

## ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ УЛЬТРАМАФИТОВ ОФИОЛИТОВЫХ, РАССЛОЕННЫХ И ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ КОМПЛЕКСОВ

А.И. Чернышов

Томский государственный университет

E-mail: petro@ggf.tsu.ru

*Изучены ультрамафиты трех формационных типов: из офиолитовых комплексов, расслоенных мафит-ультрамафитовых и щелочно-ультраосновных интрузий. Показаны петрографические и минералогические особенности ультрамафитов, отражающие длительную их эволюцию в процессе формирования и последующих наложенных пластических деформаций. По составу сосуществующих минералов в ультрамафитах определены геодинамические обстановки их образования.*

Ультрамафиты различной формационной принадлежности, являющиеся объектом изучения, постоянно привлекали к себе внимание многих исследователей. Однако приводимые этими авторами данные по петрографии и минералогии ультрамафитов не учитывали особенностей их деформационной микроструктуры. Поэтому в основу принятого минералого-петрографического исследования ультрамафитов положен принцип выделения их закономерностей в процессе пластического течения пород.

**Ультрамафиты офиолитовых комплексов** представлены метаморфическими и кумулятивными образованиями. Метаморфические дуниты и гарцбургиты характеризуются значительным разнообразием деформационных микроструктур оливина, отражающих степень пластических деформаций пород и объединяемых в семь последовательно образовавшихся главных типов: протогранулярный, мезогранулярный, порфирукластовый, порфиroleйстовый, мозаичный, мозаично-лейстовый и паркетовидный [1, 2]. Переход от одного типа микроструктур к другому характеризуется возрастанием роли признаков пластических деформаций: полос излома, неоднородности погасания, изменения конфигурации границ зерен оливина, степени их ориентации и увеличения роли рекристаллизованных индивидов. При анализе пространственного распределения деформационных типов микроструктур оливина в массивах от центра к периферии отмечается общая тенденция уменьшения размера зерен в породах, выявляя динамометаморфическую зональность [1–3]. В процессе пластических деформаций пород происходит изменение химического состава оливина и хромшпинелида. Направленность изменения состава минералов определяется термодинамическими условиями их метаморфогенного преобразования, которые могут фиксироваться в доминирующем механизме пластического деформирования [4]. Так, например, в оливинах из дунитов Парамского массива (северо-восточное Прибайкалье), деформированных, главным образом, трансляционным скольжением, отчетливо отмечается возрастание железистости (6,0→10,5 % Fa) с увеличением степени деформации от протогранулярного оливина к мозаично-лейстовому. При вторичной рекристаллизации от-

жига в мозаично-паркетовидных оливинах отмечается заметное уменьшение этого параметра (до 3,5 % Fa). С возрастанием степени пластических деформаций трансляционным скольжением в оливине происходит искажение кристаллической решетки и возрастает плотность дислокаций, а при рекристаллизации отмечается обратная тенденция, что связано с процессами дислокационного возврата, полигонизации и нуклеацией [5].

Вариации состава хромшпинелидов в дунитах и гарцбургитах, слабо затронутых серпентинизацией, также связываются с условиями их высокотемпературного динамометаморфизма [1, 6, 7]. Такая корреляция наиболее отчетливо прослеживается в дунитах. Так, например, для хромшпинелидов из дунитов Парамского и Шаманского массивов (северо-восточное Прибайкалье), с возрастанием деформаций отмечается увеличение содержания FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и уменьшение – MgO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [2]. Этот тренд хорошо согласуется с данными других исследователей [8] и обусловлен регрессивной направленностью метаморфических процессов, протекающих с возрастанием потенциала кислорода [9]. В дунитах Оспинского массива (юго-восток Восточного Саяна) отмечается другая тенденция [3], где интенсивное возрастание пластических деформаций приводит к увеличению в хромшпинелидах содержания MgO и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и уменьшению – FeO и Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, при минимальном содержании и вариациях Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, что, очевидно, связано с высокими температурами метаморфизма при низком потенциале кислорода.

Оливиниты и серпентин-оливиновые ультраметаморфиты, являющиеся продуктами дегидратации серпентинитов, образуются при прогрессивном метаморфизме в результате разогрева эндо-контактовых частей массивов вдоль тектонически активных зон [3, 4]. Эти породы по особенностям минерального состава близки дунитам, претерпевшими вторичную рекристаллизацию отжига. Они характеризуются наличием регенерированного оливина с низкой железистостью, в котором отсутствуют следы пластических деформаций. Хромшпинелиды в ультраметаморфитах отличаются от исходных повышенной хромистостью и пониженной железистостью. Отличительным признаком ультраметаморфитов является обильная вкрапленность тонкодисперсного магнетита.

