

МЕТАМОРФИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ, МЕТАСОМАТОЗ, ЧАСТИЧНОЕ ПЛАВЛЕНИЕ – НАЧАЛЬНЫЕ ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТОИДОВ В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОЯСАХ (ПРИБАЙКАЛЬСКИЙ МЕТАМОРФИЧЕСКИЙ ПОЯС)

В.А.Макрыгина

Институт геохимии им. А.П.Виноградова СО РАН, Иркутск, e-mail: vmakr@igc.irk.ru

Проблема происхождения гранитоидов в метаморфических поясах, называемых теперь синколлизийными или S-гранитами, имеет долгую, почти вековую историю. В середине прошлого века практически одновременно вышли работы Н.Боуэна и Г.Рида по проблеме анатектических гранитов, Н.Г.Судовикова и Д.С.Коржинского по метасоматической гранитизации, но до сих пор главенствуют две ортодоксальных гипотезы образования этих гранитов – анатектическая [Chappell, 1999; Barbarin, 1999; Добрецов, 1980 и др.] и метасоматическая [Летников и др., 2000, Жариков, 1987, Петрова, 1990]. Причем приверженцы метасоматического начала гранитизации не отвергают перехода к частичному плавлению и магматическому завершению процесса. В поддержку той и другой концепции неоднократно проводились эксперименты по частичному плавлению метаморфических пород [Иванов, 1972 и др.], которые показали, что из породы основного состава нельзя выплавить более 5-6% плагиогранита. Эксперименты по воспроизведению метасоматической гранитизации амфиболитов [Ходоревская, 2004] подтвердили возможность этого процесса под воздействием кремне-щелочных флюидов, о существовании которых писал еще Д.С.Коржинский, позже проблему рассматривали Ф.А.Летников и др. [2000] и другие.

После достижения пика метаморфизма – наиболее высоких температур и давлений – начинается снижение параметров. Происходит это по причине снижения теплового потока, завершения коллизии и связанного с ней горообразования и начала декомпрессии в результате эрозии (коллапса орогена). Как правило, характерный для обстановки коллизии покровно-надвиговый тектогенез во времени сменяется сдвиговыми движениями. Они порождают неравномерное распределение напряжений в метаморфической толще, что вызывает отделение метаморфогенной флюидной фазы на месте и проникновение ее с больших глубин. Это провоцирует метасоматические изменения пород. Происходит инверсия режима метаморфизма, переход от его изохимической стадии к аллохимической (метасоматической) с постепенным снижением параметров. Главным фактором на этом этапе является снижение давления и увеличение проницаемости пород.

Детальное изучение геохимии метаморфизма показало, что процесс гранитообразования на уровне метаморфических поясов происходит с участием трех процессов: метаморфической дифференциации, метасоматической мигматизации и последующего анатексиса. Наиболее масштабные процессы регионального метаморфизма происходят в зонах коллизии, где реализуются самые высокие градиенты роста температур и давлений. Выше 650°C породы становятся пластичными. В условиях неравномерного распределения давления внутри породы при интенсивной деформации происходит растворение кварца и плагиоклаза с переотложением в участках пониженного давления (рис. 1а) [Тен, 1993]. В этом состоит сущность процесса метаморфической дифференциации. Образуются полосчатые породы типа плагиомигматитов. Автором показано, что для породы в целом этот процесс является изохимическим [Макрыгина, 1981]. Самый наглядный пример, демонстрирующий этот механизм, – выполнение кварцем теней давления у растущего порфиробласта граната. Подтверждением тому, что метаморфическая дифференциация происходит в твердом состоянии, является появление полосчатых плагиомигматитов при более низких температурах, чем калишпатовых мигматитов, хотя при плавлении плагиоклазовая эвтектика должна быть более высокотемпературной, чем калишпатовая и тем более тройная. А также отсутствие расплавных включений. При повышении температуры до 700°C и выше в таких породах происходит частичное плавление:

в светлых прослоях образуются выплавки гранитного состава (рис. 1б), а при разложении мусковита образуется ортоклаз. Большие объемы калишпатовых гранитов таким путем возникнуть не могут.

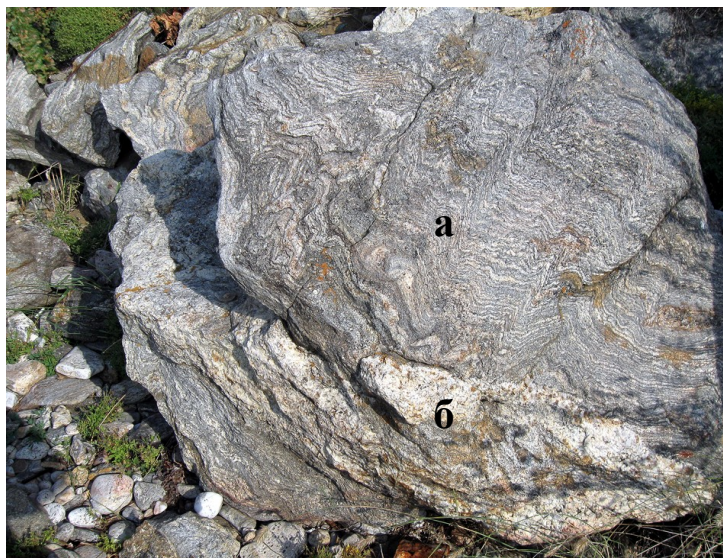


Рис. 1. Биотитовый полосчатый плагиомигматит (а), б – плагиогранитные выплавки, Тутайская бухта, Приольхонье

