ISSN 1561-7793

Вестник
Томского государственного университета

№ 328 **Ноябрь** **2009**

- ФИЛОЛОГИЯ
- ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ, ПОЛИТОЛОГИЯ
- ИСТОРИЯ
- ПРАВО
- ЭКОНОМИКА
- ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА
- БИОЛОГИЯ
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Томский государственный университет
2009

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ
ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Майер Г.В., д-р физ.-мат. наук, проф. (председатель); **Дунаевский Г.Е.**, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя); **Ревушкин А.С.**, д-р биол. наук, проф. (зам. председателя); **Катунин Д.А.**, канд. филол. наук, доц. (отв. секретарь); **Аванесов С.С.**, д-р филос. наук, проф.; **Берцун В.Н.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Гага В.А.**, д-р экон. наук, проф.; **Галажинский Э.В.**, д-р психол. наук, проф.; **Глазунов А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Голиков В.И.**, канд. ист. наук, доц.; **Горцев А.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Гураль С.К.**, канд. филол. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Демин В.В.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Ершов Ю.М.**, канд. филол. наук, доц.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кривова Н.А.**, д-р биол. наук, проф.; **Кузнецов В.М.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначев В.П.**, д-р геол.-минер. наук, проф.; **Петров Ю.В.**, д-р филос. наук, проф.; **Портнова Т.С.**, канд. физ.-мат. наук, доц., директор Издательства НТЛ; **Потекаев А.И.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Савицкий В.К.**, зав. редакционно-издательским отделом ТГУ; **Сахарова З.Е.**, канд. экон. наук, доц.; **Слижов Ю.Г.**, канд. хим. наук., доц.; **Сумарокова В.С.**, директор Издательства ТГУ; **Сущенко С.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Тарасенко Ф.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Татьянин Г.М.**, канд. геол.-минер. наук, доц.; **Унгер Ф.Г.**, д-р хим. наук, проф.; **Уткин В.А.**, д-р юрид. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.; **Шрагер Э.Р.**, д-р техн. наук, проф.

НАУЧНАЯ РЕДАКЦИЯ ВЫПУСКА

Аванесов С.С., д-р филос. наук, проф.; **Галажинский Э.В.**, д-р психол. наук, проф.; **Гураль С.К.**, канд. филол. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначев В.П.**, д-р геол.-минер. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.

Журнал «Вестник Томского государственного университета»
включен в Перечень ведущих научных журналов и изданий,
выпускаемых в Российской Федерации,
в которых должны быть опубликованы
основные научные результаты диссертаций
на соискание ученой степени доктора и кандидата наук:
*по философии, социологии
и культурологии;
*по истории;
*по праву;
*по экономике;
*по биологическим наукам;
*по политологии;
*по педагогике и психологии;
*по филологии и искусствоведению;
на соискание ученой степени кандидата наук:
по наукам о Земле.
(Сайт Высшей аттестационной комиссии:
http://vak.ed.gov.ru/ru/help_desk/)

УДК 552.321.6:552.164

А.С. Кульков, А.И. Чернышов, С.Н. Кульков

ПЛАСТИЧЕСКИ ДЕФОРМИРОВАННЫЕ ДУНИТЫ ТАРЛАШКИНСКОГО МАССИВА (Ю-В ТУВА)

Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ-09-05-99036-р_офи.

Дуниты Тарлашкинского массива (Ю-В Тува) претерпели интенсивные пластические деформации с образованием следующих петроструктурных типов: протогранулярный, порфирокластовый, порфиролейстовый, мозаичный. Их последовательность отражает возрастание пластического деформирования пород, что находит отражение в увеличении удельной поверхности и степени ориентации зерен оливина. Полученные результаты свидетельствуют, что пластические деформации осуществлялись преимущественно синтектонической рекристаллизацией, в процессе которой происходило уничтожение исходных зерен и возрастание роли мелких новообразованных.

Ключевые слова: ультрамафиты; дуниты; пластические деформации; петроструктурный и ренгеноструктурный анализы.

Ультрамафиты юго-восточной Тувы неоднократно являлись объектом изучения многих исследователей [1, 2 и др.]. Однако приводимые этими авторами данные по петрографии и минералогии ультраосновных пород обычно не учитывали особенностей их деформационной структуры, за исключением А.И. Гончаренко. В основу предлагаемого петроструктурного и рентгеноструктурного исследований дунитов Тарлашкинского массива положены принцип выделения закономерного изменения микроструктур на разных микроскопических уровнях в процессе их пластического деформирования и их количественная оценка.

