

2) Геохимические работы должны проводиться обязательно с учетом минералого-петрографического состава горных пород. Так, в Вороньегундровском рудном поле (Кольский полуостров) при стандартной (по сетке) геохимической съемке масштаба 1 : 25 000 была пропущена крупная (1200 м x 500 м) аномалия редких щелочных металлов. При проведенном автором геохимическом опробовании с учетом минерально-петрографического состава горных пород во всех пробах вмещающих пород были установлены высокие содержания редких щелочных металлов (в частности – цезия от 0.01% до 0.10%).

3) Термобарогеохимические исследования и картирование должны базироваться на новой теории флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны» [1, 2]. Так, для декрептометрической съемки и прогноза разработан «поисковый декрептометрический коэффициент»:  $K_d = C(100-300^\circ) : C(100-600^\circ)$ , где  $C(100-300^\circ)$  и  $C(100-600^\circ)$  – суммы микровзрывов газовой-жидких включений в интервалах температур 100-300° и 100-600°С. При использовании углекислотнометрического поискового критерия показателем рудоносности является концентрация  $CO_2$  в интервале температур богатого оруденения (стадия 2 регрессивного метасоматоза) – 100-300°С. Этот критерий позволяет не только оконтуривать промышленные рудные тела, но и определять в них содержания полезного ископаемого.

**Общие выводы.**

1) В результате комплексных исследований метаморфогенных рудных полей и месторождений установлены важные общие закономерности их образования и разработаны критерии их высокоточного количественного прогноза.

2) Применение новой системы прогноза, с количественным определением промышленных параметров рудных объектов (их размеров и запасов, содержаний и качества сырья) позволило повысить эффективность прогноза в 10 раз. Об этом свидетельствуют результаты заверки 76-ти прогнозов, при которой открыты и разведаны 70 рудных тел 18-ти полезных ископаемых со стоимостью минерального сырья 17 млрд. долларов (добыто на 0.7 млрд. долларов).

3) Представляется, что дальнейшее развитие и применение разработанной методики позволит установить закономерности формирования многих метаморфогенных полезных ископаемых и осуществить высокоточный количественный прогноз не выходящих на поверхность метаморфогенных месторождений, что даст большой экономический эффект.

*Литература*

1. Ройзенман Ф.М. Условия образования и количественный локальный прогноз метаморфогенных месторождений. М.: Щит-М, 2004. 276 с.
2. Ройзенман Ф.М. Теория богатого флюидного рудообразования под воздействием «углекислотной волны». М.: МЮИ, 2008. 84 с.

**Особенности структуры свекофенских рудо-, пегматитоконтролирующих зон  
сдвиговых дислокаций в гнейсах чупинской толщи  
(беломорский комплекс пород Балтийского щита)**

**Ручьев А. М.**

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КАР НЦ РАН, г. Петрозаводск,  
e-mail: ruchyov@krc.karelia.ru

Совокупность гетерогенных геологических образований беломорского комплекса пород, охватывающая области распространения чупинской и хетоламбинской толщ беломорид, интерпретируется как позднеархейский рифтогенный энсиалический Беломорский зеленокаменный пояс (БЗП), подвергшийся повторному раннепротерозойскому рифтингу. Минерагеническая особенность БЗП – отчетливо выраженная пегматитовая, а также медно-никелевая и благороднометаллическая специализация. Его площадь может рассматриваться как новая рифтогенная неоархейско-па-

леопротерозойская золото-платиноидная субпровинция с условиями благоприятными для формирования рудных объектов крупнообъемного типа, близких по свойствам к полигенным месторождениям и рудопроявлениям полиметалльной формации углеродсодержащих пород и продуктов их преобразования [5].

Свекофеннский структурно-метаморфический комплекс пород выделен как потенциально промышленно золотоносный [3 и др.]. Новая информация о строении свекофеннских зон деформации, выявленных на территории Лоушского пегматитового поля [2], получена с использованием метода идентификации структурных элементов сдвиговых дислокаций и решения обратной тектонофизической задачи подбором адекватного модельного парагенезиса [4, 6, 8, 9].

