

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСТРУЗИВНОГО КУПОЛА ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ И СОСТАВ ЕГО ЛАВ В 2004-2005 гг.

Н. В. Горбач

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,
e-mail: n_gorbach@mail.ru*

Введение

Экструзивный купол вулкана Шивелуч начал формироваться в августе 1980 г. Выжимание первых порций вязкой андезитовой лавы было приурочено к центральной части кратера, образованного в результате катастрофического извержения 12 ноября 1964 г. К декабрю 1981 г. крупные блоки и обелиски андезитов образовали экструзивный купол высотой в 160 м [9]. Последующий рост купола происходил во время извержений 1993-1995 и 2001-2002 гг. Эти извержения начинались с активизации экструзивного процесса, затем следовала мощная взрывная фаза с образованием пирокластических потоков, после чего в течение ~1.5 – 2 лет продолжали выжиматься жесткие блоки экструзии. К маю 2004 г. его относительная высота составила 520 м, диаметр основания - 1350 м, диаметр вершинной части - 270 м [11]. Лавы, формировавшие купол в 1980-2002 гг., были представлены хорошо раскристаллизованными андезитами (SiO₂ 60-62.5 мас. %) с содержанием вкрапленников до 40 % [8,11,12].

В 2004-2005 г. возросла интенсивность взрывных извержений, связанных с ростом купола и сократились периоды между ними. При извержении 10 мая 2004 г. была разрушена юго-восточная часть купола. В районе южного подножия вулкана в истоках рек Каменской и Кабеку были сформированы отложения пирокластических потоков [3]. В мае-августе на куполе впервые был выжат вязкий лавовый поток. 27 февраля 2005 г. произошло взрывное извержение, которое является наиболее сильным в новейшем эруптивном цикле вулкана. Были разрушены преимущественно северо-западная и западная части купола, а его высота уменьшилась на 136 м. Объем отложений пирокластических потоков и волн по оценке [7] составляет ~0,2 км³. После взрывной фазы извержения в западной части кратера началось выжимание нового экструзивного блока, высота которого уже к началу апреля превысила 300 м. С его формированием было связано еще одно взрывное извержение, которое произошло 22 сентября 2005 г.

Лавы, поступившие на поверхность в 2004-2005 гг. по составу отвечают андезитоадацитами и имеют наиболее кислый состав из всех пород, формировавших экструзивный купол. Резкая гетерогенность состава вкрапленников андезитоадацитов позволяет предположить, что в образовании этих пород принимали участие расплавы, различные по составу и температуре.

Лавовый поток, май - август 2004 г.

Вязкий лавовый поток формировался в юго-восточном секторе экструзивного купола с мая (рис. 1а) [3] по август 2004 г. В конце июля поток имел протяженность ~400 м при ширине в центральной части до 100 м (рис. 1б). Поверхность потока была крупноглыбовой, мощность во фронтальной части составляла ~15-20 м. Вследствие наложения порций вязкой лавы мощность потока в истоке превышала фронтальную как минимум в два раза. Средний расход лавы с 21 мая по 28 июля составил ~0.15 - 0.23 м³/с. Объем эффузивов за этот период, соответственно, равнялся ~0.8-1.1 млн. м³.¹ В сентябре на вулкане усилилась взрывная деятельность, результатом которой было обрушение лавового потока.

¹ Определения расхода и объема лавы основаны на визуальных полевых наблюдениях и сравнении фотоматериалов. Инструментальные данные и данные аэрофотосъемки, необходимые для точных количественных оценок этих параметров, отсутствуют.

