

## Отзыв

о диссертации Ю.М. Лебедевой «МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ВЫСОКИХ  
ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ В ЛАПЛАНДСКОМ ГРАНУЛИТОВОМ ПОЯСЕ (НА  
ПРИМЕРЕ ПОРЬЕГУБСКОГО ПОКРОВА)», представленную на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук  
по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Образование и эволюция континентальной коры в докембрии на протяжении многих десятилетий относится к числу важнейших проблем геологии. В этом контексте актуальность работы Ю.М. Лебедевой, посвященной петролого-geoхимическим исследованиям пород Лапландского гранулитового пояса протерозойского возраста, сомнений не вызывает. Важность этого исследования обусловлена еще и тем, что в работе рассматриваются малоизвестные широкой аудитории процессы метасоматоза в условиях гранулитовой фации метаморфизма. В этом плане диссертация находится в современном тренде повышенного интереса к глубинным метасоматическим процессам, активно изучаемым в породах литосферной мантии и в зонах конвергенции литосферных плит.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 147 наименований. Основу диссертации составляют детальные петролого-geoхимические исследования гранулитов и метасоматических пород Пырьегубинского тектонического покрова. Вызывает восхищение и удивление трудолюбие соискателя. Трудно представить научные исследования метаморфического комплекса, которые требовали бы детального описания 1600 шлифов. Знающие эту процедуру не понаслышке, могут усомниться в подлинности приведенной цифры. Однако при знакомстве с диссертацией выяснилось, что на каждом этапе исследований соискателем был выполнен огромный объем очень трудоемких работ, и выполнен очень добросовестно. В результате всякие сомнения в отношении шлифов развеялись сами собой.

**В первой главе** содержится обстоятельный обзор геологического положения Лапландского гранулитового пояса (ЛГК), включающий историю его изучения, сведения о тектоно-метаморфической эволюции пород и результатах изотопного датирования. Обзор базируется на многочисленных литературных источниках и убеждает в том, что автор хорошо знаком с региональной геологией, петрологией и geoхимией исследуемого объекта.

Замечания по главе 1.

Из описания геологической ситуации (стр. 23, рис. 22г) не ясно, почему рассматриваемые породы относятся к разным стадиям метаморфизма. Секущий контакт, если он не тектонический, не избавляет контактирующие породы от термального и барического воздействия при метаморфизме. Поскольку о тектоническом (постметаморфическом) контакте

в тексте ничего не говорится, а на рис. 22г он выглядит согласным, возникает вопрос о причине различия метаморфизма в этих породах. Присутствие биотита по обе стороны контакта свидетельствует о том, что флюид был повсеместно, т.е. высказываемая в дальнейшем гипотеза о сухих анклавах выглядит не очень убедительной.

Во второй главе приводится большой объем фактического материала по метасоматитам и вмещающим породам из разных участков Порьеубинского покрова. В частности, рассматриваются основные типы метасоматических пород, их распространение и полевые взаимоотношения с вмещающими породами. Кроме того, очень обстоятельно и профессионально представлены петрографические характеристики разных типов пород, включающие их текстурные и структурные особенности, парагенезисы, реакционные структуры и составы минералов. Приведенные материалы убеждают в том, что породы действительно подверглись мощной метасоматической переработке, которая прослеживается на макро- и микроуровне в виде закономерных изменений химического состава пород, минералов и парагенезисов.

Замечания по главе 2.

В разделах 2.2.2 и 2.2.3, как и в главе 1, нет убедительных аргументов в пользу того, что породы относятся к разным этапам метаморфизма (M1 и M2). Основное минералогическое отличие между ними состоит в наличии или отсутствии граната, а также в составе минералов. Почему эти различия не могут быть связаны с валовым составом пород?

Предложенная на стр.49 метасоматическая колонка является идеализированной. В самом деле, если сделать горизонтальные сечения через образцы, представленные на рис.2.24, то увидим, что нарушается не только последовательность зон, но и минеральный состав.

