

О Т З Ы В

на диссертацию **Лебедевой Юлии Михайловны**

"*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

Метаморфизм принадлежит к процессам, значение которых в создании геодинамической модели развития Земли трудно переоценить. Эти процессы особенно важны для нашего понимания геодинамики палеопротерозоя как переходного периода от специфической и во многом ещё неясной геодинамики архея к геодинамике палеопротерозоя, сходной с современной тектоникой литосферных плит (*Stern, 2005; Brown, 2014*). Именно в коллизионных структурах палеопротерозоя впервые широкое развитие получает высокотемпературный и высокобарический (*HT–HP*) гранулитовый метаморфизм, связанный с региональными зонами пластических сдвиговых деформаций (или просто сдвиговыми зонами). Некоторые представления об этих процессах подвергаются значительному пересмотру. В частности, это касается оценки активности воды при гранулитовом метаморфизме, которые представляются сейчас заниженными. Более того, зоны одновременного проявления *HT–HP* гранулитового метаморфизма и деформаций пластического сдвигового течения часто характеризуются процессами сопряженного с ними метасоматоза, сведения о физико-химических параметрах которого являются просто неполными. Все это определяет несомненную **актуальность** исследования Ю.М. Лебедевой в плане развития представлений о *HT–HP* гранулитовом метаморфизме и метасоматозе, а также их значения для тектоники и геодинамики палеопротерозоя.

Выбор объекта исследования – порьегубские *HT–HP* гранулиты юго-восточной ветви палеопротерозойского Лапландского гранулитового пояса (ЛГП), в которых широко проявлены процессы сдвигового течения и метасоматоза, – представляется правильным и очень удачным. Работа базируется на очень большом и качественном фактическом материале. Для изучения использовалась совокупность традиционных и современных методов, среди которых следует выделить метод TWEEQU и изотопные методы с использованием современных масс-спектрометров (прежде всего, масс-спектрометр SHRIMP II). Например, линии эволюции *T–P* параметров метаморфизма построены по сотням определений величин *T* и *P*, причем не менее четверти из них получены с очень незначительными погрешностями. Выбор же образцов для этих *T–P* определений основывался на петрографическом изучении 1600 шлифов, для которых были сделаны ~4000 аналитических определений. Всё это обеспечило большую **достоверность** результатов, положенных в основу защищаемых положений.

Полученные результаты внесли большой вклад в реконструкцию метаморфической истории порьегубских *HT–HP* гранулитов. Прежде всего, получены убедительные свидетельства о двух стадиях гранулитового метаморфизма, причем ранняя из них протекала при меньшем давлении, чем поздняя. Ранее уже развивались идеи о том, что самый ранний гранулитовый метаморфизм был умереннобарическим, но они базировались на ограниченном материале, часть из которого сейчас не отвечает требованиям к надежности *T–P* определений. Поэтому ранний умереннобарический гранулитовый метаморфизм отрицался, что подкреплялось обоснованными заключениями об одновременном проявлении высокобарического метаморфизма в нижней части разреза ЛГП и умереннобарического – в средней части. Ю.М. Лебедева привела новые полевые

наблюдения в пользу выделения двух стадий гранулитового метаморфизма и впервые по результатам U–Pb датирования метаморфогенных цирконов из умереннобарических и высокобарических гранулитов с надёжно установленными T – P параметрами показала, что умереннобарический метаморфизм предшествовал высокобарическому. Построенные T – P тренды отличаются очень большой детальностью. Впервые была сделана оценка активности воды в порьегубских HT – HP гранулитах и в развитых по ним метасоматитах, основная часть которых образовалась в HP – HT условиях. Также впервые в HT – HP метасоматитах был определен изотопный состав кислорода, аргона и графита, на основании которого сделан принципиально новый и важный вывод о мантийной природе метасоматизирующих флюидов. Защищаемые положения базируются на этих результатах и поэтому имеют высокую степень **обоснованности** и научную **новизну**.

1-е и 2-е защищаемые положения вводят существенные граничные условия как для палеопротерозойской метаморфической эволюции ЛГП, так и для тектонических моделей палеопротерозоя всей северной части Балтийского щита. Более того, они имеют **теоретическое значение** для нашего понимания геодинамики палеопротерозоя. 3-е защищаемое положение имеет не только несомненное теоретическое значение для концепций метасоматоза в условиях гранулитовой фации, но и **практическое значение**. В последние три десятилетия в литературе был приведен обширный материал, говорящий о том, что региональные коллизионные сдвиговые зоны являются транскоровыми каналами, по которым из мантии в верхние уровни земной коры перемещаются рудоносные флюиды. С этими структурами бывают связаны орогенные месторождения полезных ископаемых, в том числе золота и урана. Состав мантийных рудоносных флюидов при их прохождении через высокобарические (нижнекоровые) и умереннобарические (среднекоровые) гранулитовые фрагменты сдвиговых зон может модифицироваться, а сами флюиды аккумулироваться или рассеиваться. То есть эти зоны могут влиять на формирование рудоносных флюидных потоков. Следовательно, результаты, полученные Ю.М. Лебедевой, важны для разработки моделей орогенного рудообразования и металлогенического прогнозирования.

