

**МИНЕРАЛЫ – ИНДИКАТОРЫ ТРХ-ПАРАМЕТРОВ ПЕТРОГЕНЕЗА  
И ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ МИНЕРАЛОГИИ****Котельников А.Р., Сук Н.И., Ковальский А.М. (ИЭМ РАН),  
Котельникова З.А. (ИГЕМ РАН)***kotelnik@iem.ac.ru; факс: (496-52) 4-44-25; тел.: (496-52) 2-58-57*

---

Ключевые слова: *Минеральные термометры, термодинамика, задачи экспериментальной минералогии*

Одним из основных направлений современной петрологии, минералогии и геохимии является изучение ТРХ- параметров протекания геологических процессов, минерало- и петрогенеза, которые определяют все разнообразие минералов и горных пород. Традиционно минеральная термобарометрия использовалась для оценок условий образования в основном метаморфических комплексов. В настоящее время возникла необходимость рассмотрения эволюции сложных флюидно-магматических систем. С одной стороны – это связано с их потенциально высокой рудоносностью, с другой – с развитием представлений о трансмагматических флюидах, растворах II- го (P-Q)- типа, активных флюидах, жидкостной несмесимости и т.д. Сложные процессы эволюции флюидно-магматических систем (P-Q)- типа требуют развития и новых методов их изучения. Это термодинамические расчеты, базирующиеся на минеральных равновесиях и пробоотборники, позволяющие непосредственно изучать составы минералообразующей среды – флюидные включения в минералах, а также экспериментальное моделирование процессов минералообразования.

Методы оценки РТ-параметров минералогенеза (по минеральным равновесиям) включают:

- равновесия минералов постоянного состава;
- изучение распределения элементов по неэквивалентным позициям кристаллической структуры минералов;
- распределение элементов-примесей между минеральными фазами;
- изотопные равновесия;
- изучение фазовых Т-Х диаграмм минералов – твердых растворов;
- распределение главных элементов между минеральными фазами;
- термобарометрия флюидных включений.
- равновесия минерал – флюид, позволяющие рассчитывать состав флюида.

Лучше всего метод минералов – индикаторов для оценок ТРХ-параметров отработан для парагенезисов метаморфических комплексов. Причинами этого являются:

- (1) Большая продолжительность метаморфических процессов ( $\sim n \cdot 10^6$  лет), ведущая к термодинамически равновесным минеральным ассоциациям.
- (2) Достаточно высокие ТР-параметры минеральных реакций, что значительно увеличивает их скорость и соответственно, равновесное состояние достигается.
- (3) Многокомпонентность системы обуславливающая (по правилу фаз) наличие двух (или более) минеральных фаз – твердых растворов, которые позволяют рассчитывать ТР-параметры по межфазовому распределению компонентов.

Для метаморфических процессов в силу указанных выше причин уже недалеко то время когда можно будет практически полностью перейти на теоретический расчетный метод моделирования. Примером этого служит успешное применение программного комплекса «Селектор» для решения задач оценки параметров эволюции ряда метаморфических комплексов.

Однако существует целый ряд геологических объектов, крайне интересных в научном плане и исключительно важных практически, для которых в настоящий момент термодинамическое моделирование трудно осуществить по следующим причинам:

- (1) отсутствия надежных термодинамических данных по отдельным фазам, частицам во флюидах и расплавах, твердым растворам и пр.; (2) высокими скоростями процессов кристаллизации, затрудняющими применение аппарата равновесной термодинамики (магматические комплексы); (3) относительно невысокими температурами минералогенеза, и соответственно, весьма специфичными парагенезисами (диафториты), для минералов которых практически отсутствуют надежные данные.

Кроме того, ряд объектов (возможно - при частичной кристаллизации, за счет увеличения концентрации летучих в остаточном расплаве, а при существовании пересыщенных летучими компонентами расплавов – и сразу) проявляет свойства флюидно-магматических систем, осложненных особенностями систем P-Q типа. В этих системах также широко развита жидкостная несмесимость.

