

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Петрология магматических и метаморфических комплексов

Выпуск 8

Материалы Всероссийской конференции
с международным участием

29 ноября – 2 декабря 2016 года

Томск 2016

Пластически деформированные гарцбургиты калнинского массива (Западный Саян)

А. И. Чернышов, А.В. Кичеева, А.Н. Юричев

Национальный исследовательский Томский государственный университет

В работе рассматривается петрографическая и петроструктурная характеристика гарцбургитов Калнинского хромитоносного массива. Результаты исследований позволили установить петроструктурные особенности пластически деформированных гарцбургитов и предпочтительные ориентировки кристаллооптических осей оливина и энстатита. Их анализ позволил выявить термодинамические условия пластического деформирования гарцбургитов.

Гарцбургиты Калнинского массива на уровне верхней мантии претерпели пластические деформации трансляционным скольжением в оливине при высокой температуре и низкой скорости. В земной коре пластические деформации осуществлялись преимущественно синтетектонической рекристаллизацией в условиях снижения температур и возрастающей скорости.

Ключевые слова: ультрамафиты, гарцбургиты, петрография, петроструктура.

The paper deals with petrographic and petrostructural characteristic of chromite-bearing harzburgite Kalninsky massif. The research results have established petrostructural particularly plastically deformed harzburgite and preferred orientation of the crystal optical axes of olivine and enstatite. Their analysis revealed the thermodynamic conditions of plastic deformation harzburgites.

Harzburgites of the Kalninsky massif at the upper mantle has undergone plastic deformation translational slide in olivine at high temperature and low speed. The Earth's crust plastic deformation occurs mainly sintectonic recrystallization in conditions of decrease temperatures and growing speed.

Key-words: ultramafites, harzburgite, petrography, petrofabric.

Введение. Настоящее исследование направлено на характеристику петроструктурных особенностей гарцбургитов Калнинского хромитоносного массива, являющегося фрагментом нижней части Куртушибинского офиолитового покрова, выделенного в северо-западной части Западного Саяна (Петрология..., 1977). Он представлен реститовым образованием дунит-гарцбургитового комплекса и с ним связано хромитовое оруденение, приуроченное к линейным участкам интенсивного реститования мантийного субстрата и обусловленное метаморфической сегрегацией хромшпинелидов в рудные линейно-полосчатые тела в процессе высокотемпературного пластического течения.

Петрографические особенности. Исследуемые гарцбургиты имеют свежий облик. Структура среднезернистая, мезогранулярная с признаками порфиорокластеза. Текстура однородная. Количественно-минералогический состав: оливин ~ 85%, энстатит ~ 15%. Отмечаются хромшпинелиды, лизардит, тальк и тремолит.

Порода сложена преимущественно зернами оливина со средними размерами 2-5 мм, наряду с которыми встречаются более мелкие и более крупные индивиды до 10 мм. Они имеют обычно субизометричную форму с плавными извилистыми границами. Мелкие и средние зерна оливина часто интенсивно пластически деформированы, для них характерно резко выраженное волнистое и субблоковое погасание, многочисленные полосы пластического излома. По границам деформированных зерен и в их внутренних частях отмечаются зонки синтетектонической рекристаллизации с образованием мелкозернистых мозаичных агрегатов, в

зернах которого сохраняются признаки пластических деформаций. Наиболее крупные зерна обладают однородным погасанием, либо слабо деформированы и имеют неоднородное субблоковое погасание. Иногда они дезинтегрированы на отдельные субблоки. В зернах оливина в незначительной степени развиты жилки петьлячатого лизардита.

Зерна энстатита имеют ксеноморфную форму по отношению к оливину. Их размер составляет до 3 мм. В отличие от оливина они деформированы в меньшей степени, наблюдается слабо выраженное волнистое погасание. Зерна в незначительной степени подвержены вторичным изменениям, выраженным в развитии по ним тремолита и талька.

Хромшпинелиды встречаются в виде единичных зерен и небольших скоплений. Их размер 0,5-1 мм. Они имеют эвгедральную форму и окрашены в красно-бурый цвет.

Петроструктура гарцбургита

Оливин. Устанавливаются два плоскостных структурных элемента: плоскость полосчатости (S_1) (азимут простирания 315° , угол падения 80° ЮЗ), обусловленная струйчатым распределением энстатита, и плоскость пластического кливажа (S_2) (азимут простирания 350° , угол падения 75° СВ), выявленная микроструктурным анализом. Петроструктурные исследования выполнены как для мелких и средних исходных пластически деформированных зерен оливина (Ол-1), так и для крупных (Ол-2), разделенных условно по размерам.

