

**РОЛЬ ВОДНО-ХЛОРИДНЫХ МАГМАТОГЕННЫХ ФЛЮИДОВ  
В ИЗВЛЕЧЕНИИ РУДНЫХ (Zn, Pb) И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ИЗ ГРАНИТНЫХ МАГМ ПРИ ИХ ПОДЪЕМЕ К ПОВЕРХНОСТИ  
И КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

**Луканин О.А., Дернов-Пегарев В.Ф.**

*Институт геохимии и аналитической химии РАН, Москва, lukanin@geokhi.ru*

Используя разработанный на основании обобщения имеющихся экспериментальных данных комплекс компьютерных программ, проведено численное моделирование межфазового распределения летучих компонентов ( $H_2O$ , Cl), а также рудных (Zn, Pb) и редкоземельных элементов в процессе декомпрессионной и кристаллизационной дегазации расплавов гранитного состава в диапазоне давлений от 0,3-0,5 до 3-4 кбар [1-3]. Модельные расчеты, несмотря на ряд допущений, которые связаны, главным образом, с недостатком экспериментальной и термодинамической информации, дают возможность выявить ряд важных закономерностей в формировании состава магматических флюидов в зависимости от содержания летучих в исходном расплаве, глубины, на которой происходит дегазация, соотношения кристаллизующихся минеральных фаз, степени открытости системы в отношении флюидной фазы. Они позволяют количественно оценить возможные масштабы извлечения этих элементов образующейся флюидной фазой из магм в процессе их дегазации на разных глубинах.

Результаты численного моделирования показывают, что концентрация Cl в исходном расплаве, соотношения в нем  $H_2O/Cl$ , давление (глубина) дегазации, а также динамика отделения флюидной фазы от магматической системы являются важными факторами, оказывающими влияние на концентрацию Zn, Pb и других «хлорофильных» металлов во флюиде и степень их экстракции из магм. Можно выделить две наиболее благоприятные обстановки для формирования магматических флюидов с высокими концентрациями Cl, которые способны извлекать из гранитных магм значительные количества Zn и Pb. Во-первых, это начальные этапы дегазации расплавов, изначально обогащенных летучими компонентами ( $H_2O \geq 4-5$  мас.%,  $Cl \geq 0,15$  мас.%), при подъеме или кристаллизации магм на относительно больших глубинах ( $P_{общ.} \geq 1,5-2,0$  кбар). Объем и масса таких флюидов в магме должна быть невелика. При кристаллизационной дегазации значительная часть высококонцентрированного флюида может, по-видимому, консервироваться в виде минеральных флюидных включений. Поэтому, очевидно, требуются особые условия для их отделения от магм. Во-вторых, кристаллизация насыщенных флюидом магм в приповерхностных магматических камерах ( $P_{общ.} \leq 1-1,5$  кбар), которая может сопровождаться образованием гетерогенного флюида, состоящего из существенно водной хлорсодержащей фазы и высоко-хлоридных солевых жидкостей. В этом случае основная часть флюидной экстракции металла в отличие от кристаллизационной дегазации на больших глубинах может протекать на средних и заключительных стадиях затвердевания магм.

Количество рудных компонентов, извлекаемых флюидной фазой при кристаллизационной дегазации гранитных магм, может существенным образом зависеть от состава образующихся минеральных фаз, особенно, на заключительных этапах кристаллизации. Например, в процессе глубинной дегазации при одних и тех же исходных РТХ условиях флюидная экстракция Zn из лейкократовых гранитных магм должна быть более значительной по сравнению с более железистыми гранитами, при кристаллизации которых образуются минеральные ассоциации, содержащие повышенное количество темноцветных минералов биотита и Fe-Ti оксидов.

