

ГЕОХИМИЯ МАГМАТИЗМА

Составители: *акад. Л.Н.Козарко, д.г.-м.н.А.А.Арискин, д.г.-м.н. Л.В.Дмитриев (с добавлениями д.г.-м.н А.А.Кадика и д.г.-м.н. О.А.Луканина)*

I. АГРЕГАТНОЕ СОСТОЯНИЕ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ, ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПОРОДООБРАЗУЮЩЕЕ ЗНАЧЕНИЕ МАГМ

1. Фазовый состав магм, отличие магмы от магматического расплава. Определение солидуса, ригидуса и предельной закристаллизованности (*critical crystallinity*). Фенокристаллы и ксенокристаллы, интрателлурические вкрапленники. Минералы кумулуса и примокристы, интерстициальный расплав.
2. Силикатные, карбонатитовые, оксидные (*магнетитовые*) магмы. Главные типы и геохимическая специфика магм кислого, среднего и основного состава, их относительная распространенность.
3. Строение и главные структурные единицы силикатной жидкости (анионный и катионный состав). Полимеризация алюмосиликатных тетраэдров и ее влияние на вязкость расплавов. Зависимость вязкости и плотности силикатной жидкости от состава и температуры, влияние давления. Вязкость суспензий, особенности течения магмы.
4. Масштабы и примеры проявления магматизма (*эффузивные, интрузивные и гипабиссальные образования*), значение микрообъектов (*твердофазовые и расплавные включения*). Основные базальтовые провинции (*траппы, срединно-океанические хребты, зоны перехода океан-континент, горячие точки*) и геодинамические особенности их формирования, корреляции геохимических и геофизических параметров.

II. ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА И ЭНЕРГИИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, МАНТИЙНЫЙ И КОРОВЫЙ МАГМАТИЗМ, ГЕОХИМИЯ МАНТИИ КАК ГЛАВНОГО ИСТОЧНИКА МАГМ И РУДНЫХ МЕТАЛЛОВ

5. Значение мантийного и корового вещества, критерии поиска источника магм кислого и основного состава. Континентальная кора как источник гранитов. Геохимические типы гранитов, различия их изотопных характеристик и металлогенической специализации. Примеры возможного исходного вещества базальтовых магм (*габбро, эклогит, перидотит*).
6. Роль высокобарического плавления и источники энергии магматизма (*аккреция первичного материала, радиоактивный распад, конвективные движения в мантии, переход механической энергии движения плит в тепловую, экзотермические реакции на границах фазовых переходов и др.*).
7. Состав, термодинамические параметры и структура мантии. Источники информации о строении глубинных геосфер. Примитивная мантия, сопоставление с составом обыкновенных хондритов. Аккреционная дифференциация и формирование земного ядра. Подходы к оценке валового состава Земли и планет. Долгоживущие геохимически различимые мантийные резервуары (*изотопные характеристики*).

III. КРУПНОМАСШТАБНЫЙ МАНТИЙНЫЙ МАГМАТИЗМ И МЕТАСОМАТИЗМ

8. Преобладание магм мантийного происхождения. Коматиитовый магматизм. Понятия первичной (*primary*) и материнской (*parental*) магмы. Базальтовые магмы как продукты дифференциации первичных расплавов.

9. Кимберлитовый и лампроитовый магматизм. Роль карбонатов, дегазация. Условия стабильности алмазов и алмазоносность.
10. Высокощелочные магмы и карбонатитовые расплавы. Мантийные флюиды. Роль в мантийном метасоматизме и формировании рудных месторождений.