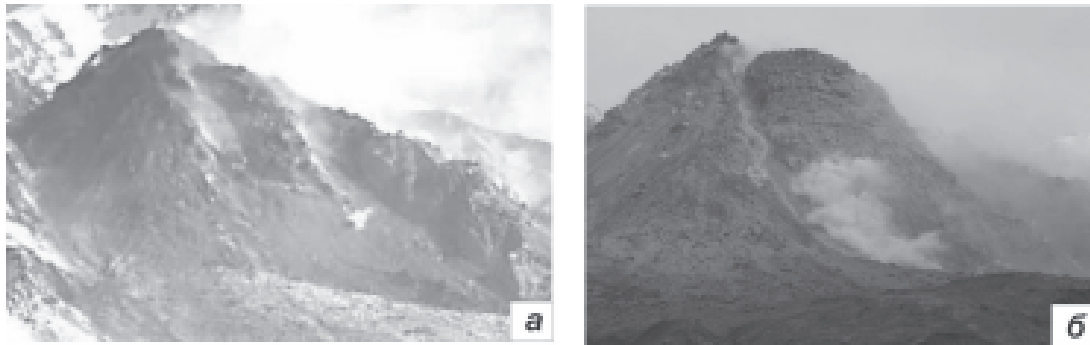


Рис.1. Состояние лавового потока в юго-восточном секторе купола в 2004 г.: на 29 мая, фото Ю.В. Демянчука (а); на 28 июля, фото М.Е.Зеленского (б).

Лавы потока оказались наиболее кислыми из всех пород, формировавших экструзивный купол. Они представлены пироксен-роговообманковыми андезитодацитами с содержанием SiO_2 63.5-64.2 мас. %. Породы пористые, имеют серийно-порфировую структуру. Вкрапленники составляют 15-25 об. % и представлены плагиоклазом, роговой обманкой, пироксенами, единичным биотитом и титаномagnetитом. Основная масса представляет собой желтоватое стекло, в которое погружены тончайшие лейсты плагиоклаза, немногочисленные зерна пироксенов, рудный минерал, редкий апатит. Остаточное стекло имеет риолитовый состав (SiO_2 79.42 мас.%).

Сложнозональные фенокристаллы плагиоклаза преобладают среди порфировых выделений и составляют 10-12% от объема породы. По морфологии, составу и характеру зональности выделено четыре типа вкрапленников. Первый тип – таблитчатые или округлые кристаллы размером 2.0-2.5 мм (реже – до 3-4 мм) с осцилярной зональностью. Их ядра и краевые зоны идентичны по составу и сложены лабрадором (An 52-56). В промежуточных зонах, количество которых достигает 10-12, содержание анортитового минала ритмично изменяется на 8-15 мол. %. Второй тип плагиоклазов представлен удлиненными фенокристаллами размером 0.7-1.0 мм с прямой зональностью. Состав ядер этих плагиоклазов варьирует от основного андезина до основного лабрадора (An 48-65), краевые зоны кристаллов представлены средним и кислым андезином. При переходе от ядра к внешним зонам содержание анортитового минала скачкообразно падает до 30 мол. %. Третий тип вкрапленников характеризуется обратным трендом изменения составов. В фенокристаллах с обратной зональностью ядро отвечает кислому андезину (An 32), краевые зоны сложены лабрадором (An 53-56). На границе ядро – внешние зоны происходит резкое увеличения содержания анортитовой составляющей на 25-29 мол. %. Ядра имеют оплавленный и резорбированный облик. Ядра плагиоклазов четвертого типа содержат корродированные ксенокристаллы битовнита (An 83-78), обрастающие незональным андезином (An47-49).

Вкрапленники бурой роговой обманки (5-7 об. %) по составу относятся к группам кальциевых и натриево-кальциевых амфиболов и представлены идиоморфными изометричными кристаллами, удлиненными призмами и иглами. Встречаются единичные гломеропорфировые (4-6мм) сростки, как мономинеральные, так и с ортопироксеном. По размеру выделяются две генерации фенокристаллов. Для первой генерации обычны размеры 1.0-1.5 мм, реже 2 мм и более. В краевых частях таких фенокристаллов часто наблюдаются включения магнетита и плагиоклаза, отдельные вкрапленники переполнены округлыми плагиоклазовыми (An 53-54) включениями размером 0.1-0.2 мм. Вторая генерация вкрапленников представлена зональными кристаллами размером 0.1-0.5 мм. В изученных роговых обманках наблюдаются значительные вариации содержания Al_2O_3 – от 6.5 до 12.8 мас.%. Как правило, более высокое содержание глинозема имеют краевые зоны кристаллов второй генерации.

