

**И.А. Русин**

**ГРАНАТСОДЕРЖАЩИЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ В ГИПЕРБАЗИТАХ  
МАССИВА КРАКА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

Лерцолитовые массивы Южного Урала рассматриваются большинством исследователей как твердофазные верхнемантийные образования, перемещенные на уровень современного эрозионного среза в процессе позднепалеозойской коллизии. Дискуссионным является вопрос о геодинамических обстановках их формирования. Для его решения, наряду с данными о вещественном составе, существенное значение имеет информация о термодинамических условиях их образования, и, в первую очередь, о глубинности.

Известно, что гипербазитовые массивы

Кракинской группы по особенностям вещественного состава отличаются от типичных дунит-гарцбургитовых массивов офиолитовой ассоциации Урала. Широкое развитие лерцолитов и отсутствие перекрывающего комплекса параллельных даек и толентов базальтов сближает их с формацией лерцолитовых массивов орогенных областей (Ронда, Бени-Бушера и др.). Характерной чертой таких комплексов является развитие в них высокобарических гранатсодержащих парагенезисов указывающих на образование их в условиях подконтинентальной мантии.

Находки гранатсодержащих пород были известны и в массивах Крака. В краевой части Узянского Крака, на контакте дунитов и серпентинитов была обнаружена зона гранат-соссуритовых пироксенитов [Москалева, Орлова, 1960]. В состав породы входили моноклинный пироксен, гранат (Pug—43,1%, Alm—26,7%, Gros—30,2%) и роговая обманка. В серпентинитовом меланже южной оконечности массива Северный Крака описаны блоки (до 1 м) гранатовых пироксенитов [Пучков, Иванов, 1982]. Зерна граната, размером 1–3 мм, содержат 19% пиропы, 46% альмандина, 2% спессартина и 33% кальциевого компонента и занимают 10–25% объема породы. Моноклинный пироксен характеризуется повышенным содержанием глинозема ( $Al_2O_3$ —7,1%,  $Al^{VI}$ —0,09 ф.е.) и натрия (0,97%). В образце гранатового амфиболита из коллекции Г.Л. Кашинцева [Кузнецов, Ковальский, 1998], с привязкой к юго-западному экзоконтакту Южного Крака, гранат (до 50% пиропового компонента) и диопсид (10%  $Al_2O_3$ ) занимают по 20% объема породы. Амфибол представлен паргаситом. Вокруг граната отмечаются реакционные каймы зонального характера, состоящие из паргасита, гиперстена, герцинита и цеолит-эпидотовых агрегатов. Упоминание о линзообразных телах гранатовых пироксенитов в той же части Южного Крака есть и в работе А.В. Клочихина и А.В. Буряченко [1969]. И, наконец, в гипербазитах массивов Узянский и Северный Крака зафиксированы мелкие зерна магнийсодержащего альмандина [Чащухин и др., 1998]. Часть зерен содержит сверхтонкие включения хромшпинелида. Следует отметить высокобарические гипербазиты Миндякского лерцолитового комплекса, расположенного несколько севернее и характеризуемого схожим строением. Здесь три разновидности гранатсодержащих пород представляют собой включения в серпентинитовых брекчиях на контакте с плагиоклазовыми лерцолитами [Денисова, 1984; Пушкарев, Гуляева, 1995]. Составы минералов заметно изменяются в зависимости от породы. Гранат содержит от 20 до 71% пиропового минала, 13–40% альмандина и 15–40% Са-компонента. Амфибол содержит до 18%  $Al_2O_3$  и относится к гастингсит-чермакитовому ряду.

Вместе с тем, большинство находок гранатовых парагенезисов были привязаны к краевым частям массивов. Отсутствие надежных свидетельств связи этих пород с собственно гипербазитовым комплексом, а не с подстила-

ющей его зоной меланжа, не позволяло, в определенной степени, уверенно интерпретировать геодинамические условия их образования. Нами гранат-амфибол-пироксеновые породы были обнаружены непосредственно внутри лерцолитового комплекса, в центральной части массива Узянский Крака, на восточном склоне хребта между высотными отметками 840 и 850 м.