О наличии таких систем в природных объектах указывалось в работах академиков Жарикова В.А. (1976), Маракушева А.А. (1979) и Когарко Л.Н. (2002). Когарко Л.Н. (2002) обосновала, что существует два характерных процесса формирования магматических пород: (1) с отделением летучих (и рудных) компонентов в отдельную флюидную фазу; (2) без отделения летучих – при определенных физико-химических параметрах в процессе кристаллизации высокощелочных (ультраагпаитовых) магм возможен постепенный переход от магматического расплава к гидротермальному раствору (без отделения воды в газовую фазу). При этом рудные минералы концентрируются непосредственно в теле массива. Именно к таким системам относятся агпаитовые щелочные комплексы. Для этих природных систем очень важно знать эволюцию TP-параметров и режим летучих при минералогенезе.

Рассмотрены различные минеральные равновесия, которые используются для целей минеральной термо-барометрии (как с участием минералов постоянного состава, так и твердых растворов). Показана необходимость изучения кинетики минеральных реакций для корректного их применения с целью оценки эволюции PT- параметров минералогенеза.

Нами разработан ряд минералов – индикаторов для оценки температур и состава флюидов при минералогенезе щелочных агпаитовых массивов. Совместно с сотрудниками ГЕОХИ РАН Устиновым В.И. и Гриненко В.А. (2006) проведено экспериментальное изучение интраструктурного распределения изотопов кислорода в структуре содалита (нозеана) в зависимости от температуры и получен мономинеральный термометр, который был применен для оценок температур образования содалитовых парагенезисов Ловозерского массива.

Использование различных минеральных равновесий позволяет наметить пути эволюции TRX- параметров сложных флюидно-магматических систем (таких как ультраагпаитовые магматические комплексы Кольского полуострова). Однако необходимо разрабатывать специальные минеральные термометры для измерения температуры минералогенеза щелочных пород, основанные на равновесиях тройных твердых растворов щелочных клинопироксенов и амфиболов.

Разработан также ряд минеральных индикаторов (таких как равновесия содалит±нефелин – флюид, канкринит – флюид, уссингит – альбит – флюид, нефелин – эгирин – альбит – магнетит – флюид и др.) для оценки потенциала летучих компонентов при эволюции петрогенеза.

Таким образом, показано, что экспериментальные данные по различным фазовым равновесиям широко используются для целей термо- барометрии природных геологических комплексов различных типов пород. Сделано достаточно много. Еще большее предстоит совершить.

Можно наметить основные задачи экспериментальной минералогии:

1. Изучение фазовых диаграмм и фазового соответствия во флюидно-магматических системах с участием растворов P-Q типа. Изучение жидкостной несмесимости во флюидно-магматических и магматических системах.

2. Изучение реологических свойств флюидно-магматических систем с участием растворов P-Q типа.

3. Определение термодинамических свойств сухих и насыщенных летучими магматических расплавов различного состава.

4. Исследование форм переноса главных, малых и рудных элементов во флюидной фазе и, особенно – в фазах «тяжелых флюидов» флюидно- магматических систем P-Q типа.

5. Разработка минеральных термометров для оценок TP- параметров минералогенеза щелочных магматических пород (термометры на основе ассоциаций  $CPx \pm Bi \pm Amf$ ) и для пород низкой степени метаморфизма (термометры на основе парагенезисов  $Cb \pm Chl \pm Gr$ ).

6. Экспериментальная разработка методов и материалов для иммобилизации отходов техногенеза (особенно – радиоактивных отходов).

7. Создание новых материалов для промышленности (наноматериалы, специальные керамики и стройматериалы с заданными свойствами).

**Литература**

1. Жариков В.А. Основы физико-химической петрологии // М.: Изд-во МГУ. 1976.
2. Козарко Л.Н. Проблемы генезиса гигантских редкометальных месторождений Кольского полуострова: - Российская Арктика: геологическая история, минерагения, геоэкология // Санкт-Петербург. 2002. С. 773-787.
3. Маракушев А.А. Проблемы генезиса расслоенных интрузивов. - Контактные процессы и оруденение в габбро-перидотитовых интрузивах // М.: Наука. 1979.
4. Устинов В.И., Котельников А.Р., Гриненко В.А. Температурный диапазон формирования содалитсодержащих ассоциаций // Геохимия. 2006. № 2. С. 230-232.

---

*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-20.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2009/informbul-1_2009/magm-20.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*