Пироксены (2 об. %) присутствуют как во вкрапленниках, так и в виде микролитов основной массы. Ортопироксен (гиперстен с составом (En 69-72, Fs 29-27)) образует призматические зерна, размером от первых долей миллиметра до 1 мм. Магнезиальность²

² # Mg = $\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$, мол.%.

вкрапленников ортопироксена варьирует в пределах $\# \text{Mg } 0.69-0.72$. Встречаются кристаллы с обратной зональностью: их краевые зоны более магнезиальны, чем ядра. Микролиты основной массы систематически характеризуются более высоким содержанием кальция и магнезиальностью ($\# \text{Mg } 0.72-0.74$). Моноклинный пироксен отмечен в виде единичных резорбированных вкрапленников и немногочисленных микролитов, по составу отвечает авгиту ($\text{Wo}_{39-40} \text{En}_{44-45} \text{Fs}_{15-16}$). Во вкрапленниках встречена тончайшая чешуйка биотита (1 зерно на шлиф). Рудный минерал (магнетит и титаномагнетит) присутствует в качестве субфенокристаллов размером 0.05-0.1 мм, в виде включений в краевых частях вкрапленников амфибола и клинопироксена и в основной массе породы.

Новый экструзивный блок купола, март - октябрь 2005 г.

Первые порции лавы в западной части кратера наблюдались с Камчатской вулканологической станции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга в начале марта 2005 г. (рис. 2а). В течение первых двух месяцев после эксплозивного извержения 27 февраля лава поступала на поверхность наиболее интенсивно. В конце апреля высота нового экструзивного блока составила более 300 м (рис. 2 б). Расход лавы за период с начала марта по конец апреля оценивается в 4.5-5 м³/с.

Южное подножие купола было обследовано 6-7 июля. К этому времени высота нового экструзивного блока по визуальным определениям составляла ~400 м (рис. 2 в). В вершинной части купола новый и старый экструзивный блоки разделяла широкая трещина (рис. 2 г), к которой была приурочена наиболее интенсивная фумарольная деятельность и формирование раскаленных лавин. Вдоль юго-западной стенки кратера располагался

