

метаморфизма) также претерпели серьезные изменения. По-видимому, именно на этом этапе происходило образование канкринита, натролита, происходила рекристаллизация карбонатов (за счет карбонатитовых пород массива) и их повсеместное отложение. При этом происходил интенсивный подток гидротермальных растворов, способствовавший рекристаллизации ранее образовавшихся минеральных фаз. Эти температуры и могут фиксироваться в 2-х образцах изотопными термометрами (540 и 440°C). Такие относительно невысокие температуры не затронули распределение магния и железа между темноцветными минералами, в то время как лейкократовые минералы интенсивно перекристаллизовывались и преобразовывались (процессы канкринитизации и образования натролита по нефелину и содалиту).

В результате исследования пород массива и экспериментального моделирования его минералогенеза, представленного в [4], нами предложена следующая схема его формирования: 1) внедрение и кристаллизация оливинитов и пироксенитов – формирование ультраосновного ядра массива; 2) внедрение ийолит-уртитов и сиенитов по периферии ультраосновного ядра массива по ослабленным зонам, образованным в результате объемной усадки застывающих ультраосновных пород; активная флюидная проработка пород; 3) внедрение карбонатитового расплава; 4) протекание интенсивных постмагматических процессов, связанных с региональным метаморфизмом.

Работа выполнена при поддержке РФФИ гранты №№ 06-05-64904, 07-05-00217, гранты Президента РФ МК-2948.2006.5, МК-3499.2006.5, и Фонда содействия отечественной науки.

Литература

1. *Середкин М.В., Зотов И.А., Карчевский П.И.* Минералогические типы кальцитовых карбонатитов Ковдорского массива на Кольском полуострове и их генетическая интерпретация // Докл. РАН. 2002. Т. 383. № 4. С. 532-536.
2. *Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д.* Фазовое соответствие в минеральных системах. М.: Недра, 1976. 287 с.
3. *Устинов В.И., Гриненко В.А., Котельников А.Р., Сук Н.И., Ковальская Т.Н., Смирнова Е.П.* Термометрия содалитсодержащих ассоциаций пород Ловозерского и Тикшеозерского щелочного массива // Материалы Всероссийского совещания «Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород» 18-23 сентября 2006 г., 2006. Миасс. С. 267-271.
4. *Ковальский А.М., Котельников А.Р., Ковальская Т.Н.* Экспериментальное моделирование минералогенеза Тикшеозерского массива // Материалы Всероссийского совещания «Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород» 18-23 сентября 2006 г., 2006. Миасс. С. 99-102.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ВЫСОКОКАЛИЕВЫХ ЛАВ ВУЛКАНА ВЕЗУВИЙ (ИТАЛИЯ)

*Ковальская Т.Н.**, *Фролова Т.И.***

**Институт экспериментальной минералогии РАН, 142432, Московская область, г.Черноголовка, ул. Институтская, д. 4, e-mail: tatiana76@iem.ac.ru, тел./факс:(49652)44425*

***Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический ф-т*

Среди щелочных пород выделяются три серии: натровая, калиево-натровая и калиевая. Калиевая серия включает в себя калиевые и высококалиевые породы. Последние распространены локально на поверхности Земли. В современной геологической науке существует несколько гипотез происхождения щелочных магм. Однако исключительная гетерогенность щелочных пород не позволяет дать унифицированную гипотезу их образования.

Вулканический комплекс Сомма-Везувий находится в 15 км к северо-востоку от Неаполя и является одним из самых крупных вулканов Романской щелочной провинции. Современными геофизическими исследованиями под Везувием установлено несколько магматических камер. Одна из них приповерхностная, расположена на глубине около 3 км, вторая - на глубине порядка 10-15 км. Континентальная кора под вулканом Везувий, по данным геофизических исследований и бурения [1], сложена толщей триасовых доломитов, мощностью до 7 км и подстилающими ее породами ранних этапов развития Средиземноморского пояса, метаморфизованными в условиях фации слюдяных сланцев.

