

## ПРИРОДА ПОЛОСЧАТЫХ ТЕКСТУР В МИГМАТИЗИРОВАННЫХ АМФИБОЛИТАХ ХЕТОЛАМБИНСКОЙ ТОЛЩИ БЕЛОМОРСКОГО КОМПЛЕКСА

Козловский В.М.

ИГЕМ РАН, Москва, [bazil@igem.ru](mailto:bazil@igem.ru)

Мигматиты распространены в глубоко эродированных частях региональных зон смятия, где возникают в результате взаимодействия деформаций сдвига и флюидных потоков, преобразующих вмещающие породы. Соответственно, основными вопросами при изучении мигматизации являются соотношение ее с деформациями и метаморфизмом, последовательность вещественных преобразований пород, параметры и структура флюидного потока. Благодаря сочетанию петрологического подхода с фрактальным анализом структуры мигматитового поля удалось получить свидетельства в пользу эпигенетической (метасоматической) природы полосчатости мигматизированных амфиболитов и синхронности мигматизации с деформациями сдвига.

Изучены мигматиты в неоднородной ритмично полосчатой Хетоламбинской толще Беломорского комплекса. По терминологии И.С.Седовой и В.А. Глебовицкого они соответствует плагиогранитогнейсам ( $Lc_1$ ), образовавшимся в результате натрий-кремниевое метасоматоза, который проходил при температуре 700 – 750°C и давлении 6 – 8 кбар (Седова, Глебовицкий, 2005). Исследуемые процессы мигматизации сопряжены с ребольским (2,73 – 2,68 млрд. лет.) этапом метаморфизма.

**Особенности геологического строения апоамфиболитовой мигматизированной толщи.** Нашими полевыми наблюдениями установлено, что Хетоламбинская апоамфиболитовая мигматитовая толща имеет хорошо выраженное ритмично-полосчатое или линзовидно-прожилковое строение – темные прослои (плагиоклаз-амфиболовые) последовательно сменяются все более и более лейкократовыми (кварц-биотит-плагиоклазовыми). В строении ритма участвуют 5 прослоев, соприкасающиеся друг с другом по четким геологическим границам. В большинстве случаев полосы расположены субпараллельно. Иногда отдельные элементы ритмов могут быть не проявлены.

В обнажениях соседние прослои хорошо различаются по содержанию роговой обманки и биотита. Кроме того, они хорошо отличаются и по химическому составу. Каждый прослой (элемент ритма) сложен однородной равновесной минеральной ассоциацией, регулярно повторяющейся в разрезе.

В изученной полосчатой мигматитовой толще мощность прослоев ступенчато убывает в обратной зависимости от кремнекислотности и лейкократовости мигматитов. По мере возрастания интенсивности метасоматических преобразований увеличивается содержание  $SiO_2$  и  $Na_2O$ , происходит осветление мигматитов в результате ступенчатого возрастания доли плагиоклаза и кварца и сокращения содержания роговой обманки и биотита. Поэтому, наиболее мощные прослои сложены малоизмененными меланократовыми разновидностями мигматитов, а наиболее тонкие – лейкократовыми максимально преобразованными.

Согласно наблюдениям, выделяются пять последовательных стадий мигматизации амфиболитов с нарастанием доли парагенезиса  $Pl+Otz+Bt$ . По крайней мере для трех из них наблюдались структурные соотношения, указывающие на последовательность образования: 1 – ранние меланократовые амфиболовые и биотит-амфиболовые мигматиты; 2 – более поздние мезократовые биотитовые мигматиты; 3 – лейкократовые кварц-олигоклазовые тонкие тела с редким биотитом. Зарождение новых лейкократовых мигматитов происходит внутри более ранних меланократовых мигматитовых полос. Местами лейкократовые мигматиты секут более ранние меланократовые полосы по трещинам скола, направленным приблизительно под углом 30° к полосчатости. Как правило трещины скола не выходят за пределы мигматитового прослоя, в котором они сформировались. Практически во всех лейкократовых мигматитовых прослоях сохраняются реликтовые текстуры, унаследованные от ранее образованных меланократовых мигматитов. Самые маломощные лейкократовые мигматиты изредка образуют извилистые тела, секущие границы мощных меланократовых мигматитов, что также указывает на их относительно более позднее образование.