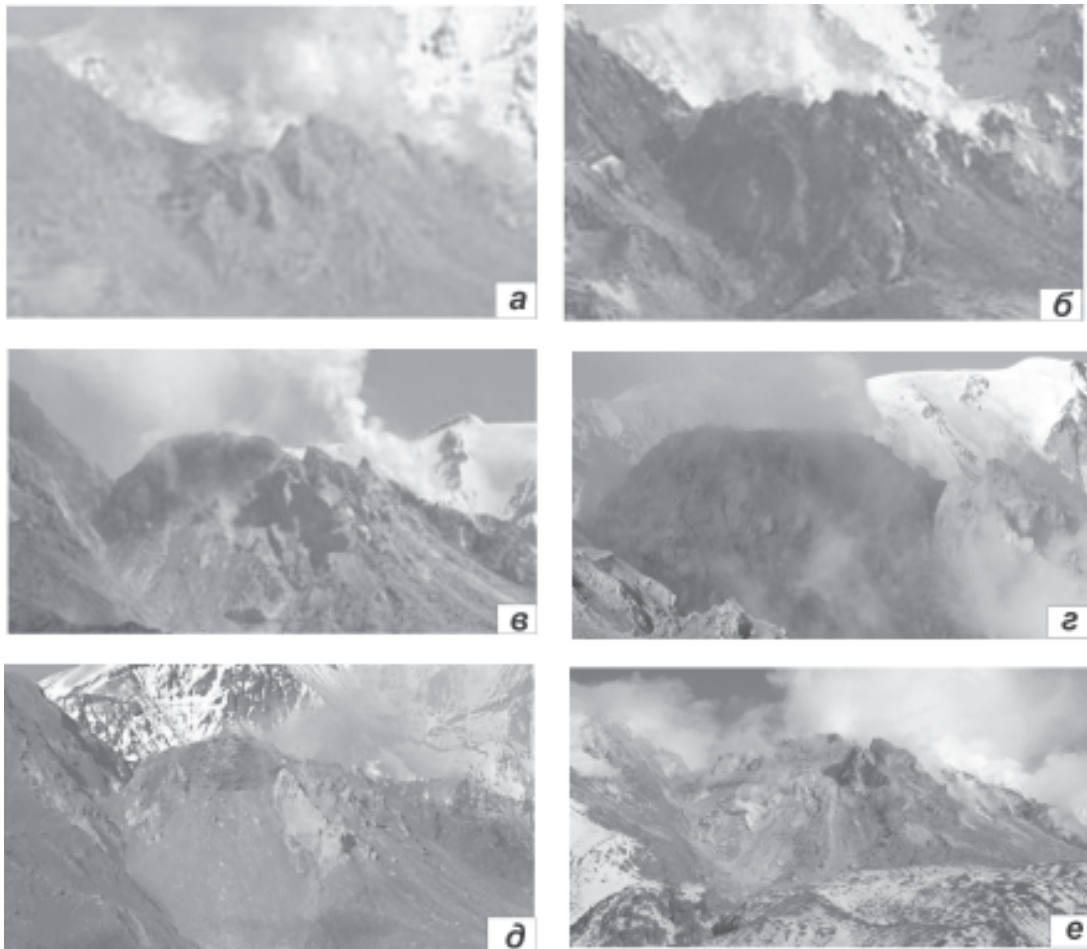


Рис.2. Рост нового экструзивного блока в 2005 г.: первые порции лавы в западной части кратера, фото 8 марта (а); состояние на 4 апреля (б); состояние на 30 июня (в); вершинная часть нового экструзивного блока 6 июля (г); порции пластичной лавы в вершинной части купола, фото 5 августа (д); состояние купола на 5 октября (е). Фото Ю.В. Демянчука (а, б, д) и автора (в, г, е).

эрозионный желоб, образовавшийся при движении пирокластических потоков. Протяженность желоба составляла ~700 м, ширина — до 80 м. В стенках желоба, высотой в 20-30 м, были вскрыты грубообломочные отложения агломератовой мантии купола. Дно желоба покрывал горячий материал раскаленных лавин, сошедших с нового экструзивного блока. Формирование экструзии в этот период продолжалось. С 7 по 9 июля в центральной части купола была выжата порция лавы высотой ~30-40 м. Усилилась и эксплозивная деятельность: с 30 июня по 11 июля наблюдался ряд эксплозивных выбросов до 7.5 км над уровнем моря. Раскаленные обломочные лавины распространялись по эрозионному желобу на расстояние 1-1.5 км от купола. 11 июля раскаленная лавина вышла за пределы желоба и прошла расстояние ~5 км. С 23 июля в верхней части нового экструзивного блока наблюдалось свечение. В августе в вершинной части купола появились порции пластичной лавы, выжимающейся в виде вязкого каплевидного потока на его южный склон (рис. 2 д). 22 сентября произошло еще одно умеренное эксплозивное извержение, в результате которого был сформирован новый пирокластический поток.

Образцы лав нового экструзивного блока купола были отобраны в июле 2005 г. Пирокластический поток 22 сентября дал прекрасную возможность дополнительно изучить особенности этих лав, поскольку состоял исключительно из материала нового экструзивного блока купола. По химическому и минеральному составу лавы идентичны андезито-дацитам потока 2004 г., содержание кремнекислоты составляет 63.5-63.9 мас. % (7 образцов). Породы имеют пористую текстуру и серийно-порфировую структуру, неравномерно раскристаллизованы. Часто наблюдается линейная и плейчатая полосчатость, выраженная в различном количестве вкрапленников роговой обманки и плагиоклаза в смежных полосах. Как и в лавах потока 2004 г., фенокристаллы плагиоклаза характеризуются сложной морфологией и имеют дискретные по составу группы ядер. Плагиоклазы состава лабрадор-битовнит характеризуются структурами растворения, часто имеют пятнистый облик в результате деанортизации. В отличие от лав потока 2004 г, роговые обманки из лав нового экструзивного блока присутствуют как в виде чистых идиоморфных кристаллов, так и в виде зерен с тонкой опацитовой каймой. В подчиненном количестве встречаются кристаллы, полностью диссоциированные на агрегат пироксенов, плагиоклаза и рудного минерала. Амфибол находится в реакционных соотношениях с ортопироксеном и в различной степени замещает вкрапленники последнего. Отмечаются единичные опацитизированные пластинки коричнево-зеленого биотита, размером до 0.3 мм.