Породы, слагающие Тарлашкинский массив (рис. 1), относятся к дунит-гарцбургитовой ассоциации ультрамафитов как составной части офиолитовых комплексов [2, 3]. В Тарлашкинском массиве выделяются два генетических типа ультрамафитов – метаморфический и метасоматический. К метаморфическим ультрамафитам относятся дуниты и гарцбургиты, претерпевшие интенсивные преобразования в результате их пластического деформирования. Метасоматические ультрамафиты представлены, главным образом, оливин-тальковыми породами.

Петрография. Породы дунит-гарцбургитовой ассоциации офиолитовых комплексов постоянно обнаруживают признаки пластического течения и отличаются очень большим разнообразием деформационных микроструктур [2, 4, 5 и др.]. В основу типизации и систематики таких микроструктур «положены морфологические особенности оливина как наиболее ярко выраженного индикатора степени деформации пород» [2. С. 103].

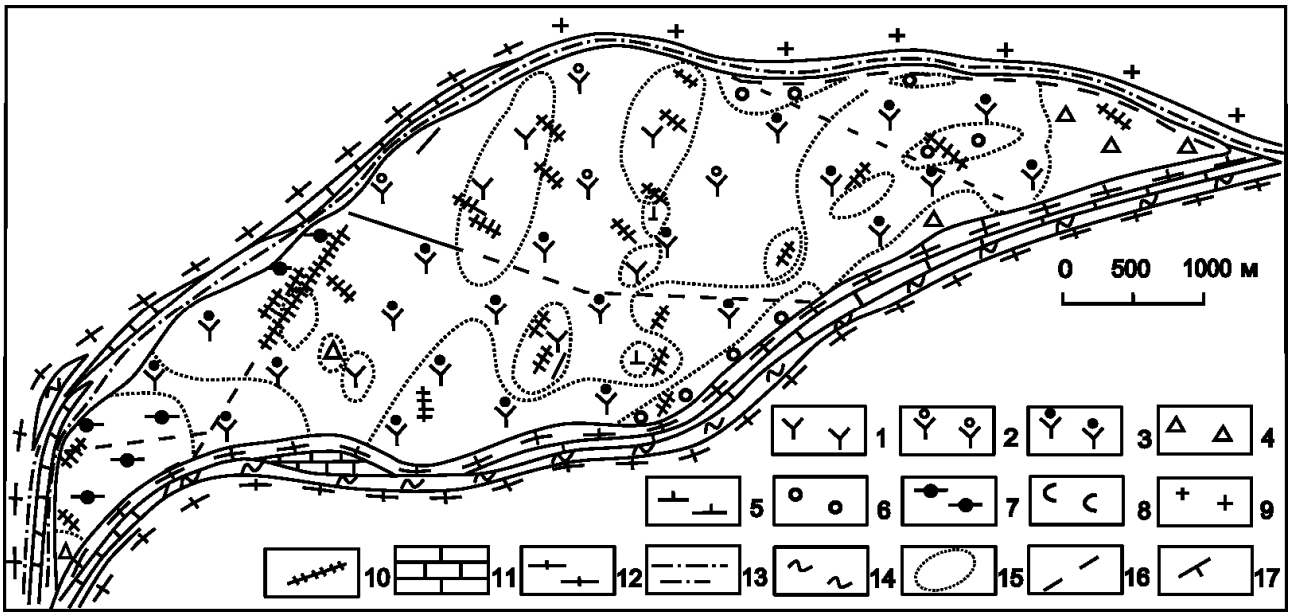

Рис. 1. Схема геологического строения Тарлашкинского гипербазитового массива (составлена А.И. Гончаренко [2]):
1–6 – петроструктурные типы дунитов (*1* – протогранулярный; *2* – порфирокластовый; *3* – порфиролейстовый; *4* – мозаичный; *5* – псевдоспинифекс; *6* – метасоматический); *7* – гарцбургиты; *8* – серпентиниты; *9* – граниты; *10* – дайки диабазов; *11* – мраморы; *12* – гнейсы; *13* – кристаллические сланцы; *14* – метадиабазы; *15* – границы предполагаемые; *16* – разрывные нарушения; *17* – элементы слоистости

Среди метаморфических дунитов Тарлашкинского массива по микроструктурным особенностям выделяются следующие типы: протогранулярный, порфирокластовый, порфиролейстовый, мозаичный, которые отражают последовательное увеличение степени деформации пород и являются объектом нашего исследования.