**Фрактальная организация разреза как отражение природы полосчатости.** Ритмичная полосчатость Хетоламбинской толщи может иметь следующую природу: а) – наследование первичной слоистости вулканогенно-осадочных толщ, б) – эпигенетическая полосчатость, приобретенная в результате наложенных метасоматических процессов. По данным Т.Ф. Щербаковой (1988), формирование полосчатости связано со ступенчатой метасоматической региональной мигматизацией амфиболитов с возникновением ряда: амфиболиты – биотит-амфиболовые плагиомигматиты – амфибол-биотитовые плагиомигматиты – биотитовые плагиомигматиты и плагиограниты. Учитывая, что формирование полосчатых текстур и расщепление метаморфических пород связано с тектоническими процессами (Русинов, 2002), рассмотрим природу слоистого строения Хетоламбинской толщи в ее связи с динамикой зоны сдвига. Для этого на месторождении керамического сырья Хетоламбино (жила № 12) изучены состав и пространственное распределение ритмов в мигматизированных амфиболитах верхних горизонтов Хетоламбинской толщи; проведены более 740 замеров мощностей всех прослоев.

Как было установлено геологическими наблюдениями, в изучаемых породах мигматизация происходила вдоль трещин кливажа пластического течения. При этом полосы мигматитов соответствуют зонам активной трещиноватости. По мощности и по составу различаются несколько рангов полос (и, соответственно, зон интенсивности трещиноватости). Согласно экспериментальным данным по эволюции сдвиговых деформаций (Борняков и др., 2001.; Борняков, Шерман, 2003; Борняков и др., 2004; Шерман и др., 1991) на ранних стадиях формируются мелкие непротяженные трещины, ориентированные под 25-45° к направлению сдвига. При взаимодействии с флюидом они залечиваются минеральным веществом. После этого внутри этих зон возникают более протяженные и мощные трещины, которые также залечиваются. На заключительной стадии формируется сложностроенный магистральный шов. Мощность зоны активной трещиноватости ступенчато снижается от ранних стадий к поздним. Приведенные экспериментальные данные хорошо согласуются с описанными выше особенностями геологического строения разрезов мигматизированных амфиболитов. Следовательно, это позволяет считать, что мощные темные слабомигматизированные полосы, обогащенные Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и CaO, относятся к ранним стадиям развития зоны трещиноватости, а тонкие светлые интенсивно мигматизированные прослои, обогащенные SiO<sub>2</sub>, – к поздним.

В динамично развивающейся тектонической зоне, в результате взаимодействия с флюидом, каждая последующая стадия развития зоны трещиноватости накладывается не на протолит, а на горную породу преобразованную флюидом на предшествующей стадии, которая отличается от протолита по химическому составу и физико-механическим свойствам. Следовательно, при приближении к главному разломному шву, степень проработки флюидом амфиболитового протолита возрастает прогрессивно, а мощность зон уменьшается.

Интенсивность трещиноватости мигматитовых прослоев для каждой стадии процесса оценивалась по степени и мощности метасоматических преобразований. Каждой стадии трещиноватости соответствует определенный состав метасоматитов и соотношение флюид/порода. Поэтому количественная оценка интенсивности трещиноватости возможна по изменению содержания основных породообразующих компонентов в мигматизируемых амфиболитах.

Содержание SiO<sub>2</sub> во флюиде, равновесном с плагиомигматитами, реагирует на изменение давления гораздо более чутко, чем содержания других компонентов раствора (Козловский, 2004). Растворимость SiO<sub>2</sub> при декомпрессии существенно снижается, что инициирует обогащение кремнеземом формирующихся минеральных ассоциаций. Следовательно, кремнекислотность мигматитов может являться индикатором степени развития трещиноватости и индикатором интенсивности мигматизации амфиболитов.

