

**Рис.2. Микрофотография порошка ShIII после термохимической обработки.**

Крупные частицы – кристаллический кварц. На вставке – поверхность частицы кварца, покрытая сеткой пор

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рожкова Н.Н., Емельянова Г.И., Горленко Л.Е., Лунин В.В. Шунгитовый углерод и его модифицирование // Рос. Хим. Ж. 2004. Т. XLVIII, №5. С. 107-115.
2. Горленко Л.Е., Емельянова Г.И., Тихонов Н.А., Фионов А.В., Рожкова Н.Н., Лунин В.В. Влияние низкотемпературного газофазного окисления шунгитов на их структуру и каталитическую активность // ЖФХ, 2005, Т.79, С. 1-7.
3. Федоров Н.Ф., Ивахнюк Г.К., Бабкин О.Э., Зорин Г.А., Самотин В.В. Синтез и сорбционные свойства углеродных адсорбентов на основе шунгитов // ЖПХ, 1986, №7, С.1618-1620.
4. Туполев А.Г. Взаимодействие шунгита с галогенами // Результаты изучения геологии докембрия. Опер.-инф. мат., Петрозаводск, 1982, С. 49-52.
5. David W. I. F., Shankland K., van de Streek J., Pidcock E., Motherwell W. D. S., Cole J. C.. DASH: a program for Crystal Structure Determination from Powder Diffraction Data J. Appl. Cryst., V.39, 2006, P.910-915.

### СДВИГОВЫЕ СТРУКТУРНЫЕ ПАРАГЕНЕЗИСЫ В ГНЕЙСАХ ЧУПИНСКОЙ СВИТЫ (беломорский комплекс пород Балтийского щита)

**Ручьев А.М.**

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, e-mail: ruchyov@krc.karelia.ru

Гнейсы чупинской свиты – продукты поэтапного архей-протерозойского (2,9-1,75 млрд. лет назад) эндогенного изменения относительно однородного терригенного протолита [3], отвечающие генетическому ряду, как минимум, четырех последовательно развивавшихся естественных минеральных фаций пород – совокупностей минеральных парагенезисов (метаморфических разновидностей гнейсов), характеризующихся единством интенсивных и различием экстенсивных факторов равновесия природных систем [4].

Существенная особенность эндогенеза – очевидная связь процессов деформации и метаморфизма. Сдвиговый механизм деформации доминировал на всех временных этапах и масштабных уровнях преобразования гнейсов. Формированием плоскостных структурных элементов сдвиговых дислокаций в сублинейных зонах определялось пространственно-временное развитие минеральных парагенезисов метаморфических разновидностей гнейсов, для локализации которых поэтому типичны: дискретность проявления при региональном характере распространения, «напечатывание» друг на друга при пересечении или активизации сдвиговых структур, сохранение реликтовых участков неизмененных ранних пород наряду с более поздними.

Зоны полифазной сдвиговой деформации одновременно были и зонами флюидного массопереноса, о чем однозначно свидетельствует отчетливо выраженный аллохимический характер метаморфических процессов в их границах. При этом сдвиговые зоны, возможно, играли роль своеобразных фидеров, связывавших различные геосферы: на определенных этапах эндогенеза химические изменения гнейсов (обогащение хромом, никелем, кобальтом, элементами платиновой группы, свободным углеродистым веществом) указывают на мантийный источник, или на весомую мантийную составляющую флюида.

Специфика деформационного процесса и его роль в формировании минеральных фаций гнейсов позволяют рассматривать их как продукты аллохимического стресс-метаморфизма. Проявления физических и химических эффектов релаксации девиаторных напряжений в горных породах контролировали локализацию и механизм минералообразования, в том числе рудного, были способны существенно влиять на tP-параметры среды эндогенеза, создавали условия для функционирования флюидного потока и масштабного энерго-, массопереноса.

Таким образом, деформационные процессы являлись одним из определяющих факторов металло-, и петрогенеза [4], поэтому получение новой информации о них – проблема первостепенной важности. С учетом состояния тектонической изученности Западного Беломорья, одной из актуальных задач является создание адекватного представления о структуре геологических образований на этой территории и последовательности событий при ее формировании.