Протогранулярный тип микроструктуры оливина обычно пользуется ограниченным распространением в массиве и устанавливается, преимущественно, в его

центральной части. Этот тип дунита сложен, преимущественно, крупными индивидами при подчиненной роли мелких рекристаллизованных зерен и незначительного количества зерен акцессорного хромшпинелида (табл. 1). Крупные зерна оливина в этом типе отличаются максимальными размерами (до 13 мм). Они имеют субизометричную либо слабо удлиненную форму с округлыми границами, часто сходящимися в тройных точках под углом 120°, что является показателем равновесности этой структуры и её формирования в твердом субстрате [6]. Этот тип обладает наименьшей удельной поверхностью зерен оливина, а также минимальной степенью ориентации минеральных индивидов (табл. 2). Протогранулярный оливин обычно имеет почти однородное либо слабоволнистое погасание и отличается незначительным проявлением пластических деформаций в виде единичных полос пластического излома, возникающих при трансляционном скольжении. Агрегаты мелких зерен оливина приурочены к зонам синтектонической рекристаллизации. Их размер варьирует от 0,4 до 1,2 мм.

Таблица 1

Соотношение крупных (порфирокластовых), мелких (рекристаллизованных) зёрен оливина и хромшпинелида в дунитах, %

№ Обр	Петроструктурные типы оливина	Крупные зёрна оливина	Мелкие зёрна оливина	Зёрна хромшпинелида
Тр-37	Протогранулярный	73,60	21,60	4,80
Тр-49	Порфирокластовый	40,25	56,00	3,75
Тр-53		48,40	48,60	3,00
Тр-7	Порфиролейстовый	33,75	65,00	1,25
Тр-13	Мозаичный	–	94,40	5,60

Таблица 2

Удельная протяженность границ зёрен оливина (∑S) и их степень ориентации (α ор. %) в дунитах

№ Обр.	Петроструктурные типы оливина	Размерность зерен оливина	∑Sиз., см/см^2	∑Sлин., см/см^2	∑S, см/см^2	α, %
Тр-37	Протогранулярный	крупные	4,7	0,7	6,7	10,4
		мелкие	227,0	8,5	235,5	3,6
Тр-49	Порфирокластовый	крупные	9,6	1,5	11,1	13,5
		мелкие	111,9	3,7	115,6	3,2
Тр-53		крупные	5,8	3,2	9,0	35,5
		мелкие	173,5	18,4	191,9	9,6
Тр-7	Порфиролейстовый	крупные	21,0	3,8	24,8	15,3
		мелкие	94,5	6,0	100,5	6,0
Тр-13	Мозаичный	мелкие	180,1	12,8	192,9	6,6

Примечание. Удельная протяженность границ зерен оливина: ∑S – общая; ∑Sиз. – изометричных зерен; ∑Sлин. – линейно ориентированных зерен.

Порфирокластовый тип микроструктуры оливина пользуется наибольшим распространением в Тарлашкинском массиве. Этот тип дунита сложен примерно равными количествами крупных порфирокластых зерен оливина и рекристаллизованных мелких индивидов с содержанием хромшпинелидов до 4% (табл. 1). Формирование микроструктуры этого типа связано с интенсивной синтектонической рекристаллизацией зерен оливина протогранулярного типа. В результате крупные пластически деформированные порфирокласты (3–4 мм и более) оказываются среди мелкого мозаичного агрегата (0,5–0,9 мм). Для них характерна субизометричная либо линзовидная форма, отмечается их предпочтительная ориентировка. В крупных зернах оливина наблюдаются две системы спайности. Погасание у крупных порфирокластовых зерен оливинов обычно неоднородное облачное, волнистое. Этот тип находит отражение в уменьшении размеров порфирокластовых зёрен оливина, что отражается в увеличении их удельной протяженности и существенном возрастании степени их ориентации (табл. 2). При этом удельная протяженность границ мелких рекристаллизованых зерен очень высокая, а степень их ориентации существенно ниже, чем у крупных, либо практически отсутствует.

