

РАЗНОМАСШТАБНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ АНАЛОГИИ В МЕТАМОРФИТАХ МАНТИЙНОГО И КОРОВОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

© 2018 г. Д. Е. Савельев

Институт геологии УФИЦ РАН, г. Уфа. E-mail: sav171@mail.ru

Введение

Исследования ультрамафитов мантийного разреза офиолитовой ассоциации и коровых метаморфических комплексов привели многих исследователей к выводу о тектонитовой природе данных образований, что подразумевает ведущую роль пластического течения в приобретении породами современного облика (см., например, [1, 5 и др.]). Вместе с тем взаимосвязь структурных и вещественных изменений в геологических средах изучена недостаточно, и часто для объяснения последних безосновательно привлекаются недоказуемые «флюидные» или «реакционные» гипотезы» и априорно отвергаются твердофазные механизмы. Экспериментальные исследования отмеченного класса явлений в геологических средах затруднены вследствие невозможности получить в опыте пластическую деформацию высокой степени и в тех же РТ условиях, как в природе. Поэтому на современном этапе изучения больших пластических деформаций горных пород («пластического течения») остается использовать метод аналогий с близкими процессами, воспроизводимыми в технических либо природных условиях. Ниже приведено несколько структурных аналогий, наблюдаемых в природных образцах на различных масштабных уровнях.

Микромасштабный уровень

В породах различного состава при петрографическом изучении обнаруживаются сходные структурные особенности некоторых акцессорных минералов. Во всех случаях индивиды этих минералов характеризуются сочетанием в их строении центральной идиоморфной части и ответвлений, отходящих от центра внутрь соседнего породообразующего минерала. Одним из наиболее широко распространенных выделений данного типа являются акцессорные хромшпинелиды мантийных перидотитов, для которых часто применяется термин «holly-leaf» (листья падуба) [10].

На рис. 1 показаны примеры подобных выделений хромшпинелидов в мантийных перидотитах некоторых массивов Южного Урала. Подобные кристаллы хромшпинелида встречаются в различной ассоциации: 1) внутри поликристаллического оливина, 2) внутри монокристаллов либо поликристаллов ортопироксена, 3) на границе оливина и ортопироксена.

При изучении инициальных стадий образования дунитовых прожилков в перидотитах и пластически деформированных крупных кристаллов энстатита удалось обнаружить начальные стадии образования таких зерен хромшпинелидов [6, 8]. На рис. 2 приведены примеры растущих новообразованных кристаллов хромшпинелидов внутри пластически деформируемого поликристаллического силикатного матрикса. Тонкие выделения развиваются вдоль границ зерен и впоследствии захватывают силикаты в виде включений.

Близкие по морфологии образования акцессорных кристаллов сфена наблюдались в гранитах Ахуновского массива (рис. 3), претерпевших значительные пластические деформации, о чем свидетельствует развитая субзеренная структура кристаллов кварца. На рис. 3а хорошо видно блоковое строение крупного кварцевого выделения, выраженное в неоднородном погасании различных участков кристалла. Причина наблюдаемого оптического явления заключается в том, что при пластической деформации происходит разориентировка соседних участков на небольшой угол, и единый кристалл разделяется малоугловыми границами на серию субзерен. В наиболее искаженных участках кристалла могут образоваться центры рекристаллизации, что обуславливает появление новых мелких зерен с неискаженной структурой. Пример такого зерна (необласта) приведен на рис. 3б.