Геологические наблюдения и многочисленные замеры мощностей прослоев мигматитов разного состава показывают, что структура Хетоламбинской толщи масштабно инвариантна в том смысле, что мощности прослоев находятся в логарифмической зависимости от ранжированного содержания SiO<sub>2</sub> (рис. 1).

В качестве параметра фрактала выступает ранжированное с шагом в 5 масс. % содержание SiO<sub>2</sub> в мигматитовом прослое (rang SiO<sub>2</sub>). Интервал для ранжирования составляет от 40 до 75 % SiO<sub>2</sub>, перекрывающий вариации кремнекислотности в мигматитовых прослоях. Ранжирование таким способом обеспечивает ступенчатое увеличение масштабного отрезка от 5 до 35 единиц (масс. % SiO<sub>2</sub>). Собственно фрактальная зависимость построена на основе замеров средней суммарной мощности мигматитового прослоя (H<sub>i</sub>), соответствующей каждому рангу SiO<sub>2</sub>.

Приведенный график показывает, что весь ряд новообразованных апоамфиболитовых пород (пробы 12-7, 12-8, 6, 4, 5) составляет единый регулярный фрактал. Породы протолита – амфиболиты (12-6) и кварц-амфиболовые породы (12-5) отражают полосчатость, унаследованную от протолита и в этот ряд не входят, что подтверждает вывод об эпигенетическом, метасоматическом генезисе полосчатости изученных мигматитов. Фрактальная размерность (D) рассчитывалась по стандартной методике (Mandelbrot, 1967):  $D = -\log(H_i)/\log(\text{rang SiO}_2)$  и равна  $D = 0,58$ . Исследованная структура близка к “множеству Кантора”.

Обсуждение *результатов и выводы*. Результаты наших исследований показали, что процесс мигматитообразования был инициирован серией сдвиговых деформаций, вызвавших поток Na-Si-содержащих флюидов.

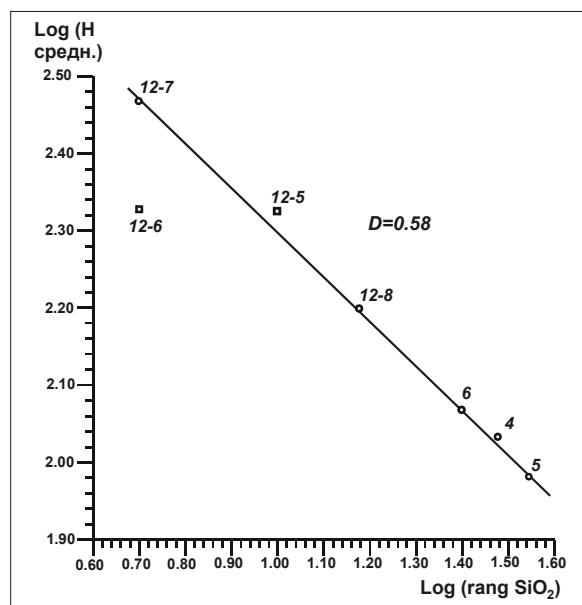


Рис. 1. Фрактальная организация мощностей прослоев в разрезе ритмично слоистой мигматитизированной Хетоламбинской толщи.

дов, которые производили метасоматическое преобразование амфиболитового субстрата вдоль сети трещин кливажа пластического течения. В процессе метасоматоза изменялись хрупко-пластичные свойства пород. Такой автокаталитический процесс прерывался перестройкой системы трещин. Подобный механизм взаимодействия трещинообразования и метасоматоза обусловил дискретность процесса и фрактальные свойства мигматитов. В результате, мигматитообразование представляется ступенчатым самоорганизующимся процессом в системе зона сдвига – флюидный поток в понимании (Летников, 1993). При этом каждый прослой мигматизированных пород отвечает определенной ступени структурно-вещественной эволюции зоны трещиноватости.

