

В.Ю. Алимов, Н.В.Вахрушева

# СООТНОШЕНИЕ ЛИТОСТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ И ВНУТРЕННИХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ГИПЕРБАЗИТАХ ОФИОЛИТОВ ПО ДАННЫМ ПИРОКСЕНОВОЙ БАРОМЕТРИИ

Петрологическими и структурными исследованиями установлено нарастание интенсивности и сложности деформаций при переходе от лерцолитовых разрезов к гарцбургитовым [11]. Известно, что в сложно деформируемых телах конфигурация и величина внутренних механических напряжений ( $s$ ) может значительно отличаться от аналогичных характеристик внешней нагрузки [10]. Цель настоящей работы - проследить изменение характера напряженного состояния в гипербазитах офиолитов. Основной метод - изучение составов пироксенов в масштабе шлифа микрозондовым методом (JXA-5, ИГТ УрО РАН, оператор В.Г. Гмыра) с дальнейшими расчетами  $P(\sigma)T$  по [15]; сравнение полученных результатов с океанической геотермой, с одной стороны, и с типами напряженного состояния горных пород, изучаемыми в связи с задачами прогноза динамических явлений в горных выработках и землетрясений, - с другой.

Для гипербазитов офиолитов установлены следующие типы  $P(\sigma)T$ -диаграмм.

1.Стандартные рифтовые или океанические геотермы в виде моновариантных линий.

2.Аналогичные зависимости, представленные коридором значений  $P$  и  $T$  с шириной коридора, превышающей погрешность определения.

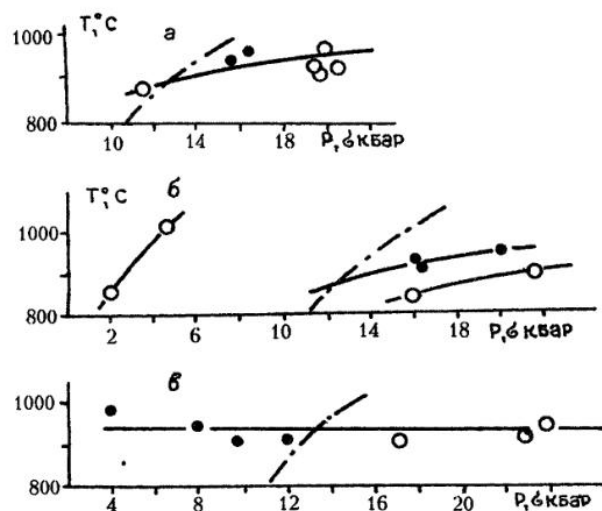
3.Моновариантные линии, отличающиеся от стандартной геотермы большей баричностью при тех же температурах (см. рисунок, а).

4.Дискретный набор субпараллельных  $sT$ -линий (см. рисунок, б).

5.Сильно варьирующие значения  $s$ , при постоянных  $T$  (см. рисунок, в).

Типы 1,2 характеризуют главным образом лерцолитовые типы разрезов [11]. Типы 3-5 выявляются для альпинотипных гипербазитов. Так,  $sT$ -диаграммы типа 3,4 установлены для несерпентинизированных гарцбургитов скв.639 Кемпирсайского массива. Гипербазиты интенсивно рекристаллизованы с высокими скоростями деформаций [12]. Тип 3 установлен для слабо деплетированного гарцбургита (обр.5127). Данный тип зависимости весьма распространен для гарцбургитов Войкаро-Сыньинского и Рай-Изского массивов. Тип 4 установлен для более деплетированного гарцбургита (обр.639/1390 из коллекции И.С.Чашукина), и отвечает сопряженным зонам сжатия и растяжения (см. рисунок, б). Данный тип  $sT$ -диаграмм характерен для пород дунит-гарцбургитового комплекса, вмещающих хромитовое оруденение и для хромитовых руд. Он установлен для Кершорского, Лагортинского, Леххойлинского рудных полей Войкаро-Сыньинского массива. Тип 5 установлен для несерпентинизированных гарцбургитов скв.766 Тыгашасайской площади Кемпирсайского массива, по данным работы [12]. В пределах Войкаро-Сыньинского массива этот тренд устанавливается для полосчатых гарцбургитов, обнаженных по р.Лагорта-Егарт (приток р.Мал.Лагорта).