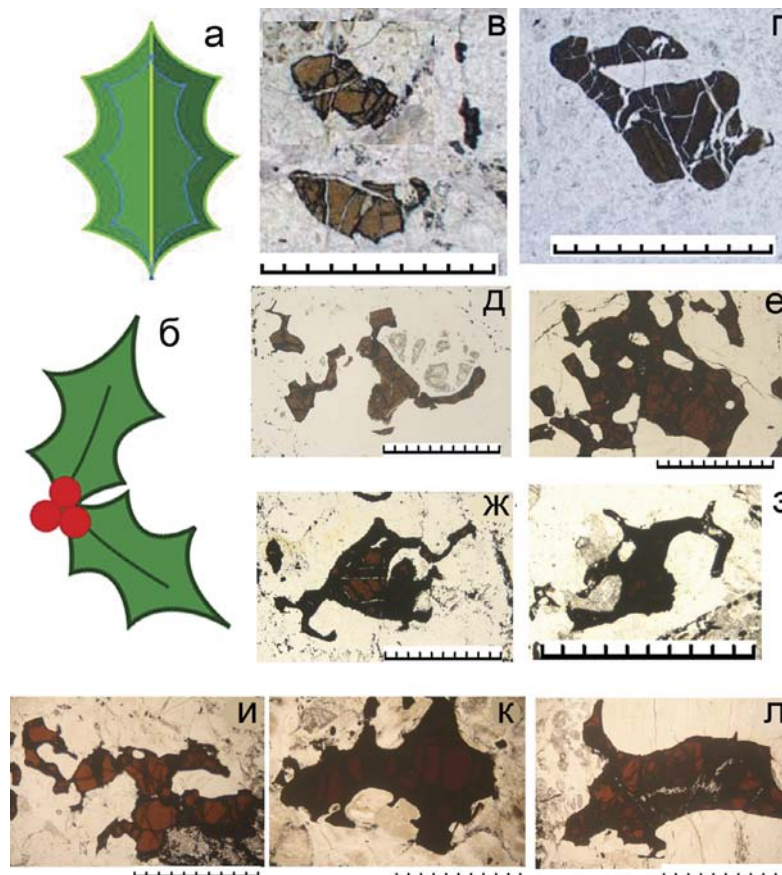


Рис. 1. Типичные ксеноморфные (holly-leaf) акцессорные хромшпинелиды из перидотитов

а, б — листья остролиста (holly leaf); в–л — морфология акцессорных хромшпинелидов из перидотитов различных массивов Южного Урала; в, г — вмещающие перидотиты месторождения Восход, Главное рудное поле Кемпирсайского массива, форма хромшпинелидов идентифицирована как «holly-leaf» по [10]; д–з — перидотиты и апоперидотитовые серпентиниты Наследничьего, Могутовского и Успенковского массивов [9]; и–л — вмещающие перидотиты и апоперидотитовые серпентиниты Главного рудного поля Аккаргинского массива.

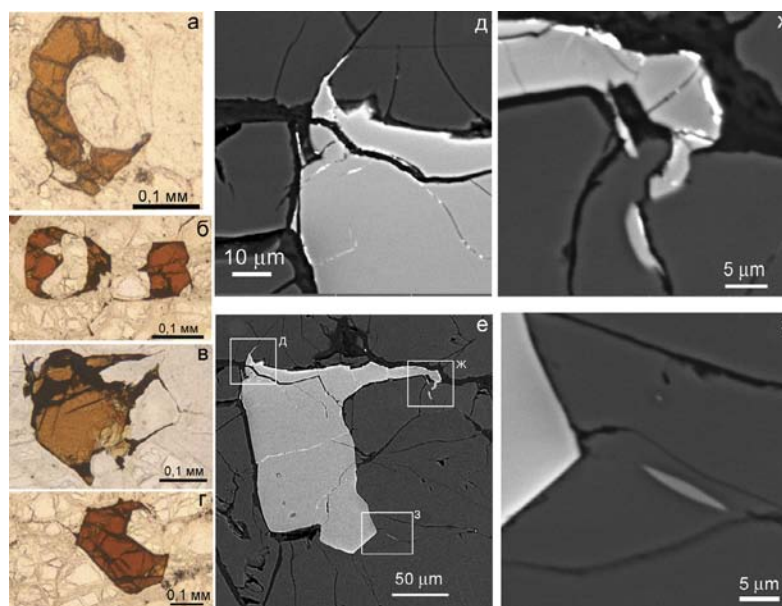


Рис. 2. Рост новообразованных кристаллов хромшпинелидов в пластически деформируемом силикатном матриксе
а–г — микрофотографии в проходящем плоско-поляризованном свете; д–ж — снимки в режиме BSE

