

## ОСОБЕННОСТИ ФЛЮИДНОГО РЕЖИМА КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА ТАТАРСКОГО СВОДА

Кристаллический фундамент Татарского свода является одной из центральных структур Волго-Уральской антеклизы. Проведенные исследования свидетельствуют, что кристаллический фундамент относится к постоянно эволюционирующему типу геологических структур, который находится в постоянно меняющемся поле геодинамических напряжений. Возникновение напряжений в теле кристаллического фундамента Татарского свода связано с формированием специфических компрессионных и декомпрессионных зон деструкций (Ситдикова, Изотов, 2003; Ситдикова, 2005). Эти напряжения возникают за счет постоянных передвижек отдельных блоков фундамента, которые зажаты между авлакогенными рвами (Ситдикова, Изотов, 1999).

В настоящее время факт активной миграции флюидных систем в кристаллических породах является практически установленным (Маракушев, 1965), однако формы и механизм их миграции до настоящего времени остаются дискуссионными. Большинство исследователей миграция глубинных флюидов связывается с глубинными разломами земной коры, которые вполне естественно рассматриваются как флюидопроводящие каналы.

Однако проводимые исследования в областях развития метаморфических толщ свидетельствуют, что области флюидного воздействия широко распространены и в нарушенных геологических толщах. К таким толщам приурочены поля метасоматитов, диафторических толщ и целые гранитогнейсовые массивы (купола), формирование которых без участия флюидных фаз невозможно.

Одним из главных факторов миграции флюидов в пределах Татарского свода гидротермальных систем является постоянная геодинамическая эволюция фундамента (Sitdikova, Izotov, 2006). Эта миграция осуществляется в различных формах в зависимости от геологических условий проявления напряженного состояния. В пределах кристаллического фундамента и по его периферии развиты различные системы зон разломов, которые приводят к разрывам сплошности пород фундамента. Миграция флюидов в зонах глубинных разломов проявляется в движении гидротермальных систем по ослабленным зонам, которые приводят к развитию метасоматических процессов и к развитию полей гидротермально-измененных пород фундамента. Часто зоны метасоматических изменений пород фундамента не контролируются разломной тектоникой, хотя последняя и играет большую роль при формировании пород различных степеней изменения пород.

Однако, по данным наших исследований (Ситдикова, Изотов, 2006) напряженное состояние пород фундамента постоянно изменяется. В этом случае в отдельных участках фундамента в условиях, когда не происходит разрыва сплошности пород, установлена другая форма миграции флюидов, а именно, в виде включений гидротермальных флюидов по плоскостям развития дислокаций кристалли-

ческой решетки минералов. Такая форма миграции флюидов имеет чрезвычайно широкое распространение и является ответственной за формирование регионально развитых полей метасоматитов гранитогнейсовых структур древних щитов и других геологических регионов в деформированных геологических средах (Ситдикова, 2005).

Каков же механизм миграции флюидов в таких типах геологических систем? Еще в 1957 г. Д.С. Коржинский отмечал, что миграция гидротермальных флюидов в таких образованиях связана с капиллярно-диффузионными процессами.

Проведенные нами исследования свидетельствуют, что такие капиллярные каналы сами развиваются по системам дислокаций кристаллической решетки минералов. Данные минералого-петрографических исследований метаморфических пород кристаллического фундамента Востока Русской плиты по керну глубоких и сверхглубоких скважин свидетельствуют, что все изученные типы пород прошли различные этапы тектонических напряжений, что выразилось в проявлении процессов милонитизации и брекчирования в зонах деструкций до появления блочности минералов.

