

ИЗУЧЕНИЕ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ ВО ФЛЮОРИТЕ ИЗ РУД УНИКАЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТЫРНЫАУЗ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

Чернова Александра Дмитриевна

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва,

mallotig@yandex.ru

В ходе данной работы были изучены включения высокотемпературных (560-630 °С) хлоридных рассолов с большим количеством дочерних минералов во флюорите из руд 10 горизонта уникального скарнового вольфрам-молибденового месторождения Тырныауз. Высокотемпературные хлоридные рассолы привлекают многих исследователей своей способностью растворять и накапливать многие рудные элементы. При отделении такого флюида от гранитоидного расплава высокотемпературный хлоридный рассол способен осуществлять транспорт ряда металлов.

Были исследованы флюидные включения в кристаллах флюорита октаэдрического габитуса из прожилков, пересекающих пироксен-гранатовые скарны в рудах месторождения Тырныауз. На приведенной диаграмме на рис. 1 включения находятся в области высоких температур и концентраций солей. Образование флюоритовых прожилков связывают с воздействием на скарны внедрившегося позднее массива Эльджуртинских гранитоидов возраста 1,2 млн..

По фазовому составу выделяются две группы включений: первичные и первично-вторичные. Первичные флюидные включения равномерно распределены по объему кристалла флюорита и являются многофазовыми (рис.2), причем соотношения фаз во всех первичных включениях близкие. Все они содержат несколько прозрачных изотропных фаз хлоридов разного размера, несколько мелких анизотропных кристаллов и непрозрачный кристаллик магнетита, диагностика которого описана в работе [2]. Первично-вторичные включения, приуроченные к трещинам, не выходят за пределы внутренних зон.

Включения уже изучались разными методами. В публикациях [1, 2, 3 и др.] приводится информация не только о термометрических характеристиках включений, но и о результатах диагностики рентгенографическим анализом многих дочерних минералов: магнетита, халькопирита, сфалерита, кубанита, пирротина, арсенопирита, тунгстенита, галита, сильвина, кальцита, графита, хлорита, анкерита и фторида-хлорида кальция CaFCl . Масс-спектрометрическим методом в газовой фазе включений были установлены метан, азот и углекислота. Однако оценок концентраций различных элементов в высокотемпературном рассоле практически не было из-за отсутствия технических возможностей. До 1990 г были опубликованы только грубые оценки концентрации железа в этом флюиде (до 73 г/кг раствора), рассчитанные на основании подсчетов объемных соотношений фазы магнетита во включении относительно других фаз с учетом

их плотностей [2]. Применение метода LA ICP MS позволило получить оценки концентраций большого числа элементов [5], причем оценка концентраций железа дала меньшие значения – 0,2 мас. %.

Для изучения содержимого включений и концентраций различных элементов во флюиде был использован комплекс методов: термо- и криометрии индивидуальных флюидных включений (в ИГЕМ РАН на микротермокамерах фирмы “Linkam”), сканирующей электронной микроскопии (в Институте геологии СО РАН, на приборе LEO 1430 VP, снабженном EDX спектрометром OXFORD, при напряжении 20 kV), КР-спектроскопии (в Институте геологии СО РАН, на спектрометре «Ramalog U-1000», аналитик – А. П. Шебанин) и лазерной абляции (в Институте геологии СО РАН, на масс-спектрометре высокого разрешения с магнитным сектором и двойной фокусировкой ELEMENT фирмы FINNIGAN MAT, Germany) с анализом состава флюида индивидуального включения методом ICP MS (в дальнейшем просто LA ICP MS), позволяющей одновременно определять концентрации широкого круга элементов [5, 6 и др.].

Последние данные об оценке концентраций различных элементов во флюидном включении были получены с использованием методов построения объемной модели отдельно взятого флюидного включения с использованием компьютерных технологий [4]. Построение модели заключалось в последовательном выполнении следующих шагов: определении объема отдельных фаз во включении, определении общего объема включения, вычислении соотношения объемных долей различных фаз во включении. Построение отдельных фаз и всей модели включения достигалось послойной фотосъемкой флюидного включения с помощью микрометренных устройств микроскопа на разных глубинах с шагом 3 – 10 мкм. Данная процедура производилась на цифровом фотомикроскопе высокого разрешения Axio Imager, относящийся к новейшей серии материаловедческих микроскопов фирмы Carl Zeiss. На каждой из полученных фотографий производилось точное определение положений фазовых границ на различных уровнях сечения включения. Подобная операция производилась для каждой фазы в отдельности и для общего контура включения. Для фиксации границы фазы авторы воспользовались графическими возможностями программы AutoCad 2006, в результате чего был получен набор замкнутых контуров для каждого уровня, привязанный пространственно в произвольных координатах и с выбранным масштабом. Дальнейшая обработка происходила с помощью программ 3D моделирования. Конечная объемная модель природных флюидных включений была построена с помощью программы «Micromine» (рис.3). Опираясь на двухмерные координаты, полученные при выполнении предыдущего шага построения модели в AutoCade, задавались координаты третьего измерения, учитывающие шаг съемки включения. Таким образом, появлялась возможность с помощью специальных