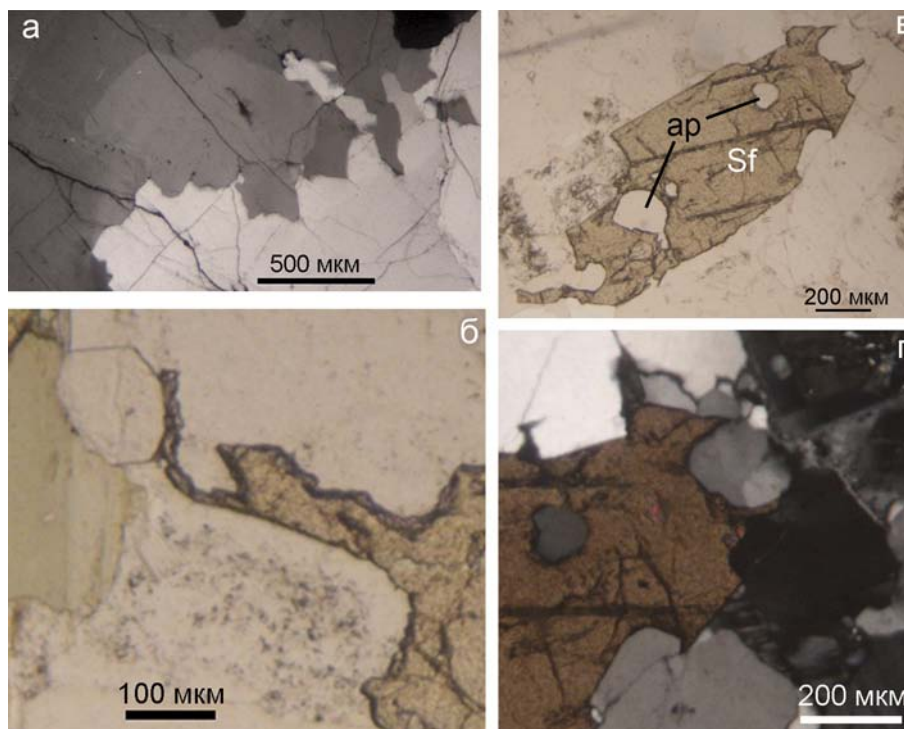


Рис. 3. Рост кристаллов сфена в пластически деформируемом кварцевом матриксе

а–г — микрофотографии в проходящем плоско-поляризованном свете, а, г — николи скрещены

Рост кристаллов сфена происходит в поликристаллическом существенно кварцевом матриксе, причем ответвляющиеся от тела крупного кристалла тонкие «усы» могут развиваться как вдоль границ зерен, так и границ субзерен кварца. В результате одновременно происходящих процессов — 1) пластической деформации поликристаллической матрицы, которая сопровождается фрагментацией кварца, и 2) роста кристаллов сфена за счет сегрегации растворенных в матрице примесных компонентов (Ti, Ca), — происходит образование достаточно крупных зерен последнего с многочисленными включениями, захваченными в твердофазном режиме.

В метаморфических комплексах аналогичные выделения были встречены в образцах кварцитов максютовского комплекса (рис. 4), где на некоторых участках происходит образование «лапчатых» кристаллов граната. В шлифах отмечается вращение этих зерен с одновременным захватом кварцевого матрикса. По-видимому, рост граната обусловлен сегрегацией дисперсных глинистых частиц, которые первоначально были рассеяны среди кварцевого матрикса и не были вовлечены в кристаллизацию пластинок серицита.

Макромасштабный уровень

Несколько структурных аналогий обнаружено в строении коровых метаморфических комплексов и хромититов офиолитовой ассоциации. Нодулярная текстура хромититов является уникальным атрибутом месторождений офиолитовой ассоциации и не встречается в стратиформных залежах расслоенных интрузий [12]. Необходимо заметить, что на месторождении № 33 нодулярные хромититы локализованы в дунитах с четкими деформационными структурами оливина, а отдельные прожилки иногда смяты в изоклинальные складки (рис. 5б).