Проведенные исследования с использованием растровой электронной микроскопии показывают, что такие кристаллы метаморфических пород могут являться проводниками гидротермальных флюидов, несущих комплекс газо-жидких микровключений. К минералам, в которых эти включения наблюдаются, в первую очередь, относится кварц, который обладает «вязкой» кристаллической структурой с отсутствием спайности, что способствует сохранению в нем этих включений. Известно, что кварц имеет каркасную кристаллическую структуру, характеризующуюся при повышенных давлениях высокой вязкостью, чем и объясняются такие явления как пластическое течение кварца при высоких давлениях с появлением гранулитовых структурных форм, характеризующихся волнистым блочным строением, о чем свидетельствует волнистое и блочное погасание при исследовании их в прозрачных шлифах.

Такой тип блочности отдельных минералов, в частности кварца, изучен по керну ряда скважин, вскрывших зоны деструкций кристаллического фундамента, например в скв. 20000 Миннибаевской, скв. 20009 Ново-Елховской, скв. 678 Тлянци-Тамакской и скв. 20002 и др., где мозаичное и волнистое погасание проявляется в зернах кварца первой генерации (Рис. 1).

Факт наличия флюидосодержащих микровключений в различных минералах достаточно хорошо известен, однако эти включения описаны в основном для минералов магматического и гидротермального кристаллогенеза (Балицкий, 2006; Ермаков, 1972). Однако в метаморфических породах возникновение этих включений и их динамика объясняются другими причинами (Коттрел, 1969), о чем свидетельствует морфология этих включений и особенности их расположения в кристаллах.

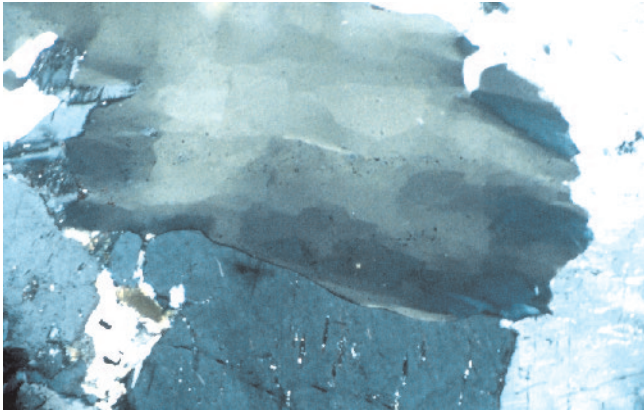


Рис. 1. Дислоцированный кварц с мозаичным и волнистым погасанием с полосками газовой-жидких включений. Скв.678, Тлянчи-Тамак, гл.2470,2 м. Николи +. Ув.125х.

Проведенные нами исследования микровключений в кварце и в других минералах свидетельствуют, что в результате ориентированных нагрузок в кварце возникают дислокации деформационного типа в ядрах, которых происходит разрыв сплошности кристалла, связанных с появлением вакансий в его структуре. За счет процессов диффузии и других явлений эти вакансии могут заполняться соответствующими по размеру подвижными молекулами воды, простых углеводородов, окислов. В результате роста минералов вакансии могут увеличиваться в объеме, превращаясь в пустоты пузырькового типа, которые и констатируются при микроскопических исследованиях. Размеры пузырьковых выделений в деформированном кварце составляют сотые – тысячные, реже десятые доли миллиметра. Особенностью включений является их линейно-полосовидное расположение в кристаллах кварца, часто вне прямой зависимости с определенными кристаллографическими направлениями данного минерала (Рис. 2, 3).

Полосы газовой-жидких включений могут быть ориентированы не по кристаллографическим направлениям в кварце, а по направлениям, перпендикулярным напряжениям, которые часто сопровождаются вытянутостью блоков волнистого погасания, либо перпендикулярно к ним. Изучение расположения полос газовой-жидких включений кварца позволяет утверждать, что они трассируют плоскости линейных дислокаций, возникающих в ходе метаморфических процессов и связанных с процессами компрессии – декомпрессии в теле фундамента (Ситдикова, 2005). По данным минералого-петрографических исследований установлено также, что полосы включений часто переходят с одного зерна кварца на другое.

