

## СОСТАВ МИНЕРАЛОВ И МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ В ОРТОПИРОКСЕН – СИЛЛИМАНИТОВЫХ ПОРОДАХ СРЕДИ ГРАНУЛИТОВ ПОРЬЕЙ ГУБЫ (ЛАПЛАНДСКИЙ ГРАНУЛИТОВЫЙ ПОЯС)

Лебедева Ю.М.

ИГГД РАН, Санкт-Петербург, [Lebedeva@IL15431.spb.edu](mailto:Lebedeva@IL15431.spb.edu)

**При исследовании гранулитовых комплексов различных регионов мира ортопироксен-силлиманитовые породы всегда привлекают к себе особое внимание, так как они формируются при высоких P-T параметрах и часто несут в себе информацию о «пиковых» условиях метаморфического минералообразования (Глебовицкий В.А. и др, 1997; Подлесский К.К., 2003). Но об их происхождении, в том числе и в районе Порьей губы, нет единого мнения.**

**Геология ортопироксен-силлиманитовых пород.** Гранулиты района Порьей губы представляют юго-восточное окончание Лапландского гранулитового пояса в южной части Кольского полуострова. При надвигообразовании (около 1.9 млрд. лет) в одной из зон сдвиговых деформаций в Порьегубском блоке гранулитов вблизи его северо-восточного края, недалеко от границы с зоной меланжа (Балаганский, Глебовицкий, 2005), при бластомилонитизации возникли высокомагнезиальные породы с ассоциацией  $\text{Opx} + \text{Sil}$ . Одни исследователи считают их продуктами изохимического метаморфизма (Крылова, Прияткина, 1976; Козлова и др, 1991), другие рассматривают как метасоматические образования (Беляев, 1981; Бушмин С.А. и др, 2006). Породы с парагенезисом ортопироксен+силлиманит обнаружены только на трех участках (остров Паленый и район острова Горелый), в пределах одной зоны бластомилонитизации северо-западного простирания шириной около 100 метров (на острове Паленом) и установленной протяженностью около 15 километров. Временная связь ортопироксен-силлиманитовых ассоциаций с деформациями в сдвиговой зоне доказана микроструктурными исследованиями (Козлова и др., 1991). На острове Паленом зона с этими породами расположена среди клинопироксеновых, двупироксеновых ( $\pm$  биотит, роговая обманка) и ортопироксеновых ( $\pm$  биотит) кристаллических сланцев основного и среднего состава с прослоями ортопироксеновых плагиогнейсов. Непосредственно вблизи зоны и внутри нее рядом с ортопироксен-силлиманитовыми породами становятся преобладающими мигматизированные гранатсодержащие разновидности пироксеновых кристаллических сланцев и плагиогнейсов.

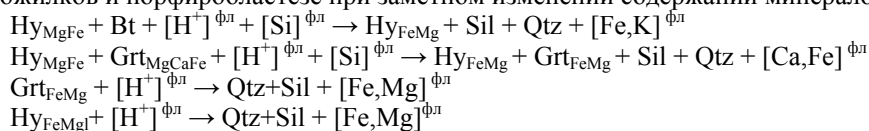
**Минеральный состав пород.** Ортопироксен-силлиманитовые породы в ряде случаев образуются при изменении пироксеновых кристаллических сланцев, но чаще исходными породами оказываются мигматизированные ортопироксеновые и гранат-ортопироксеновые гнейсы (Grt:  $X_{\text{Mg}}=0.45-0.59, X_{\text{Ca}}=0.17-0.20$ ; Opx:  $X_{\text{Mg}}=0.60-0.63, \text{Al}=0.20-0.22\text{ф.к.}$  (Grt:  $X_{\text{Mg}}, \text{Ca}=\text{Mg}, \text{Ca}/(\text{Mg}+\text{Fe}+\text{Mn}+\text{Ca})$ ; Opx, Crd, Bt:  $X_{\text{Mg}}=\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ ; Bt:  $X_{\text{Al}}=\text{Al}/(\text{Al}+\text{Si})$ ; Opx: Al – формульный коэффициент)).