На рис. 5 приведены примеры образцов с нодулярной текстурой, а также соотношение нодулярной и массивной текстур в рудах. Кроме нодулярных текстур, в хромититах широким распространением пользуются разнообразные проявления будинажных структур на различном масштабном уровне. На месторождении Большой Башарт (рис. 6) они представлены: 1) линзовидными, эллипсоидными и почти сферическими образованиями массивного хромитита в дунитах, 2) реже, наоборот,

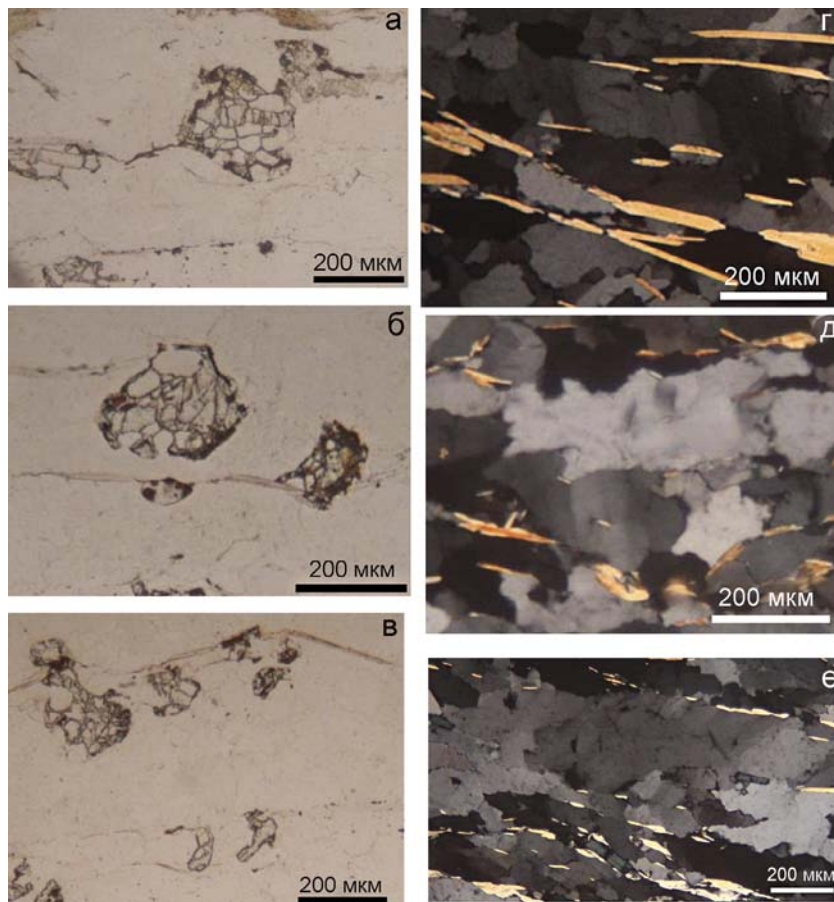


Рис. 4. Рост новообразованных кристаллов граната в пластически деформируемом кварцевом матриксе мусковитовых кварцитов Максютовского комплекса
 а–е — микрофотографии в проходящем плоско-поляризованном свете; г–е — николи скрещены