Субмеридиональные дислокации и сингенетичные им двуслюдяные гнейсы-4<sub>2</sub>, (классификация метаморфических разновидностей и естественных минеральных фаций гнейсов чупинской свиты опубликована [3]) детально исследованы в Восточнослюдозерской зоне. Ее строение, по результатам анализа пространственной ориентировки сланцеватости-полосчатости гнейсов-4<sub>2</sub> и пегматитов мусковитовой формации, определяется сочетанием структурных элементов не менее 43 сдвиговых парагенезисов, в том числе: 13 – {RR'L}; 5 – {R'PT}; 5 – {R'PLT}; 3 – {RLT}; 3 – {R'LT}; 2 – {RPLT}; 1 – {RR'PT}; 1 – {PLT}; 1 – {RPT}; 1 – {RR'LT}; 1 – {RR'T}; 7 – не идентифицированных ({R'PL}?, {RR'P}?) парагенезисов (буквенные обозначения плоскостей соответствуют принятым в тектонофизической модели средней части зоны скалывания [1], на основе которой проводится интерпретация фактических материалов).

Субширотные дислокации и сингенетичные двуслюдяные гнейсы-4<sub>3</sub>, более поздние, чем субмеридиональные, изучены в Северослюдозерской зоне. Наличие в ней реликтов кианит-гранат-биотитового гнейса-3<sub>2</sub> указывает на развитие зоны в ходе не менее двух тектоно-метаморфических этапов. К третьему, досвекофеннскому, этапу относятся выявленные при анализе ориентировки плоскостных структурных элементов гнейса-3<sub>2</sub> 27 сдвиговых структурных парагенезисов, в том числе: 14 – {RR'L}, 1 – {RPL} и 12 – ({R'PL}?, {RR'P}?). На четвертом этапе эндогенеза, судя по результатам анализа ориентировки плоскостных структурных элементов двуслюдяных гнейсов-4<sub>2</sub>, -4<sub>3</sub> и пегматитов, был сформирован 41 парагенезис, в том числе: 14 – {RR'L}, 1 – {RPL}, 1 – {RR'PL}, 2 – {R'PT}, 2 – {RLT}, 2 – {R'LT}, 2 – {PLT}, 2 – {RR'PT}, 2 – {R'PL}, 1 – {R'PLT}, 1 – {RR'P}; и 11 – ({R'PL}?, {RR'P}?).

Важной металлогенической чертой БЗП является развитие свекофеннских зон сдвиговой деформации и диафтореза в границах шовных структур третьего этапа, сингенетичные породы которых уже были обогащены золотом относительно вмещающих их гнейсов-2 [3, 5]. Особенности механизма «тектонического наследования» выясняются при анализе строения Северослюдозерской субширотной зоны. Сравнение диаграмм выделенных парагенезисов приводит к выводу, что применительно к отдельному эпизоду сдвиговой деформации активизация выражается в избирательной регенерации в качестве элементов новообразующегося парагенезиса одного, или двух плоскостных элементов ранее сформированной тектонической структуры. Нередко парой активизируются парагенетичные R'- и P-сколы, которые в новом парагенезисе могут «обменяться ролями». При полиэлементности структуры зон сдвиговой деформации третьего этапа полнота «тектонического наследования» в общем случае пропорциональна количеству фаз наложенной свекофеннской деформации. Разумеется, чем чаще «подновляется» система нарушений сплошности породы, тем больший объем флюида может пройти по ней и выше вероятность рудоотложения.