Для мелких и средних пластически деформированных зерен оливина устанавливаются строгие предпочтительные узоры оптических ориентировок осей Ng, Nm и

№ (рис., Ол-1). Оси Ng концентрируются в субгоризонтальный максимум высокой плотностью (8%), имеющий ССЗ направление, который лежит в плоскости полосчатости (S_1). Этот максимум Ng имеет отчетливую тенденцию к растягиванию в пояс в плоскости пластического кливажа. В поясе наблюдается локальный субвертикальный максимум (6%). Оси № концентрируются в пояс, нормальный субгоризонтальному максимуму Ng. В поясе четко проявляются два субгоризонтальных максимума (6% и 8%), один из них ориентирован перпендикулярно плоскости полосчатости, а другой – плоскости пластического кливажа, которые, очевидно, отражают два этапа пластических деформаций оливина. Оси Nm образуют субизометричное поле концентрации, в котором выявляются локальные максимумы, при этом один из них с наибольшей плотностью (6%) располагается нормально к плоскости полосчатости и пространственно совмещается с максимумом осей №.

Крупные слабо деформированные и недеформированные зерна оливина обнаруживают петроструктурные узоры, близкие более мелким деформированным зернам. Очевидно, большая часть наиболее крупных зерен унаследуют ориентировки мелких и средних индивидов. Однако максимумы кристаллооптических осей крупных зерен обнаруживают угловые расстояния с аналогичными максимумами мелких и средних зерен и, в отличие от последних, тесно связаны с плоскостью пластического кливажа (S_2). Крупные зерна отличаются наличием строгих предпочтительных петроструктурных узоров всех трех кристаллооптических осей Ng, Nm и № (рис., Ол-2), которые обнаруживают тесную связь с плоскостью пластического кливажа (S_2). Оси Ng локализируются в горизонтальный максимум значительной плотности (8%), отражающий их преимущественную ориентировку в направлении СЗ-ЮВ, который составляет с максимумом Ng деформированных зерен угол 35° . Максимум Ng крупных зерен располагается в плоскости пластического кливажа (S_2) и обнаруживает тенденция к растягиванию в пояс. Оси № концентрируются в вертикальный пояс, нормально горизонтальному максимуму осей Ng. В поясе четко выделяется один максимум с высокой плотностью (10%), ориентированный перпендикулярно плоскости пластического кливажа. Оси Nm образуют более сложный петроструктурный узор. В плоскости пластического кливажа наблюдается субвертикальный максимум осей Nm (6%), который находится в ортогональном положении относительно максимумов осей Ng и №. Часть осей Nm образуют горизонтальный и субгоризонтальный максимумы (4%, 6%), которые располагаются под острым углом и симметрично к плоскости пластического кливажа, при этом один из них лежит в плоскости полосчатости, а другой ориентирован нормально к ней.

Энстатит. Петроструктурные узоры осей Ng, Nm и № энстатита обнаруживают сходство с узорами аналогичных осей мелких и средних деформированных зерен оливина и тесно связаны с плоскостью полосчатости (S_1) (рис., Эн). Оси Ng концентрируются в пояс

в плоскости полосчатости. В нем отчетливо проявляется субгоризонтальный максимум высокой плотности (10%), пространственно совпадающий с максимумом осей Ng деформированных зерен оливина. В поясе также наблюдается локальный субвертикальный максимум (4%). Оси № образуют пояс концентрации нормально максимуму Ng, в котором отчетливо выражен горизонтальный максимум, ориентированный перпендикулярно плоскости полосчатости и пространственно совмещенный с максимумом осей № мелких зерен оливина. Отмечается тенденция к растягиванию максимума осей № в горизонтальный пояс. Также наблюдается локальный максимум слабой концентрации (2%), совмещенный с максимумом осей Ng. Оси Nm образуют сложный узор, представляющий комбинацию двух поясов, которые располагаются нормально к горизонтальному и субвертикальному максимумам осей Ng. В поясах отмечаются локальные максимумы невысокой плотности, один из них совмещен с максимумом осей №, перпендикулярным плоскости пластического кливажа, другой совпадает с субвертикальным максимумом осей Ng.

Обсуждение результатов петроструктурного анализа

Оливин. Петроструктурные узоры оливина в исследуемых гарцбургитах имеют близкий характер распределения кристаллооптических осей Ng, Nm и №. Их анализ позволяет установить две стадии пластических деформаций.