При исследовании особенностей проявления деформации в чупинских гнейсах, для которых характерно пространственное совмещение разновозрастных структурных парагенезисов нередко с близкими по ориентировке и макроскопически сходными по минеральному выполнению плоскостными элементами, использовался метод идентификации структурных элементов сдвиговых дислокаций и решения обратной тектонофизической задачи подбором адекватного модельного парагенезиса [5]. Его главные положения сводятся к следующему.

При анализе и интерпретации фактических данных используются составляющие основу тектонофизической модели средней части зоны скальвания [1, 2] представления о пространственных и временных соотношениях элементов идеализированного сдвигового структурного парагенезиса (ИССП): син- и антитетические  $R$ - и  $R'$ -сколы Риделя формируются на ранней стадии деформации, ориентированы плоскостями базисных участков под углом скальвания  $\alpha_0$  к оси максимального главного напряжения  $\sigma_1$ , расположены с разных сторон от нее и под углами соответственно  $\pi/4 - \alpha_0$  и  $\pi/4 + \alpha_0$  к осевой плоскости зоны скальвания, отклоняясь от нее при правом сдвиге вправо, при левом – влево;  $P$ -сколы формируются после  $R$ - и  $R'$ -сколов, ориентированы плоскостями базисных участков под углом  $\alpha_0$  к оси минимального главного нормального напряжения сжатия  $\sigma_3$  и под углом  $\pi/4 - \alpha_0$  к осевой плоскости зоны скальвания, располагаются зеркально-симметрично плоскости  $R$ -сколов;  $T$  – трещины отрыва – перпендикулярны оси  $\sigma_3$  и компланарны оси  $\sigma_1$ , ориентированы плоскостями базисных участков под углом  $\pi/4$  к осевой плоскости зоны скальвания, отклоняясь от нее при правом сдвиге вправо, при левом – влево;  $L$ -сколы формируются на заключительной стадии деформации, параллельны осевой плоскости зоны скальвания (плоскости генерального смещения); плоскости, соответствующие базисным участкам элементов сдвигового структурного парагенезиса пересекаются по линиям, параллельным оси  $\sigma_2$ .

При полевых работах пространственная ориентировка базисных (недеформированных) участков плоскостных структурных элементов (кливажа, сланцеватости, полосчатости и др.) определяется непосредственным измерением элементов залегания их отпрепарированных поверхностей, или рассчитывается по элементам залегания двух и большего числа линий, лежащих в искомой плоскости (линий ее пересечения с поверхностью рельефа обнажения).

Для статистической обработки первичных данных и моделирования применяется компьютерная программа с возможностями не меньшими, чем у «StereoNet» (Version 2.02).

Анализ  $\pi S$ -диаграмм в главных чертах сводится к следующему.

Выделение поясов распределения статистических максимумов, выбраковка ложных поясов и идентификация (предварительная) структурных элементов проводится в процессе выявления закономерных, отвечающих тектонофизической модели, угловых соотношений между максимумами. Технически процедура сводится к измерению на  $\pi S$ -диаграмме угловых расстояний между статистическими максимумами, относящимися к одному и тому же поясу, и простейшим вычислениям, включающим определение угла скальвания  $\alpha_0$ . В качестве  $\alpha_0$  принимается рассчитанный угол, при котором выполняются пространственные соотношения, свойственные элементам ИССП. После нахождения  $\alpha_0$  по угловым соотношениям статистических плоскостей можно определить, каким элементам

идеализированного парагенезиса они соответствуют. Разумеется, при окончательной идентификации элементов структурного парагенезиса учитываются и полевые наблюдения, касающиеся последовательности их формирования, направлений смещения и др.

Решение обратной тектонофизической (морфокинематической, кинематической) задачи – определение пространственной ориентировки главных нормальных напряжений сжатия, соответствующих определенному структурному парагенезису, проводится способом моделирования, позволяющим также проверить правильность идентификации плоскостных структурных элементов и получить данные для прогноза (например, установить пространственную ориентировку потенциальных трещин отрыва с рудным выполнением и т. д.). Моделирование включает: построение диаграммы элементов ИССП и осей главных нормальных напряжений сжатия при вычисленном угле скальвания  $\alpha_0$  (удобен исходный вариант при вертикальном положении оси  $\sigma_2$  и меридиональной ориентировке плоскости  $L$ -скола); преобразование (поворот) модельной диаграммы до совмещения проекции выбранного на ней структурного элемента с проекцией одноименного на статистической диаграмме (в качестве «опорного» предпочтителен наиболее выраженный идентифицированный максимум), при этом проекции оси  $\sigma_2$  и линии пересечения плоскостей, соответствующих статистическим максимумам, должны совпасть. Адекватность модели качественно оценивается степенью совмещения проекций элементов идеализированного и анализируемого структурных парагенезисов при «сложении» диаграмм. По приемлемой модельной диаграмме можно определить пространственную ориентировку осей главных нормальных напряжений сжатия и получить иную нужную информацию.

