

## **ФИЛЬТРАЦИЯ ФЛЮИДА ЧЕРЕЗ КИСЛЫЕ МАГМЫ: ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА МЕТАМАГМАТИЗМА**

**Абрамов С.С.**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва  
[abramov@igem.ru](mailto:abramov@igem.ru)

Работа выполнена при поддержке РАН (грант для молодых ученых № 311)

**Вестник Отделения наук о Земле РАН, № 1(20)2002**

URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#/magm-1](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2002/informbul-1.htm#/magm-1)

Высокофтористые кислые породы (ВКП) образованные в различных обстановках (глубина формирования, принадлежность к серии, возраст и т.д.) обладают рядом сходных геохимических и петрохимических черт, указывающих на сходство условий их формирования. Распределение РЗЭ, особенности вариаций состава биотитов ВКП свидетельствуют о том, что главным фактором преобразования магм являлся процесс накопления фтора (и в некоторых случаях хлора). Результаты реконструкций процессов дегазации ВКП [1, 2] показывают, что кристаллизация магм в основной камере приводит к образованию флюидопотоков в верхние частично закристаллизовавшиеся части плутонов. В результате происходит фильтрация флюида в условиях градиента температур и давлений через магмы апикальных частей. Расчеты динамических параметров модели [3, 4] показывают, что при дегазации крупных интрузивных камер кислого состава через их апикальные части выполняются следующие динамические соотношения: 1) вертикальная скорость перемещения флюида превосходит скорость диффузионного обмена фтором между флюидом и магмой; 2) скорость массопереноса превосходит скорость теплопереноса при взаимодействии флюид – магма. Поэтому химическое равновесие в отношении фтора между фильтрующимся флюидом и магмой апикальных частей достигается намного быстрее в сравнении с термическим. По мере подъема флюида на фоне падения температур растворимость HF в нем понижается. Поэтому в магме служащей проницаемой матрицей для флюида, концентрации HF растут. Поскольку растворимость хлора в магмах с падением давления падает [5], то в условиях градиента давлений подобный механизм может быть эффективен также для концентрирования хлора в кислой магме. В пользу этого свидетельствуют факты одновременного накопления и фтора и хлора в субвулканических ВКП [6, 7].

При взаимодействии флюид-магма в охлаждающемся флюиде должны устанавливаться иные летучести компонентов, т.к. из-за высоких скоростей фильтрации валовой состав флюида сохраняется, а газовые реакции внутри флюида происходят мгновенно (в сравнении со скоростью обмена флюид/магма). Таким образом, если рассчитать, как меняется, например летучесть кислорода во флюиде произвольного состава при изменении температуры и (или) давления можно определить тенденцию изменения этого параметра в магме проводнике по мере подъема флюида. Моделирование этих соотношений показало, что возможны два сценария метамагматического влияния флюида на расплавы-проводники. При начальной летучести кислорода выше, чем QFM+1 фильтрация флюида по градиенту T приводит к образованию высокофтористых окисленных расплавов ( $f_{O_2} > QFM+1$ ), а фильтрация флюидов с начальной летучестью ниже, чем QFM+1 порождает восстановленные высокофтористые расплавы ( $f_{O_2} < QFM+1$ ).

Результатом метамагматизма является изменение валового состава расплава, перераспределение РЗЭ, накопление Rb, Y. Высокие концентрации фтора приводят к перераспределению легких и тяжелых РЗЭ между движущимся флюидом и расплавом. В силу более высокой растворимости LREE во флюиде их концентрации в расплаве падают. Данные изучения распределения REE в минералах и стеклах ВКП показывают, что минералы магм кристаллизовались из магм уже деплетированных в отношении европия и процесс деплетирования не связан с удалением плагиоклаза из ВКП. Плагиоклаз - минерал, наиболее обедненный европием, что указывает на то, что концентрации Eu в плагиоклазе контролировались равновесием флюид/минерал [8]. Таким образом, наиболее типичные геохимические особенности ВКП – низкие La/Yb отношения и обедненность пород европием являются следствием промывки расплавов высокофтористым флюидом [9].

В результате длительной фильтрации флюида через породы кровли, в последних происходят метасоматические преобразования [10] и дальнейшее плавление. Комплекс метасоматических

явлений выражается в развитии мегабластов KFS, перекристаллизации биотита, появлении гранофировых кварц-полевошпатовых сростаний. Оценки температур, геохимические данные свидетельствуют о достижении начала плавления метасоматизированных пород в тыловой зоне метасоматитов. Детальные наблюдения плавления пород кровли [11], показывают, что основным механизмом плавления было магматическое замещение – по всем породам независимо от их исходных составов образовывался кислый высокофтористый геохимически однотипный расплав.