В работе исследованы ультраосновные включения (оливин-флогопитовые пироксениты), а также высококалиевые эффузивы (базаниты, тефриты и фонолиты) современного (с 1631 г.) этапа вулканической активности Везувия. Проведено петрографическое описание и определены структурно-текстурные особенности пород. Установлено, что и в ультраосновных включениях, и в высококалиевых лавах наблюдается несколько парагенезисов минералов. В ультраосновных включениях это: оливин + клинопироксен + шпинель; клинопироксен + флогопит + титаномагнетит; клинопироксен + флогопит + титаномагнетит + апатит. В лавах – оливин + клинопироксен + титаномагнетит; клинопироксен + лейцит + плагиоклаз + титаномагнетит; клинопироксен + лейцит + плагиоклаз + оливин + титаномагнетит + апатит.

Проведено изучение химического состава включений и эффузивов. По сравнению с ультраосновными включениями, эффузивы содержат меньше MgO, больше K₂O, Na₂O, FeO, TiO₂, P₂O₅; наиболее высокие содержания K₂O свойственны фонолитам, что объясняется кристаллизационной дифференциацией расплава. На диаграмме АФМ (рис. 1) четко выделяются два тренда эволюции вулканитов Везувия. Первый (а), связанный с накоплением железа и щелочей, отражает «отсадку» в вулканической камере высокомагнезиальных минералов (оливина и диопсида); второй (б) - увеличение щелочности вулканитов за счет преобразований магмы в земной коре. Однако, уже на ранних этапах своего развития магма была обогащена щелочами, о чем свидетельствуют повышенные содержания щелочей (K₂O + Na₂O до 6 вес. %) в ультраосновных включениях, соответствующих наиболее раннему этапу кристаллизации расплава. Породы раннего этапа активности вулкана имеют (по сравнению с породами современного периода) более высокие содержания Na₂O (до 4 вес. %) и более низкие содержания K₂O (от 4 вес. % в основных до 6 вес. % в кислых породах); относительно низкие содержания CaO (8 – 9 вес. %) и более высокие содержания SiO₂ (50 – 60 вес. %). Таким образом, в ходе длительной эволюции пород вулкана Везувий в расплаве происходило увеличение содержания таких элементов, как кальций, калий, железо и уменьшение содержания кремнезема и натрия, что может быть связано с кристаллизационной

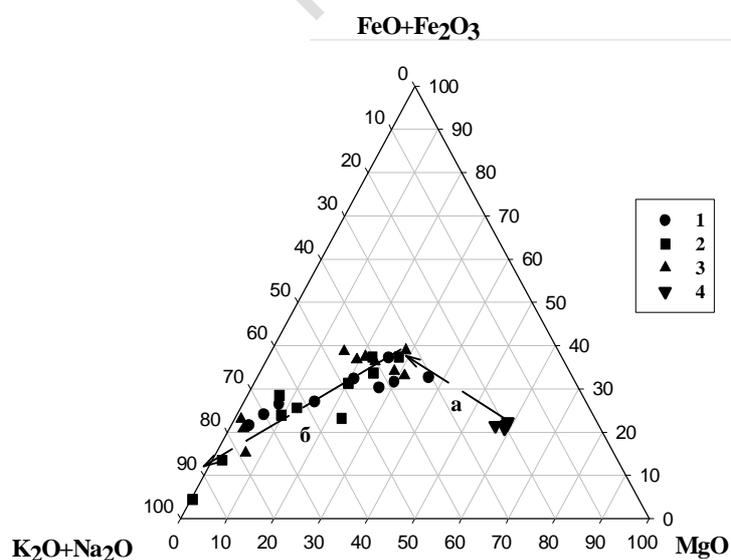


Рис. 1. Диаграмма АФМ для пород современного периода активности Везувия. На диаграмме представлены составы высококалиевых эффузивов по данным: 1- [2] 2- [3]; 3- [4] и ультраосновных включений по данным: 4 - [2]. Пунктиром показаны два тренда эволюции пород.