Среди ортопироксен-силлиманитовых пород преобладают Al-Si-Mg богатые кварцем породы и кварциты с силлиманитом, высокомагнезиальными ортопироксеном и гранатом, плагиоклазом, калиевым полевым шпатом и поздними кордиеритом и биотитом. Они обладают пятнисто-полосчатой, иногда тонкополосчатой текстурой, так как обладают всеми признаками бластомилонитов со «струйчатым» распределением минералов и отличаются неоднородным отчетливо зональным распределением минералов от полиминеральных до мономинеральных зон. Зональность предстает парагенезисами, в которых число минералов по мере их последовательного замещения и растворения (выщелачивания) закономерно уменьшается вплоть до образования гранат-ортопироксен-силлиманитовых, (Grt:  $X_{\text{Mg}}=0.57-0.68$ ; Opx:  $X_{\text{Mg}}=0.76-0.81, \text{Al}=0.36-0.42\text{ф.к.}$ ), гранат-силлиманитовых (Grt:  $X_{\text{Mg}}=0.60-0.66$ ), ортопироксен-силлиманитовых (Opx:  $X_{\text{Mg}}=0.77-0.79, \text{Al}=0.37-0.40\text{ф.к.}$ ) и силлиманитовых кварцитов с участками кварцевого и силлиманитового состава. В кварцитах с ортопироксеном и гранатом присутствуют зерна шпинели, контактирующие с кварцем.

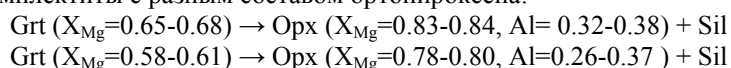
С окварцованными и кварцевыми ортопироксен-силлиманитовыми породами пространственно связаны разнообразные по составу богатые основаниями и щелочами (Fe, Mg, Ca, Na, K) порфиробластические и жильные породы: силлиманит-ортопироксен-гранатовые (Grt:  $X_{\text{Mg}}=0.57-0.71$ ; Opx:  $X_{\text{Mg}}=0.77-0.82, \text{Al}=0.38-0.39\text{ф.к.}$ ) и силлиманит-кордиерит-ортопироксеновые, а также гранатовые (Grt:  $X_{\text{Mg}}=0.39-0.44$ ), скаполит-диопсидовые, силлиманит-биотитовые, биотит-ортопироксеновые, калишпат-биотитовые.

В ортопироксеновых породах с силлиманитом и Al-Si, и Fe-Mg состава встречается магнезиальный кордиерит ( $X_{\text{Mg}}=0.87-0.93$ ), который кристаллизовался самостоятельно при метасоматических реакциях позже парагенезиса  $\text{Opx}+\text{Sil}+\text{Grt}$  или входил в состав минеральных оторочек и симплектитов. Образование поздних ортопироксен-кордиеритовых симплектитов наблюдается и вокруг матричного граната и вокруг более ранних симплектитовых срастаний ортопироксена и силлиманита. Обычно присутствие и позднего магнезиального биотита ( $X_{\text{Mg}}=0.82-0.94, X_{\text{Al}}=0.32-0.33$ ), сконцентрированного в отдельных участках, линейных зонах и прожилках.

**Реакционные структуры с ортопироксеном и силлиманитом.** Особенности и характерные черты минеральной зональности, конституции минералов, минеральных замещений и реакционных структур в телах ортопироксен-силлиманитовых пород позволяет считать, что главным процессом при их возникновении явился инфильтрационный метасоматоз с выносом (выщелачивание) / привносом (переотложение) петрогенных элементов, т.е. протекание аллохимических (метасоматических) минеральных реакций. Эти реакции выражены в структурах растворения, замещения, кристаллизации матричных минералов, возникновении ветвящихся прожилков и порфиробластезе при заметном изменении содержаний минералов, например:



Второстепенным процессом формирования парагенезиса Оpx+Sil был распад высокомагнезиального граната с образованием симплектитов при снижении T и P. По гранатам разной магнезиальности возникают симплектиты с разным составом ортопироксена:

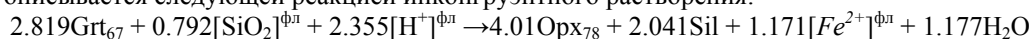


Изредка при замещении зерен граната ( $X_{\text{Mg}}=0.57-0.60$ ) среди симплектитов встречаются включения более магнезиального граната ( $X_{\text{Mg}}=0.61-0.65$ ) и появляется сапфирин ( $X_{\text{Mg}}=0.87$ ). Часто встречаются струи, сложенные грубозернистыми срастаниями ортопироксена, силлиманита и кварца, иногда с калиевым полевым шпатом.

**Анализ реакций, связанных с окварцеванием пород.** На основе экспериментальных исследований и теоретического анализа показано (Зарайский, 1999), что сильное окварцевание пород и развитие кварцевых жил является признаком воздействия на исходные породы кислых растворов, насыщенных кремнеземом. В исследованных процессах кислый раствор извлекает Si из полевых шпатов и других минералов и переотлагает его в разных метасоматических зонах.