Продуктивной в металлогеническом отношении считается также ситуация «сопряженного развития разломов», являющаяся, скорее всего, частным вариантом явления активизации кинематических плоскостей. Установлена принципиальная возможность функционирования в единой флюидопроводящей системе разновозрастных структурных элементов зон сдвиговых дислокаций, ориентированных под большим углом друг к другу. Анализ совмещенных диаграмм максимумов предпочтительной ориентировки структурных элементов в свекофеннских зонах субмеридиональных и субширотных дислокаций свидетельствует о наличии закономерных угловых соотношений между максимумами, относящимися к разным зонам. Выделено не менее пятнадцати отвечающих потенциальным сдвиговым парагенезисам систем статистических плоскостей. Последние соответствуют наиболее частотным структурным элементам. Совпадение L-сколов в трети парагенезисов с глав-

ными плоскостями структурных элементов поздних субширотных дислокаций позволяет предполагать, что в соответствующие фазы активизации основную роль играла Северослюдозерская зона, и именно по ней вероятны наибольшие смещения. Совпадение плоскости генерального сдвига с структурными элементами субмеридионального и северо-восточного простирания позволяет объяснить проявления наложенной сланцеватости соответствующих направлений в свекофенских субширотных зонах – минеральное выполнение L-сколов, самых поздних образований, вполне может пересекать более ранние парагенетические структурные элементы.

Диафториты кианит-биотит-мусковитовой фации в зонах субмеридиональных дислокаций образовались ранее, чем в субширотных, и неоднократно «подновлялись» при активизации, то есть суммарно дольше были в условиях, способствующих концентрации золота в породах. Следовательно, относительно более высокое содержание благородного металла вероятнее в диафторитах субмеридиональных структур.

Пегматиты мусковитовой формации, максимумы предпочтительной ориентировки которых дают свойственные элементам сдвигового структурного парагенезиса угловые соотношения с максимумами полосчатости двуслюдяных гнейсов, выполняют трещины отрыва, неоднократно возникавшие при формировании свекофенских субмеридиональных дислокаций и сингенетических диафторитов. Подтверждается связь процесса пегматитогенеза и с более поздними деформационными событиями. При анализе ориентировки пегматитов и полосчатости гнейсов-4<sub>3</sub> в Северослюдозерской зоне субширотных дислокаций выделены структурные парагенезисы, в которых положение уже существующих жильных тел повторно совпадает с трещинами отрыва. На длительность пегматитообразования также может указывать соответствие ориентировки жильных тел трещинам отрыва в потенциальных структурных парагенезисах «сопряженного» функционирования кинематических плоскостей субортогональных зон сдвиговых дислокаций.

Долгое время оставался без ответа вопрос о пегматитогенезе в зонах рассланцевания, выполненных гнейсами-3. Сопоставление диаграмм ориентировки пегматитов и структурных элементов в гнейсе-3<sub>2</sub> указывает на отсутствие какой-либо парагенетической связи, то есть в Северослюдозерской зоне субширотных дислокаций процессы, формировавшие гнейсы третьей фациальной группы, вообще не продуцировали пегматитовых тел. Наличие мусковитовых пегматитов на участках в границах выделенного в 1951-56 г. г. при съемке масштаба 1:50000 одиннадцатого «горизонта» чупинской свиты, в котором преобладает гнейс-3, обусловлено локальным проявлением «наложенных» свекофенских процессов.

Выявлены заслуживающие внимания обстоятельства формирования пегматитов: соответствие предпочтительной ориентировки некоторых жильных тел плоскостям одинаково ориентированных, но принадлежащих различным структурным парагенезисам трещин отрыва в гнейсах (регенерация, «приоткрытие» трещин отрыва); наличие признаков формирования одних и тех же жильных тел в пересекающихся (?) различно ориентированных трещинах отрыва. Многоактность формирования пегматитовмещающих камер и их минерального выполнения подтверждается и тем, что пространственная ориентировка кристаллов мусковита отвечает угловым соотношениям структурных элементов сдвиговых парагенезисов, а число последних в некоторых промышленных пегматитовых телах достигает трех десятков. В металлогеническом аспекте полициклическое функционирование трещин отрыва оценивается как способствующее рудной минерализации.

Результаты структурно-парагенетического анализа в совокупности с уже имеющимися материалами приводят к следующим выводам.