При инверсии режима, переходе к регрессивной стадии метаморфизма, снижении давления и увеличении проницаемости пород в толщу поступают глубинные растворы, богатые щелочами. Развиваются метасоматические калишпатовые мигматиты, породы в целом обогащаются щелочами, процесс становится аллохимическим (рис. 2). В зоне гранулитовой фации метасоматоз, сопряженный с образованием мигматитов в гнейсах, захватывает и основные породы. На мысе Святой Нос в массивных меланократовых

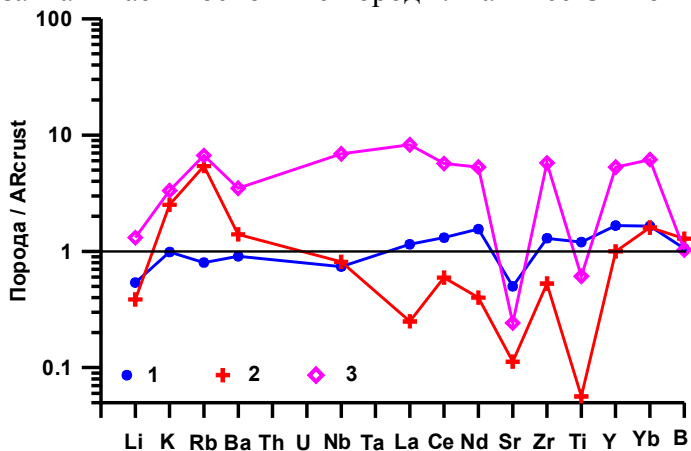


Рис. 2. Региональная (2) и приразломная (3) субщелочная метасоматическая гранитизация по амфибол-биотитовым гнейсам (1) чуйской серии, Северное Прибайкалье. Отчетливо виден привнос щелочей и вынос ряда компонентов при ранней гранитизации.

амфиболитах развиваются неправильные гранат-кварц-биотитовые прожилки (рис. 3) [Макрыгина и др., 2008]. В метагаббро на мысах Лударь и Безымянном по сложной петельчатой системе трещин образуются калишпат-гиперстеновые прожилки (чарнокитизация).

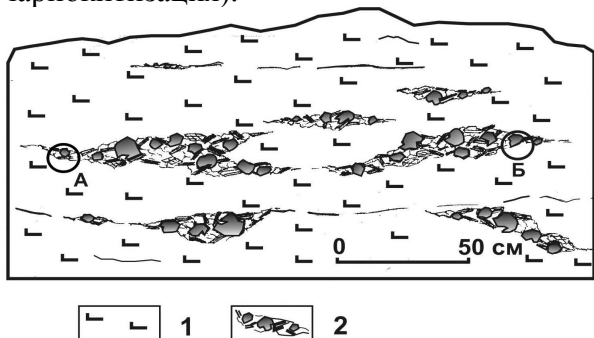


Рис. 3 Развитие гранат-кварц-биотитовых прожилков (2) в меланократовых амфиболитах (1), сопряженное с гранитизацией гнейсов. Северное окончание м.Святой Нос.

В процессе каледонской коллизии Сибирского кратона с террейнами складчатого обрамления вдоль его южного края образовался зональный метаморфический пояс, где у коллизионного шва условия метаморфизма достигали гранулитовой фации. В нем выявлены участки метаморфизма повышенных и низких давлений, а также с секущими простирания пород изоградами. Это позволило изучить геохимию метаморфизма, показать изохимический характер этого процесса на прогрессивном и аллохимический – на регрессивном этапах. Попутно изучалось синколлизивное гранитообразование, которое оказалось зависимым от РТ условий метаморфизма, а именно различным соотношением процессов метаморфогенного, метасоматического и магматического формирования гранитного вещества и геохимических особенностей при его дальнейшей эволюции. Так в хамардабанском комплексе, где метаморфизм происходит при $P_{лит} = 3,5-5$ кбар, низком флюидном давлении и отсутствии посторонних флюидов, преобладают процессы метаморфической дифференциации с проявлением анатексиса только в верхах амфиболитовой фации. В чуйском метаморфическом комплексе проникновение глубинных флюидов происходит при воздымании поднятия, и преобладает метасоматическая гранитизация с образованием калишпатовых мигматитов с об.70 % калишпата и мощным привносом вещества (табл. 1). Породы обогащаются кремнием и щелочами с приближением