Тектониты, обладающие  $sT$ -диаграммами типов 3-5, закономерно размещены в пределах хромитоносных полей. Для Леххойлинского рудного поля с глиноземистым типом хромитов зональность выглядит следующим образом. Полосчатые гарцбургиты, окаймляющие породы хромитоносного дунит-гарцбургитового комплекса, обладают  $sT$ - трендом 5 типа. Периферия рудного поля характеризуется трендом типа 3. Основной рудной залежи соответствует  $sT$ -диаграммы



Данные пироксеновой термобарометрии для несерпентинизированных гарцбургитов Кемпирсайского массива.

а - слабо деплетированный гарцбургит, св.639, гл.1415м; б - деплетированный гарцбургит, св.639, гл.1390м; в - св.766. Штрихпунктирная линия - океаническая геотерма, залитые значки - энстатит; незалитые - диопсид

4 типа. Общий тренд, соответствующий переходу от периферии рудного поля к главным рудным телам, заключается в нарастании  $s$  при снижении температуры, т.е. отражает условия адиабатичности. Это увязывается с термостатирующим воздействием тектонитов типа 5.

Зависимости 1-5 соответствуют различным типам напряженного состояния гипербазитов и характеризуют степень их зрелости как тектонитов. Пироксены представляют собой природные датчики, дающие возможность локального изучения вариаций механических напряжений в породе. Последние лишь для диаграмм 1 типа совпадают с внешним давлением. В общем случае определяемые данным методом величины  $s$  являются суммарным вкладом литостатики, тектонических напряжений и действия концентраторов напряжений, модифицирующих воздействие первых двух факторов. Концентраторы механических напряжений могут быть различной природы: включения минералов с разными механическими свойствами, трещины, контактовые части зерен минералов, дефекты кристаллической решетки и т.д. Типы 1 и 2 соответствуют процессам деформации гипербазитов как сплошного тела, без концентраторов напряжений. Тип 1 связан с изотропным (литостатическим) распределением напряжений. Тип 2 отвечает условиям одноосного сжатия, при котором моновариантная РТ-линия трансформируется в коридор конечной ширины. При этом каждому значению  $P$  соответствует непрерывный набор значений  $T$ , и наоборот [8]. Типы 1,2 не обладают возможностями значительного накопления деформационной энергии и по типу эволюции относятся к системам с частичным плавлением, т.е. магматитам.

Типы 3-4 возникают в случае, когда деформации происходят при наличии концентраторов механических напряжений. Петрографически в хромитоносных гипербазитах фиксируются процессы синтетектонической рекристаллизации, которые приводят к широкому развитию порфирокластических микроструктур в породах. Определяющим фактором таких деформационных процессов является наличие высоких локальных механических напряжений, возникающих на границах зерен в условиях деформации типа "сжатие+сдвиг" - так называемых напряжений контактной природы (НКП) [1]. Закономерности деформирования таковы, что при появлении концентраторов механических напряжений сразу же появляются локально сопряженные зоны растяжения. Тип 3 соответствует дилатансионной деформации, которая отличается возникновением напряженного каркаса зерен и порового пространства. Напряжения на твердый каркас превосходят литостатические. Деформации дилатансионного типа изучаются в связи с проблемами прогноза землетрясений [5].

Тип 4 характеризует наиболее зрелый тип тектонита, в котором сосуществуют области сжатия и растяжения в твердой фазе, периодически распределенные в пространстве. Данный тип тектонита может быть назван доменным. Обращает на себя внимание дискретный характер распределения величин напряжений. Вариации  $s$  по величине сопоставимы с литостатическим давлением. Подобные типы деформационных структур изучены на горных породах железорудных месторождений Урала. Так, для структурного блока туфа порфирита размерами 1,2х1,2х2м установлено чередование областей сжатия и растяжения с периодом около 40 см. Для плиток размерами 0,18х0,12х0,015м период в распределении зон сжатия и растяжения составляет примерно 6 см [3]. Для данных рисунка, 6, пространственная периодичность в распределении зон изотермического сжатия и напряжения не превышает 1-2 мм.

Тип 5 соответствует переходному состоянию от деформируемого сплошного тела к зернистой среде. Смена механизма деформации имеет характер фазового перехода. Приуроченность данного типа к полосчатым текстурам коррелирует с явлением сдвиговой неустойчивости, а постоянство температуры отвечает явлению эндогенного термостатирования, известных для областей фазовых переходов в тектонитах [6]. Гипербазиты с  $\sigma$ -T диаграммами типов 3-5 обладают возможностями значительной концентрации деформационной энергии и по этому признаку могут быть отнесены к собственно тектонитам. Эволюция вещества в таких системах подчиняется закономерностям метаморфической дифференциации [1]. Геохимический критерий различия магматической и метаморфической дифференциации в гипербазилах, основанный на закономерностях фракционирования платиноидов, предложен в работе [2].