В работе широко используется название "Fe-Mg порода", которое искажает не только действительность, но суть рассматриваемого процесса. Например, кремния и глинозема в этих породах много больше, чем магния, но в название эти компоненты не попали (см. табл.1). Кроме того, эти породы используются в качестве индикаторов развития Fe-Mg метасоматоза. Однако убедительных доказательств существования такого метасоматоза я не увидел. Например, содержание FeO в этих породах на острове Паленый практически такое же, как и во вмещающих кристаллосланцах (до 14 мас%, табл.1), т.е. получается, что железистой составляющей в метасоматозе не было. Таким образом остается только магнезиальный метасоматоз – явление для коровых пород необычное, требующее обсуждения.

Для объяснения образования ортопироксен-силлиманитовых симплектитов предлагается метасоматическая реакция с привносом магния. В качестве аргумента используют разные магнезиальности граната и ортопироксена. Подобный довод выглядит неубедительно, т.к. в природе известно немало смещенных равновесий, где участвуют два Fe-Mg минерала с разной магнезиальностью. Различие в их составе достигается не привносом (выносом) магния

(железа), а разными количественно минеральными соотношениями в реакции (например, см. обложку монографии Л.Я. Арановича "Минеральные равновесия..").

**В третьей** главе приводится методика и результаты геотермобарометрических исследований. Оценки Р-Т условий производились с помощью метода TWEEQU. Выбор именно этого метода представляется вполне оправданным, т.к. позволяет оценивать не только Р-Т параметры образования минералов, но и показывает степень достижения ими равновесия. Объем представленных материалов (и выполненной работы) поражают – более половины главы (общим объемом 40 стр.) приходится на многочисленные Р-Т диаграммы с *хорошо сходящимися пучками*, соседствующих с фотографиями участков шлифов, где проводилось измерение состава. От обилия диаграмм порой складывается впечатление, что каждый из 1600 шлифов обрел свою точку на Р-Т диаграмме. И это только видимая часть "айсберга", т.к. получение хорошего пучка – весьма длительная и трудоемкая процедура. В результате проведенных исследований был построен Р-Т тренд метаморфизма, показывающий, что метасоматические преобразования пород связаны с повышением температуры и давления в толще, а образования симплектитов отвечают значительно более низким значениям этих параметров.

### Замечания по 3 главе.

Несмотря на благоприятное впечатление о проведенных геотермобарометрических исследованиях, хотелось бы обратить внимание на "подводные камни" в выбранной методике отбора равновесных составов минералов. На первый взгляд, критерий поиска равновесия и Р-Т условий по минимальному пучку выглядит убедительно. Однако при наличии гетерогенных минералов этот подход может давать искаженный результат. Например, изображенные на рис.3.6 минералы, которые использовались для оценки Р-Т условий, находятся в совершенно разных структурных позициях в породе (во включениях, в матриксе). Отвечают ли выбранные составы минералов, возникшие на разных этапах метаморфизма реальным или виртуальным Р-Т параметрам, сказать, к сожалению, не просто.

Второй важный аспект формального подхода иллюстрирует оценка Р-Т параметров первого (M1) и второго (M2) этапов гранулитового метаморфизма. Основное различие между этими этапами определяется давлением и лишь незначительно (за единственным исключением) – температурой. Но давление в этих породах (этап M1) оценивалось по равновесиям с участием биотита – минерала с высокой скоростью диффузии. Учитывая крайне высокую температуру  $T > 900^{\circ}\text{C}$  (метасоматический этап), трудно представить, что биотит не изменил состав вследствие диффузионного обмена с существующими Fe и Mg минералами (например, на рис. 3.4 это пироксены). В результате можно получить Р-Т оценки, которые не соответствуют рассматриваемому этапу метаморфизма.

Учитывая широкое применение использованного соискателем подхода в современной петрологии, можно считать, что приведенные Р-Т оценки получены в целом корректно, хотя здесь (как и в других главах) я не увидел серьезных аргументов в пользу двух этапов гранулитового метаморфизма, вынесенных в первое защищаемое положение.