Таблица 1

Привнос- вынос вещества при мигматизации пород чуйской серии

Порода	Гранулитовая фация							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O
Би гнейс - плагиомигматит	105	-43	-15	-12	-12	15	-12	-48
Плагиомигматит - Кпш-мигматит	4	21	-8	-23	-15	-2	33	-3
Би гнейс - Кпш-мигматит	109	-22	-23	-35	-27	13	22	-50
Гр-Гип-Би гнейс-плагиомигматит	13	11	-9	-11	0	1	3	-23
Плагиомигматит - Кпш-мигматит	29	-20	-23	-9	-12	-10	37	6
Гр-Гип-Би гнейс - Кпш-мигматит	42	-9	-30	-20	-12	-9	40	-17
Амфиболит - плагиомигматит	70	-1	-22	-71	-27	27	11	-38
Плагиомигматит - Кпш-мигматит	100	-17	-47	-59	-60	-20	43	-19
Амфиболит - Кпш-мигматит	170	-18	-53	-130	-88	-47	55	-56
	Амфиболитовая фация							
Эпидот-Би гнейс - плагиомигматит	58	-23	-35	-12	-23	21	19	-4
Плагиомигматит - Кпш-мигматит	63	-29	-16	-11	-21	-20	16	-17
Эпидот-Би гнейс - Кпш-мигматит	121	-52	-33	-23	-45	1	38	-30
Аркоз.гнейс - плагиомигматит	0	-3	5	-1	0	-3	4	-10
Плагиомигматит - Кпш-мигматит	22	-7	-4	-1	-5	-7	11	-21
Аркоз.гнейс - Кпш-мигматит	22	-10	0	-2	-5	-10	14	-9

состава лейкосомы к эвтектическому, что и определяет начало частичного плавления. Всплывание толщи в результате ее гранитизации приводит к дальнейшему увеличению ее проницаемости, что делает возможным объединение капель расплава с достижением им значительных объемов, способных к внедрению. В метаморфических поясах на уровне амфиболитовой-гранулитовой фации можно проследить все стадии развития этих процессов.

С привносом глубинных кремне-щелочных флюидов начинается *массовая мигматизация* пород. Ее внешняя зона всегда представлена плагиомигматитами. Плагиомигматиты от обычных гнейсов отличаются высоким содержанием кислого плагиоклаза – до 50-60 %. В валовом составе пород наблюдается привнос Na и Si. Затем следует зона калишпатовых мигматитов, где в светлых прослоях, называемых *лейкосомой*,

все большую роль играет микроклин. В валовом составе пород на этом этапе фиксируется привнос К и Si. Общее количество Mg, Fe, Ca в породе заметно убывает вместе с объемом темных прослоев в мигматите (*палеосомы*). То есть мы видим типичную метасоматическую колонку, где факторами равновесия становятся концентрации в растворе сначала натрия, а затем калия. Фазовый состав мигматитов определяется виртуальными инертными компонентами – CaO, FeO, Al₂O₃ и избыточным кремнеземом (всегда присутствует кварц). Элементы-примеси в этом процессе следуют за своими геохимическими хозяевами. Вслед за калием привносятся Rb, Cs, Pb, в комплексах высокого давления – Ba. Вместе с выносом MgO и FeO снижаются концентрации элементов группы железа – Co, Ni, Cr, V. В связи с высоким содержанием темноцветных минералов в базификатах накапливаются летучие и многозарядные элементы, такие, как фтор, олово, цирконий. В группе редкоземельных элементов на стадии калишпатовой мигматизации особенно заметно увеличиваются содержания цериевых редких земель – La, Ce и Nd. Иттриевая группа редких земель, напротив, выносятся из кислых продуктов гранитизации с накоплением в базификатах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 11-05-00515, Интеграционного проекта ОНЗ-10.3 и государственного контракта № 02.740.11.0324.

Литература

Добрецов Н.Л. Введение в глобальную петрологию. Новосибирск: Наука, 1980, 199 с.

Жариков В.А. Проблемы гранитообразования // Вестн. МГУ, 1987, сер. 4, Геология, № 6, с.3-14.

Летников Ф.А. Балышев С.О., Лашкевич В.В. Взаимосвязь процессов гранитизации, метаморфизма и тектоники // Геотектоника. - 2000. - № 1. - С. 1-24

Макрыгина В.А. Геохимия регионального метаморфизма и ультраметаморфизма умеренных и низких давлений. – Новосибирск: Наука, 1981. 199 с.

Макрыгина В.А., Петрова З.И., Конева А.А., Суворова Л.Ф. Состав, параметры и метасоматические преобразования основных сланцев п-ва Святой Нос Прибайкалье) // Геохимия, 2008. № 2. С. 169-184.

Петрова З.И. Геохимия гранулит-гнейсовых комплексов докембрия // Автореферат диссерт. на соиск. уч. степени доктора геол.-мин. наук, 1990, 56 с.

Тен А.А. Динамическая модель генерации высоких давлений при сдвиговых деформациях горных пород (Результаты численного эксперимента) // Докл. РАН 1993. Т.328. № 3. С. 322-324.

Ходоревская Л.И. Гранитизация амфиболитов. 2. Основные закономерности физических и химических явлений при процессах фильтрации флюидов через породу // Петрология, 2004, Т. 12, №. 3, с. 321-336.

Barbarin V.A. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments // Lithos, 1999. V.46. P.605-626.

Chappell B. W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranite.// Lithos 46, 535-551.