Первую стадию воссоздают петроструктурные узоры пластически деформированного оливина, которые характеризуются наличием горизонтального максимума осей Ng и вертикальным поясом осей Nm и №. При этом максимум осей Ng отражает преимущественную их ориентировку в северо-западном направлении согласно полосчатой внутренней структуре массива (S_1). Образование такого петроструктурного узора оливина, вероятно, осуществлялось высокотемпературным внутрикристаллическим трансляционным скольжением по системам $(010)[100]$ и $\{0kl\}[100]$ в динамически активной зоне, в зоне перехода верхней мантии и корневых частей земной коры. На этой стадии пластическое течение гарцбургитов осуществлялось согласно полосчатости дунит-гарцбургитового субстрата северо-западного простирания, которое фиксируется максимумом осей Ng, отражающим направление растяжения. При этом направление сжатия отражает максимум осей №. **Такой петроструктурный узор свидетельствует о том, что пластическое течение** протекало в условиях осевых деформаций в режиме снижения температур (от 900°C), умеренной и высокой скорости (10^{-5} – 10^{-2} с $^{-1}$) и низкого всестороннего давления (≈ 5 кбар). Пластические деформации на этом этапе носили неоднородный характер и осуществлялись, преимущественно трансляционным скольжением и синтетектонической рекристаллизацией. В результате зерна оливина в гарцбургитах приобретают характерное неоднородное волнистое погасание, характеризуются наличием многочисленных полос излома и подвергаются порфирокластезу.