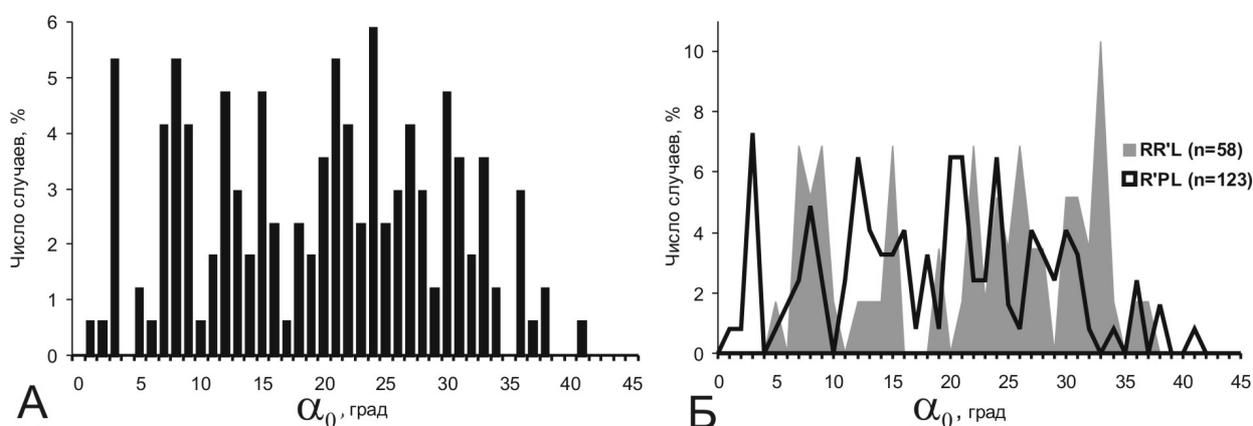
Последовательность деформационных событий реконструируется с учетом полевых наблюдений возрастных соотношений структурных элементов, принадлежащих различным парагенезисам.

Использование нового подхода к анализу и интерпретации данных структурных исследований интенсивно дислоцированных полиметаморфических парагнейсов чупинской свиты, локализованных в них пегматитов и интрузивных магматических пород привело к следующим результатам.

Материалами проведенных работ еще раз дополнительно аргументируется адекватность перечисленных базовых положений тектонофизической модели средней части зоны скальвания [1, 2]. Особенности структуры сформированных в tP-условиях различных метаморфических фаций сдвиговых дислокаций разнообразных пород подтверждают существование статистически выявляемой закономерности высокоточных угловых соотношений структурных плоскостных элементов. Эта закономерность позволяет обоснованно (в рамках принятых модельных представлений) выделять природные парагенезисы трех и большего числа структурных элементов.

Получены новые сведения об относительной частоте встречаемости типов сдвиговых парагенезисов, различающихся набором структурных элементов. В гнейсах чупинской свиты беломорид частоту их встречаемости отражают следующие показатели, %: для tP-условий амфиболитовой фации повышенного давления – {RR'L}-39,66; {R'PL}-58,62; {RPL}-1,72; для tP-условий эпидот-амфиболитовой фации – {RR'L}-29,27; {R'PL}-69,51; {RPL}-1,22.

Намечается большая, чем предполагалось ранее, изменчивость угла скальвания при деформации горных пород в природных условиях. Так, в структурных парагенезисах чупинских гнейсов, формирующихся в tP-условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, частота встречаемости различных величин угла скальвания характеризуется сложным почти непрерывным распределением в диапазоне изменения  $\alpha_0$  от 0°-1° до 42° (рис.).



#### Частота встречаемости различных величин угла скальвания ( $\alpha_0$ ):

А – в гнейсах чупинской свиты в целом (число структурных парагенезисов – n = 181);

Б – в главных типах сдвиговых структурных парагенезисов.