Порфиролейстовый тип. Оливины этого типа также пользуются значительным распространением, они обрамляют породы с порфирокластовой структурой и тяготеют к периферическим частям массива (рис. 1). Они, вероятно, являются продуктом более интенсивной рекристаллизации. Под микроскопом в дунитах с данным типом структуры выделяются две морфологические разновидности оливина: преобладающие крупные порфирокласты и мелкозернистый мозаичный агрегат. Порфирокласты представлены линзовидными, ленточными индивидами и имеют строгую предпочтительную ориентировку по форме. Размер для крупных зерен по длине доходит до 3,4 мм. Характерна высокая степень анизотропии, отношение длины к ширине составляет 2:1 и более. Границы порфирокласт неровные с зазубренными и рваными краями. Хорошо развита спайность. Микроструктура агрегатов оливина обнаруживает сходство с порфирокластовым типом, отличаясь более высокой удельной протяженностью зёрен и значительной степенью ориентации (табл. 2). Мелкозернистый мозаичный агрегат состоит из эллипсоидальных субизометричных либо удлиненных зерен оливина размером до 0,8 мм. Мелкие вытянутые зерна оливина ориентируются согласно удлинению крупных порфирокласт. Оливин в мозаичном агрегате обычно сохраняет следы деформации: волнистое погасание и полосы сброса. Для мозаичных зерен характерна высокая удельная протяженность границ зерен и слабая степень ориентации (табл. 2).

Мозаичный тип оливина пользуется незначительным распространением и приурочен к краевым частям массива. Дуниты с мозаичной структурой характеризуются наличием равномерно зернистого мозаичного агрегата зерен оли-

вина (табл. 1), среди которых отмечаются редкие порфирокластовые зерна оливина. Отмечается присутствие редких зерен хромшпинелидов (до 6%). Оливин имеет субизометричную, линзовидную форму. Размер зерен преимущественно менее 0,9 мм. Для него характерны неоднородное погасание и полосы сброса, ориентированные под углом к удлинению индивидов. Этот тип обладает максимальной удельной протяженностью зёрен оливина и слабой степенью ориентации (табл. 2).

Рентгеноструктурный анализ. При рентгеноструктурном анализе дунитов основное внимание уделялось определению размера кристаллитов оливина в выделенных типах деформационных структур оливина. Для этого были приготовлены образцы дунитов с разными петроструктурными типами оливина, которые помещались в дифрактометр (ДРОН) и облучались рентгеновским излучением, полученным от медного анода. Исследования проводились в интервале углов 15–115°, в результате которых были зафиксированы дифракционные максимумы и определялась их ширина. Типичный рисунок рентгенограммы оливина показан на рис. 2, *а*.