Ультрамафиты кумулятивной серии офиолитовых комплексов представлены оливинитами и породами верлит-клинопироксеновой ассоциации. Кумулятивные ультрамафиты отличаются от метаморфогенных по составу породообразующих минералов. Оливины в них имеют повышенную железистость, а хромшпинелиды характеризуются более высокой глиноземистостью, железистостью и пониженной хромистостью. Породы верлит-клинопироксеновой ассоциации отличаются неоднородным составом клинопироксена, очевидно, отражающим условия их формирования. Эти породы также были подвержены пластическим деформациям, что фиксируется наличием в минералах неоднородного погасания, полос излома и признаков синтетектонической рекристаллизации.

По составу минералов метаморфические ультрамафиты изученных офиолитовых комплексов, относятся к предельно истощенным ультрамафитам гарцбургитового подтипа. По параметрам составов сосуществующих минералов они сформировались в палеогеодинамических обстановках, главным образом, развитых островных дуг и, реже, примитивных островных дуг [10, 11].

**Ультрамафиты расслоенных комплексов**, рассмотренных на примере мафит-ультрамафитового Йоко-Довыренского массива (северо-восточное Прибайкалье), по характеру микроструктур разделяются на две петрогенетические ассоциации – протоматматическую и метаморфогенную [2, 12]. Протоматматические породы имеют типичную кумулятивную микроструктуру с присутствием минеральных зерен двух генераций: гипидиоморфных кристаллов кумулуса и ксеноморфных зерен интеркумулуса. Вариации количественных соотношений кумулуса и интеркумулуса отражают режим фракционной кристаллизации магматического расплава. Метаморфогенные ультрамафиты имеют деформационные микроструктуры, которые являются результатом наложенных пластических деформаций, обусловленных, главным образом, синтетектонической рекристаллизацией. Среди деформационных микроструктур по особенностям проявления признаков наложенной рекристаллизации выделяются следующие главные типы: протогранулярный, мезогранулярный, порфиroleйстовый и порфирокластовый.

Состав главных породообразующих минералов в ультрамафитах этого комплекса также отражает условия их формирования. Оливины представлены хризолитом, эволюция состава которого в процессе магматической дифференциации характеризуется последовательным ростом содержаний FeO, MnO и уменьшением – MgO, NiO при постоянной концентрации CaO. Последующие пластические деформации нарушают первичные корреляционные связи, в результате чего происходит увеличение содержаний CaO, MgO, MnO и уменьшение NiO. При этом максимальные вариации характерны для содержаний CaO, которые отчетливо коррелируются со степенью пластического деформирования оливина.

лируются со степенью пластического деформирования оливина.

Хромшпинелиды в ультрамафитах обнаруживают существенные вариации химического состава и представлены широким спектром от хромпикотита с повышенной титанистостью до хроммагнетита. Их вещественная эволюция в вертикальном разрезе массива выражается в уменьшении снизу вверх роли магнохромитового и увеличении магнетитового миналов при одновременном росте титанистости, что является отражением типичного магматического тренда, обусловленного фракционной кристаллизацией системы. Хромшпинелиды в пластически деформированных ультрамафитах характеризуются нарушением первичных корреляционных связей между петрогенными компонентами. Это выражается в уменьшении концентраций TiO<sub>2</sub>, NiO при увеличении MnO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Йоко-Довыренский мафит-ультрамафитовый массив по составу сосуществующих минералов в ультрамафитах, возможно, относятся к внутриплитным образованиям, сформировавшихся на небольших глубинах и при невысоком давлении (ниже 7 кбар), которое снижалось от подошвы к кровле массива. Температура образования ультрамафитов значительно варьирует (1300...800 °C) и отражает условия, как кристаллизации магматического расплава, так и наложенных пластических деформаций.

**Ультрамафиты щелочно-ультраосновных комплексов** отличаются друг от друга по своим структурно-минералогическим особенностям.

В ультрамафитах Гулинского массива (северо-запад Сибирской платформы) установлены как протоматматические, так и деформационные микроструктуры оливина, последние из которых объединены в три типа: протогранулярный, порфирокластовый и мозаичный [4]. Деформационные микроструктуры оливина в дунитах Гулинского массива близки микроструктурам в метаморфических ультрамафитах из офиолитовых комплексов. Оливин в дунитах массива по вещественному составу соответствует хризолиту с повышенной кальциевоствью. Вариации его состава обнаруживают связь с эволюцией микроструктуры. В ряду микроструктур от протоматматических к протогранулярным, отражающем процесс отжиговой рекристаллизации, наблюдается уменьшение железистости. В мозаичном оливине, образовавшимся по протогранулярному в результате пластической деформации, отмечается обратная тенденция данного параметра. Хромшпинелид в изученных дунитах обнаруживает значительные вариации химического состава, которые согласуются с изменением состава оливина. Для наиболее магнезиального протогранулярного оливина характерен парагенезис с хроммагнетитом, для более железистого протоматматического и мозаичного оливина – с титаноммагнетитом. Клинопироксены в породах Гулинского массива по вещественному составу существенно отличаются от клинопироксенов в других изучае-

мых комплексах более высоким содержанием  $TiO_2$ ,  $FeO$ ,  $Na_2O$  и пониженным –  $Cr_2O_3$ ,  $CaO$ .

