

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПОЯВЛЕНИЕ ЕВРОПЕИВОЙ АНОМАЛИИ ВО ФЛЮИДАХ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ДЕГАЗАЦИИ ГРАНИТНЫХ МАГМ, ВЫЗВАННОЙ СНИЖЕНИЕМ ДАВЛЕНИЯ

Луканин О.А. Дернов-Пегарев В.Ф. (ГЕОХИ РАН)

lukanin@geokhi.ru

Ключевые слова: *европий, редкоземельные элементы, флюид, магма, дегазация*

Введение

Дегазации гранитных магм, содержащих H_2O и Cl , как показывают экспериментальные и расчетные данные, сопровождается фракционированием редкоземельных элементов (РЗЭ) с образованием в магматических флюидах отрицательных и положительных европиевых аномалий [1, 2]. В данном случае имеются в виду аномалии Eu в спектрах РЗЭ флюидов, по отношению к спектру РЗЭ в равновесных с флюидной фазой расплавах. Причиной аномального поведения Eu при дегазации является его присутствие в расплавах при окислительно-восстановительных условиях, характерных для магматических систем, в двух валентных формах Eu^{3+} и Eu^{2+} , в то время как для других РЗЭ преобладающей формой является $(РЗЭ)^{3+}$ [3]. В настоящем сообщении по данным компьютерного моделирования рассматриваются основные физико-химические факторы, определяющие знак и величину Eu аномалии во флюидах, формирующихся при декомпрессии гранитных расплавов матаглиноземистого состава.

Аномальное поведение Eu при дегазации

Для расчетов межфазового распределения РЗЭ флюид/расплав за основу были взяты экспериментальные данные Рида с соавторами (Reed et al., 2000), которые были получены для гранитного расплава при 2 кбар и $800^\circ C$. Численное моделирование поведения летучих компонентов (H_2O , Cl) и РЗЭ в процессе изотермической ($T = 800 \pm 25^\circ C$) дегазации, вызванной снижением давления, проводилось в интервале 0.5-3 кбар в закрытых условиях, когда флюидная фаза остается в системе, а также в открытых условиях, когда образующаяся флюидная фаза удаляется из системы на каждом шаге уменьшения давления.

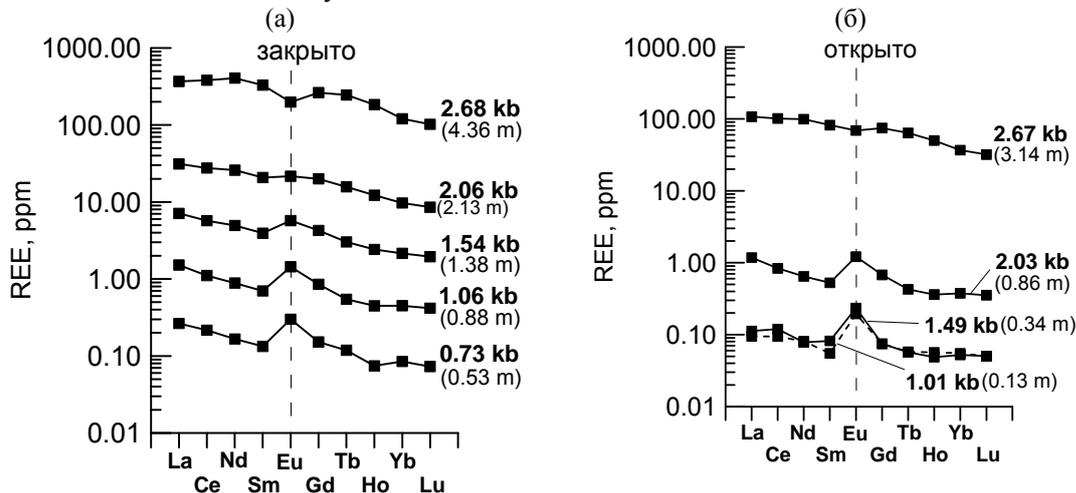


Рис.1. Изменение концентрации La, Eu и Lu во флюидной фазе, образующейся при декомпрессионной дегазации гранитного расплава в закрытых (а) и открытых (б) условиях. Исходные содержания в расплаве: 7.6 мас.% H_2O , 0.25 мас.% Cl , 100 ppm каждого из РЗЭ

В качестве примера на рис.1 показано изменение концентраций и спектра РЗЭ во флюиде, который образуется при дегазации Cl и H_2O -содержащего гранитного расплава ($Cl=0.25$, $H_2O=7.62$ мас.%), насыщение которого в процессе декомпрессии наступает при 3 кбар. В закрытых условиях для первых наиболее глубинных стадиях дегазации, сопровождающихся образованием обогащенных хлором флюидов, характерно появление относительно слабой отри-

цательной Eu аномалии (рис.1а). Понижение давления вызывает уменьшение концентрации Cl во флюиде, что приводит сначала к исчезновению отрицательной Eu аномалии, а затем к появлению и росту положительной Eu аномалии. При низких давлениях (< 1.5 кбар) она может быть весьма значительной. В условиях открытой системы при полном или частичном удалении флюида из магмы, такая смена знака Eu аномалии происходит при более высоких давлениях по сравнению с закрытой системой (рис.1б). При этом как в закрытых, так и в открытых условиях концентрация и спектр РЗЭ в расплаве практически не меняются.