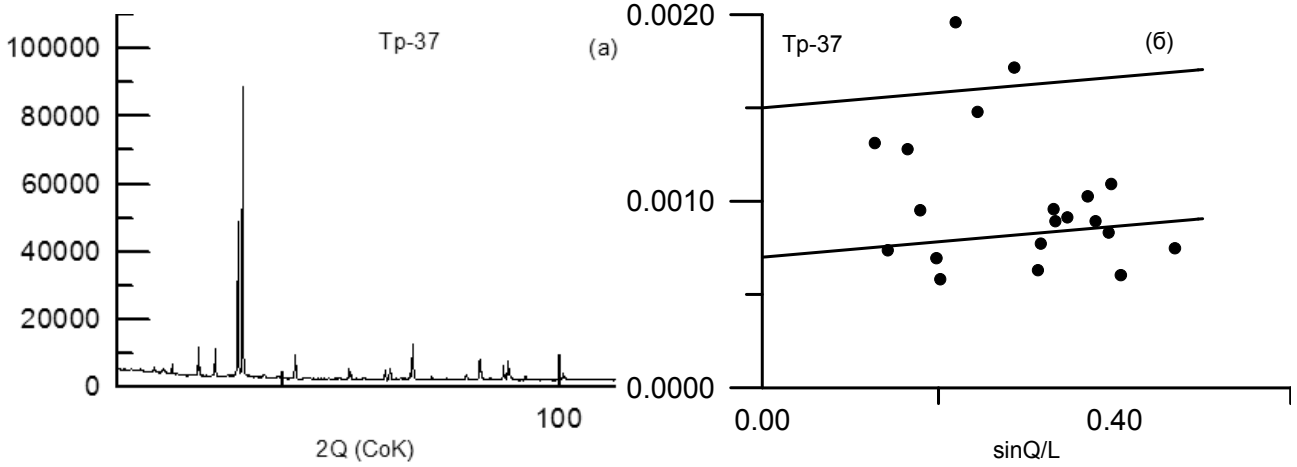

Рис. 2: *а* – рентгенограмма образца дунита (обр. Тр-37); *б* – зависимость Холла–Вильямсона, отражающая средние размеры кристаллитов оливина (обр. Тр-7)

Полученные значения ширин рентгеновских линий аппроксимировались линейными зависимостями типа Y=AX+B в координатах Холла–Вильямсона (Ось Y – $\beta\cos\theta/\lambda$, Ось X – $\sin\theta/\lambda$), в которых B определяет размер кристаллитов (D=1/B) [7, 8]. Типичный график зависимости Холла–Вильямсона представлен на рис. 2, *а*. Характерно, что для всех образцов экспериментальные точки разделяются на два тренда: с большими ширинами (большие значения $\beta\cos\theta/\lambda$) и с маленькими. Это означает, что в системе присутствуют два типа кристаллитов, в которых ширина линий различается в три-четыре раза, т.е. присутствуют кристаллиты, средний размер которых различается в 3–4 раза. Эти данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Средние размеры кристаллитов оливинов по данным рентгеноструктурного анализа в различных петроструктурных типах

№ шлифа	Петроструктурные типы оливина	Размерность зерен оливина	Размер кристаллитов, Нм
Тр-37	Протогранулярный	крупные	143
		мелкие	91
Тр-49	Порфирокластовый	крупные	147
		мелкие	92
Тр-53		крупные	160
		мелкие	33
Тр-7	Порфиролейстовый	крупные	133
		мелкие	34
Тр-13	Мозаичный	крупные	74
		мелкие	28

Анализ полученных результатов ренгеноструктурного анализа позволил выявить зависимость размера кристаллитов оливина от степени пластического деформирования дунитов, т.е. от их петроструктурного типа.

Протогранулярный тип характеризуется максимальными размерами зерен оливина (6–7 мм) при незначительной роли мелких (с размерами до 0,5 мм). Для этого петроструктурного типа размеры кристаллитов составляют преимущественно около 140 нм (табл. 3), которые, очевидно, характерны для крупных зерен оливина. Наряду с крупными присутствуют кристаллиты меньших размеров (91 нм), которые, вероятно, соответствуют мелким рекристаллизованным зернам.

Порфирокластовый тип выделяется наличием крупных порфирокластовых зерен оливина, погруженных в мелкозернистый рекристаллизованный агрегат. В изученных образцах выявляется различная размерность порфирокластовых индивидов и мелких зерен оливина, слагающих основную массу. Наиболее крупные порфирокласты установлены в образце Тр-53, где

их размер составляет 6–9 мм, для них выявлен размер кристаллитов 160 нм (табл. 3). Мелкие рекристаллизованные зерна в этом образце имеют размеры примерно 0,3 мм и размер кристаллитов 33 нм. В образце Тр-49 порфирокласты имеют меньшие размеры в среднем 3–4 мм, у этих порфирокластов отмечается уменьшение размеров кристаллитов до 147 нм. Однако размеры рекристаллизованных зерен значительно больше и составляют примерно 0,9 мм. Они обладают большим размером кристаллитов 92 нм.

Порфиролейстовый тип. Отличительной особенностью микроструктуры этого типа является развитие среди мелкозернистого (0,4–0,8 мм) мозаичного агрегата оливина удлиненных порфиролейстовых индивидов (1,7–3,4 мм). Отличается от порфирокластового большей степенью пластической деформации и характеризуется наличием субпараллельно ориентированных порфирокластовых зерен. Для крупных удлиненных индивидов размер кристаллитов составляет 133 нм, а в мелкозернистом мозаичном агрегате кристаллиты имеют размер 35 нм (см. табл. 3).