В лавах 2005 г. были обнаружены микровключения (2-4 на шлиф). Они имеют размер 0,8 -1,2 мм по длинной оси и состоят из мельчайших закаленных зерен пироксенов, магнетита и, возможно, оливина. В интерстициях между зернами темноцветных минералов присутствует чистое пористое стекло. Внешние зоны микровключений обычно состоят из корродированного лабрадор-битовнита или же окружены мелкими лейстами водяно-прозрачного андезина.

Включения в лавах 2005 г.

Лавы нового экструзивного блока содержат большое количество кристаллических включений: от преобладающих ксенолитов амфиболитов и амфиболизованных пироксенитов до порфировидных включений, по составу отвечающих габбродиориту (SiO_2 55.7-56.5 мас.%). Последние имеют преобладающий размер 3-4 см и округлую или эллипсоидную форму (рис. 3 а). Количество включений в блоках из отложений пирокластического потока 22 сентября составляет 5-8 на 1 м². Включения состоят из плагиоклаза (30-35 %), бурой роговой обманки (20 %), пироксенов (10 %), оливина (5 %), рудного минерала (2-4 %) и 5-10% прозрачного пористого стекла, развитого в интерстициях. Включения характеризуются так называемой каркасной структурой [1], в которых крупные (до 2 мм) выделения плагиоклаза (пятнисто деанортизированный лабрадор-битовнит) и бурой роговой обманки погружены в матрикс более мелких зерен с преобладающим размером 0.3-0.5 мм. Реликтовый оливин встречается в виде зерен размером до 2 мм, интенсивно, но не полностью замещенных рудно-клинопироксеновым агрегатом. Контакт включений с вмещающей лавой отчетливый, но не резкий, с взаимными заливами основной массы. Вдоль контакта во включении отмечается повышение содержания магнетита, а в основной

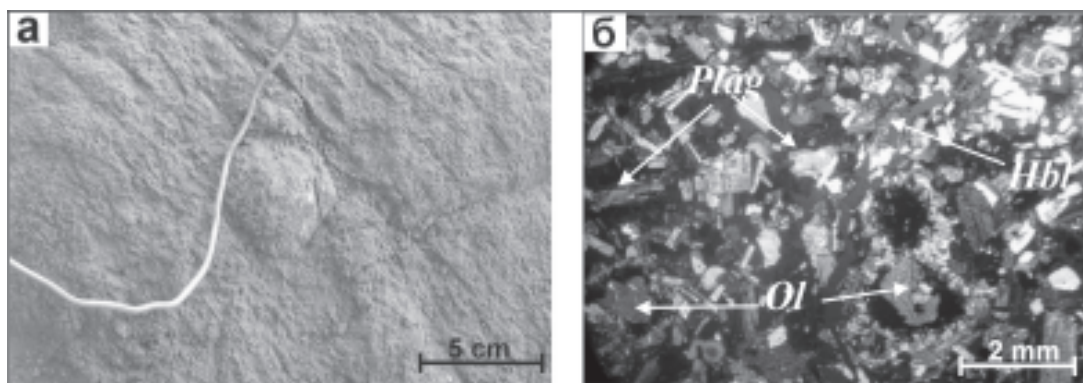


Рис.3. Изометричное включение в блоке полосчатой лавы из отложений пирокластического потока 22 сентября 2005 г (а); его микроструктура (б).

массе лавы - увеличение количества и крупности пор. Внешние зоны включений более тонкозернистые, чем внутренние. Такие структуры обычно свидетельствуют о высокой скорости кристаллизации [1].

Петрохимические особенности андезитодацитов 2004-2005 гг.