Размер включений обычно составляет тысячные – сотые доли мм, форма самих полостей включений при ее широкой изменчивости характеризуется уплощенно-овальными очертаниями, при этом вытянутость включений ориентирована вдоль направлений цепочек включений. Расположение полос газовой-жидких включений обычно совпадает с полосами волнистого погасания кварца. По данным петроструктурных исследований с применением метода Е.С. Федорова зоны погасания ориентированы субгоризонтально (перпендикулярно оси зерна), что свидетельствует о субвертикальном направлении градиента напряжения в породах. Расстояние между такими цепочками включений колеблется от 0.п до 0.0п мм (Рис.4). Такое расположение включений в кристаллах свидетельствует об их формировании в постметаморфический этап

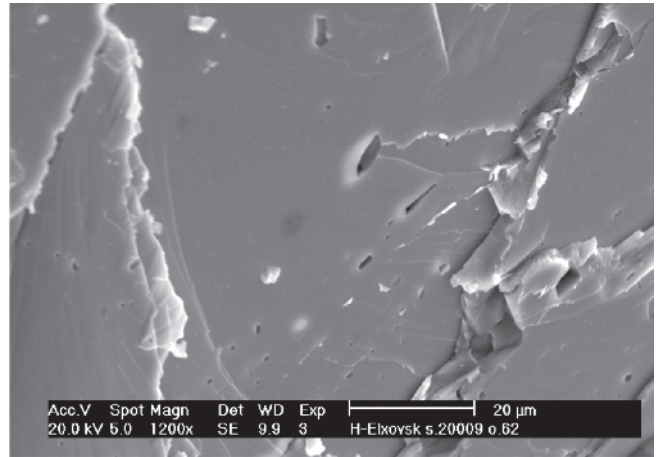


Рис. 2. Субпараллельные цепочки газовой-жидких включений вдоль дислокационных линий в кварце 1 генерации. Скв.20009, Ново-Елховская, обр. 62. Ув.1200х.

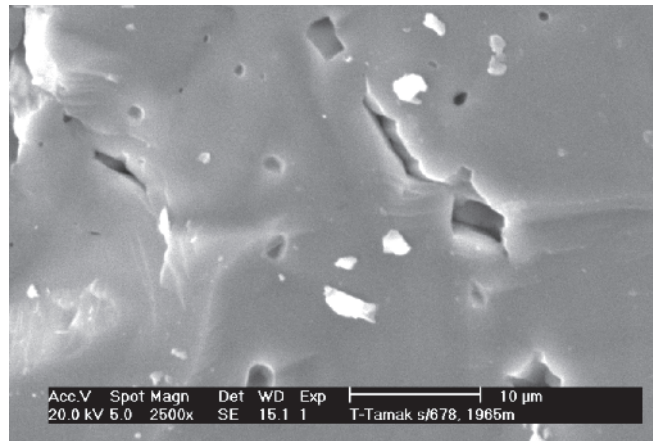


Рис. 3. Линейно-цепочечная форма газовой-жидких включений. Частичное «слияние» (укрупнение) включений с формированием полостей, заполненных флюидом. Скв.678, Тлянчи-Тамак, гл.1965,0 м. Ув.2500х.

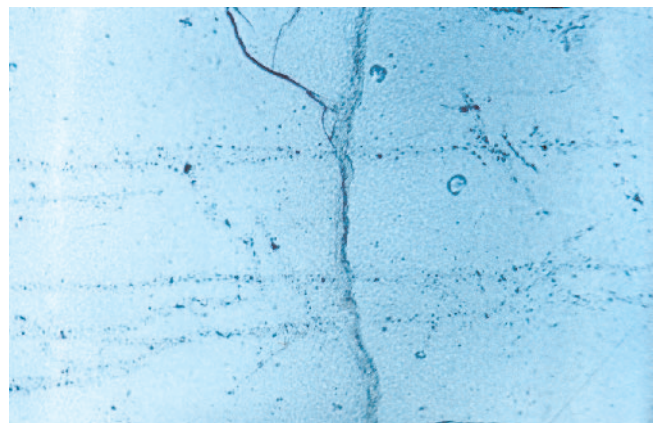


Рис. 4. Субпараллельные дорожки (горизонтальные) газовой-жидких включений в кварце первой генерации. Пересекающаяся микротрещина, выполненная каолинитом гидротермального типа. Скв.678, Тлянчи-Тамак, гл.2083,0м. Николи II. Ув.250х.