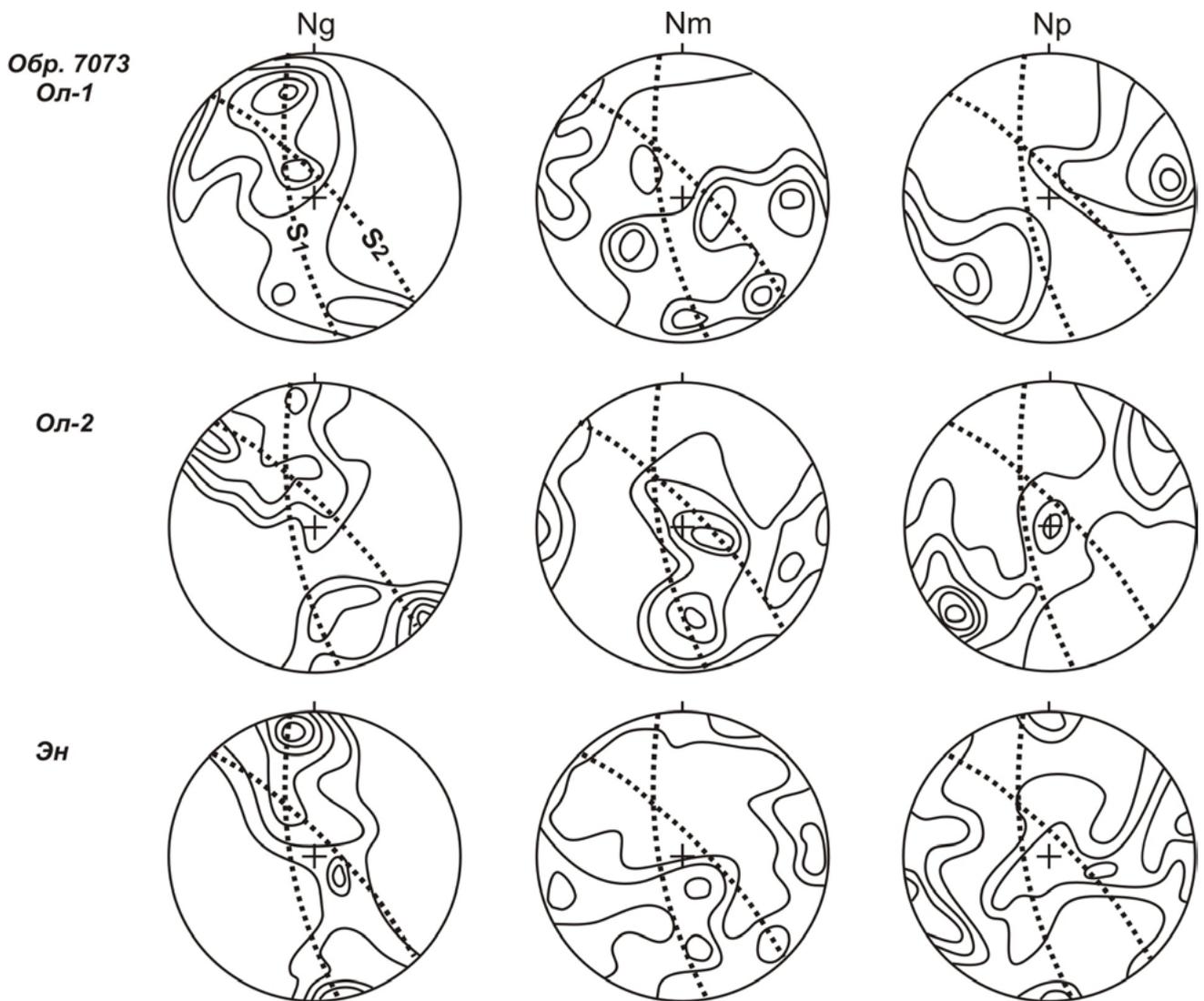


Рисунок. Диаграммы ориентировки кристаллооптических осей оливина (Ол) и энстатита (Эн) в гарцбургитах Калнинского массива. Диаграммы построены по 100 замерам кристаллооптических осей минералов. Изолинии: 1-2-4-6-8-10 % на 1 % сетки Шмидта. Проекция на верхнюю полусферу. Точечные линии – плоскости пластического течения (S1 – полосчатость, S2 – кливаж).

Вторую стадию отражают петроструктурные узоры крупных порфиробластовых слабо деформированных зерен оливина. Отсутствие признаков пластических деформаций в крупных зернах оливина показывает, что этот этап носил прогрессивный характер и осуществлялся при повышении температур. При этом пластические деформации сменяются вторичной рекристаллизацией отжига, которая осуществлялась в условиях незначительно меняющегося поля напряжения (S_2), на что указывают угловые расстояния между максимумами осей Ng, а также плоскостями S_1 и S_2 . Этот процесс протекал при постепенно уменьшающейся внутрикристаллической энергии зерен оливина. При этом сохранялась высокая межзерновая свободная энергия, способствующая разрастанию свободных от дислокаций зерен за счет поглощения неблагоприятно ориентированных и насыщенных дислокациями деформированных индивидов посредством перемещения границ (Николя, 1992). В результате формируются

гарцбургиты с плавными границами зерен оливина, часто сходящимися под углом 120° . Новообразованный оливин отличается отсутствием признаков пластических деформаций и имеет однородное погасание.

Энстатит. В гарцбургитах оказывается менее подвержен пластическим деформациям. Установленные петроструктурные узоры оптических ориентировок энстатита имеют близкий характер распределения кристаллооптическим осям пластически деформированного оливина. Оптические ориентировки оливина и энстатита тесно связаны между собой и, несомненно, являются сингенетичными. На их сингенетичность в гарцбургитах офиолитовых комплексов неоднократно обращалось внимание многих исследователей (Чернышов, 2001).

В метаморфических перидотитах, деформация энстатита осуществляется, главным образом, трансляционным скольжением по высокотемпературной системе $(100)[100]$ при температурах $800-1300^\circ\text{C}$, Р

до 10 кбар и $\epsilon=10^{-4}-10^{-7}\text{с}^{-1}$, что соответствует трансляционному скольжению в оливине по (010)[100]. При этом оси Ng энстатита образуют максимум концентрации, ориентированный параллельно оси растяжения, который, обычно, пространственно совмещен с максимумом Ng оливина. Эти максимумы отражают преимущественное направление трансляции в минералах, контролируемое пластическим течением (S_1). Оси Nm в результате трансляции формируют максимум, который располагается перпендикулярно к плоскости полосчатости (S_1), и ориентируются параллельно оси сжатия, при этом максимум Nm энстатита пространственно совмещается с максимумом Nr оливина. Пластические деформации энстатита в участках повышенных скоростей приводят к образованию удлиненных зерен и появлению неоднородного, волнистого погасания и полос пластического излома. Отмечаемое усложнение оптических ориен-

тировок зерен энстатита обусловлено синтетонической рекристаллизацией. При этом часть осей Nr деформированного энстатита образуют максимум, пространственно совмещенный с максимумом осей Nr оливина, отражающим направление сжатия.

Литература

1. Никола А. Основы деформации горных пород. М.: Мир, 1992. 168 с.
2. Петрология и метаморфизм древних офиолитов на примере Полярного Урала и Западного Саяна: науч. изд. / Н. Л. Добрецов, Ю. Е. Молдаванцев, А. П. Казак, Л. Г. Пономарева, Г. Н. Савельева, А. А. Савельев. Новосибирск: Наука, 1977. 223 с.
3. Чернышов А.И. Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). Томск: Чародей, 2001. 216 с.