На рис. 4 приведены вариационные диаграммы главных петрогенных окислов для пород экструзивного купола с 1980 по 2005 гг. Для характеристики андезитов 1980-2002 гг. использовано 24 анализа³. Лавы 2004-2005 гг. охарактеризованы 10 анализами. На протяжении последних двух лет в лавах, последовательно поступивших на поверхность, отмечено повышение содержания кремнекислоты. При этом нормальный линейный тренд для средне-кислых пород известково-щелочной серии обнаруживают окислы Mg, Ca, Fe как в андезитах 1980-2002 гг., так и в андезитодацитах 2004-2005 гг. Содержание глинозема не стабильно и не обнаруживает отчетливых трендов. Андезитодациты обогатились титаном и фосфором в сравнении с андезитами предыдущих извержений, в которых существовала тенденция к снижению концентрации этих компонентов. В андезитах существовал тренд накопления калия с ростом SiO_2 , в лавах 2004-2005 гг. такой корреляции не обнаружено.

Обсуждение результатов

Рост экструзивного купола вулкана Шивелуч сопровождался взрывными извержениями в апреле 1993 г., мае 2001 и мае 2004 гг., феврале и сентябре 2005 г. Эти извержения разделяются промежутками в 12 лет, 3 года, 10 и 7 месяцев, соответственно. Сокращение периодов между взрывными извержениями и возросшая их интенсивность в 2004-2005 гг. свидетельствует об увеличении содержания летучих компонентов в поднимающейся магме и изменении ее физико-химических свойств. Лавы, соответствующие периоду высокой активности, обнаруживают изменения степени кристалличности, присутствие гетерогенных по составу вкрапленников и обилие кристаллических включений с признаками закалки. Это позволяет сделать предположение о том, что высокая взрывно-экструзивная активность вулкана в 2004-2005 гг. может быть следствием поступления новой порции более нагретой основной (?) магмы в коровый очаг кислой магмы. Внедрение высокотемпературного расплава и его быстрая кристаллизация могли привести к увеличению содержания летучих компонентов и разогреву очага кислой магмы. Изменение и перераспределение содержания летучих компонентов является наиболее вероятной причиной некоторого поокисления лав.

На возможность взаимодействия расплавов, различных по составу и температуре, указывают петрографо-минералогические особенности лав 2004-2005 гг. Значительные вариации содержания глинозема в разных генерациях роговой обманки и обратная зональность ортопироксенов показывают сложную историю кристаллизации. Установлено,

³ часть из них опубликована в [5,9,11], часть была сделана повторно из образцов, предоставленных А.А. Овсянниковым (1980 г.) и С.А. Хубуная (2001 г.).