IV. МЕХАНИЗМЫ ЗАРОЖДЕНИЯ И ПОДЪЕМА МАГМ К ПОВЕРХНОСТИ, ВЛИЯНИЕ ЛЕТУЧИХ КОМПОНЕНТОВ

11. Равновесное, фракционное и динамическое плавление. Плавление при ударных (*импактных*) явлениях. Понятия первичной выплавки, рестита, степени плавления и критической пористости. Эволюция состава расплава и рестита по мере плавления источника. Поведение главных и примесных (Cr, Ti, Sr, Ni, Co) элементов.
12. Проницаемость зон частичного плавления, уплотнение кристаллического каркаса и инфильтрация расплава в межкристаллическом пространстве. Декомпрессия и адиабатическое плавление в восходящих диапирах. Зонное плавление. Возможность агрегации и аккумуляции расплавов.
13. Геохимические данные о составе летучих компонентов магм и вулканических эманаций. Механизмы растворения летучих компонентов в магмах. Влияние температуры, давления и летучести кислорода на растворимость в расплавах водно-углекислых флюидов. Поведение восстановленных флюидов (CO, H₂, CH₄) и соединений серы, растворимость благородных газов. Влияние летучих на изобарическое и декомпрессионное плавление. Отделение летучих при выплавлении и подъеме магм, особенности их состава для магматизма различных геодинамических обстановок.

V. ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ МАГМ: ГЛАВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ОСОБЕННОСТИ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ

14. Понятие дифференциации, механизмы разделения вещества в гомогенных и гетерогенных системах. Диффузионные процессы в жидкости (*концентрационная, гравитационная и термодиффузия*), масштабы проявления. Значение фазовых переходов (*кристаллизация, ликвация, отделение флюидов*) и механизмы гетерогенной дифференциации (*оседание кристаллов, фильтр-прессинг и инфильтрация расплава, отделение и сегрегация несмешивающихся жидкостей, флюидный перенос*). Конвекционные процессы в магматических камерах (*термическая конвекция и седиментационные явления*).
15. Концепция фракционирования магмы. Роль фракционной кристаллизации. Идеальное и частичное фракционирование. Графические методы исследования систем источник – дифференциат (*принцип вычитания компонентов*) и массбалансовые расчеты (*по методу наименьших квадратов*). Значение коэффициентов распределения кристалл-расплав и простейшие аналитические зависимости (*уравнение Релея, степень фракционирования исходного расплава*). Совместимые и несовместимые элементы. Численные схемы фракционирования.
16. Боуэновский и феннеровский тренды дифференциации (*возможность накопления кремнезема и железа*), их фазовая интерпретация. Главные дискриминационные диаграммы (*AFM, Миаширо и др.*). Примеры магматических серий (толеитовые, известково-щелочные, бонинитовые).

VI. ВТОРИЧНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ И ОСОБЕННОСТИ МАГМАТИЗМА В ЗОНАХ СУБДУКЦИИ

17. Известково-щелочной магматизм. Связь с формированием континентальной коры и роль высокого давления кислорода.
18. Островодужные серии (*толеитовые, известково-щелочные и щелочные*), их геохимическая специфика.
19. Поведение летучих (H_2O , CO_2 , S, Cl, F), потоки метаморфических флюидов. Мобилизация халькофильных элементов и рудогенез.

VII. ГРАНИТНЫЙ МАГМАТИЗМ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОБСТАНОВКАХ И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ ЗЕМЛИ

20. Граниты древних платформ. Магмы тоналит-трондьемитовой гранитоидной серии, геохимическая специфика и механизмы образования.
21. Граниты платформенных зон активизации. Магмы щелочных гранитоидных серий. Редкометальные гранитоиды. Особенности поведения летучих и редких элементов при их образовании и эволюции.
22. Проявления кислого гранитоидного магматизма в различных геодинамических обстановках (*коллизонных зонах, зонах субдукции, океанических областях*).
23. Механизмы формирования гранитоидных магм различного типа. Роль летучих компонентов в образовании и эволюции гранитных магм. Анатексис, палингенез, магматическое замещение, трансмагматические флюиды.
24. Отделение магматических флюидных фаз при подъеме и кристаллизации гранитных магм. Пегматитообразование и рудогенез.