Естественные минеральные фации гнейсов чупинской свиты, образование которых стимулировалось сдвиговой деформацией, являются продуктами аллохимического стресс-метаморфизма, определявшего своеобразие развития БЗП и в неоархее, и в палеопротерозое [7]. Метаморфизму подвергались породы, прежде всего, в местах разрядки девиаторных напряжений (ассоциации новообразованных минералов маркируют созданную сдвиговой деформацией структурно-текстурную субплоскостную анизотропию гнейсов и сланцев). Релаксационные физические и химические эффекты уже сами по себе являются действенными факторами минерагенеза, кроме того, деформация обусловила инфильтрационный флюидный тепло-, массоперенос, способствовавший изменению химического состава гнейсов и их рудной минерализации в границах зон полифазной сдвиговой деформации.

Свекофеннский структурно-метаморфический комплекс представлен разновозрастными различно ориентированными сублинейными зонами сдвиговых дислокаций и сингенетичных пород четвертой минеральной фации. Сложная внутренняя структура крупноразмерных линиamentных зон дислокаций и диафторитов определяется сочетанием, как правило, большого числа пространственно совмещенных различных типов сдвиговых парагенезисов структурных элементов. Каждый такой парагенезис соответствует отдельному эпизоду деформации, следовательно, наблюдаемая ныне структура – продукт многократной разрядки девиаторных напряжений в условиях меняющихся реологических свойств пород, о чем свидетельствует вариация угла скалывания почти во всем диапазоне возможных значений.

Субплоскостные структурные элементы, сохраняя свою первоначальную ориентировку, неоднократно функционировали в составе разновозрастных сдвиговых парагенезисов, формировавшихся в неодинаковых деформационных условиях. При активизации в ходе отдельной фазы (эпизода) деформации могла происходить избирательная регенерация в качестве элементов новообразующего сдвигового парагенезиса одного или двух плоскостных элементов ранее сформированной структуры. Этот механизм обеспечивал поступательную реализацию широко проявленного тектонического «наследования». Установлена возможность регенерации и функционирования в единой системе, соответствующей сдвиговому парагенезису, структурных элементов разновозрастных зон дислокаций, ориентированных под различными, в том числе, и большими углами друг к другу. Все это свидетельствует о потенциальной многовариантности «оживления» структуры гнейсовой толщи и ее высокой флюидопроницаемости в условиях деформации. Возможно, именно эти тектоноструктурные особенности определяли специфику формирования рудных объектов большеобъемного типа (относительно равномерное рассредоточение рудной компоненты в огромном объеме дислоцированных пород).

Вероятно, долгоживущие зоны сдвиговых дислокаций и их системы играли роль фидеров, достигавших астеносферного уровня: аккумуляция углеродистого вещества в гнейсах, связанная с аллохимическими процессами при повышенном потенциале калия, а также присутствие в диафторитах многих халько- и сидерофильных металлов в самородной форме – признаки действия глущинных восстановленных флюидов. Породы в границах таких зон – наиболее доступный для исследований продукт взаимодействия мантийного и корового вещества.

В новом аспекте аргументируется генетическая связь пегматитов мусковитовой формации с зонами сдвиговых дислокаций и сингенетичных им пород метаморфической фации кианит-биотит-мусковитовых гнейсов и сланцев: ориентировка большинства пегматитовых тел соответствует трещинам отрыва в свойственных диафторитам парагенезисах структурных элементов с преимущественно субмеридиональным, северо-восточным и, в меньшей степени, субширотным простираем плоскости главного сдвига. Выявлены признаки деформационно обусловленной многоактности формирования жильных тел и слагающих их минералов. Поскольку пегматиты являются атрибутом свекофеннских зон сдвиговой деформации, в качестве одного из поисковых признаков последних могут рассматриваться системы эшелонированных пегматитовых жил.

Структурные особенности свекофеннских зон сдвиговых дислокаций, потенциальных рудо-контролирующих и рудоподводящих структур, позволяют считать их полихронными образованиями. Имея это в виду, следует подходить и к изучению разнообразных, иногда экзотических, ассоциаций многочисленных рудных минералов в диафторитах.