Макроскопически порода темного серозеленого цвета с крупными (до 1 см) яркими выделениями граната, плотная, практически не подвергшаяся выветриванию. Химический состав (мас.%):  $SiO_2$  — 44,29;  $TiO_2$  — 0,28;  $Al_2O_3$  — 14,22;  $Fe_2O_3$  — 2,44; FeO — 5,41; MnO — 0,14; MgO — 12,64; CaO — 16,09;  $Na_2O$  — 1,56;  $K_2O$  — 0,19;  $P_2O_5$  — 0,01; Cr — 0,076 г/г; ппп — 1,76. Общая железистость равна 25 ат.%. Отношение Ca/Al > 1. Нормативно (CIPW) она отвечает оливин-нефелиновому габбро (mole%: Ol — 21,54; Ne — 10,71). Пересчет на шпинелевую и эклогитовую норму позволяет трансформировать ее, соответственно, в вебстерит и бескварцевый эклогит. Минеральный состав представлен парагенезисом гранат-амфибол-пироксен. Кристаллы красно-бурого граната (табл. 1), размером от 0,3 до 3 см, распределены неравномерно и местами занимают до 20% объема породы. Во многих зернах отмечаются деформации. В проходящем свете гранат практически бесцветный. Крупные зерна часто содержат включения пироксена и, реже, амфибола (табл. 2 и 3). Вокруг граната развиты келифитовые каймы, появление которых связывают с быстрой эксгумацией пород [Добрецов и др., 1998; Кориковский, 1998]. Минальный состав отличается преобладанием пиропового и кальциевого компонентов. Размер зерен пироксена также колеблется от первых мм до 2 см. В шлифах моноклинный пироксен практически бесцветный. Волнистое погасание некоторых зерен указывает на испытанные пластические деформации. Содержание  $Al^{VI}$  варьирует в пределах 0,05–0,17 ф.е. и во всех случаях превышает количество натрия (до 0,04 ф.е.), что приводит к его избытку после формирования жадеитового минала, и, вероятно, расходуется на образование псевдожадеита. Амфибол, занимающий более 40% породы, достигает 0,5–0,8 см по длинной оси. Окраска светлая, слегка буровато-зеленая. Встречаются крупные зерна, “захватившие” пироксены. Амфиболы имеют общую железистость на уровне 22–28 ат.% и по составу соответствуют гастингсит-чермакитовому ряду [Nomenclature ..., 1997] с

Составы гранатов (мас. %)

Окислы	64-7	64-15	64-25-1	64-25-2	64-25-3
			центр	центр	край
SiO <sub>2</sub>	40,78	39,86	40,72	39,5	39,62
TiO <sub>2</sub>	0,07	0,18	0,05	0,11	0,07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,11	18,12	16,29	21,61	17,56
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,06	0,10	0,10	0,10	0,11
FeO'	15,56	17,16	13,58	13,76	13,65
MnO	0,56	0,59	0,58	0,61	0,58
MgO	13,04	12,11	16,61	15,29	17,01
CaO	10,58	10,86	10,55	10,49	10,69
Na <sub>2</sub> O	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05
Сумма	101,82	99,04	98,54	101,54	99,34
Фобш., ат. %	40	44	32	34	31
Содержание конечных членов группы граната (мол. %)					
Пироп	47,1	45,6	61,4	54,6	61,8
Альмандин	24,1	23,4	8,2	16,9	8,0
Спессартин	1,1	1,3	1,2	1,2	1,2
Скиагит	-	-	0,8	-	0,8
Гроссуляр	16,3	10,1	-	11	-
Андрадит	11,2	19,3	28,1	16	27,9
Уваровит	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3

Примечание. Анализы выполнены в ИГГ УрО РАН на микроанализаторе JXA-5 (аналитик В.А. Вилисов).