**Четвертая глава** посвящена реконструкции химического состава и происхождения флюида. Для этого проводились изотопно-геохимические исследования пород и минералов вмещающих кристаллосланцев и метасоматических пород. Весьма любопытные и неожиданные результаты были получены по изотопии кислорода. Выяснилось, что метасоматиты изотопно "легче" вмещающих пород, при этом жильные ортопироксен-гранатовые породы имеют очень низкие изотопно-кислородные значения, опускающееся ниже средне-мантийных. Для объяснения этого явления была использована модель миграции экзотического мантийного флюида, изотопно-кислородный состав которого (4-4.5‰) более чем на 1 ‰ ниже средне-мантийного значения (~6‰). Вывод о мантийной природе флюида косвенно подтверждается  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  отношениями, установленными для двух образцов метасоматитов. Измеренные значения изотопов углерода, призванные поддержать мантийную гипотезу, в большинстве своем лежат заметно ниже мантийных значений, а их связь с глубинными углекислотными флюидами обоснована слабо.

В этой же главе с помощью программы TWQ были выполнены оценки активности воды, показавшие, что флюид был существенно водным, а его предельные значения достигались во время метасоматического процесса. К сожалению, в тексте не объясняется, за счет чего этот флюид приобрел кислотную специфику, определившую особенности рассмотренного метасоматоза.

**В заключительной главе** диссертации приводятся сведения о составе протолита и оценки возрастов главных этапов преобразования пород, полученных с помощью U-Pb, Sm-Nd и Rb-Sr методов изотопного датирования. Использование большого количества геохронологических методов для классификационной работы, несомненно, заслуживает одобрения. При этом хотелось бы обратить внимание на то, что при датировании цирконов предварительно исследовалась не только их гетерогенность и минеральные включения, но и структурное положение в породе. Такой подход применяется не часто и его можно только приветствовать.

#### Замечания по главе 5.

Приведенные оценки возраста для цирконов (собственные и литературные) показывают, что время компрессии, установленное с большими погрешностями, составляет >14 млн. лет (на 2 кбар), а если ориентироваться на результаты Sm-Nd метода, то время увеличится на десятки млн. лет. В связи с этим возникает 2 вопроса. Почему погружение (компрессия) со скоростью ~1 мм/год называется в защищаемом положении быстрым? Какой тектонический процесс приводит к медленному погружению пород в субизотермических условиях?

Приведенные значения крайне высоких скоростей остывания пород не вызывают доверия. Дело в том, что скорость остывания некорректно оценивать по температурам закрытия изотопных систем ( $T_c$ ) в минералах; в цитируемой автором работе (Dodson, 1973) показывается отчетливая зависимость  $T_c$  от скорости охлаждения (и других параметров).

Сделанные замечания не снижают общую высокую оценку работы. В ходе исследований Ю.М. Лебедевой были получены новые и важные результаты по термодинамическим условиям метасоматического преобразования пород в зонах сдвиговых деформаций в условиях гранулитового метаморфизма. Представленные результаты являются оригинальными и отличающимися от ранее опубликованных своей новизной и обилием фактического материала. Полученные автором фундаментальные данные по флюидному режиму метасоматоза в условиях гранулитовой фации метаморфизма, несомненно, являются важным вкладом в познание глубинных процессов формирования земной коры в протерозое. Результаты диссертационного исследования докладывались на научных конференциях и были опубликованы в отечественных научных журналах (из списка ВАК).

Диссертация и автореферат написаны ясным научным языком, прекрасно иллюстрированы и оформлены. Структура диссертации и порядок изложения материала логически оправданы, выводы соответствуют приводимым материалам. Защищаемые положения в целом обоснованы и доказаны, работа соответствует выбранной специальности. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Диссертационная работа полностью отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Лебедева Юлия Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрография, вулканология.

Заведующий кафедрой петрологии  
геологического факультета МГУ,  
доктор геол.-мин. наук

25 февраля 2015 г.

Перчук Алексей Леонидович



Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
геологический ф-т, 119234 Москва, Ленинские горы, д.1  
тел. (495)939-13-05, alp@geol.msu.ru