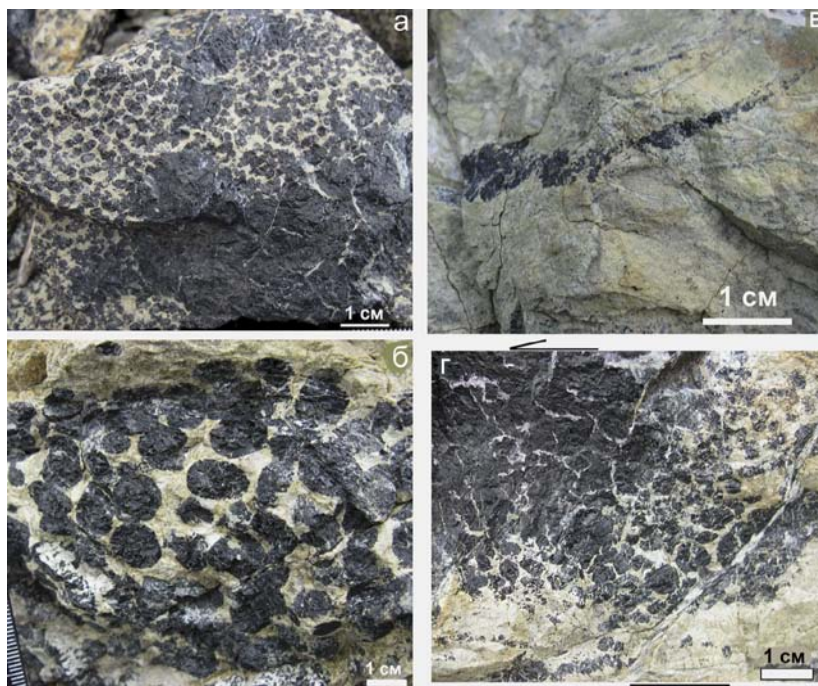


Рис. 5. Хромититы с сочетанием массивной и нодулярной текстуры и складчатостью

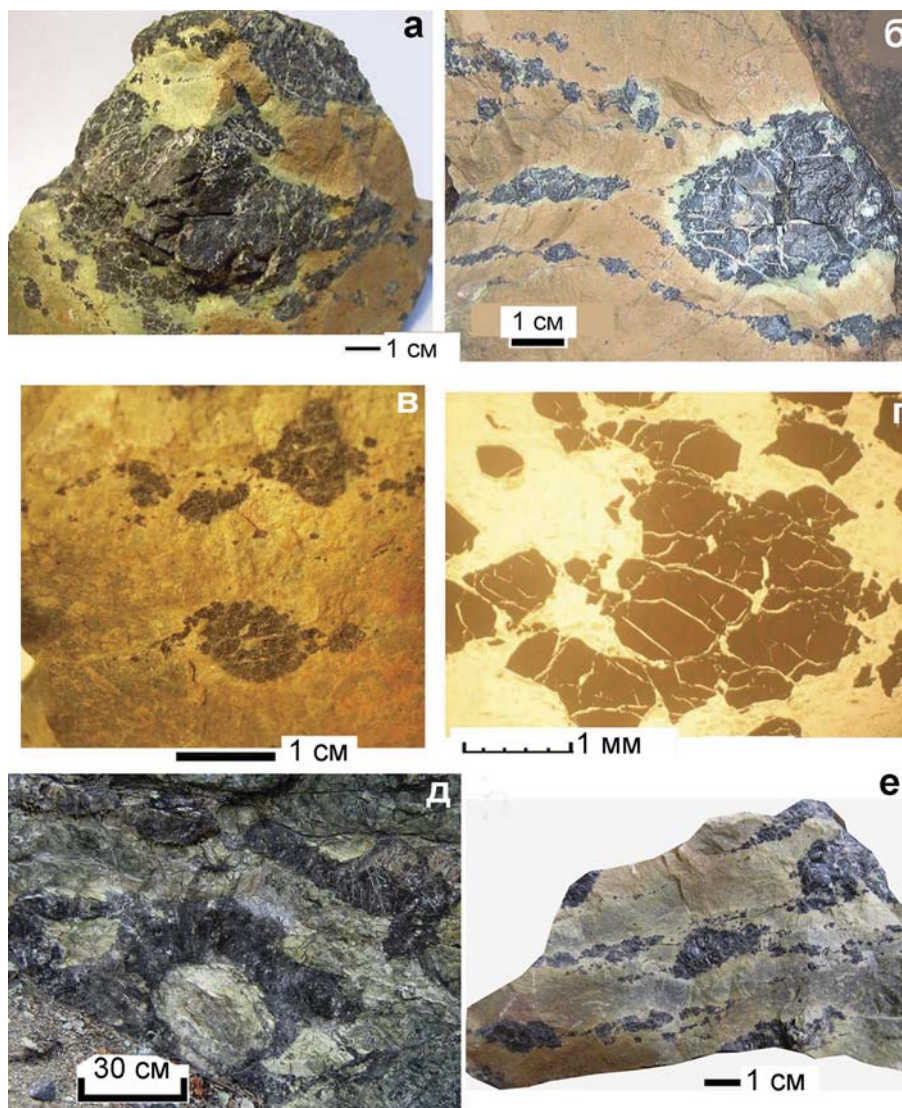


Рис. 6. Структурные особенности хромититов месторождения Большой Башарт

а, б, д, е — будинаж, в, г — структура снежного кома в агрегатах хромшпинелидов

округлыми образованиями дунита внутри массивной руды; 3) структурами типа «снежного кома», которые представляют собой растущие агрегаты хромшпинелидов, образующиеся при их вращении внутри оливиновой матрицы.

