтовых расплавов. Поступающие порции глубинных расплавов поддерживают более-менее постоянный температурный режим и вызывают новые стадии плавления коровых пород с образованием риолитовых расплавов. Эти расплавы фиксируются в расплавных включениях в плагиоклазе и роговой обманке. Этот же механизм образования кислых расплавных включений был предложен нами ранее для Ключевского вулкана [2], однако доля риолитовых расплавов на Шивелуче существенно больше. При подмешивании основной магмы в кислый очаг образуется ряд пород от андезитов до дацитов и вызывается рост экструзивного купола.

Литература

1. **Мелекесцев И.В.** Новейшие гигантские эксплозивно-обвальные лавины катастрофических извержений вулкана Шивелуч на Камчатке: детерминированность и возможные причины // В кн.: *Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы*. ИВГиГ ДВО РАН, Петропавловск -Камчатский, 2001, с. 215-253.
2. **Плечов П.Ю., Миронов Н.Л., Плечова А.А. и др.** Особенности химического состава и образования расплавных включений в плагиоклазах потока Апахончич, влк. Ключевской (Камчатка)// *Геохимия*, 2000, N1, с. 39-47
3. **Толстых М.Л., Наумов В.Б.,Бабанский А.Д. и др.** Состав расплава и условия кристаллизации андезитов вулкана Шивелуч (Камчатка) по данным изучения включений в минералах. // *ДАН*, 1998. Т.359, N5, с.676-679.
4. **Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А. и др.** Извержение вулкана Шивелуч в мае-июле 2001 г. // *Вулканология и сейсмология*, 2001, №6, с.1-13
5. **Span, R., Wagner, W.** A new equation of state for carbon dioxide covering the fluid region from the triple-point temperature to 1100 K at pressures up to 800 MPa.// *J. Phys. Chem. Ref. Data*, 1996, 25, 1509-1596.