Балансовые расчеты межфазового распределения Zn и Pb в процессах дегазации подтверждают сделанное ранее заключение о том, что количества металлов, выносимых флюидной фазой из гранитных магм, имеющих средние концентрации этих элементов (20-60 ppm), могут быть вполне достаточными для образования в последующем крупных месторождений [4, 5 и др.]. Вместе с тем необходимо отметить, что количество выносимых рудных элементов существенным образом зависит от двух факторов: во-первых, от исходных концентраций летучих компонентов в магме (для таких элементов как Zn и Pb в первую очередь от концентрации Cl) и, во-вторых, от конкретного механизма отделения флюидной фазы от магмы на разных этапах ее

дегазации. В целом, можно сделать вывод, что «геохимическая специализация» магм, способность отделяющихся от них магматических флюидов быть источником рудных компонентов при образовании крупных месторождений определяется не столько исходной концентрацией рудных элементов, сколько исходным содержанием летучих компонентов, а также динамикой выделения флюидной фазы в ходе дегазации магм при их подъеме к поверхности и кристаллизации.

Процессы декомпрессионной дегазации не оказывают заметного влияния на содержание и спектр РЗЭ в расплаве. Поскольку величины коэффициентов распределения РЗЭ флюид/расплав относительно малы и практически во всем интервале дегазации значительно меньше 1, то общее количество РЗЭ, извлекаемое флюидной фазой из расплава, на разных этапах дегазации, особенно в закрытой системе, весьма невелико. Вместе с тем спектр РЗЭ флюидной фазы, выделяющейся из магмы, может существенно отличаться от спектра РЗЭ магматического расплава. В процессе декомпрессионной дегазации по мере снижения давления общее содержание РЗЭ во флюиде уменьшается. При этом спектр РЗЭ в первых обогащенных хлором порциях флюида, образующегося при высоких давлениях ( $\geq 2$  кбар), мало отличается от спектра РЗЭ в исходном расплаве, демонстрируя лишь небольшой минимум Eu и общую тенденцию к понижению концентрации РЗЭ с большим порядковым номером. В ходе декомпрессии, начиная с некоторого давления, в спектре РЗЭ флюидной фазы по сравнению с расплавом появляется и становится все более ярко выраженным концентрационный максимум Eu. Давление, при котором он возникает, и его величина зависят от исходных содержаний Cl и H<sub>2</sub>O в расплаве, его окислительно-восстановительного состояния, а также степени открытости системы.

Изменчивость состава флюидной фазы, образующейся в процессе декомпрессионной дегазации, в отношении концентраций и спектра РЗЭ может проявляться в вариациях составов флюидных включений в минералах-вкрапленниках, формирующихся в процессе подъема и дегазации магм. Кроме того, следует отметить, что взаимодействие отделяющихся от магм флюидов с вмещающими породами может существенным образом отразиться на спектре РЗЭ метасоматически измененных и жильных пород, формирующихся в приконтактовой зоне интрузивных тел.

*Исследования проведены при финансовой поддержке ОНЗ РАН (проект 2, 2010 г.), а также РФФИ (грант 08-05-00022).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Луканин О.А. Распределение цинка между флюидом, расплавом и кристаллическими фазами в процессе дегазации гранитных магм, содержащих воду и хлор // Экспериментальные исследования эндогенных процессов. Черногоровка. 2008. С. 110-123.
2. Луканин О.А., Дернов-Пегарев В.Ф. Баланс хлора и некоторых рудных элементов (Zn, Pb) между флюидной фазой и расплавом при дегазации гранитных магм // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2003. № 1 (23).
3. Луканин О.А., Дернов-Пегарев В.Ф. Распределение редкоземельных элементов между водно-хлоридной флюидной фазой и расплавом в процессе дегазации гранитных магм, вызванной снижением давления // Геохимия, 2010 (в печати).
4. Рябчиков И.Д. Термодинамика флюидной фазы гранитоидных магм. М.: Наука, 1975. 232 с.
5. Hedenquist J.W., Lowenstern J.B. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits // Nature, 1994. V. 370. P. 519-527.