С другой стороны, близкие к нодулярным образования довольно широко представлены в метаморфических породах. В частности, это «очковые текстуры», образованные эллипсоидными или сферическими образованиями полевого шпата внутри более мелкозернистого агрегата зерен кварца, полевого шпата и слюды (рис. 7). Большое количество подобных примеров можно встретить в обобщающих работах, посвященных строению метаморфических комплексов [2–4 и др.], для которых весьма характерным является влияние крупномасштабного вязкопластического течения на структурообразование и перераспределение вещества.

Обсуждение

Исследование под микроскопом пород различного состава позволило установить ряд аналогичных структурных взаимоотношений минералов, в частности — рост новых фаз внутри пластически деформируемого кристаллического матрикса. В первом случае — это рост кристаллов

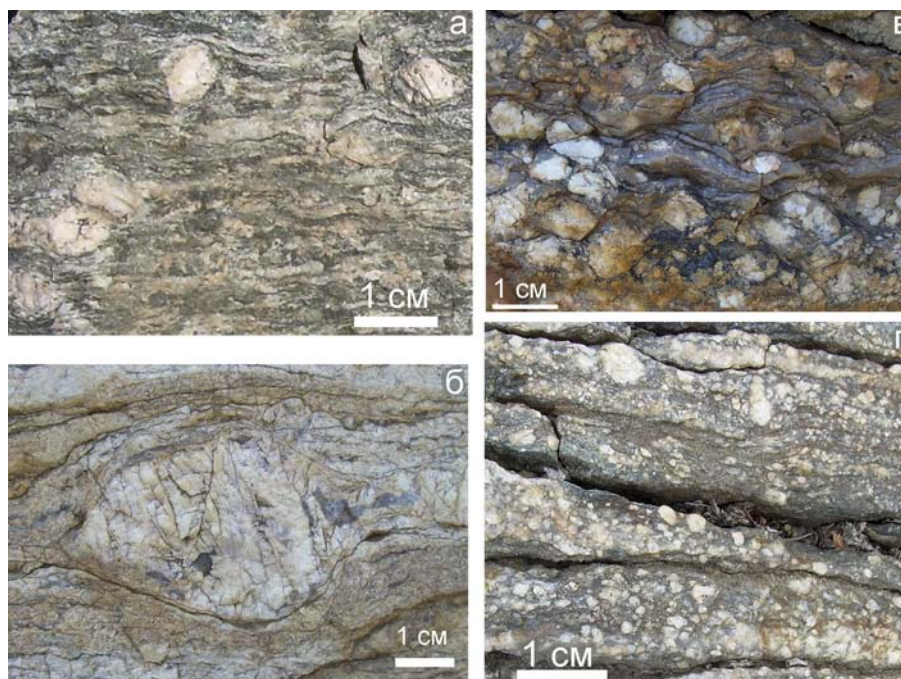


Рис. 7. Будинаж и нодули в кварц-полевошпатовых телах Каменодольского метаморфического комплекса

хромшпинелидов в поликристаллической матрице оливина и/или ортопироксена, во втором — рост кристаллов сфена внутри поликристаллического кварца. В обоих вариантах матрикс представлен породообразующими силикатами с развитой субзеренной структурой, сформированной в результате высокотемпературного установившегося пластического течения.

Следует отметить, что большинство исследователей, изучавших проблему генезиса хромшпинелидов в форме «святого листа», предлагают «реакционные» или «кумулятивные» гипотезы для объяснения механизма их образования [10, 11 и др.]. Однако, против данных предположений могут быть выдвинуты следующие аргументы: 1) кристаллы часто располагаются внутри одного и того же по составу матрикса, что противоречит «реакционному механизму»; 2) температура плавления (кристаллизации из расплава) у хромшпинелида весьма значительна и выше, чем у вмещающих силикатов — оливина и ортопироксена, что противоречит кумулятивному генезису. Те же аргументы применимы для обоснования твердофазного происхождения «ветвящихся» кристаллов сфена в деформированных гранитоидах и гранатов в метаморфитах.

Изучение обнажений и образцов различных по составу пород также позволило обнаружить аналогичные структурные соотношения, которые свидетельствуют о различном реологическом поведении некоторых минералов коровых и мантийных метаморфитов. Формирование будинажа, структур типа «снежного кома» и нодулярных образований может быть объяснено крупномасштабным пластическим течением пород в твердо-пластическом состоянии. При этом породообразующие минералы резко отличаются по реологическому поведению.