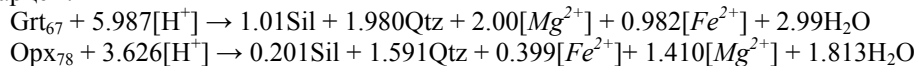
На основании анализа минеральных реакций, наблюдавшихся нами в окварцованных ортопироксен-силлиманитовых породах и кварцитах с ортопироксеном и силлиманитом, также следует вывод о воздействии кислых растворов. При этих процессах кислый раствор извлекает Si, Fe, K, Ca и Al из растворяющихся плагиоклаза, граната, ортопироксена, калиевого полевого шпата, биотита. Реакции растворения минералов отражают последовательные переходы между разными минеральными зонами метасоматической колонки по мере превращения исходных пород в ортопироксен-силлиманитовые кварциты, силлиманитовые и мономинеральные кварциты.

Переход от зоны кварцевых пород с четырехминеральным парагенезисом Qtz+Opx+Sil+Grt к зоне кварцита с трехминеральным парагенезисом, связан с растворением одного из темноцветных минералов (ортопироксена или граната). Например, исчезновение граната и переход к ортопироксен-силлиманитовому кварциту описывается следующей реакцией инконгруэнтного растворения:



Согласно этой реакции, образование парагенезиса ортопироксена и силлиманита при растворении граната связано с воздействием кислого раствора, насыщенного кремнеземом. При этом часть железа остается в растворе (и видимо выносятся) и возникает высокомагнезиальный ортопироксен.

Переход к двуминеральным зонам накопления Si и Al в виде кварца и силлиманита, не содержащим темноцветных минералов и состоящих из силлиманитового кварцита, можно выразить следующими реакциями инконгруэнтного растворения граната и ортопироксена, отражающими факты их замещения силлиманитом и кварцем:



Согласно этим реакциям, образование парагенезиса силлиманита и кварца вместо ортопироксена или граната, связано с воздействием кислого раствора. Из приведенных выше реакций видно, что Al – наименее подвижный элемент, он ведет себя наиболее инертно. Он накапливается в породах в форме минерала силлиманита при растворении и исчезновении других минералов. Но, все-таки, силлиманит тоже растворяется, и тогда имеет место переход к зонам мономинерального кварцита. Этот процесс можно выразить реакцией:  $0.585\text{Sil} + 3.512[\text{H}^+]^{\text{фл}} \rightarrow 0.585\text{Qtz} + 1.171[\text{Al}^{3+}]^{\text{фл}} + 1.756\text{H}_2\text{O}$

Согласно этой реакции, процесс образования кварцита со скоплениями, гнездами и прожилками силлиманита (переотложение малоподвижного Al) также может быть связан с воздействием кислого раствора.

**Анализ реакций симплектитовых структур.** Наиболее распространены реакции замещения граната ортопироксен-силлиманитовыми симплектитами, в которых встречается только реликтовый гранат той же магнезиальности, что и исходный гранат. При их анализе вначале обратим внимание на следующие факты. Выноса элементов и значительного перемещения вещества при симплектитообразовании, по-видимому, не было, так как этот процесс исключительно локализован и распределен в породе неравномерно. Отмечается некото-

рое повышение магнезиальности ортопироксена симплектитов от центра более крупных зерен к краю. Также обращает на себя внимание, что в симплектитах встречаются наиболее магнезиальные ортопироксены ( $X_{Mg}$  до 0,83-0,84). Все это позволяет предполагать, что при формировании симплектитов остаточные флюиды были обогащены магнием, который участвовал в реакциях разложения граната. Тогда реакция будет выглядеть следующим образом:  $0.6Grt_{67} + 2.19Qtz + 1.75[Mg^{2+}]^{фл} + 1.68H_2O \rightarrow 1.96Orx_{83} + 0.29Sil + 3.35[H^+]^{фл}$

Согласно этой реакции, разложение граната на контакте с кварцем на сростки ортопироксен+силлиманит происходит при поступлении дополнительного количества магния из флюида в зону реакции и при повышении щелочности среды (реакция смещается вправо при повышении щелочности). Само же повышение щелочности остаточного флюида может быть связано со снижением давления (Bushmin S.A., 2000). В таких реакциях иногда участвует магнезиальный биотит. Его появление в правой части реакции связано с поступлением из флюида в зону реакции не только магния, но и калия.

