

Флюоритовая минерализация глубинных ксенолитов Восточного Памира

Михайленко Д. С.¹, Подугольникова Е. Е.¹, Одинаев Ш. А.², Гадоев М. Л.³, Корсаков А. В.¹

¹ Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева Сибирского отделения РАН, Новосибирск, pazilovdenis@igm.nsc.ru

² Институт геохимии Гуанчжоу Китайской академии наук, Гуанчжоу, Китай

³ Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. В рамках нашего исследования было проведено детальное минералого-петрографическое изучение ксенолита гранулит из трубки взрыва «Эклогитовая», Восточный Памир. В фельзитическом гранулите обнаружены как широко распространенные минералы (гранат, кварц, калиевый полевой шпат и плагиоклаз), так и ранее неописанные разновидности – флюорит и синхизит. Обнаружение полифазных агрегатов карбоната и флюорита в гранулите может свидетельствовать о важной роли флюорит-карбонатитовых расплавов на пике метаморфизма. Комплексный изотопный и геохимический анализ этих пород в дальнейшем позволит уточнить механизмы генерации подобных расплавов и их влияние на кристаллизацию глубинных минеральных парагенезисов в глубоко субдуцированных породах под Памирским орогеном.

Ключевые слова: Ксенолит; Восточный Памир; щелочные породы; флюорит; субдукция.

Fluorite mineralization of deep-seated xenoliths of the Eastern Pamir

Mikhailenko D. S.¹, Podugolnikova E. E.¹, Odinaev S. A.^{2,3}, Gadoev M. L.², Korsakov A. V.¹

¹ V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk, pazilovdenis@igm.nsc.ru

² State Key Laboratory of Isotope Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, China

³ Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

Abstract. Detailed mineralogical-petrographic investigation was conducted on a granulite xenolith from the «Eclogitovaya» (Eclogite) pipe, Eastern Pamirs. In the felsic granulite, both common minerals (garnet, quartz, potassium feldspar, and plagioclase) and previously undescribed varieties – fluorite and synchysite – were identified. The discovery of polyphase carbonate-fluorite aggregates in granulite may indicate the significant role of fluorite-carbonatite melts during the peak metamorphism. Further comprehensive isotopic and geochemical analysis of these rocks will help clarify the generation mechanisms of such melts and their influence on the crystallization of deep mineral parageneses in deeply subducted rocks beneath the Pamir orogen.

Keywords: Xenolith, Eastern Pamir, alkaline rocks; fluorite; subduction.

Введение

Ксенолиты являются уникальным источником информации о процессах, протекающих в глубинных частях литосферы. Среди обширного минералогического разнообразия ксенолитов из различных вулканических пород, важную роль играют гранулиты – метаморфические породы высоких давлений, которые характерны для глубинных зон земной коры. Среди широкого разнообразия пород, выносящих ксенолиты, особый интерес представляют щелочные породы «молодых» орогенных областей. Этот уникальный источник информации позволяет реконструировать процессы минералообразования в условиях образования мощной континентальной коры (70–80 км).

В пределах Альпийско-Гималайского орогена описано множество метаморфических комплексов (Chopin, 2003). Тем не менее, на Памире отсутствуют метаморфические породы сверхвысоких давлений, но в то же время присутствуют ксенолиты эклогитов и гранулитов в щелочных трубках взрыва Дункельдыкского магматического поля (Hacker et al., 2005). Особое место среди этих ще-

лочных вулканических образований занимается трубка «Эклогитовая» в которой преобладают ксенолиты эклогитов и гранулитов.

Трубка взрыва «Эклогитовая» является уникальным объектом, содержащим большое количество ксеногенных обломков глубинных пород, преимущественно гранулитов, эклогитов и пироксенитов (Дмитриев, 1976). Трубка «Эклогитовая» относится к самому молодому проявлению вулканизма на Памире и имеет возраст 11.3 ± 0.2 млн лет (Hacker et al., 2005). Эта трубка располагается в уникальном комплексе магматических пород, представленных дайками, трубками взрыва и субвулканическими телами различного состава от щелочных базальтов, трахитов и сиенитов до карбонатитов (Дмитриев, 1976).