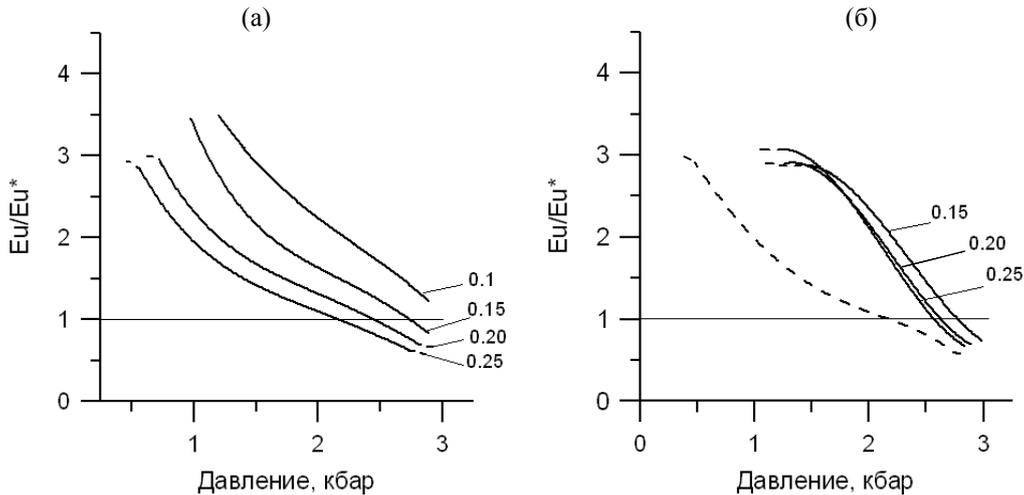


Рис.2. Изменение величины и знака европиевой аномалии в спектре флюидной фазы при декомпрессионной дегазации расплава с различными исходными концентрациями Cl (Сисх.) в закрытых (а) и открытых (б) условиях. Флюидное насыщение расплава достигается при 3 кбар. Исходный расплав содержит 7.6 мас.% H₂O и от 0.1 до 0.25 мас.% Cl (Сисх. показаны цифрами у кривых), а также по 100 ppm каждого из РЗЭ. Величина европиевой аномалии Eu/Eu^* равна отношению концентрации Eu к средней концентрации Sm и Gd во флюиде, т.е. $Eu/Eu^* = C(Eu)/C(Eu^*)^v$, где $C(Eu^*)^v = \frac{1}{2} [C(Sm)^v + C(Gd)^v]$

Рис. 2 демонстрирует влияние на поведение европия содержания хлора в исходном расплаве (Cl исх.). При изменении Сисх. исходное содержание H₂O остается постоянным, поэтому насыщение расплава флюидной фазой в процессе декомпрессии достигается практически при одном и том же давлении ~3 кбар. Как видно из рис.2 - чем меньше Сисх., тем выше давление, при котором отрицательная аномалия Eu сменяется положительной. При относительно низких значениях Сисх. (< 0.15 мас.%) с самого начала дегазации во флюиде возникает положительная аномалия Eu. В открытых условиях этот эффект проявляется еще более ярко (рис.2б).

Причина аномального поведения европия при дегазации состоит в том, что Eu в отличие от остальных РЗЭ при окислительно-восстановительных условиях, характерных для магматического процесса, присутствует в кислых алюмосиликатных расплавах в двух валентных формах Eu^{3+} и Eu^{2+} , в то время как для остальных РЗЭ преобладающей формой в расплаве является REE³⁺ [4, 5]. На рис. 3 показаны ожидаемые расчетные зависимости коэффициента распределения Eu флюид/ расплав ($D(Eu)^{v/m}$) от концентрации Cl во флюиде $[C(Cl)^v]$ при различных соотношениях $\alpha = Eu^{3+}/(Eu^{3+} + Eu^{2+})$ в расплаве. С уменьшением α , т.е. с увеличением доли Eu^{2+} в расплаве и, соответственно, понижением летучести кислорода в системе, тангенс угла наклона линии Eu изменяется от 3 к 2. Таким образом, наклон линии становится все более пологим, что усиливает аномальное поведение европия в процессе дегазации магм по сравнению с другими РЗЭ, для которых положение линий в координатах $D(REE)^{v/m}$ остается постоянным с тангенсом наклона близким к 3. По данным [5, 6] в природных дацитах величина α составляет 0.3 - 0.8 (в среднем ≈ 0.7). Вариации fO_2 при формировании этих лав оцениваются $NNO \pm 2$ (в среднем $\sim NNO+1$) [6]. Таким образом, наличие в расплаве двух валентных форм европия (Eu^{3+} , Eu^{2+}) неизбежно должно приводить в процессе дегазации к появлению в спектре РЗЭ выделяющейся из расплава флюидной фазы европиевой аномалии. Ее величина (и знак) будут меняться в зависимости от степени окисленности расплава и концентрации Cl во флюиде, а также степени открытости системы.