#### Литература

1. Гинтов О. Б., Исай В. М. Тектонофизические исследования разломов консолидированной коры. Киев: Наук. думка, 1988. 228 с.
2. Гродницкий Л. Л., Ручьев А. М., Крохин А. И. Лоушское пегматитовое поле (структурное развитие, полиметаморфизм, гранито- и пегматитообразование). Петрозаводск, 1985. С. 176.
3. Ручьев А. М. Благородные металлы в гнейсах чупинской свиты // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 5. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2002. С. 47-58.
4. 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.

5. Ручьев А. М. О перспективах выявления благороднометалльных объектов в беломорском комплексе пород // Геодинамика, магматизм, седиментогенез и минерагения Северо-Запада России // Материалы Всероссийской конференции. Петрозаводск, 12-15 ноября 2007 г. // Петрозаводск: Институт геологии КарНЦ РАН, 2007. С. 340-345.

6. Ручьев А. М. Идентификация структурных элементов сдвиговых дислокаций и решение обратной тектонофизической задачи подбором адекватного модельного парагенезиса // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М. В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Т. 1. – М.: ИФЗ, 2008. С. 94-96.

7. Ручьев А. М. Аллохимический стресс-метаморфизм пород беломорского комплекса Балтийского щита // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. К 40-летию создания М.В. Гзовским лаборатории тектонофизики в ИФЗ РАН: Тезисы докладов Всероссийской конференции. В 2-х томах. Т. 2. – М.: ИФЗ, 2008. С. 69-71.

8. Ручьев А. М. Сдвиговые структурные парагенезисы верхнекоровых тектонических дислокаций в беломорском комплексе пород Балтийского щита // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными // Материалы четырнадцатой международной конференции. Часть 2. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2008. С. 158-161.

9. Ручьев А. М. Новый подход к структурно-парагенетическому анализу рудоконтролирующих зон расланцевания (опыт исследования благороднометалльных объектов на территории Карелии) // Проблемы рудогенеза докембрийских щитов // Труды Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию юбилею члена-корреспондента РАН Г.И. Горбунова. Апатиты. 17-18 ноября 2008. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН. 2008 д. С. 137-141.

## Структурно-парагенетический анализ при исследовании процессов минерагенеза в условиях сдвиговой деформации

Ручьев А. М.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии КАР НЦ РАН,  
г. Петрозаводск, e-mail: ruchyov@krc.karelia.ru

При изучении тектонического фактора минерагенеза целесообразен структурно-парагенетический анализ геологических объектов. Метод идентификации структурных элементов сдвиговых дислокаций и решения обратной тектонофизической задачи подбором адекватного модельного парагенезиса, специально разработанный для анализа сложнодислоцированных докембрийских образований [3-6], позволяет: выявлять природные сдвиговые парагенезисы трех и большего числа структурных элементов, а также идентифицировать их; вычислять угол скалывания пород в условиях природной деформации; реконструировать пространственную ориентировку потенциальных структурных элементов сдвигового парагенезиса и осей главных нормальных напряжений.

Исходный материал для анализа – данные о пространственной ориентировке плоскостей деформационной анизотропии пород. Их элементы залегания при полевой работе определяются или непосредственным измерением, или рассчитываются по замерам не менее двух линий пересечения искомой плоскости с поверхностью рельефа обнажения. Обязательны систематические наблюдения возрастных соотношений структурных элементов, направления смещения по ним, характера минерального выполнения.

При статистической обработке первичных данных и в дальнейшем для минимизации затрат труда и времени целесообразно применять компьютер и специализированные программы, позволяющие построить, детализировать  $\pi S$ -диаграмму, точно определить координаты статистических максимумов, провести моделирование.

При анализе и интерпретации фактического материала используются составляющие основу тектонофизической модели средней части зоны скалывания [1, 2] сведения об элементах идеализированного сдвигового структурного парагенезиса (ИССП):  $R$ - и  $R'$ -сколы Риделя формируются на ранней стадии деформации, они ориентированы плоскостями базисных участков под углом скалывания