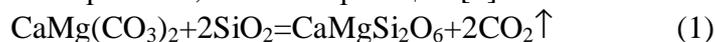
дифференциацией и взаимодействием расплава с вмещающими породами.

В работе показано, что для образования высококалиевых вулканитов Везувия необходим метасоматизированный высокообогащенный мантийный источник. Это следует из обогащенности пород некогерентными элементами, которую нельзя получить в ходе только лишь кристаллизационной дифференциации или взаимодействия с корой. Наиболее вероятным мантийным субстратом для высококалиевой серии вулкана Везувий являлся флогопитовый лерцолит, на что указывают данные экспериментального исследования [5]. Результатом частичного плавления такого субстрата (по экспериментальным данным степень плавления не превышает 3 %) является расплав, по составу отвечающий флогопитовым пироксенитам [6]. Появление большого количества глиноземсодержащих минералов (флогопит, плагиоклаз, лейцит, клинопироксен) говорит об увеличении содержания глинозема в ходе формирования поздних парагенезисов высококалиевых пород вулкана Везувий. Прекращение кристаллизации гидроксилсодержащего минерала флогопита и появление лейцита отразило резкую смену флюидного режима в процессе кристаллизации. Это подтверждается результатами исследований флюидных микровключений: ультраосновные включения формировались при существенно водном флюиде, а эффузивы – при возросшей концентрации углекислоты во флюиде.

С помощью оливин-клинопироксенового геотермометра в ультраосновных включениях и базанитах были рассчитаны температуры образования раннего парагенезиса. Эти температуры соответствуют $1220 \pm 50^\circ\text{C}$. При сравнении полученных результатов с литературными данными по расплавленным включениям [4, 7] установлено, что рассчитанные температуры кристаллизации практически совпадают или чуть выше температур гомогенезации расплавленных включений из минералов раннего парагенезиса. Фугитивность кислорода при формировании высококалиевых вулканитов возростала от буфера QFM до буфера NNO [4]. Давление флюида на момент формирования ультраосновных включений составляло 3.5 кбар, а при формировании второго парагенезиса в эффузивах – 1-1.5 кбар [7]. Таким образом, формирование ультраосновных включений происходило на глубине порядка 10 км, т.е. в нижней магматической камере, а парагенезисов эффузивов, преимущественно, на глубине 2-4 км, т.е. в верхней магматической камере.

Для высококалиевой серии вулкана Везувий на самом раннем этапе основным процессом эволюции расплава была кристаллизационная дифференциация. Это следует из минерального состава ультраосновных включений, в которых присутствуют оливин, клинопироксен и флогопит. Отсутствие калийсодержащих минералов в ранних парагенезисах в исследуемых породах объясняется некогерентностью калия, который, не входя в минеральные фазы накапливается в расплаве, что соответствует нормальному ходу кристаллизационной дифференциации. Этим же объясняется и накопление других некогерентных элементов (Rb, Cs, Ba) в более дифференцированных породах (от включений – к базанитам, тефритам и фонолитам). Также, с кристаллизационной дифференциацией отчасти связано увеличение содержания глинозема в расплаве (в раннем парагенезисе единственный глиноземсодержащий минерал – клинопироксен, а в более поздних – флогопит (во включениях), лейцит и плагиоклаз (в эффузивах)). Распределение малых элементов в вулканитах Везувия также подтверждает кристаллизационную дифференциацию: в ультраосновных включениях, по сравнению с эффузивами, содержится больше когерентных элементов (хрома, ванадия, никеля и др.) и меньше некогерентных (калия, рубидия, стронция и др.). Однако увеличение содержания кальция и уменьшение содержания кремнезема в расплаве противоречат нормальному ходу кристаллизационной дифференциации. Как наиболее вероятный процесс, приведший к такому изменению состава расплава, рассмотрим взаимодействие расплава с вмещающими породами. Можно предположить, что взаимодействие магмы с вмещающими породами привело к значительному изменению ее состава. Образование таких минералов, как флогопит в ультраосновных включениях и лейцит и плагиоклаз в эффузивах, и увеличение содержания этих минералов может свидетельствовать о том, что в ходе взаимодействия с сиалическим