Таблица 2

Составы клинопироксенов (мас. %)

Окислы	64-1	64-10	64-14	64-26	64g-3-1	64g-4-1	64g-4-3
SiO <sub>2</sub>	49,58	50,22	49,02	48,48	46,38	48,64	49,32
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,41	0,43	0,36	0,28	0,30	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,06	8,37	7,25	6,15	8,71	5,37	3,15
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,13	0,10	0,08	0,10	Не опр.	Не опр.	Не опр.
FeO'	4,93	4,55	5,24	4,26	4,39	4,95	4,45
MnO	0,10	0,08	0,08	0,08	0,07	0,11	0,04
MgO	16,80	13,83	13,12	15,79	13,40	14,25	15,39
CaO	21,74	23,36	23,18	22,75	25,55	26,14	25,24
Na <sub>2</sub> O	0,64	0,46	0,47	0,54	0,32	0,30	0,29
Сумма	101,39	101,38	98,88	98,51	98,78	100,06	98,04

Примечание. Анализы выполнены в ИГГ УрО РАН на микроанализаторе JXA-5 (аналитик В.А. Вилисов) и в ИГ Коми НЦ УрО РАН на электронном микроскопе JMS-6400 Jeol с энергетической приставкой Link (аналитик В.Н. Филиппов). Зерно 64-1 – включение в амфиболе, 64-10 и 64g-3-1 – включения в гранате, 64-26 – включение в гранате (64-25 в табл. 1), и само содержит включение амфибола (64-27 в табл. 3).

Составы амфиболов (мас. %)

Окислы	64-3	64-5-1	64-5-2	64-16-1	64-27
		центр	край		
SiO <sub>2</sub>	44,08	43,63	44,18	44,25	44,08
TiO <sub>2</sub>	0,42	0,57	0,57	0,35	0,57
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,97	14,07	16,80	12,21	18,67
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	0,38	0,08	0,06	1,71
FeO'	8,65	8,47	8,27	11,11	6,65
MnO	0,15	0,08	0,08	0,21	0,24
MgO	17,62	16,24	15,95	15,58	11,94
CaO	11,17	11,37	11,22	11,27	11,56
Na <sub>2</sub> O	2,53	2,22	2,12	2,26	2,10
Сумма	96,7	97,03	99,27	97,29	97,53

Примечание. Анализы выполнены в ИГТ УрО РАН на микроанализаторе JXA-5 (аналитик В.А. Вилисов). Зерно 64-27 – включение в пироксене(64-26 в табл. 2), который сам является включением в гранате (64-25 в табл. 1).

несколько повышенным содержанием глаукофанового минала (Hst<sub>32-38</sub> Tch<sub>43-50</sub> Gl<sub>15-19</sub>). Содержание Na в позиции M4 изменяется от 0,24 до 0,31 ф.е. Вместе с тем, края зерен, при той же железистости, отличаются более высоким содержанием Na в позиции M4 – 0,36 ф.е., и некоторым изменением минальных соотношений (Hst<sub>20</sub> Tch<sub>58</sub> Gl<sub>22</sub>). По двум последним характеристикам краевые части амфиболов схожи с роговыми обманками из амфибол-цоизит/клиноцоизитовых симплектитов, выполняющих коронарные структуры вокруг граната. В них минальный состав амфиболов (Hst<sub>0-22</sub> Tch<sub>57-69</sub> Gl<sub>21-31</sub>) характеризуется меньшим количеством гастингсита и возросшим содержанием глаукофана. При этом здесь отмечается увеличение железистости (F<sub>общ</sub> – 32–37 ат.%). В цоизите и клиноцоизите избыток кальция составляет 0,49 ф.е., а содержание пистацита равно 0,8 ат.%.

Оценки температур для этих пород, полученные при помощи амфибол-гранатовой диаграммы фазового соответствия [Перчук, Рябчиков, 1976], распределились в интервале 800–920°C. Барометрические показатели парагенезиса гранат-клинопироксен [Ellis, Green, 1979]

дают большой разброс значений, иногда превышающих 20 кбар. Вместе с тем, термобарометрия амфиболов [Мишкин, 1990] показывает различные характеристики для роговых обманок из симплектитов (P = 13–18 кбар, при T = 800–870°C) и самостоятельных зерен (P = 11–13 кбар, при T = 750–860°C).