Моделирование динамики тепломассопереноса показывает, что открытая дегазирующая магматическая система проходит в своем развитии несколько этапов: 1) образование купола частично/полностью закристаллизованных гранитов в кровле массива и начало эвтектической кристаллизации магм в центральной части камеры; 2) процесс фильтрации (2-1000 лет) флюида в условиях градиента температур приводит к образованию высокофтористых магм с постепенным нарастанием содержаний фтора и связанных с ним элементов к верхней части купола (проводящего тела); 3) по прошествии 5000- 10000 лет фильтрация вызывает разогрев проводящего канала до температур магм центральных частей камеры, что приводит, либо, к выносу фтора и связанных с ним компонентов из разогретых высокофтористых магм в верхние более охлажденные части колонны, либо, к удалению таких магм на субвулканический уровень или поверхность в виде даек онгонитов или топазовых риолитов и игнимбритов; 4) по мере прекращения процесса дегазации в основной камере высокофтористые магмы в куполе начинают кристаллизоваться, что приводит к образованию специфических рудоносных кислых магм (литий - фтористых гранитов, гранитов нормального геохимического типа и т.д.) и связанного с ними оруденения.

Таким образом, дегазация флюида через магмы апикальных частей магматических камер и пород кровли в условиях градиентов температур и давления кардинальным образом меняет химический и геохимический состав магм, и значения  $f_{O_2}$  и  $X_{melt}^{HF}$ . Эти два параметра (активность кислорода и концентрации галогенов в магмах) наиболее сильно связаны с типом минерализации гранитоидов [12]. В зависимости от  $f_{O_2}$  меняются коэффициенты распределения Mo, W, Cu, Sn между расплавом и кристаллами, определяя, в конечном счете, какой рудный элемент будет удаляться вместе с флюидами из магм [13].

## Литература

1. *Candela Ph.A.* Physics of aqueous phase evolution in plutonic environment // Amer. Mineralogist. 1991. V.76. № 1-8. P.1081-1091.
2. *Абрамов С.С., Рассказов А.В.* Механизм формирования рудоносных высокофтористых магм и колебательная кристаллизация кварца // Геол. рудных месторождений. 1997. Т. 39. №3. С. 279-289.
3. *Малинин С.Д., Кравчук И.Ф.* Поведение хлора в равновесиях силикатный расплав - водно-хлоридный флюид // Геохимия. 1995. N 8. С. 1110-1130
4. *Webster J.D., Duffield W.A.* Extreme halogen abundances in tin-rich magma of the Taylor Creek Rhyolite, New Mexico // Econ. Geol. 1994. V. 89. N 4. P. 840-850.
5. *Абрамов С.С., Коваленкер В.А., Прокофьев В.Ю.* Дегазация магм в субвулканической фации: интерпретация состава слюд (Срединный Тянь- Шань) // Вестн. ВГУ. 2001. № 11. С. 97-105.
6. *D'Arco Ph., Lagache M.* Anorthite-fluid partitioning of europium at 650 C and 1.3 kb // Eur.J.Mineral.1989.V.1. N 6. P.783-790.
7. *Абрамов С.С.* Моделирование процесса фракционирования РЗЭ в системе кислый расплав - фторидно-хлоридный флюид // Докл. РАН. 2001. N 376. Т.6. С. 798-800.
8. *Абрамов С.С., Борисовский С.Е.* Окисленный и восстановленный типы гранитоидов в Агадырском рудном районе: геохимическое и минералогическое сравнение, особенности взаимодействия с боковыми породами (Ц. Казахстан) // Петрология. 1996. Т.4. N 1. С.78-104.
9. *Bacon C. R.* Partially melted granodiorite and related rocks ejected from Crater Lake caldera, Oregon // Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sciences. V.83. 1992. P. 27 - 47.
10. *Blevin P.L., Chappell, B.W.* The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia // Trans. Royal Soc. Edinburgh: Earth Sciences. 1992. V.83. Pt. 1-2. P. 305-316.

11. *Candela Ph.A., Piccoli P.M.* Model ore metal partitioning from melts into vapor and vapor/brine mixtures//Magma, fluids, and ore deposits. 1995. MAC Short Course. V. 23. P. 101-126.
12. *Lowenstern J.B.* Dissolved volatile concentrations in an ore-forming magma // *Geology*. 1994. V. 22. P. 893-896.
13. *Westrich H.R., Stockman H.W., Eichelberger J.C.* Degassing of rhyolitic magma ascent and emplacement // *J. Geoph. Res.* 1988. V. 93. N B6. P. 6503-6511.