фундаментом в магме возрастали содержания кремния, алюминия и калия. После подъема магмы в верхнюю магматическую камеру произошла контаминация магмой доломитов. На это указывают также данные изотопных отношений ϵNd , ϵSr и $\delta^{18}\text{O}$ [8]. Активное взаимодействие магмы с карбонатами (доломитами) явилось причиной обогащения ее кальцием с одновременной десиликацией. Такое изменение состава магмы привело к новообразованию клинопироксена, согласно реакции [9]:



В ходе реакции (1) флюид заметно обогащается углекислотой. Так, в ультраосновных включениях большинство флюидных микровключений состоит из воды и углекислого газа (в отношении 70 : 30) (\pm стекло), в то время как чисто углекислых включений (\pm стекло) крайне мало. В минералах из тефритов и базанитов большинство включений состоит почти целиком из углекислого газа (доля воды не превышает 30%), водно-углекислых включений очень мало [4, 7].

Известно [10], что при взаимодействии с магмой в подстилающей вулкан Везувий толще доломитов образовались магнезиальные скарны. При взаимодействии доломитов с магмой кальций становится очень подвижен и переходит из вмещающих пород в магму, в то время как магний связывается в минералы в скарнах [11]. Этим объясняется обогащение магмы исключительно кальцием при взаимодействии с вмещающими породами. Затем на более ранние магнезиальные скарны происходит наложение карбонатных скарнов. Их образование в результате взаимодействия «магма – карбонаты» приводит к снижению содержания кремнезема в магме. При возрастании содержания кальция в расплаве в результате взаимодействия с [11, 12, 13, 14, 15] одновременно увеличивается и активность калия в расплаве, как основного компонента (рис. 2). Таким образом, резкое появление большого количества калийсодержащих минералов на поздних стадиях кристаллизации расплава является следствием кислотно-основного взаимодействия в расплаве, вызванного контаминацией карбонатного материала.

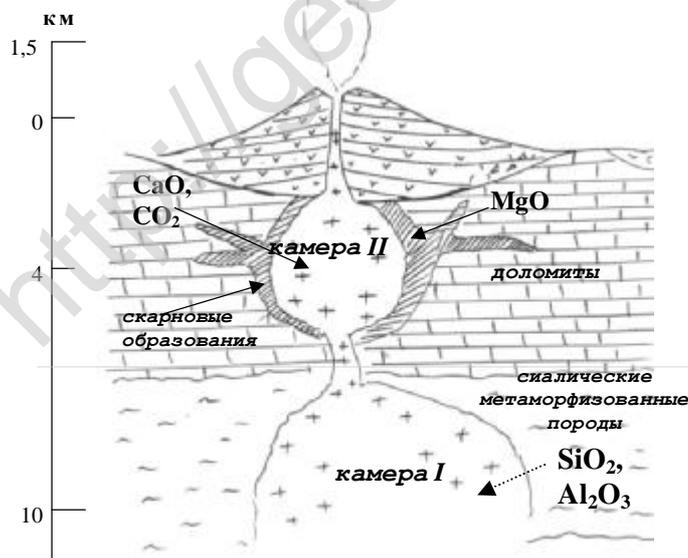


Рис. 2. Схема миграции компонентов в процессе формирования высококалийных вулканитов Везувия.

В ходе проведенных исследований показано, что образование ультраосновных и основных высококалийных пород в Романской щелочной провинции обусловлено несколькими процессами, и именно их сочетание обуславливает появление описанных вулканитов.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-2948-2006.5.