эволюции фундамента Татарского свода.

Газово-жидкие включения наиболее характерны для кварца пород начальных этапов метаморфизма (кварц первой генерации), в отличие от которого кварц гидротермальных прожилков (вторая генерация) обычно чистый и не несет такие системы включений. Кварц второй генерации формировался после фазы проявления основных напряжений в структуре изучаемых метаморфических комплексов фундамента. Изученные методом растровой электрон-

ной микроскопии морфологические особенности локализации газовой-жидких включений в кварце пород кристаллического фундамента подтверждает дислокационную природу их возникновения.

Согласно теории дислокаций (Коттрел, 1969) в твердых телах при наличии градиента напряжения создаются нарушения кристаллической решетки различного типа, которые мигрируют в направлении минимума напряжений, определяемого вектором Бюргерса –  $\mathbf{b}$ :

$$\mathbf{b} = \oint \frac{d\mathbf{u}}{ds} ds,$$

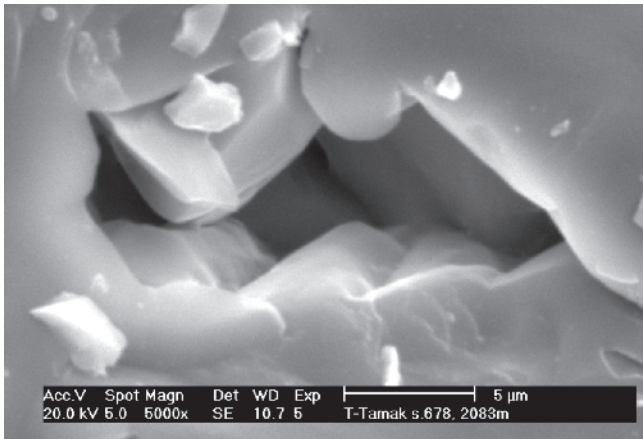


Рис. 5. Декомпрессионная стадия. Особенности внутреннего строения газовой-жидкого включения в кварце с появлением «друзовидной» структуры. Скв. 678, Тлянчи-Тамак, гл. 2083, 0м. Ув. 5000х.



Рис. 6. Биотит-плагиоклазовый гнейс. Удлиненные полости газовой-жидких включений по плоскостям спайности и по деформационным трещинкам, пересекающим плоскости спайности в ортоклазе. Скв. 678, Тлянчи-Тамак, гл. 2392, 0м. Николи +. Ув. 125х.

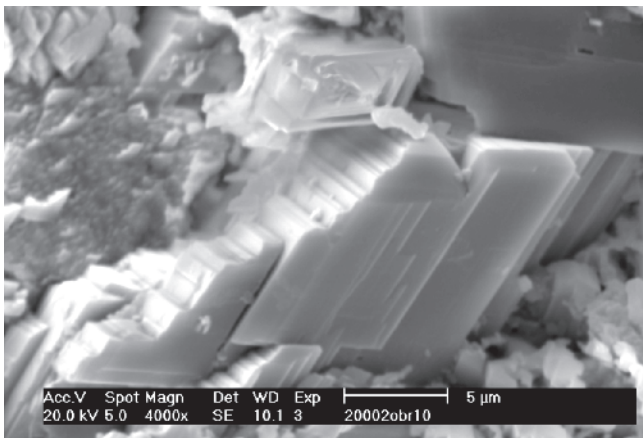


Рис. 7. Скв. 20002, обр. 10. Пустота газовой-жидкого включения в плагиоклазе по плоскости спайности. Ув. 4000х.