По составу сосуществующих минералов ультрамафиты Гулинского массива относятся к внутриплитным образованиям, сформировавшихся на небольших глубинах, при высоких температурах (1500...1000 °С) и низком давлении.

Ультрамафиты Инаглинского массива (Алданский щит) представлены метаморфогенными дунитами. Они отличаются от ультрамафитов Гулинского массива большим разнообразием деформационных микроструктур и отсутствием магматогенных. Установленные микроструктуры подразделяются на пластически деформированные: протогранулярный, пегматоидно-порфирокластовый, мезогранулярный, порфирокластовый, мозаичный типы, – и образовавшиеся в результате вторичной рекристаллизации отжига: пегматоидный, лейстовый, мозаично-лейстовый и идиобластовый типы [2, 4].

Микроструктурная анизотропия дунитов, обусловленная пластическими деформациями и рекристаллизацией отжига, находит отражение в вариациях химизма породообразующих минералов. С возрастанием деформации от протогранулярного типа к мозаичному наблюдается увеличение железистости и кальциевости оливина, а в хромшпинелидах – накопление  $\Sigma FeO$ ,  $MnO$ ,  $TiO_2$  и обеднение по  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ . Высокотемпературная рекристаллизация отжига, проявившаяся на консолидационном этапе с образованием идиобластового и пегматоидного типов дунитов, способствовала понижению железистости и кальциевости оливина, а также увеличению  $Cr_2O_3$ ,  $Al_2O_3$  и уменьшению  $\Sigma FeO$ ,  $TiO_2$  в хромшпинелидах. Относительно низкотемпературная постконсолидационная рекристаллизация отжига существенно не изменяет состав исходных пластически деформированных оливинов и хромшпинелидов.

Установленная неоднородность вещественного состава в сосуществующих хромшпинелидах и оливинах, очевидно, отражает отсутствие между ними твердофазового равновесия, что является следствием незавершенности метаморфических реакций обмена между минеральными фазами. Полученные температурные равновесия для хромшпинелидов и оливинов в Инаглинском массиве свидетельствуют о их метаморфогенных преобразованиях при температурах 1000...800 °С.

Клинопироксены из метасоматических верлитов и клинопироксенитов по составу оказываются очень близкими к метасоматическим клинопироксенам из пород верлит-клинопироксенитовой ассоциации офиолитовых комплексов, от которых отличаются повышенным содержанием  $TiO_2$ ,  $Na_2O$ , пониженным –  $Al_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $MnO$ . Состав клинопироксенов указывает на их формирование в условиях невысокого давления при повышенном потенциале натрия. С возрастанием дифференциальных напряжений, они также как и клинопироксены из офиолитовых комплексов, претерпели пластические деформации.

#### Выводы

Петрографо-минералогические исследования свидетельствуют, что ультрамафиты, изначально являющиеся гетерогенными образованиями, в процессе многоэтапной мантийно-коровой эволюции претерпели значительные структурно-вещественные преобразования. Эти метаморфогенные изменения обусловлены, главным образом, высокотемпературными пластическими деформациями и находят отражение в близкой иерархической последовательности микроструктурных изменений пород, а также в вариациях вещественного состава главных породообразующих минералов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко А.И. Петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 398 с.
2. Чернышов А.И., Гончаренко А.И., Гертнер И.Ф., Бетхер О.В. Петроструктурная эволюция ультрамафитов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1997. – 160 с.
3. Гончаренко А.И., Чернышов А.И. Деформационная структура и петрология нефритоносных гипербазитов. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1990. – 200 с.
4. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). – Томск: Чародей, 2001. – 214 с.
5. Чернышов А.И. Петроструктурная эволюция оливинов в ультрамафитах Парамского и Шаманского массивов (Байкало-Муйский офиолитовый пояс) // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 11. – С. 1121–1132.
6. Irvin T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. P. I. Theory // Canad. J. Earth. Sci. – 1965. – V. 2. – № 6. – P. 648–672.
7. Irvine T.N. Chromian spinel as a petrogenetic indicator. P. 2. Petrologic applications // Canad. J. Earth. Sci. – 1967. – V. 4. – P. 71–103.
8. Makeev A.B., Perevozchikov B.V., Afanasiev A.K. Хромитоносность Полярного Урала. – Сыктывкар: Изд-во Ин-та геологии Коми филиал АН СССР, 1985. – 153 с.
9. Малахов И.А. Петрохимия главных формационных типов ультрабазитов. – М.: Наука, 1983. – 207 с.
10. Паланджан С.А. Типизация мантийных перидотитов по геодинамическим обстановкам формирования. – Магадан: СВКНИИ ДО РАН, 1992. – 104 с.
11. Ступаков С.И., Симонов В.А. Особенности минералогии ультрабазитов – критерий палеогеодинамических условий формирования офиолитов Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. – 1997. – Т. 38. – № 6. – С. 746–755.
12. Гертнер И.Ф. Петрология Июко-Довыренского расслоенного ультрамафит-мафитового плутона (Северное Прибайкалье): Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 1994. – 310 с.

Поступила 25.12.2006 г.