Литература

1. *Marzocchi W, Scandone R., Mulargia F.* The tectonic setting of mount Vesuvius and correlation between its eruptions and the earthquakes of the Southern Apennines. // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1993. Vol.58. P.27-41
2. *Joron J.J. et al.* Chemistry and petrography. In: R. Santacrose (Editor), *Somma-Vesuvius*. Quad. "La Ricerca Scientifica", CNR, 114, 1987, p. 105-174.
3. *Villemant et al.* Geochemistry of Vesuvius volcanic during 1631-1944 period // *Journal of volcanology and geothermal research*. 1993. Vol.58. P.291-313
4. *Belkin H.E. et al.* Fluid inclusions from ejected Mt. Somma-Vesuvius nodules // *American mineralogist*. 1985. Vol.70. P.289-303
5. *Рябчиков И.Д.* Состав верхней мантии Земли // *Геохимия*, 1997, № 5, с.1-11.
6. *Wilson M.* Igneous petrogenesis a global tectonic approach. London. 1988. 465p.
7. *Belkin H.E., De Vivo B.* Fluid inclusions studies of ejected nodules from plinian eruptions of Mt. Somma-Vesuvius // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1993. Vol.58. P.89-100
8. *Ayuso R.A. De Vivo B. Rolandi G.* Geochemical and isotopic (Nd-Pb-Sr-O) variations bearing on the genesis of volcanic rocks from Vesuvius, Italy // *Journal of volcanology and geothermal research*. 1998. Vol.82. P.53-78.
9. *Ритман А.* Вулканы и их деятельность. М., Мир, 1964. 312 с.
10. *Vezzoli L.* Progetto finalizzato "Geodinamica". Roma: Consiglio nazionale delle ricerche, 1988
11. *Жариков В.А. и др.* Физико-химические условия скарнообразования // *Условия образования рудных месторождений*. Тбилиси. 1982. С.560-582.
12. *Коржинский Д.С.* Кислотно-основное взаимодействие в силикатных расплавах и направление котектических линий. // *Доклады АН СССР*. 1959. Т.128. № 2. С.383-386.
13. *Жариков В.А.* Основы физико-химической петрологии. Москва: Изд-во МГУ, 1976. 420с.
14. *Жариков В.А.* Флюидно-магматическая дифференциация основных магм // *Геология и геофизика*. 1986. № 7. С.35-40
15. *Жариков В.А.* Зависимость парагенезисов магматических пород от режима щелочей // *Петрология*. 1999. Т.7. № 4. С.340-355.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ КЛИНОПИРОКСЕН – БИОТИТ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МИНЕРАЛОГЕНЕЗА ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Ковальский А.М., Ковальская Т.Н.

*Институт экспериментальной минералогии РАН, 142432, Московская область,
г.Черноголовка, ул. Институтская, д. 4, e-mail: kovalsky@iem.ac.ru, тел./факс:(49652)44425*

Введение

Ассоциация клинопироксена с биотитом - одна из наиболее распространенных в магматических, метасоматических и метаморфических породах, в том числе и в породах повышенной щелочности. Клинопироксен - биотитовый геотермометр, построенный на основе эмпирических данных по составам сосуществующих природных Sr_{px} и Bi был предложен Л.Л. Перчуком. Однако применительно к щелочным породам его трудно использовать вследствие отсутствия данных по термодинамике щелочных пироксенов и влияния щелочных компонентов на распределение магния и железа между пироксеном и биотитом. Целью настоящей работы было экспериментальное исследование обменных равновесий (распределения Fe и Mg) в системе щелочной пироксен ряда диопсид (Di) – геденбергит (Hed) – биотит (флогопит-аннитового ряда) для калибровки геотермометра.

Экспериментальное исследование

Экспериментальное изучение обменных равновесий (распределения Fe и Mg) в системе клинопироксен (диопсид - геденбергит) - биотит (флогопит - аннит) для калибровки геотермометра на их основе проведено при $T=600-750^{\circ}C$ и $P=1.5-2$ кбар. Опыты проводились на гидротермальных установках с внешним нагревом и холодным затвором в золотых