Мозаичный тип. Мозаичный тип микроструктуры в дунитах характеризуется присутствием мелких зерен оливина (менее 0,5 мм, иногда до 0,9 мм). Для этого микроструктурного типа кристаллиты отличаются минимальным размером, составляющим 28 нм, среди которых отмечаются более крупные кристаллиты 74 нм (см. табл. 3).

Обсуждение. Тарлашкинский массив локализован в жесткой раме глубокометаморфизованных пород протерозоя и представляет собой конкордантное, крутопадающее линзовидное тело субширотного простирания. Будинированная форма массива связана с интенсивными сдвиговыми деформациями вдоль глубинного разлома, контролирующего его размещение. Синтектонические пластические деформации пород массива и его обрамления осуществлялись в условиях амфиболитовой и частично гранулитовой фации метаморфизма.

Признаки пластического течения, обусловленные сдвиговыми деформациями, постоянно фиксируются в дунитах массива, что подтверждается многообразием их петроструктурных особенностей, которые образовались механизмами трансляционного скольжения и синтектонической рекристаллизации. В оливинах трансляционное скольжение сопровождалось образованием многочисленных полос излома и возникновением неоднородного облачного погасания. Преобладающим механизмом пластической деформации дунитов является синтектоническая рекристаллизация, которая сопровождалась образованием тонкозернистых мозаичных агрегатов на месте исходных предельно насыщенных внутрикристаллическим напряжением зерен оливина. Проявление обоих механизмов пластической деформации дунитов способствовало образованию последовательной серии петроструктурных типов оливина: протогранулярный→ порфирокластовый→ порфиролейстовый → мозаичный. Установленная последовательность отражает увеличение степени деформации дунитов от центральных частей массива к краевым и выражается в формировании динамометаморфической зональности. С возрастанием степени деформации дунитов происходит их интенсивный порфирокластез, что приводит в увеличению удельной протяженности границ зерен оливина и возрастанию степени их ориентации от протогранулярного типа к порфиролейстовому, а в полностью раскристаллизованном – мозаичном типе она снова становится незначительной. Результаты рентгено-структурного анализа хорошо согласуются с оптической микроскопией. Исходные порфирокластовые зерна оливина имеют максимальные размеры кристаллитов, а для рекристаллизованных индивидов устанавливается уменьшение размера кристаллитов с увеличением степени деформации дунитов. В результате полной перекристаллизации возникают дуниты, сложенные мелкозернистым мозаичным агрегатом оливина, в котором размеры кристаллитов и зерен становятся минимальными.

Таким образом, петрографическое и рентгеноструктурное изучение дунитов Тарлашкинского массива показало, что они испытали интенсивную пластическую деформацию. Они повсеместно обнаруживают признаки пластической деформации, которые проявляются в наличии полос пластического излома, волнистого погасания, а также синтектонической рекристаллизации с образованием порфирокластовых и мозаичных структур. Возрастание степени пластической деформации дунитов выражается в образовании последовательных петроструктурных типов оливина: протогранулярный, порфирокластовый, порфиролейстовый, порфиролейстовый и мозаичный. Их количественная оценка выражается в увеличении удельной протяженности границ зерен оливина, изменении степени их ориентации, а также уменьшении размера кристаллитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Велинский В.В., Вартанова Н.С.* Закономерности в химизме гипербазитов Тувы // Петрология гипербазитов и базитов Сибири, Дальнего Востока и Монголии. Новосибирск: Наука, 1980. С. 54–74.
2. *Гончаренко А.И.* Деформация и петроструктурная эволюция альпинотипных гипербазитов. Томск: Изд-во ТГУ, 1989. 397 с.
3. *Колман Р.Г.* Офиолиты. М.: Мир, 1979. 479 с.
4. *Гончаренко А.И., Чернышов А.И.* Деформационная структура и петрология нефритоносных гипербазитов. Томск, 1990. 38 с.
5. *Чернышов А.И.* Ультрамафиты (пластическое течение, структурная и петроструктурная неоднородность). Томск, 2001. 215 с.
6. *Вернон Р.Х.* Метаморфические процессы. М.: Недра, 1980. 226 с.
7. *Липсон Г., Стипл Г.* Интерпретация порошковых рентгенограмм. М., 1972. 384 с.
8. *Русаков А.А.* Рентгенография металлов. М., 1976.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 12 марта 2009 г.