Ксенолиты из этой трубки были описаны в ряде работ (Лутков, 2003; Hacker et al., 2005; Gordon et al., 2012), которые затронули в основном петрохимические аспекты образования этих пород, в то время как детальные минералогические работы остались за пределами внимания исследователей. В данной работе мы представляем предварительные результаты изучения минералогии содержащего флюоритовую минерализацию глубинного ксенолита из трубки «Эклогитовая», Восточный Памир.

Материалы и методы

Аналитические работы были осуществлены на базе «ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН» (г. Новосибирск). Оптическая идентификация минералов осуществлялась с использованием микроскопа Olympus BX51, совмещенного с фото-видеокамерой высокого разрешения Olympus COLOR VIEW III. Минералого-петрографическое изучение и определение химического состава минералов проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan MIRA 3 LMU (SEM) (Tescan), оснащенного системой микроанализа INCA Energy 450 XMax-80 (Oxford Instruments Ltd.).

Результаты

Ксенолит фельзического гранулита РМ-22-62 был отобран из коренного обнажения фергуситов, слагающих трубку взрыва «Эклогитовая», Дункельдыкского магматического поля (Восточный Памир). Гранулит характеризуется гранобластовой крупнокристаллической структурой и массивной текстурой. Первичные породообразующие минералы представлены гранатом, калиевым полевым шпатом, плагиоклазом и кварцем (рис. 1-2). Акцессорные минералы в образце представлены как первичными: рутилом, карбонатами (кальцит, доломит), апатитом, флюоритом (?), сульфидами (пирит, халькопирит, пирротин), монацитом и цирконом; так и вторичными: синхизитом, ильменитом, слюдами (биотит и мусковит). Первичные породообразующие минералы в разной степени затронуты вторичными изменениями, связанными с транспортировкой образца на поверхность Земли щелочной магмой.

Зерна гранатов от идиоморфных до ксеноморфных, преимущественно крупные (до 2 см), красно-оранжевого цвета. По химическому составу гранат относится к пироп-гроссуляр-альмандиновому ряду, при этом в нем отмечаются высокие концентрации гроссулярного компонента (вплоть до 27 мол. %). В зернах граната обнаружены включения акцессорных и породообразующих минералов: циркона, рутила, монацита, кварца, плагиоклаза и калиевого полевого шпата.

Первичные породообразующие полевые шпаты отвечают составам калиевого полевого шпата и плагиоклаза. Многие зерна полевых шпатов содержат включения других минералов: граната, рутила, циркона, монацита и сульфидов. Вторичные полевые шпаты широко развиты и входят в состав келифитовых кайм, окружающих зерна граната.

Молочно-белые зерна кварца находятся в межзерновом пространстве. В зернах кварца отмечаются включения карбонатов (кальцита и доломита) и калиевого полевого шпата размером ~200 мкм.

Рутил – основной акцессорный минерал в изученном образце. В образце он представлен в виде одиночных идиоморфных зерен в межзерновом пространстве и включений в породообразующих минералах. Так же, рутил обнаружен в виде игольчатых выделений в гранате. Зерна рутила окружены вторичными ильменитовыми каймами различной мощности.