модулей программы создавать так называемую каркасную фигуру для каждой выбранной фазы и границ включения.

Полученная объемная модель всех фаз во включении позволила рассчитать относительных объемы всех фаз, и, зная их составы и плотность, вычислить общую массу содержимого флюидного включения и массы отдельных фаз. Имея такую информацию, можно рассчитать концентрации отдельных элементов во флюиде включения с большой точностью. Погрешность измерений составила первые %. Рассчитанная концентрация железа во флюиде составила 0,30-0,33 мас. %, что практически совпадает с данными работы [3].

Семь первичных однотипных многофазовых включений размером более 100 мкм во флюорите были проанализированы методом LA ICP MS на широкий спектр элементов (рис.4). В частности, наибольшая интенсивность аналитического сигнала от K, Zn, Cu, Cs и As наблюдалась при истечении раствора из еще не вскрытого включения, а наибольший сигнал от Na, Mn, Fe, Sb, La и Ce наблюдался в момент вскрытия вакуоли включения с твердыми фазами. В принципе, это может служить основанием для предположения о преимущественном содержании этих элементов в составе раствора или твердых фаз или об относительной растворимости солей, в состав которых входят эти элементы. Данные, полученные в результате исследований, свидетельствуют о высоких концентрациях многих рудных элементов в высокотемпературных рассолах. Кроме того, установлено явное обогащение флюида включений легкими REE относительно тяжелых. Если сравнить содержание редких земель во флюиде и минерале (флюорите), то наблюдается обогащение высокотемпературных флюидов легкими редкими землями относительно флюорита. Огромное значение имеют соотношения концентраций ряда элементов, которые используются геохимиками для изучения различных процессов. В частности, для изученного флюида отношение $K/Rb=6.3$, что типично для гранитоидов [7 и др.]. Величина отношений $Sr/Ba=1.625$, а $Ba/Rb=0.67$, что тоже характерно для гранитоидных систем. Поэтому можно достаточно обоснованно сделать вывод о том, что изученный высокотемпературный рассол явно мог быть в равновесии с гранитоидным расплавом упомянутых выше эльджуртинских гранитов.

Автор выражает благодарность за помощь в работе научному руководителю профессору кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых Прокофьеву Всеволоду Юрьевичу и доценту кафедры минералогии Кононову Олегу Васильевичу.

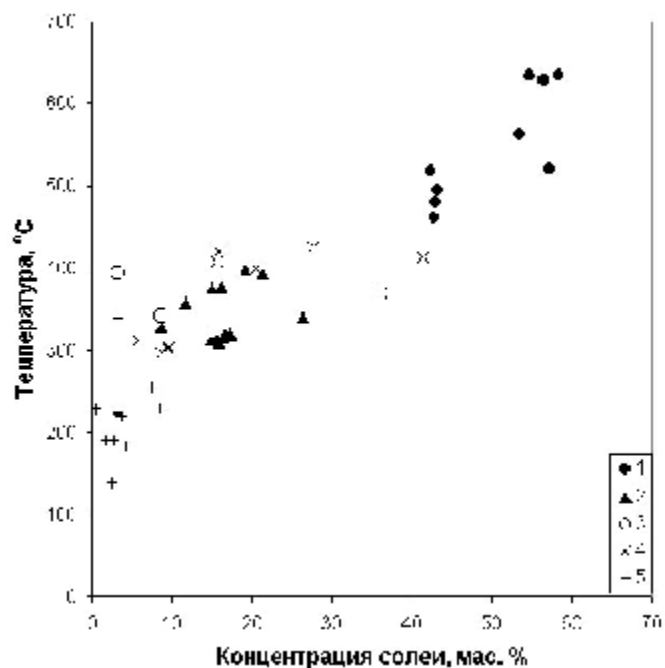


Рис 1. Диаграмма. 1 – флюорит.

