Пегматитообразующая среда на стадии перехода от магматической кристаллизации к гидротермальной (на примере пегматитовой жилы Лесхозовская (Ю.З. Памир, Таджикистан)).

Смирнов С.З.[1], Сазонтова Н.А.[2], Коноваленко С.И.[2], Томас В.Г.[1], Данюшевский Л.[3], Владимирова И.А.[2], Владимиров А.Г.[1]
[1] *ИГМ СО РАН, Новосибирск, Россия (ssmr@uiggm.nsc.ru)*
[2] *Томский государственный университет, Томск, Россия*
[3] *CODES, University of Tasmania, Хобарт, Австралия*

Pegmatite-forming medium at the magmatic-hydrothermal transition (on example of Leskhozovskaya pegmatite, SW Pamir, Tajikistan)

Smirnov, S.[1], Sazontova, N.[2], Konovalenko, S.[2], Thomas, V.[1], Danyushevsky, L.[3], Vladimirova, I.[2], Vladimirov, A.[1]
[1] *IGM SB RAS, Novosibirsk, Russia*
[2] *Tomsk State University, Tomsk, Russia*
[3] *CODES, University of Tasmania, Hobart, Australia*

Summary. Fluid and silicate melt inclusions in quartz of two-feldspar pegmatite, tourmaline-quartz-albite near miarolitic assemblage and miarole of the Leskhozovskaya miarolitic pegmatite, SW Pamir, were studied in order to understand P-T-X parameters of pegmatite-forming medium at the magmatic-hydrothermal transition. Thermometric study showed that crystallization of the assemblages under interest occurred at about 600ºC and 2.8 – 3.8 kbar. Silicate melts of this stage is characteristically poor in SiO_2 and enriched in B_2O_3, F and H_2O. Aqueous fluid has borate-boric acid composition with extremely low Cl-content. It was established that silicate liquids of the transitional stage tend to accumulate K, Ta and Nb, while aqueous fluid concentrates Na, Li, W and Sb. Both liquids accumulate B and Cs almost equally.

Гранитные пегматиты являются уникальными природными лабораториями, позволяющими исследовать процессы магматического фракционирования и последующей гидротермальной кристаллизации. Переход от магматической кристаллизации к гидротермальной в пегматитах является наиболее интересным и дискуссионным моментом процесса. Этот переход отчетливо фиксируется в миароловых пегматитах, где магматическая и гидротермальная стадии представлены разными парагенезисами. Находки сингенетичных включений силикатных и водных жидкостей в минералах околомиароловых парагенезисов и в корневых частях кристаллов из миарол пегматитов показывают, что эти минеральные комплексы, по-видимому, и были сформированы на переходной стадии. Таким образом, изучение сингенетичных расплавных и флюидных включений в них, дает ключ к определению P-T параметров процесса и поведению различных элементов при переходе от кристаллизации расплава к гидротермальному минералообразованию в пегматите.

Данная работа представляет результаты исследования включений водных и силикатных жидкостей в минералах позднее магматических комплексов пегматитовой жилы Лесхозовская, входящей в состав пегматитового поля Ю.З. Памира. Миароловые турмалиноносные пегматиты Ю.З. Памира, которые представляет эта жила, относятся к редкометалльному гранит-лейкогранитному комплексу, возникшему в кайнозое в результате индо-евразийской коллизии (Россовский и др. 1976). Жила Лесхозовская сечет гнейсы и амфиболиты докембрийского возраста и содержит угловатые ксенолиты вмещающих пород, что однозначно свидетельствует в пользу интрузивного характера ее взаимоотношений с вмещающими породами. От периферии к центру пегматитового тела среднезернистый кварц-олигоклазовый пегматит сменяется более крупнозернистым

двуполевошпатовым с обильным шерлом и небольшим количеством зеленого турмалина. В центральной части жилы присутствуют небольшие миаролы, вокруг которых развит прерывистый турмалин-кварц-альбитовый комплекс с желто-зеленым турмалином. Помимо турмалина в качестве акцессорных минералов в пегматите присутствуют: гранат, слюды, манган-колумбит, микролит, пирохлор, касситерит, циркон и ксенотим. Последние минералы чаще встречаются в виде включений в кварце и полевых шпатах. Рудные минералы (тантало-ниобаты и касситерит), как правило, рассеяны в массе пегматита и не образуют больших скоплений. Тем не менее, следует отметить, что их количество увеличивается по направлению к миаролам.