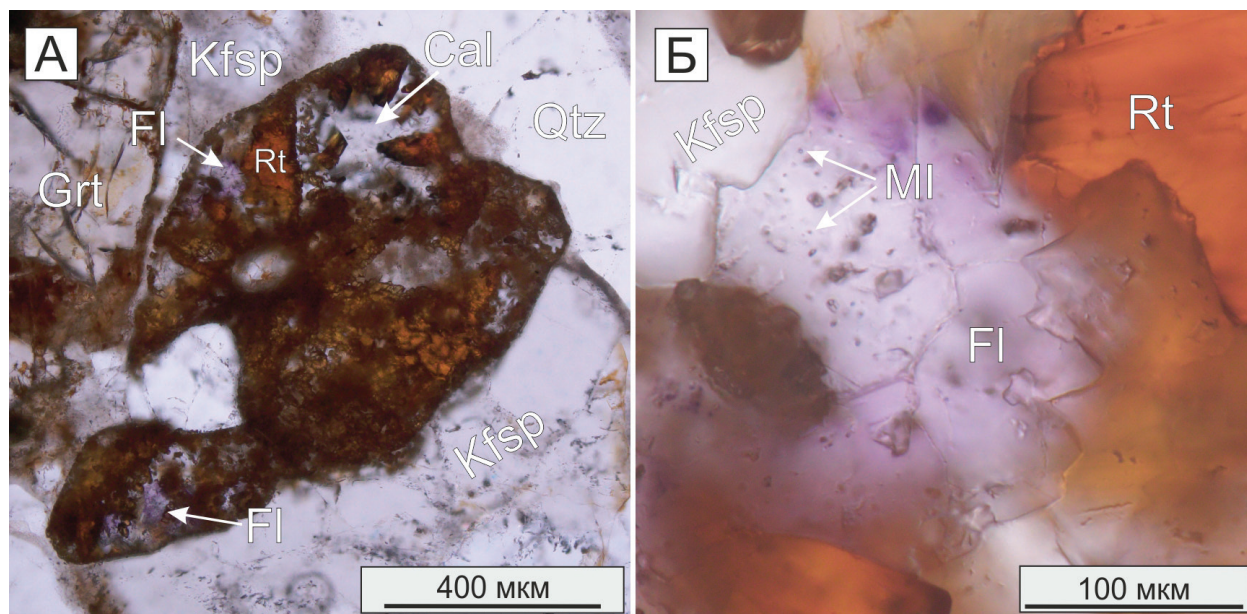


Рис. 1. Микро фотографии флюорит-карбонатного полиминерального агрегата в гранулите PM-22-62: Grt – гранат; Kfsp – калиевый полевой шпат; Fl – флюорит; Rt – рутил; Cal – кальцит; Qtz – кварц; MI – расплавленные включения

Fig. 1. Micrographs of fluorite-carbonate polymineral aggregate in PM-22-62 granulite: Grt – garnet; Kfsp – potassium feldspar; Fl – fluorite; Rt – rutile; Cal – calcite; Qtz – quartz; MI – melt inclusions