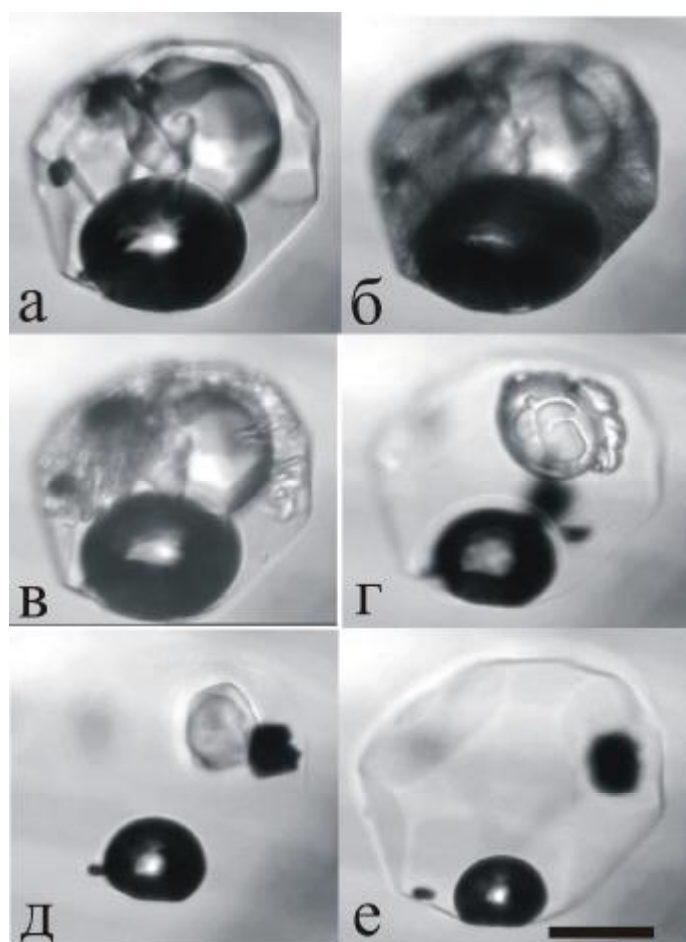


Рис.2. Первичное многофазовое включение во флюорите месторождения Тырнауз. Масштабная линейка 50 мкм.
а.+20 °С, б.-36 °С, в.+25 °С, г.+349 °С, д.+460 °С, е.+564 °С.

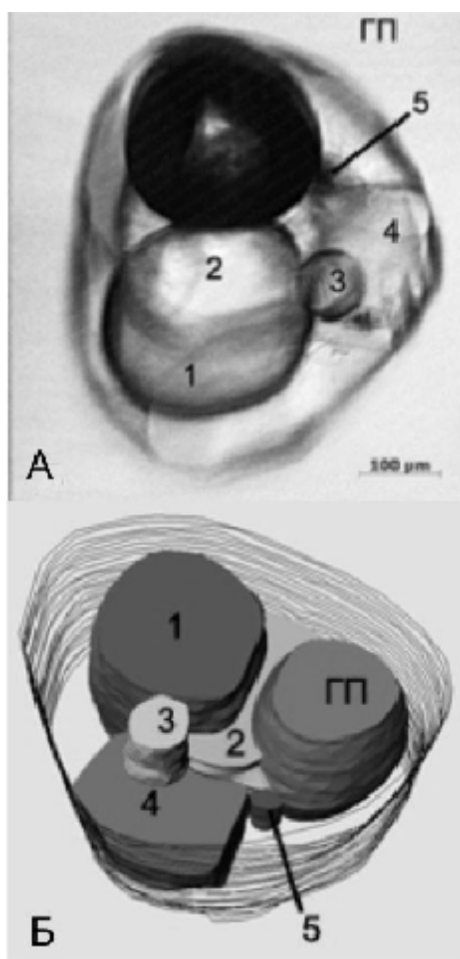


Рис. 3 Флюидное включение (А) и его трехмерная модель (Б). 1 – галит, 2 – сильвин, 3 – апатит (?), 4 нахколит (?), 5 – магнетит, ГП – газовый пузырек.