Обнаружение гранатсодержащих пород среди шпинелевых лерцолитов является дополнительным звеном в реконструкции условий эволюции мантийного вещества южноуральских лерцолитовых комплексов. Сходство составов граната из этих пород с минералами базитов массива Ронда [Obata, 1980], а также предварительные данные термобарометрии позволяют сопоставить обстановку их образования с условиями ариезитовой субфации [О'Нага, 1967], как наиболее глубинной части шпинелевой фации, что несомненно сближает гипербазиты Кракинской группы с формацией орогенных лерцолитов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 01-05-65184, 00-15-98517), ФЦП «Интеграция» и УрО РАН (научные проекты молодых ученых).*

## Список литературы

Денисова Е.А. Внутренняя структура Миндякского ультраосновного массива (Южный Урал) // Доклады АН СССР, 1984. Т. 247. № 2. С. 382–387.

Добрецов И.Л., Тениссен К., Смирнова Л.В. Структурная геодинамическая эволюция алмазосодержащих метаморфических пород Кокчетавского массива (Казахстан) // Геология и геофизика, 1998. Т. 39. № 12. С. 1645–1666.

Клочихин А.В., Буряченко А.В. Гипербазитовые массивы Крака на Южном Урале // Магматические формации, метаморфизм, металлогения Урала: Труды II Уральского петрографического совещания. Т. 2. Ультрабазиты. Свердловск: УФАН СССР, 1969. С. 48–55.

Кориковский С.П. Реакционные клинопироксен-плаггиоклазовые и амфибол-плаггиоклазовые симплектиты в коровых эклогитах как индикаторы РТ-трендов метаморфизма стадии эксгумации // Проблемы петрологии магматических и метаморфических пород. Новосибирск: Наука, 1998. С. 18.

Кузнецов И.Е., Ковальский А.М. Особенности сосюритизации плаггиоклаза в меланократовых гранатовых амфиболитах массива Южный Крака // Минералогия Урала: Материалы III регионального совещания. Т. 1. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. С. 162–165.

Мишкин М.А. Амфиболовый геотермометр для метабазитов // Доклады АН СССР. 1990. Т. 312. № 4. С. 944–946.

Москалева С.В., Орлова М.Т. О генезисе гранатовых пироксенитов массива Крака // Геология и полезные ископаемые Урала: Труды ВСЕГЕИ. Новая серия, вып. 28. Л., 1960. С. 143–147.

Перчук Л.Л., Рябчиков И.Д. Фазовое соответствие в минеральных системах. М.: Недра, 1976. 288 с.

Пучков В.Н., Иванов К.С. Гранатовые пироксениты массивов Крака // Метаморфические комплексы Урала: Тез. докл. школы-семинара молодых специалистов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1982. С. 27–29.

Пушкарев Е.В., Гуляева Т.Я. Высокобарические гранатовые гипербазиты Миндякского массива на Южном Урале // Ежегодник-1994 ИГиГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1995. С. 82–85.

Чащухин И.С., Вотяков С.Л., Уймин С.Г., Быков В.Н. О природе ультрамафитов массива Крака (Южный Урал) // Ежегодник-1997 ИГиГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. С. 116–121.

Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names // The Canadian Mineralogist, 1997. V. 35. P. 219–246.

Ellis D.J., Green D.H. An experimental study of the effect of Ca upon garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria // Contribs. Mineral. And Petrol., 1979. V. 71. № 1. P. 13–22.

O'Hara M.J. Mineral paragenesis in ultrabasic rocks // Ultramafic and Related Rocks. Wyllie P.J. (ed.). New York: John Wiley & Sons, 1967. P. 393–401.

Obata M. The Ronda peridotite: garnet-, spinel-, and plagioclase-lherzolite facies and the P-T trajectories of a high-temperature mantle intrusion // Journal of Petrology, 1980. V. 21. № 3. P. 533–572.