Установленная фрактальная организация полосчатости мигматитовых прослоев Хетоламбинской толщи означает, что степень трещиноватости прослоев и интенсивность изменения пород флюидом и мощность зоны активной трещиноватости находятся в нелинейной логарифмической зависимости. Это возможно, если прослои мигматизированных амфиболитов разного состава представляют собой последовательный ряд продуктов единого метасоматического процесса и не являются результатом наследования первичной слоистости протоамфиболитовой толщи. То есть мигматитовая полосчатость имеет наложенную эпигенетическую природу.

Установленная стадийность мигматитообразования и ее связь с эволюцией трещиноватости при сдвиге доказывает, что формирование мигматитовых прослоев проходило синхронно со сдвиговыми деформациями в амфиболитовой толще, а не наложено на ранее образованную систему кливажных трещин.

Нелинейная логарифмическая зависимость между интенсивностью флюидно-метасоматической проработки и мощностью зоны активной трещиноватости свидетельствует о существовании между этими величинами обратных связей. Вероятный механизм их действия основан на снижении хрупкости и увеличении пластичности мигматитовых прослоев от стадии к стадии. Изменение хрупко-пластичных свойств вызвано реакциями пород с флюидом в ходе которых амфиболитовые мигматиты ступенчато сменяются более пластичными кварц-биотитовыми мигматитами.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 04-05-65131, Фонда содействия отечественной науке и программы ОНЗ РАН №2.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Борняков С.А., Шерман С.И. // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 7. С 712-718.  
Борняков С.А., Шерман С.И., Гладков А.С. // Докл. РАН. 2001. Т. 377. № 1. С. 72-75.  
Борняков С.А., Гладков А.С., Матросов В.А. и др. // Геотектоника. 2004. № 5. С. 85-95.  
Козловский В.М. // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2004. № 5. С. 15-20.  
Летников Ф.А. Синергетика геологических систем. М.: Наука. 1993. 230с.  
Русинов В.Л. В кн.: Флюидные потоки в земной коре и мантии. М.: РАН. 2002. С. 77-83.  
Седова И.С., Глебовицкий В.А. // Записки ВМО. 2005. Ч. СXXXIV. № 3. С. 1-24.  
Шерман С.И., Буддо В.Ю., Мирошниченко А.И. // Геол. Рудных. Местор. 1991. № 5. С. 13-25.  
Щербакова Т.Ф. Амфиболиты Беломорского комплекса и их гранитизация. М.: Наука. 1988. 150 с.  
Mandelbrot B.B. // Science. 1967. v. 156. p. 636-638.

### МИНЕРАЛЬНЫЙ И ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ СУЛЬФИДНЫХ РУД ПОЛЯ БРОКЕН СПУР (СРЕДИННО-АТЛАНТИЧЕСКИЙ ХРЕБЕТ, 29°10' С.Ш.)

Кораблева О.В.  
СПбГУ, Санкт-Петербург, [olipss@yandex.ru](mailto:olipss@yandex.ru)

Работа посвящена изучению вещественного состава гидротермальных сульфидных руд поля Брокен Спур. Оно расположено на 29°10'с.ш. медленно-спредингового (1,3 см/год) Срединно-Атлантического хребта и было открыто в 1993г. Данная территория изучалась в течение нескольких экспедиций, три из которых были с использованием глубоководных обитаемых аппаратов (ГОО): британская 1993г., британско-российская 1994г., русско-американская 2001г.

Материал был представлен НИИ «Океангеология» и состоит из 12-ти полированных шлифов и 4-х образцов. Цель: изучить минеральный состав сульфидных руд с возможной оценкой зрелости гидротермальных построек.

**Геологическая позиция поля Брокен Спур.** Гидротермальное поле Брокен Спур расположено на Срединно-Атлантическом хребте (рис.1) в пределах одного из сегментов рифта длиной 6 км примерно в 100 км к югу от трансформного разлома Атлантик. Рифтовая долина шириной около 5 км (на широте гидротермального поля) и глубиной до 3200-3300 м ограничена краевыми тектоническими уступами. В западной части долины расположено осевое поднятие (неовулканическая зона), возвышающееся над дном долины примерно на 250м.