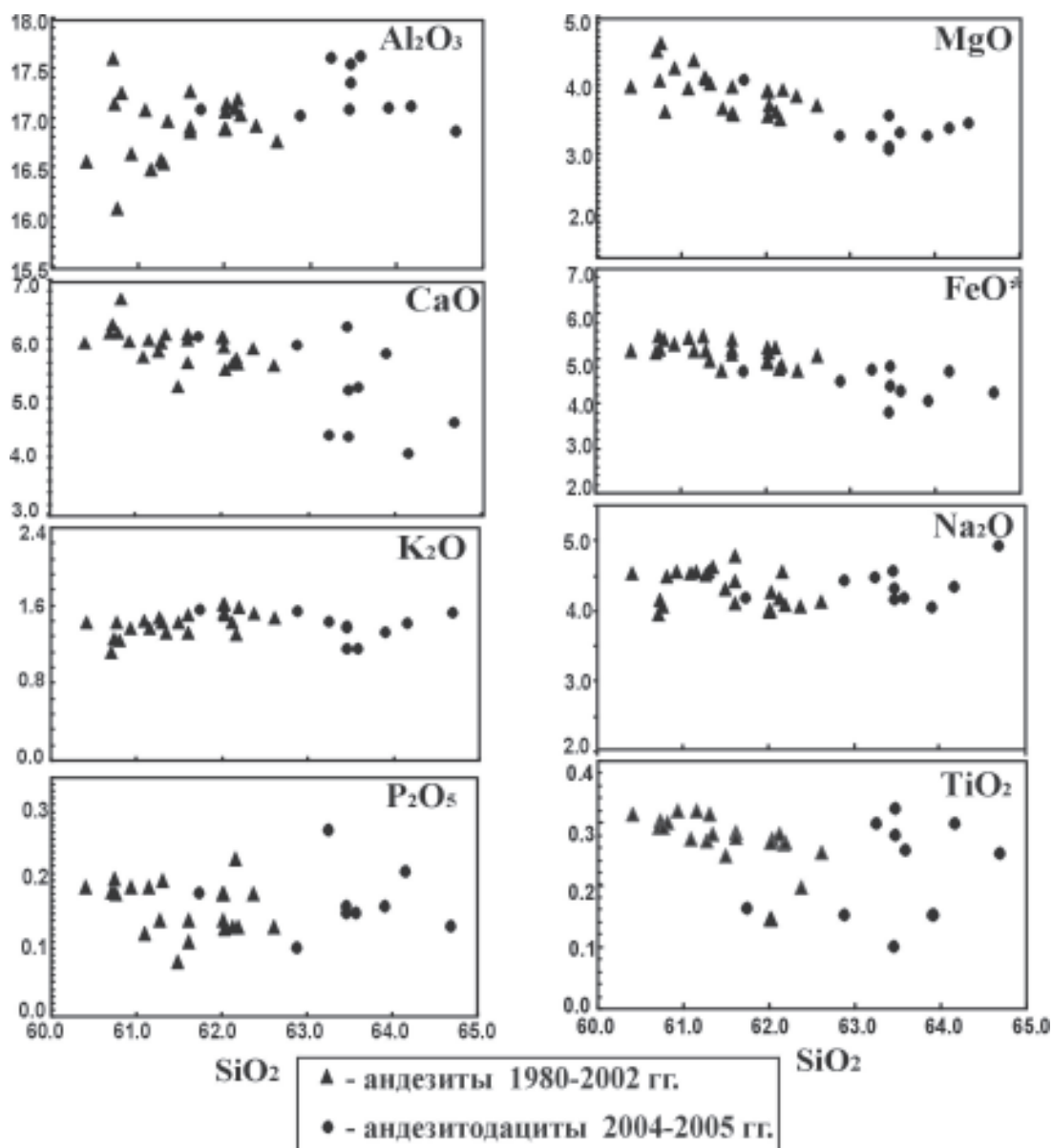


Рис.4. Вариационные диаграммы для пород купола за 1980-2005 гг.

что с повышением температуры и давления в роговых обманках повышается содержание суммарного алюминия и щелочность [14]. Во вкрапленниках роговой обманки из лав потока содержание Al варьирует от 1.08 до 2.20 ф. ед. Наиболее высокие содержания Al и Na обнаружены в краевых частях вкрапленников второй генерации, что может свидетельствовать о процессе разогрева расплава.

Состав, морфология, характер зональности фенокристаллов плагиоклаза андезитодацитов имеет значимые отличия от андезитов предыдущих извержений. Во вкрапленниках из андезитов преобладает плагиоклаз с нормальной зональностью, состав которого плавно меняется от An 67 до An 30 [8, 11]. Андезитодациты содержат резко различающиеся по составу и морфологии генерации плагиоклаза (от олигоклаз – андезина до лабрадор-битовнита). Крайние члены этого ряда представлены резорбированными ядрами вкрапленников третьего и четвертого типа. Эти минеральные фазы не могли одновременно кристаллизоваться из расплава. Во вкрапленниках плагиоклазов второго и третьего типа прямая и обратная зональность имеет прерывистый характер, с резкими скачками содержания анортитовой составляющей на границе ядра кристалла и внешних зон. Такие резкие изменения в составе зон могут отражать изменение физико-химических условий в очаге в результате взаимодействия магм разного состава [13].

Предположение о возможном петрогенезисе лав вулкана Шивелуч в результате взаимодействия различных по составу расплавов не противоречит имеющимся в настоящий момент данным о геологической истории вулкана и эволюции состава его продуктов. Согласно [2], в голоцене дважды были извергнуты умеренно- и высококальциевые магнезиальные амфиболсодержащие и флогопитсодержащие базальты (7600 и 3600 лет назад, соответственно). Более древние лавы массива [6] часто содержат неравновесные минеральные парагенезисы (магнезиальный оливин, основной плагиоклаз и роговая обманка), которые могут рассматриваться как признаки гибридного происхождения пород.