где  $\mathbf{u}$  – вектор смещения в деформированном материале,  $s$  – контур Бюргерса – контур дислокации.

При этом в ядрах движущихся дислокаций могут возникать наноразмерные полости разрыва кристаллической решетки, заполняемые породными флюидами, которые так же мигрируют в направлении движения дислокаций. Согласно теории упругих сред (Коттрел, 1969) скорость миграции дислокаций в кристаллах сопоставима со скоростью звука, которая в изучаемых породах фундамента составляет от 3,5 до 6 км/сек. На территории Татарского свода миграция дислокаций происходит в стадию компрессии, а при снятии напряжений – в стадию декомпрессии, движение дислокаций прекращается, а под воздействием содержащихся в них флюидов происходит частичная перекристаллизация стенок включений с возникновением в них друзовидных форм кварца или с формированием микровыделений слоистых силикатов (Рис. 5).

Также были изучены газовой-жидкие включения в других породообразующих минералах фундамента: полевые шпаты, амфиболы, пироксены. Однако описанный механизм движения дислокаций в этих минералах не соблюдается, так как эти минералы обладают спайностью, и это способствует возникновению движения флюидов по наиболее ослабленным зонам, а именно, по их спайности (Рис. 6, 7). Движение флюидов будет контролироваться уже не полями геодинамических напряжений, а другими факторами, а именно, ориентировкой плоскостей спайности этих минералов.

Проведенный анализ путей миграции флюидов в породах фундамента свидетельствует о широком разнообразии этих форм и путей миграции. Наноразмерные включения – дислокации минералов при их высокой скорости движения в кристаллической среде, могут переносить значительные количества флюидов, которые могут аккумулироваться в осадочном чехле Южно-Татарского свода и других регионов, что естественно должно учитываться при геологоразведочных работах на углеводородное сырье, как в пределах комплексов кристаллического фундамента, так и в осадочном чехле, миграция в который глубинных флюидов в связи с реализацией программы глубокого бурения Республики Татарстан является установленным фактом.

## Литература

- Балицкий В.С., Прокофьев Ю.В. и др. Экспериментальное моделирование взаимодействия гидротермальных флюидов с нефтью. *Сб.: Дегазация Эемли: Геофлюиды, нефть и газ, парагенезы в системе горючих ископаемых.* Москва. ГЕОС. 2006. 38-41.
- Ермаков Н.П. *Геохимические системы включений в минералах.* Москва. Наука. 1972.
- Изотов В.Г., Ситдикова Л.М. Дислокационный механизм миграции флюидов земной коры. *Дегазация Эемли: Геофлюиды, нефть и газ, парагенезы... (см. выше).* М: ГЕОС. 2006. 110-112.
- Коржинский Д.С. *Физико-химические основы анализа парагенезисов минералов.* Москва. Изд-во АН СССР. 1957.
- Коттрел Л.А. *Теория дислокаций.* Москва. «Мир». 1969.
- Маракушев А.А. *Проблемы минеральных фаций метаморфических и метасоматических горных пород.* М.: Наука. 1965.
- Ситдикова Л.М., Изотов В.Г. Геодинамические условия формирования деструкционных резервуаров УВ глубоких горизонтов земной коры. *Георесурсы.* № 4(12). 2003. 17-22.
- Ситдикова Л.М. *Зоны деструкций кристаллического фундамента Татарского свода.* Казань. Изд-во Казанского ун-та. 2005.
- Ситдикова Л.М., Изотов В.Г. Зоны деструкций кристаллического фундамента как потенциальные коллекторы углеводородов больших глубин. *Георесурсы.* № 1. 1999. 28-34.
- Sitdikova L.M., Izotov V.G. Formation of hydrocarbon reservoirs in the deep Earth's crust. *Journal of Geochemical Exploration.* 89. 2006. 373-375.