Главной целью исследований Ю.М. Лебедевой было установление геологических и физико-химических условий проявления HT – HP метасоматоза при T – P параметрах гранулитовой фации и выяснение источников метасоматизирующих флюидных потоков. Данные выше оценки защищаемых положений и их содержание убедительно свидетельствуют о том, что **главная цель** была успешно **достигнута**. Все поставленные в работе **задачи** были **решены**. **Творческий вклад Ю.М. Лебедевой** в конечный результат **является большим**. Прежде всего, вся работа выполнена по её собственному каменному материалу с привлечением ограниченного объёма материалов её научного руководителя С.А. Бушмина. Ю.М. Лебедева выполнила большой объём петрографических исследований, без которых были бы невозможными корректный выбор объектов для аналитических определений и их последующих интерпретаций, построила метасоматические колонки и произвела все многочисленные расчеты T – P параметров метаморфизма. Она принимала большое участие в подготовке изотопно-геохимических и геохронологических исследований и в обсуждении их результатов вместе с исследователями, выполнявшими аналитические определения (всё это корректно оговорено в диссертации). Большой вклад Ю.М. Лебедевой подтверждается тем, что она является первым автором двух работ по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых журналах в 2010 и 2012 гг. Кроме этого, она является первым или вторым автором во многих других публикациях.

Структура диссертации представляется оправданной. Собственно авторским исследованиям посвящены четыре главы из пяти. Написана диссертация ясным языком, небрежности в изложении и опечатки незначительны, жаргонные термины

использовались в единичных случаях. Диссертация обильно иллюстрирована, и такое большое количество иллюстраций представляется необходимым. В частности, взаимоотношения пород в обнажениях, взаимоотношения минералов и их морфология в шлифах и т.п. являются доказательствами многих выводов, при этом нередко решающее значение имеют детали, а не только общий вид. Однако размеры фотографий слишком малы, часто в горизонтальном ряду размещены три фотографии. При этом разрешение изображений невысокое, и при увеличении быстро проявляется пиксельное строение, из-за чего нельзя рассмотреть важные детали. На многих фотографиях обрисованы границы пород и минералов и приведены их названия. Это правильный подход, но так как фотографии малы, а толщина линий и размер шрифта выбраны слишком большими, то важные, но плохо читаемые детали оказались затушёванными.

К защищаемым положениям замечаний нет. В то же время Ю.М. Лебедева в работе сделала ряд выводов и предположений, не влияющих на эти положения. К нескольким из них возникли замечания.

(1) Цирконы в богатых кварцем метасоматических силлиманит-ортопироксеновых породах содержат ядра, которые по наличию тонкой эвгедральной зональности и соотношениям изотопов Hf и Sm интерпретируются как магматические, что представляется правильным. Для ядер получен возраст 1.96 млрд лет и сделан вывод, что протолитом метасоматитов была магматическая порода; другие данные в пользу магматического протолита отсутствуют. Такая интерпретация природы протолита не является единственной. Метасоматиты развивались по кристаллическим сланцам с прослоями гранат-биотитовых гнейсов. Для первых действительно наиболее вероятен магматический протолит, но для вторых возможна и первично осадочная природа. Поэтому существуют ещё два варианта. В первом из них протолит метасоматитов магматический, но циркон, слагающий ядра, является захваченным из магматических пород с возрастом 1.96 млрд лет, в которые внедрились более молодые магматические породы, испытавшие впоследствии метасоматоз. Во втором варианте протолит осадочный, и тогда магматические цирконы, слагающие ядра, кластогенные. В любом случае результаты датирования говорят о необходимости выделения магматического этапа с возрастом 1.96 млрд лет, одновозрастного с магматическим событием в смежном Терском блоке, в котором проявлен амфиболитовый метаморфизм. Это очень важно для региональных геологических и тектонических построений.

(2) На с. 125 сделано предположение, что *"при снижении температуры мольная доля углекислого газа во флюидном потоке могла резко снижаться за счет фиксации углерода в виде графита при пиковых условиях метасоматоза во время изотермической компрессии пород (например, быстром погружении) и в дальнейшем продолжать снижаться на фоне падения температуры"*. Это предложение трудно для восприятия, так как складывается впечатление, что речь идет о снижении температуры при увеличении давления. Такая тектоническая обстановка представляется очень маловероятной.

(3) На нескольких рисунках даны примеры кинематических индикаторов простого сдвига, и это представляется достаточным для работы, в которой сдвиговые деформации затрагиваются в самой простой форме. Однако не все приводимые структуры могут быть кинематическими индикаторами (например, обрисованный контур гигантского порфиробласта граната на рис. 2.6а не согласуется с общим структурным узором матрицы породы).

(4) Иногда в тексте и в подписях к рисункам используется непонятный термин "S-структура". В одном случае неправильно использован термин "структура снежного кома" (рис. 3.36б).