Выводы

Высокая эксплозивно-экструзивная активность вулкана Шивелуч в 2004-2005 гг. является следствием изменения физико-химических свойств поступающей магмы.

Периоду усиления активности вулкана соответствует снижение степени кристалличности лав при некотором повышении содержания кремнекислоты; появление вкрапленников, гетерогенных по составу; обилие кристаллических включений с признаками быстрой кристаллизации и закалки. Это позволяет сделать предположение о внедрении новой порции более нагретого основного (?) расплава в коровый очаг кислой магмы.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН 05-III-Г-08-022 и 06-III-В-08-369.

Список литературы

1. Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги. М.: Наука, 1978. 221 с.
2. *Вольнец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д.* Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч, Камчатка. // Петрология. 1997. Т. 5. № 2. С.206-221.
3. *Гирина О.А., Сенюков С.Л., Демячук Ю.В. и др.* Извержение вулкана Шивелуч, Камчатка, 10 мая 2004 г. // Взаимосвязь между тектоникой, сейсмичностью, магмообразованием и извержениями вулканов в вулканических дугах: Материалы IV международного совещания по процессам в зонах субдукции Японской, Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. 21-27 августа, Петропавловск-Камчатский, 2004 г. С. 15-16.
4. *Горбач Н.В.* Первый лавовый поток на экструзивном куполе вулкана Шивелуч, 2004 г. Вулканология и сейсмология. 2006. № 2. С. 6-12.
5. *Мелекесцев И.В., Двигало В.Н., Кирсанова Т.П. и др.* 300 лет жизни камчатских вулканов: Молодой Шивелуч (анализ динамики и последствий эруптивной активности в XVII – XX вв.) Часть II.1965-2000 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 1. С. 3-20.
6. *Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
7. *Нуждаев А.А., Гирина О.А., Мельников Д.В.* Некоторые результаты изучения пирокластических отложений извержений 28 февраля и 22 сентября 2005 г. вулкана Молодой Шивелуч наземными и дистанционными методами. Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 2. Выпуск № 6. С. 62-66.
8. *Толстых М.Л., Наумов Б.В., Бабанский А.Д., Хубуная С.А., Кононкова Н.Н.* Состав расплава и условия кристаллизации андезитов вулкана Шивелуч (Камчатка) по данным изучения расплавов в минералах // Доклады Академии Наук. 1998. Т. 359. № 5. С. 676-679.
9. *Федотов С.А., Хубуная С.А., Жаринов Н.А. и др.* Извержение вулканов Шивелуч и Ключевской в 1993 г. и их влияние на окружающую среду // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 8. С. 117-131.
10. *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.
11. *Федотов С.А., Двигало В.Н., Жаринов Н.А. и др.* Эруптивный цикл вулкана Шивелуч в 2001-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 1-12.

12. Хубуная С.А., Жаринов Н.А., Муравьев Я.Д. и др. Извержение вулкана Шивелуч в 1993 г. // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 3-20.
13. Gill J.B. Orogenic andesites and plate tectonic: Mineral and rocks. // Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. 1981. 390 p.
14. Helz R.T. Alkali exchange between hornblende and melt: a temperature-sensitive reaction // Amer. Mineral. 1979. V. 64. P. 953-965.

2004-2005 LAVA COMPOSITIONS OF THE SHEVELUCH EXTRUSIVE DOME

Natalia V. Gorbach

*Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006,
e-mail: n_gorbach@mail.ru*

In 2004-2005, the activity of Sheveluch volcano had increasing. In May – August, 2004 the first viscous lava flow was formed on the dome. After the explosive eruption on February 27, 2005, a new lobe began to extrude in the western part of the dome, and by June it was already >300 m high. The products of the 2004-2005 eruptions of contain abundant evidence of disequilibria in the form the textural and compositional variability of plagioclase phenocrysts (An 28 to 83), the reverse zoning in orthopyroxene and amphibole phenocrysts. These composition features of phenocrysts in the andesite-dacite show evidence of recent magma reheating event. This suggests significant interaction between the magmas different in composition and temperature.