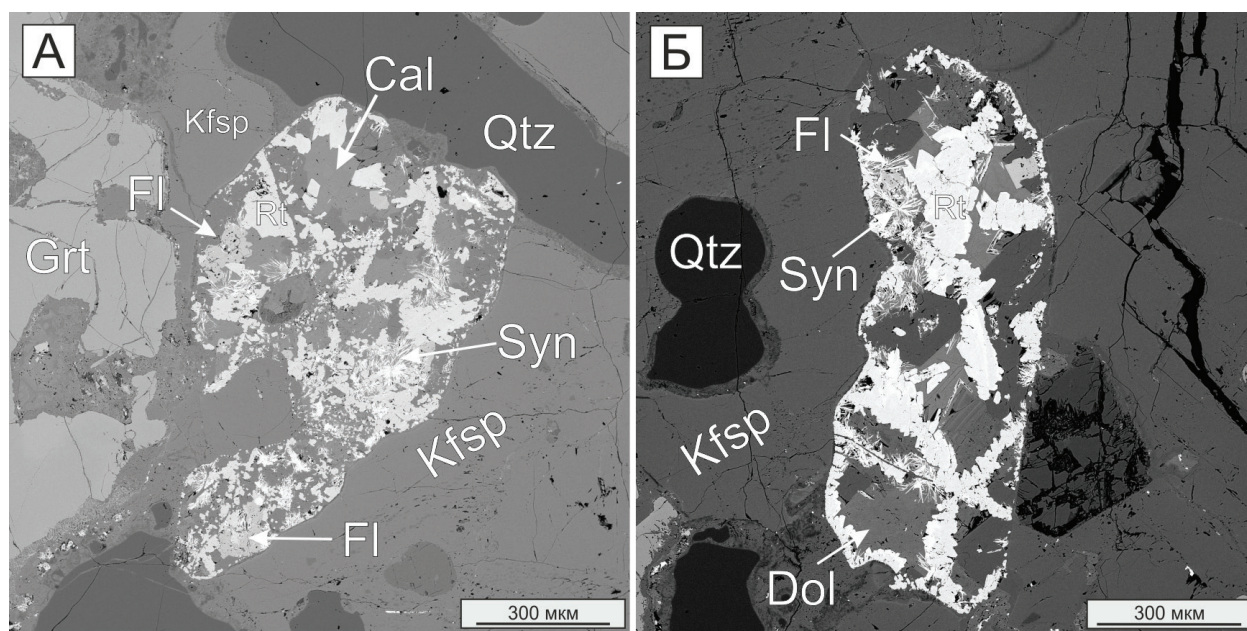


Рис. 2. Изображения в обратно-рассеянных электронах фрагмента гранулита PM-22-62 с полиминеральными агрегатами: Grt – гранат; Kfsp – калиевый полевой шпат; Fl – флюорит; Rt – рутил; Cal – кальцит; Qtz – кварц; Syn – синхизит; Dol – доломит

Fig. 2. BSE images of a fragment of PM-22-62 granulite with polymineral aggregates: Grt – garnet; Kfsp – potassium feldspar; Fl – fluorite; Rt – rutile; Cal – calcite; Qtz – quartz; Syn – synchysite; Dol – dolomite

Ксеноморфные зерна апатита обнаружены в виде включений в породообразующих минералах (до 200 мкм), а также в интерстиционном пространстве.

Флюорит был диагностирован в составе полифазных агрегатов. Размер этих выделений варьирует от 0.3 до 1.5 мм. Они сложены флюоритом, рутилом, калиевым полевым шпатом, кальцитом, доломитом и синхизитом. Во флюорите отмечаются субмикронные газово-жидкие флюидные включения.

Обсуждение результатов

Магматический флюорит является распространенным минералом для топазсодержащих кислых пород, ультращелочных гранитов и карбонатитов. Нередко в образовании богатых флюоритом пород участвует водосодержащий флюид при пост магматическом гидротермальном процессе (Редина и др., 2023). Однако, вплоть до настоящего времени находок флюорита, как первичного, так и вторичного, в метаморфических породах высоких давлений и температур (гранулитах и эклогитах) описано не было.

Дункельдыкский магматический комплекс знаменит своими проявлениями флюорит содержащих карбонатитов, а также развитием флюоритизации почти во всех разновидностях щелочных пород этого массива. Петрогенетические реконструкции демонстрируют взаимосвязь между щелочно-карбонатитовыми породами и трубками взрыва в пределах этого комплекса (Hong et al., 2019).

Образование Памирских ксенолитов связывают с субдукцией или погружением коровых пород на глубины вплоть до 33 кбар (Hacker et al., 2005; Gordon et al., 2012). Частичное плавление, которому подверглись дункельдыкские ксенолиты, и метасоматоз, который привел к образованию калиевого полевого шпата и карбонатов, затрудняют реконструкцию протолита и метаморфической истории этих пород. Вместе с тем, включения карбонатов в ксенолитах связывают с их присутствием в протолите породы (Мадюков и др., 2012).

Полученные ранее нами данные свидетельствуют о том, что в составе литосферы под трубкой «Эклогитовая» преобладает коровый материал, среди протолитов которого можно выделить метаосадочные и метамагматические разновидности, тогда как классические мантийные ассоциации (лерцолиты, гарцбургиты или дуниты) не установлены (Корсаков и др., 2025). Частичное плавление корового субстрата и отделение кислых ультракалиевых расплавов может приводить к образованию эклогитовой ассоциации в реститах.