Установлено что, сложные  $\pi S$ -диаграммы плоскостной анизотропии изофациальных гнейсов в границах зон расланцевания отражают совокупность, как правило, большого числа пространственно совмещенных сдвиговых парагенезисов (до 20-30), различающихся величиной  $\alpha_0$ , набором и ориентировкой структурных элементов. При этом одни и те же структурные элементы, нередко в новом качестве, могут неоднократно функционировать в составе различных парагенезисов. Некоторые наиболее отчетливо выраженные структурные элементы, проявленные в ранних метаморфических разновидностях гнейсов, активизируются и наследуются при развитии сдвиговых парагенезисов, контролируемых сингенетичные гнейсы более поздних разновидностей.

Для полиметаморфических парагнейсов беломорского комплекса отмечается сходство (вплоть до идентичности) ряда структурных парагенезисов на удаленных друг от друга площадях развития изофациальных метаморфитов и отсутствие такового для гетерофациальных пород в пределах одного и того же участка.

Особенности формирования мелкой складчатости и плоскостной анизотропии пород всех минеральных фаций гнейсов чупинской свиты, кроме наиболее раннего гранат-биотитового плагиогнейса-1, который из-за реликтового характера проявлений пока остался не охарактеризованным, исчерпывающе объясняются наложением разновозрастных сдвиговых структурных парагенезисов различных типов, то есть полициклической деформации, варьирующей ее интенсивностью, меняющимся реологическим состоянием горных пород.

Получены дополнительные сведения о тектоническом контроле пегматитогенеза. Пространственная ориентировка пегматитовых тел различного видо-, родового состава и формационной принадлежности соответствует, главным образом, R-, R'-, P-, L-сколам, а не трещинам отрыва, как считалось ранее. Установлено наличие большого числа структурных парагенезисов пегматитовых тел. Так, например, пегматиты Лоушского поля образуют не менее девяти трехэлементных систем, соответствующих структурным парагенезисам. Сопоставление структурных парагенезисов жильных тел и вмещающих их пород свидетельствует о многоактности возникновения пегматитов на различных этапах эндогенеза.

Ориентировка крупнокристаллических слюд в пегматитах также подчиняется закономерностям пространственного соотношения элементов сдвигового парагенезиса. Анализ  $\pi S$ -диаграмм мусковита показывает, что его формирование было связано с несколькими деформационными эпизодами, их число в некоторых промышленно слюдоносных пегматитовых телах составляет не менее двадцати восьми.

Вышеприведенные обобщения указывают на чрезвычайную сложность реальной структуры парагнейсовой толщи беломорид и необходимость нового методического подхода к ее изучению, предполагающему обязательность выделения и исследования сдвиговых структурных парагенезисов.

Опыт выполненных работ показывает, что практически на каждом более, или менее обнаженном участке расланцованных (кливажированных) коренных пород можно относительно легко получить статистическую информацию о характере их деформации, в частности, данные, необходимые и достаточные для решения обратной тектонофизической задачи. В связи с этим становится вполне решаемой задача детальной реконструкции полей палеонапряжений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гинтов О.Б. Полевая тектонофизика и ее применение при изучении деформаций земной коры Украины. Киев: «Феникс», 2005. – 572 с.
2. Гинтов О.Б., Исая В.М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. – Киев: Наук. думка, 1988. – 228 с.
3. Ручьев А. М. О протолите северокарельских гнейсов чупинской свиты беломорского комплекса // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 2. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2000. С. 12-25.
4. Ручьев А.М. Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты (беломорский комплекс, Северная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. С. 47-58.
5. Ручьев А.М. Структурный анализ сдвиговых дислокаций // Новые идеи в науках о Земле // VIII международная конференция. Доклады. Т. 1. S-1. М., 2007. С. 298-301.

### СПЕЦИФИКА АРХЕЙ-ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКИХ КОРОВЫХ ЭНДОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В БЕЛОМОРСКОМ КОМПЛЕКСЕ ПОРОД БАЛТИЙСКОГО ШИТА

Ручьев А.М.

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, ruchyov@krc.karelia.ru

Особенности процессов, обусловивших интенсивную деформацию и метаморфизм (термин употребляется в широком смысле для обозначения эндогенного преобразования пород в твердом состоянии) в беломорском комплексе пород (БКП), рассматриваются на примере наиболее изученных гнейсов чупинской свиты. Разновидности