Кварц двуполевошпатого пегматита и околомиаролового комплекса содержит ассоциации расплавных и флюидных включений размером от 5-10 мкм до первых сотен мкм. Термометрическое изучение флюидных включений проводилось с использованием термокамеры Linkam THMSG-600. Состав дочерних фаз флюидных и расплавных включений был изучен с помощью Рамановской спектроскопии. Химический состав расплавных включений исследован с помощью электронно-микрозондового анализа (EMPA) и вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS). Состав содержимого флюидных включений изучался с помощью масс-спектрометрии индуктивно связанной плазмы с лазерной абляцией (LA-ICP-MS).

При комнатной температуре расплавные включения содержат флюидное обособление и агрегат кристаллических фаз, в котором доминируют слюды со структурой мусковита. Данные Рамановской спектроскопии и термометрические исследования предполагают наличие во флюидном обособлении дочерних кристаллов сассолина, которые растворяются при температуре около 80ºС. Газовый пузырек флюидного обособления не содержит значимых количеств CO_2, N_2, CH_4 и H_2S. Растворение газового пузырька флюидных обособлений происходит в широком диапазоне температур от 66 до 270ºС. Термометрические исследования расплавных включений проводились методом закалки в автоклаве с водной средой с изотермическими выдержками при 500, 550, 600 и 650ºС при давлении 2.5 – 3 кбар в течение 1–4 суток. Первые признаки плавления отмечались после закалки при 550ºС. После опыта при 600ºС мелкие (до 10 мкм) включения гомогенизируются, а в более крупных исчезают кристаллические фазы. При 650ºС гомогенными становятся и некоторые крупные включения. После закалки при 650ºС в изученных вкрапленниках кварца обнаружены стекловатые гомогенные включения и стекловатые включения содержащие газовое и газово-жидкое флюидные обособления. Такое поведение расплавных включений, по-видимому, является свидетельством гетерогенного захвата силикатной и водной жидкостей, сосуществующих в процессе образования кварца изученных минеральных парагенезисов.

Закаленные стекла расплавных включений характеризуются несколько пониженным относительно обычных гранитов содержанием SiO_2. Стекла недоплавленных включений содержат около 62 мас% SiO_2, в то время как полностью переплавленные включения содержат в среднем около 67 мас% SiO_2. Суммарное содержание K_2O+Na_2O составляет в среднем около 8 мас%. В большинстве случаев стекла переплавленных включений имеют высокоглиноземистый характер (ASI ~ 1.2). Важными в петрологическом отношении характеристиками стекол являются крайне низкие содержания мафических компонентов (FeO, MnO и MgO ниже пределов обнаружения EMPA) и повышенные концентрации B_2O_3 (в среднем 2,4 мас%), F (в среднем 1.45 мас%) и H_2O (до 9 мас%). Обращают на себя внимание высокие содержания редких щелочей (до 1.8 мас% Cs_2O, до 0.37 мас% Rb_2O, около 40 ppm Li). Содержание Li в стеклах некоторых недоплавленных включений достигает 0.6–2.3 мас. % Li_2O. Характерной особенностью закаленных стекол также являются повышенные концентрации рудных редких элементов Ta – 23–211 ppm, Nb – 29–89 ppm, Be – 18–176 ppm. Содержания Sn и W оказались ниже пределов обнаружения SIMS.

Сингенетичные с расплавными, флюидные включения при комнатной температуре содержат водный раствор, газовый пузырек и дочерние кристаллические фазы. Во

включениях в кварце двуполевошпатового пегматита и в кварце околомиаролового турмалин-кварц-альбитового комплекса присутствуют только дочерние кристаллы сассолина, в то время как в миароловом кварце во включениях помимо сассолина присутствуют кристаллы неидентифицированной фазы, вероятно бората. Газовый пузырек содержит малоплотную CO_2. Термометрические исследования показали, что растворы включений в кварце двуполевошпатового пегматита, околомиаролового пегматита и миаролы обладают близкими температурами начала плавления (около -6ºС) и плавления льда (около -2.6ºС). Аналогичными характеристиками обладают и флюидные обособления расплавных включений. Растворение газового пузырька флюидных включений в кварце двуполевошпатового пегматита происходит при 250–260ºС, что близко к максимальным температурам гомогенизации флюидных обособлений расплавных включений. Кварц из турмалин-кварц-альбитового околомиаролового комплекса характеризуется наличием двух групп включений. В первой группе растворение газового пузырька происходит при 240–250ºС, во второй – при 180–230ºС. Во включениях из миаролового кварца пузырек растворяется при 260–270ºС. Растворение сассолина во включениях всех комплексов наблюдается в диапазоне 74–86ºС, что соответствует концентрации H_3BO_3 около 18 мас. %. Таким образом, термометрические характеристики флюидных включений в исследованных комплексах близки к аналогичным характеристикам флюидных обособлений расплавных включений, что предполагает их сходство и генетическое родство. Главным отличием включений в миароловом кварце является наличие неидентифицированного бората, который растворяется при температурах около 80–90ºС вместе с сассолином. Практически во всех включениях в миароловом кварце даже после растворения газового пузырька остаются кристаллические фазы (мелкая сыпь или хорошо оформленные кристаллы), которые вероятнее всего являются результатом реакционных взаимодействий между дочерними фазами и раствором в процессе экспериментов по гомогенизации.