Присутствие синхизита $(\text{Ca}(\text{REE})(\text{CO}_3)_2\text{F})$ в минеральной ассоциации совместно с флюоритом и карбонатами позволяет предполагать участие $\text{F-CO}_2\text{-REE-карбонатитового}$ расплава в образовании этих полифазных агрегатов. Предполагается генерация подобного рода расплавов связывалась с частичным плавлением карбонатизированной мантии (Rudnick et al., 1993).

Заключение

Минералогия ксенолитов гранулитов и эклогитов из щелочных трубок взрыва Дункельдыкского магматического комплекса представлена крайне необычным набором минералов, что выделяет их среди других глубинных разновидностей пород орогенных регионов.

Находки полифазных карбонат-флюоритсодержащих агрегатов в ксенолите гранулита могут свидетельствовать о существенной роли флюорит-карбонатитового расплава на пике метаморфизма в изученном образце. Дальнейшее детальное изотопно-геохимическое изучение этих пород позволит реконструировать процессы формирования флюорит-карбонатитовых расплавов и установить их роль в формировании глубинных минеральных ассоциаций в глубоко субдуцированных породах под Памирским орогеном.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного Фонда (проект № 24-17-00164).

Литература

1. Дмитриев Э. А. Кайнозойские калиевые щелочные породы Восточного Памира. Дониш. Душанбе, 1976. 167 с.
2. Корсаков А. В., Чупин В. П., Похиленко Н. П. Включения расплава в минералах ксенолитов гранулитов из диатрем Восточного Памира (Таджикистан): свидетельства инконгруэнтного плавления на границе коры и мантии // Доклады РАН. Науки о Земле. 2025. (принято к печати).
3. Мадюков И. А., Чупин В. П., Кузьмин Д. В. Генезис скаполита из гранулитов (нижнекоровые ксенолиты из диатрем Памира): результаты изучения расплавных включений // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 11. С. 1677–1694.

4. Редина А. А., Дорошкевич А. Г., Прокопьев И. Р., Избродин И. А., Ян Ю. Возраст и источники редкоземельно-флюоритовых проявлений Южное и Улан-Удэнское, связанных с карбонатитовым магматизмом (западное Забайкалье, Россия) // Геодинамика и тектонофизика. 2023. Т. 14, № 6. С. 7–28.
5. Chopin C. Ultrahigh-pressure metamorphism: tracing continental crust into the mantle // *Earth and Planetary Science Letters*. 2003. V. 212. P. 1–14.
6. Gordon S. M., Luffi P., Hacker B., Valley J., Spicuzza M., Kozdon R., Minaev, V. The thermal structure of continental crust in active orogens: insight from Miocene eclogite and granulite xenoliths of the Pamir Mountains // *Journal of Metamorphic Geology*. 2012. V. 30, No. 4. P. 413–434.
7. Hacker B., Luffi P., Lutkov V., Minaev V., Ratschbacher L., Plank T., Metcalf J. I. M. Near-ultrahigh pressure processing of continental crust: Miocene crustal xenoliths from the Pamir // *Journal of Petrology*. 2005. V. 46, No. 8. P. 1661–1687.
8. Hong J., Ji W., Yang X., Khan T., Wang R., Li W., Zhang H. Origin of a Miocene alkaline–carbonatite complex in the Dunkeldik area of Pamir, Tajikistan: Petrology, geochemistry, LA–ICP–MS zircon U–Pb dating, and Hf isotope analysis // *Ore Geology Reviews*. 2019. V.107. P. 820–836.
9. Rudnick R. L., McDonough W. F., Chappell B. W. Carbonatite metasomatism in the northern Tanzanian mantle: petrographic and geochemical characteristics // *Earth and Planetary Science Letters*. 1993. V. 114, No. 4. P. 463–475.