Экспериментальные данные по фазовым равновесиям, полученные в условиях изотропного сжатия, могут применяться к тектонитам лишь со значительными поправками. К примеру, в тектонитах дилатансионного типа специфической чертой является наличие значительного избыточного давления на твердые фазы, поскольку поровое пространство открывается непосредственно в процессе деформации. Так для обр.5127 вилка давлений между твердофазным каркасом и поровым пространством при  $T=950^{\circ}\text{C}$ , согласно рисунку, а, составляет 16 кбар. Это одна из причин отличий реально наблюдаемых парагенезисов в гипербазилах от экспериментально установленных. В тектонитах доменного типа, особенно мономинеральных, в зонах сжатия минерал имеет меньшую величину параметра решетки, в зонах растяжения - большую, при дискретном характере этих вариаций. Данное обстоятельство позволяет понять дискретный характер многофазности хромитов крупных месторождений и оливинов из околорудных пород [15]. Изучение и систематизация P(s)T-диаграмм гипербазитов офиолитов показывает, что они имеют четкую геологическую, петрологическую и рудогенетическую привязку. Полученные результаты не зависят от выбора конкретного геотермобарометра. Отклонения PT-диаграмм от геотермы, аналогичные рассмотренным в данной работе установлены при применении различных пироксеновых геотермобарометров и в разной геологической обстановке [4, 7, 9, 11, 13, 14].

#### Список литературы

1. Алимов В.Ю. Механизм дифференциации вещества при сдвиговых деформациях зернистых сред (в приложении к хромитообразованию) // Ежегодник-1993/Ин-т геологии и геохимии. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. С.64-66.
2. Алимов В.Ю., Аникина Е.В., Молошаг В.П. и др. Распределение ЭПГ как петро- и рудогенетический индикатор в габбро-гипербазитовых комплексах офиолитов. // 4-й Объединенный международный симпозиум по проблемам прикладной геохимии, посвященный памяти акад.Л.В.Таусона. Иркутск, 1994. Т.1. С.1.

3. Влох Н.П., Липин Я.И. Влияние остаточных напряжений на результаты измерений методами разгрузки. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1977. №3. С.122-130.

4. Ефимов А.А., Потапова Т.А. О находке нового типа высокобарических метаморфитов в Войкарском офиолитовом аллохтоне (Полярный Урал): лерцолит-габбро-гранулитовая серия в базальной зоне гипербазитового разреза // Докл. АН СССР. 1991. Т.318, №6. С.1447-1451.

5. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983.

6. Летников Ф.А., Балышев С.О. Петрофизика и геоэнергетика тектоников. Новосибирск: Наука, 1991.

7. Лаврова Л.Д. Условия образования ультрабазитов Майницкой тектонической зоны Корякского нагорья // Докл. АН СССР. 1980. Т.253, №5. С. 1197-1200.

8. Московченко Н.И., Глебовицкий В.А., Дагелайский В.Б. Некоторые проблемы петрологии процессов метаморфизма в свете основных положений термодинамики негидростатического поля. // Термодинамический режим метаморфизма. Л.: Наука, 1976. С. 38-44.

9. Mercier J.-C.C. Single-pyroxene geothermometry and geobarometry // Tectonophys. 1980. Vol. 70. P.1-37.

10. Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968.

11. Панин В.Е., Лихачев В.А., Гриняев Ю.В. Структурные уровни деформации твердых тел. Новосибирск: Наука, 1985.

12. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987.

13. Савельева Г.Н., Карпова Г.В., Степанов С.С. Минеральные парагенезисы гарцбургитов юго-восточной части Кемпирсайского массива на Южном Урале // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1989, №1. С.34-41.

14. Уханов А.В., Рябчиков И.Д., Харькив А.Д. Литосферная мантия Якутской кимберлитовой провинции. М.: Наука, 1988.

15. Штейнберг Д.С., Чашухин И.С., Лагутина М.В. Петрология и история формирования ультраосновных пород Урала // Петрология и рудообразование. Свердловск, 1986. С. 17-21.