Как было отмечено выше, среди симплектитовых структур встречаются случаи, когда при замещении граната вместе с ортопироксеном и силлиманитом в сростках возникают новый гранат и сапфирин. Такая реакция, по-видимому, может протекать только в условиях ограниченного доступа кремнезема в зону замещения, так как, судя по наблюдениям в шлифе, в составе таких симплектитов отсутствует свободный кварц. В нашем случае породы в целом обогащены кварцем, и поэтому такие случаи единичны. Но такая реакция может быть интересна для нас тем, что позволяет оценить внешние условия, которые вызвали ее протекание:  $Grt_{67} \rightarrow Grt + Orx + Sil + Spr$ . Расчет этой реакции в количественных координатах P-T обнаруживает сильную зависимость от давления и показывает, что появление сростков  $Grt+Orx+Sil+Spr$  возможно при снижении давления от 11 кбар при  $\sim 900^\circ C$  (Бушмин и др., 2006) до 9-7 кбар. Так как ортопироксен и сапфирин являются более магнезиальными минералами, чем исходный гранат, то нужно допустить использование дополнительного количества магния из остаточного раствора в зоне кристаллизации при повышении щелочности среды. Этот вывод согласуется с выводом о снижении давления при анализе вышерассмотренных ионных реакций симплектитообразования.

Таким образом, в образовании ортопироксен-силлиманитовых пород участвовали флюиды повышенной кислотности, насыщенные кремнеземом. Они вызывали растворение и переотложение минералов и минеральных парагенезисов. Второстепенное значение имело позднее образование ортопироксен-силлиманитовых симплектитов при разложении ранних матричных гранатов на фоне снижения P (и возможно T) при участии небольшого объема малоподвижного остаточного флюида повышенной магнезиальности и щелочности.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта научной школы НШ- 4732.2006.5.

#### ЛИТЕРАТУРА

Балаганский В.В., Глебовицкий В.А. Лапландский гранулитовый пояс и пояс Танаэль / В кн.: Ранний докембрий Балтийского щита. СПб.: Наука, 2005. С.127-175.

Беляев О.А. Кислотное выщелачивание и сопряженный Fe-Mg метасоматоз в условиях гранулитовой фации / В кн.: Метасоматоз и метасоматиты в метаморфических комплексах докембрия. Апатиты: Изд. Кол. ФАН СССР, 1981. С. 10-19.

Бушмин С.А., Доливо-Добровольский Д.В., Лебедева Ю.М. Инфильтрационный метасоматоз в условиях гранулитовой фации высоких давлений (на примере ортопироксен-силлиманитовых пород сдвиговых зон Лапландского гранулитового пояса). // ДАН. 2006.

Глебовицкий В.А., Алексеев Н.Л., Доливо-Добровольский Д.В. Реакционные структуры и P-T режимы охлаждения глубинных образований Кандакшско-Колвицкой структурно-формационной зоны, Кольский полуостров // Зап.ВМО. 1997. №2. С.1-22.

Козлова Н.Е., Балаганский В.В., Богданова М.Н., Реженева С.А. Структурно-петрологическое изучение ортопироксен-силлиманитовой ассоциации лапландских гранулитов // Изв. АН СССР. 1991. Сер. геол. №4. С.66-76.

Крылова М.Д., Прияткина Л.А. Гиперстен-силлиманитовая ассоциация в гранулитовом комплексе Порьей Губы (юго-запад Кольского полуострова) // ДАН СССР. 1976. Т.226. №3. С.661-664.

Подлесский К.К. Гиперстен в ассоциации с силлиманитом и кварцем как индикатор условий метаморфизма // ДАН. 2003. Т. 389. №1. С. 1-4.

Bushmin S.A. Evolutional model of metasomatism in metamorphic cycle. In: Models and Modeling of geological processes and objects. Ed. V.Glebovitsky. Teophrastus. St.Petersburg. 2000. P.137-140.

#### МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРИДОТИТ-ПИРОКСЕНИТ-ГАББРОНОРИТОВОГО УЛИТАОЗЕРСКОГО МАССИВА

Липенков Г.В.<sup>1</sup>, Сергеев А. В.<sup>1</sup>, Васильева В.А.<sup>2</sup>, Кузнецов В. А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>СПбГУ, [gleb\\_lipenkov@inbox.ru](mailto:gleb_lipenkov@inbox.ru)

<sup>2</sup>ФГУП «ВСЕГЕИ им Карпинского», Санкт-Петербург.

Улитаозёрский массив относится к нижнепротерозойской перидотит-пироксенит-габброноритовой формации. На Балтийском щите интрузии данной формации проявлены достаточно широко и с ними связан ряд месторождений: платиноидно-медноникелевых руд (Мончеплутон), малосульфидных платинометаллических руд