Наиболее сильной в реологическом смысле фазой верхней мантии является ортопироксен, а слабой — оливин [5, 8 и др.]. Совместная деформация породы, сложенной зернами этих минералов, ведет сначала к образованию «очковых» текстур, будинажу ортопироксена, а в конечном итоге — к их разделению в пространстве. Примесные компоненты (Al, Cr), удаляющиеся из пироксена и, в меньшей степени, из оливина, образуют новую фазу — хромшпинелид [7, 8], который по сравнению с первичными силикатными фазами, является еще более «сильным» в реологическом смысле. В ходе прогрессирующего пластического течения, которое сопровождается разделением реологически контрастных компонентов, образуются скопления хромшпинелидов внутри дунита. При увеличении концентрации рудных зерен, может происходить дезинтеграция хромититов, приводящая к образованию нодулярных руд (микробудинаж) по периферии массивных залежей.

По сравнению с мантийными породами, обладающими весьма простым составом и практически отсутствием флюидных компонентов, метаморфические процессы в коровых условиях протекают в режиме «влажной деформации», что обуславливает значительное усложнение их минерального состава. Из-за увеличения числа фаз, участвующих в пластическом течении, перераспределение компонентов происходит менее «эффективно». Кроме чисто «реологических свойств» отдельных минералов, важную роль начинает играть размерный фактор, пористость, содержание жидкой фазы и т.п. Тем не менее, основные черты структурной эволюции пород остаются аналогичными. В коровых метаморфитах наиболее сильной фазой являются полевые шпаты, а слабой фазой — кварц. Именно поэтому нодулярные («очковые») текстуры представлены относительно крупными округлыми зёрнами полевых шпатов в мелкозернистой существенно кварцевой матрице.

Выводы

Проведенные на различном масштабном уровне исследования позволили установить аналогичные структурные особенности пород различного состава — мантийных ультрамафитов и кремнекислых метаморфитов корового происхождения. Выявленные структуры интерпретированы как сформированные преимущественно при твердофазных процессах, основным из которых являлось крупномасштабное пластическое течение.

Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме № 0252–2017–0014.

Литература:

1. Колман Р.Г. Офиолиты. — М.: Мир, 1979. — 262 с.
2. Лукьянов А.В. Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере. — М.: Наука, 1991. — 144 с.
3. Меннерт К. Мигматиты и происхождение гранитов. — М.: Мир, 1971. — 328 с.
4. Методика геологического картирования метаморфических комплексов / Под ред. В.А. Николаева. — М.: Недра, 1957. — 451 с.
5. Никола А. Основы деформации горных пород. — М.: Мир-Эльф Акитен, 1992. — 166 с.
6. Савельев Д.Е., Кожевников Д.А. Структурные и петрографические особенности ультрамафитов на участке «месторождение № 33» в восточной части массива Средний Крак (Южный Урал) // Вестник Пермского университета. Геология. — 2015. — № 1. — С. 60–84.
7. Савельев Д.Е., Сергеев С.Н. Энстатит офиолитовых перидотитов: пластическая деформация и связанные с ней геохимические изменения // Минералогия. — 2018. — № 1(6). — С. 56–73.
8. Савельев Д.Е., Белогуб Е.В., Блинов И.А., Кожевников Д.А., Котляров В.А. Петрологические свидетельства синдеформационной сегрегации вещества при образовании дунитов (на примере офиолитов Крака, Южный Урал) // Минералогия. — 2016. — № 2(4). — С. 56–77.
9. Савельев Д.Е., Сначев В.И., Рыкус М.В. Габбро-гипербазитовые массивы Тогузак-Аятского района (Южный Урал) // Нефтегазовое дело. — 2010. — № 1. — С. 15–28.
10. Johnson C. Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan: Ph. D. thesis. — Cardiff University, 2012. — 468 p.
11. Mercier J.-C.C., Nicolas A. Textures and fabrics of upper-mantle peridotites as illustrated by xenoliths from basalts // Journal of Petrology. — 1975. — V. 16. — P. 454–487.
12. Thayer T.P. Gravity differentiation and magmatic re-emplacemant of podiform chromite deposits // Economic Geology Monograph. — 1969. — V. 4. — P. 132–146.