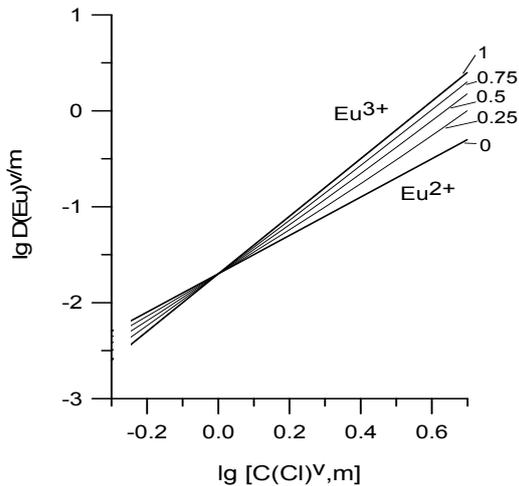


Рис.3. Влияние степени окисленности Eu в расплаве на зависимость $\lg D(\text{Eu})^{v/m}$ от $\lg C(\text{Cl})^v$. Расчеты выполнены для упрощенной модели на основании экспериментальных данных [1]. Цифры у линий – значения $\alpha = \text{Eu}^{3+}/(\text{Eu}^{3+} + \text{Eu}^{2+})$

Выводы

1. Основными факторами, определяющие знак и величину Eu аномалии во флюидах, формирующихся при декомпрессии расплавов гранитного состава, являются:

1) содержание летучих компонентов (H_2O , Cl) в исходном расплаве, 2) давление, при котором флюиды выделяются из расплава; (3) окислительно-восстановительное состояние магм, 3) степень открытости магматической системы в процессе дегазации расплавов.

2. Относительно слабая отрицательная Eu аномалия, которая возникает на первых стадиях дегазации в обогащенных хлором флюидах, в дальнейшем сменяется положительной Eu аномалией, величина которой растет с уменьшением концентрации хлора во флюиде при понижении давления. Положительная Eu аномалия начинает проявляться на более ранних стадиях дегазации при более высоких давлениях, если исходные расплавы содержат меньше Cl, а также в том случае, если дегазация протекает в открытых условиях с удалением флюидной фазы из магматической системы.

3. В более восстановительных условиях, чем выше соотношение $\text{Eu}^{2+}/\text{Eu}^{3+}$ в расплаве, тем ярче при дегазации магм проявляется аномальное поведение европия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 08-05-00022) и ОНЗ РАН (программа 2, 2009 г.)

Литература

1. Reed M.J., Candela Ph. A., Piccoli Ph. M. The distribution of rare earth elements between monzogranitic melt and the aqueous volatile phase in experimental investigations at 800°C and 200 MPa // *Contrib. Mineral. Petrol.* 2000. Vol. 140. P. 251-262.

2. Луканин О.А., Дернов-Пегарев В.Ф. Перераспределение европия и других редкоземельных элементов между расплавом и водным хлор-содержащим флюидом при декомпрессионной дегазации гранитных магм // *Вестник Отделения наук о Земле РАН.* № 1(25)'2007.

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2007/informbul-1_2007/term-30.pdf

3. Луканин О.А. Причина аномального поведения европия при дегазации гранитных магм. «Вестник Отделения наук о Земле РАН» электронный научно-информационный журнал № 1(26)'2008.

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2008/informbul-1_2008/magm-20.pdf

4. Philpotts J.A., Redox estimation from a calculation of Eu^{2+} and Eu^{3+} concentration in natural phases // *Earth Planet. Sci. Lett.* 1970. V. 9. No 3. P. 257-268.

5. Drake M.J. The oxidation state of europium as an indicator of oxygen fugacity // *Geohim. Cosmochim. Acta.* 1975. V. 39. P. 55-64.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(27) 2009

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2009 года (ЕСЭМПГ-2009)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/magm-24.pdf

Опубликовано 1 сентября 2009 г.

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2009*

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на «Вестник Отделения наук о Земле РАН» обязательна