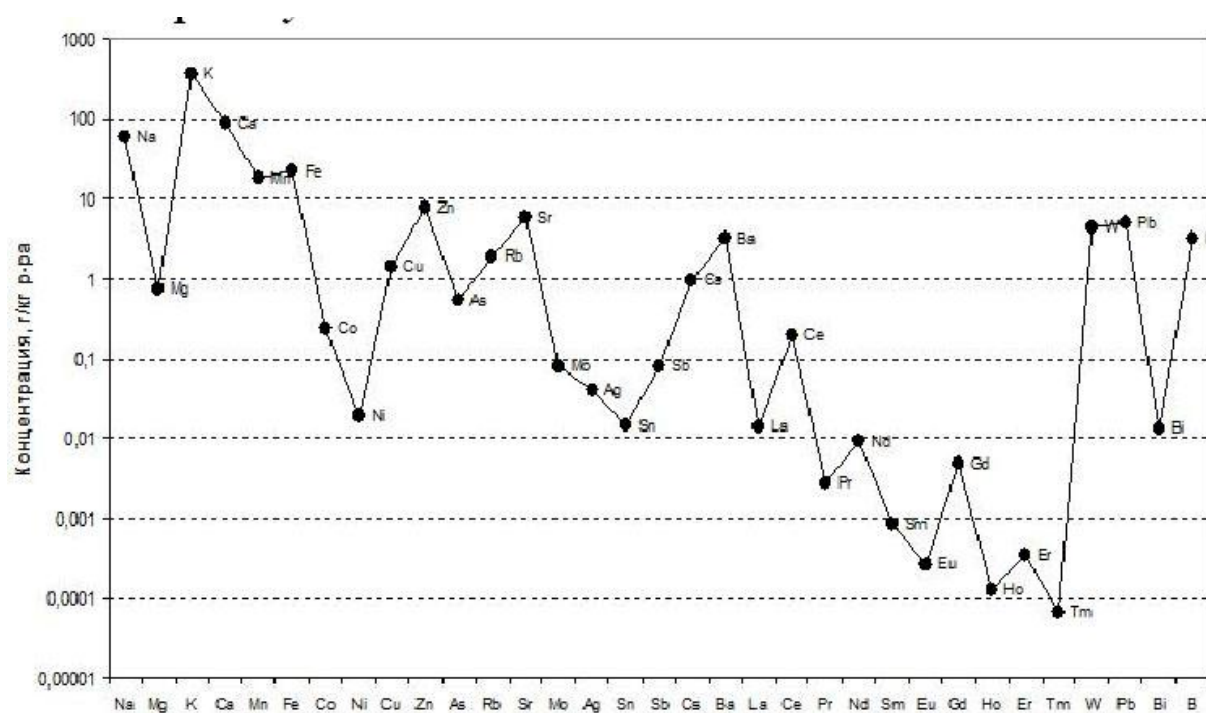


Рис. 4. Содержание элементов во флюорите по данным анализа комплекса методов (газовая, ионная хроматография и LA ICP MS).

Литература:

1. Куликов И. В., Боярская Р. В. Водно-солевые расплавы во включениях флюорита Тырныаузского месторождения // Известия АН СССР. Сер. геолог. 1989. №9. С. 81-98.
2. Наумов В. Б., Шапенко В. В. Концентрация железа в высокотемпературных хлоридных растворах по данным изучения флюидных включений // Геохимия. 1980. №2. С. 231-238.
3. Прокофьев В. Ю., Борисенко А. С., Боровиков А. А., Кононов О. В. Состав высокотемпературных хлоридных рассолов: исследование флюидных включений во флюорите месторождения Тырныауз (Северный Кавказ) // Петрология и рудоносность регионов СНГ и Балтийского щита. Материалы международного петрографического совещания «Петрография XXI века». Апатиты, 2005. Т. 3. С. 229–231.
4. Чернова А., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Метод оценки объемных долей различных фаз в многофазовых флюидных включениях // Материалы XIII Международной конференции по термобарогеохимии и IV симпозиуму APIFIS. М., ИГЕМ РАН, 2008
5. Audetat A., Gunter D., Heinrich C. A. Magmatic-hydrothermal evolution in a fractionating granite: A microchemical study of the Sn-W-F-mineralized Mole Granite (Australia) // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2000. V. 64. №. 19. P. 3373-3393.
6. Borisenko A.S. Borovikov A.A. Reif F.G. Analysis of fluid inclusions using modern techniques and problems of data interpretation // Metallogeny of the Pacific Northwest: Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins: Proceedings of the Interim IAGOD Conference, Vladivostok, 1 - 20 september 2004. Vladivostok: Dalnauka, 2004. P. 281-283
7. Irber W. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1999. V. 63. №3/4. P. 489-508.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУМРОЧ (ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)

Шишканова Ксения Олеговна

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,
lvod@kscnet.ru*

Месторождение Кумроч располагается на востоке Камчатского полуострова, в центральной части одноименного рудного поля, в 35-40 км от побережья Тихого океана. Ближайший населенный пункт - п. Усть-Камчатск.