Главными катионами растворов флюидных включений являются Na, Cs, K и Rb. Доминируют Na и Cs (молярное отношение (Na+Cs)/(Na+Cs+K+Rb) ~ 0.91–0.98). Особый интерес представляет анионная часть раствора. Единственным анионобразователем, обнаруженным в растворах включений оказался бор. Мольное количество этого элемента значительно превышает количество, необходимое для компенсации катионов в форме боратов. Содержания хлора ниже предела обнаружения метода, который составил менее 1 мас. % Cl. Эти данные хорошо согласуются с данными микротермометрии, подтверждающими, что водные растворы включений содержат щелочные бораты и борную кислоту. В пределах ошибки метода растворы включений в кварце из различных комплексов не обнаруживают существенных различий по содержаниям основных компонентов.

Наиболее важными примесями в растворах включений являются W, Li, Be, Sb, Nb и Ta. Содержания W и Li существенно превышают концентрации этих элементов в стеклах расплавных включений. Концентрация Be приблизительно равна, а содержание Ta и Nb существенно ниже. Здесь следует отметить, что содержание Cs в растворах флюидных включений также близко к его содержанию в стеклах расплавных включений. Концентрации Li, W, Ta и Nb во флюидных включениях обнаруживают тенденцию к снижению от двуполевошпатового пегматита к околомиароловому комплексу. В растворах включений в миароловом кварце они вновь увеличиваются.

Приведенные результаты показывают, что на стадии перехода от магматической кристаллизации к гидротермальной пегматитообразующая среда состояла из силикатного расплава, обогащенного B, F, водой и редкими элементами и водного борнокислого флюида. Кристаллизация минеральных комплексов этого этапа происходила при температурах около 600ºС и давлениях 2.8–3.8 кбар. Сходство составов флюидных включений в кварце из миаролы и кварца двуполевошпатового пегматита предполагает, что образование миарол связано с изоляцией флюидной фазы, сосуществующей с пегматитовым расплавом, как это предполагалось в (Peretyazhko et al., 2004). Вариации

составов пегматитового флюида, зафиксированные флуктуациями плотности растворов флюидных включений, вероятно, являются отражением смешения флюидов из разных частей пегматитового тела, связанных с деформациями внутри закристаллизовавшегося пегматита. Образование околомиаролового комплекса является результатом взаимодействия флюида миаролы с кристаллическими фазами и остаточной силикатной жидкостью. Перераспределение вещества между флюидной и силикатной жидкостями на стадии перехода выражается в том, что силикатная жидкость проявляет тенденцию к обогащению K, Ta и Nb, в то время как водный флюид является концентратором Na, Li, W и Sb. Цезий и бор, вероятно, перераспределяются между расплавом и флюидом в приблизительно равных количествах. Детальные исследования составов включений и физического состояния минералообразующих пегматитовых сред на стадии перехода от магматической кристаллизации к гидротермальной позволяют разрабатывать модели транспорта химических элементов и формирования магматогенно-гидротермальных рудных месторождений.

Данная работа была выполнена в рамках гранта РФФИ 06-05-65137 и интеграционного проекта Президиума СО РАН №99 «Литий России».

Литература:

Россовский, Л.Н., Коноваленко, С.И., Чмырев, В.М. Глубина формирования гранитных пегматитов (на примере Гиндукуша) // Изв. АН СССР. Сер. Геология. 1976. № 10. С. 39-54.

Peretyazhko,I.S., Zagorsky, V.Ye., Smirnov, S.Z., Mikhailov, M.Y. Conditions of pocket formation in the Oktyabrskaya tourmaline-rich gem pegmatite (the Malkhan field, Central Transbaikalia, Russia) // Chemical Geology. 2004. 210. Pp 91-111.