VIII. МАГМАТИЗМ ЛУНЫ И ДРУГИХ ПЛАНЕТНЫХ ТЕЛ

25. Магматизм Луны. Геохимическая специфика лунных магматических пород. Модели крупномасштабного плавления (*магматический океан*) и дифференциации лунного вещества.
26. Имеющиеся данные о магматизме Венеры и Марса. Особенности процессов магмообразования (*плавления и кристаллизации*) на планетах земной группы (Венера, Земля, Марс) и других телах Солнечной системы. Роль магматизма в глобальной дифференциации вещества Земли и других планетных тел.

IX. ФАЗОВАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД, МЕТОДЫ ГЕОТЕРМОБАРОМЕТРИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ МАГМЫ

27. Диаграммы плавкости для петрологически важных синтетических систем (*Fo-Fa, Ab-An, Di-An-Ab, Fo-An-SiO₂, Di-Fo-SiO₂, Ab-Or-SiO₂, Ne-Ks-SiO₂*). Реакционный принцип Боуэна. Примеры реакционных серий.
28. Методы экспериментального изучения природных составов. Сосуществующие фазы, расчет коэффициентов распределения и сокристаллизации. Проектирование составов закалочных стекол на псевдотройные диаграммы, оценки давления при кристаллизации. Современные базы экспериментальных данных по фазовым равновесиям (*ИНФОРЭКС и др.*).
29. Методы термометрии расплавно-кристаллических равновесий. Принципы построения геотермометров минерал-расплав для главных (*на примере уравнения Редера-Эмсли*) и примесных (Ni, Sr) элементов. Современные подходы к построению уравнений равновесия и роль корректного

термодинамического описания (*связь коэффициента распределения и константы равновесия реакции*).

30. Моделирования равновесной и фракционной кристаллизации при помощи эмпирических и термодинамических моделей (*программы MELTS и КОМАГМАТ*). Принцип минимизации термодинамического потенциала при решении задачи равновесия в многокомпонентных системах. Представления о термике и динамике магматической дифференциации.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Браун Д., Массет А. Недоступная Земля. М.: Мир. 1984. 262 с.
2. Йодер Х. Образование базальтовой магмы. М.: Мир. 1979. 238 с.
3. Кокс К.Г., Белл Дж.Д., Панкхерст Р.Дж. Интерпретация изверженных горных пород. М.: Недра. 1982. 414 с.
4. *Магматические горные породы. Ультраосновные породы* (под ред. Е.Е.Лазько и Е.В.Шаркова). М.: Наука. 1988. 508 с.
5. Мюллер Р. Саксена С Химическая петрология. М.: Мир. 1980. 517 с.
6. Рингвуд А.Е. Состав и петрология мантии Земли. М.:Недра.1981. 584 с.
7. Рябчиков И.Д. Геохимическая эволюция мантии Земли. М.: Наука. 1988. 37 с.
8. *Эволюция изверженных пород. Развитие идей за 50 лет* (под ред. Х Йодера). М.: Мир. 1983. 522 с.
9. Арискин А.А., Бармина Г.С. Моделирование фазовых равновесий при кристаллизации базальтовых магм. М.: Наука. 2000. 363 с.
10. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.. "Мир". 1988. 380 стр.
11. Додд Р.Т. Метеориты: петрология и геохимия. М., "Мир", 1986, 384 с.
12. Рингвуд А.Е. Происхождение Земли и Луны. М., "Недра", 1982, 293 с.
13. Volatilities in Magmas (eds. Carroll M.R., Holloway J.R.), Reviews in Mineralogy, 1994. V. 30. P.67-121.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Термодинамическое моделирование в геологии: минералы, флюиды и расплавы. (под ред М. Кармайкла, Х.Ойгстера) М.: Мир, 1992. 534 с. (с. 223-247; с. 422-518).
2. Флюиды и окислительно-восстановительные равновесия в магматических системах. (под ред А.А.Кадика). М.:Наука 1991. с. 57-250.
3. Кадик А.А., Луканин О.А., Лапин И.В. Физико-химические условия эволюции базальтовых магм в приповерхностных очагах. М.:Н. 1990. 346 с.
4. *Basaltic volcanism study project. Basaltic volcanism on terrestrial planets.* N.Y. Pergamon press., 1981. P. 132-160.