

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Аило Юссефа «Глубинные включения из кайнозойских вулканических пород Тункинской долины Байкальской рифтовой системы в структуре раннепалеозойского слюдянского метаморфического комплекса», представленную на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Автор видит актуальность проведенного исследования в необходимости построения реалистичных глубинных разрезов литосферы на основе согласования результатов изучения щелочных базальтоидов и содержащихся в них глубинных включений с имеющимися геофизическими моделями. Это, несомненно, актуально для получения новых знаний о процессах формирования литосферы.

Геологическим объектом исследования были кайнозойские вулканиты из Тункинской долины Байкальской рифтовой системы и ксенолиты из этих вулканитов. Основной целью диссертационной работы являлось построение петрологического разреза корневой части Слюдянского метаморфического комплекса, активизированного новейшей рифтовой структурой. Для решения этой цели автором было проведено детальное петро-минералого-геохимическое изучение вулканитов, а также коровых и мантийных ксенолитов из этих базальтов. Кроме того, было проведено сопоставление вулканических пород из Тункинской рифтовой долины и рифтовых структур Западной Сибири. Ксенолиты из вулканитов Тункинской долины сравнивались с ксенолитами из других районов Южно-Байкальской вулканической области. На основе полученных данных разработана систематика глубинных нодулей из вулканических пород Тункинской долины, в разрезе под Слюдянским метаморфическим комплексом установлена зона перехода кора-мантия, выявлено сходство источников вулканических пород Тункинской рифтовой долины и рифтовых структур Западной Сибири.

Работа базируется на внушительном фактическом материале. В исследованиях использовались современные, в том числе локальные, методы анализа пород и минералов – ICP-MS, LA-ICP-MS, EPMA. Кроме того, в вулканических породах проанализирован изотопный состав Pb (MC-ICP-MS) и выполнено датирование K–Ar методом. Личный вклад автора сомнений не вызывает.

Диссертация Аило Юссефа состоит из одного тома объемом 254 стр., куда входят 167 стр. текста, 81 рисунок, 8 таблиц, четыре приложения в виде 18 таблиц с результатами полученных аналитических данных и 30 рисунков. Текст состоит из «Введения», «Списка сокращений...», 8 глав, «Заключения» и «Списка литературы». Последний состоит из 199 наименований.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, новизна, практическая значимость, защищаемые положение, кратко описан фактический материал, методы исследования и личный вклад автора.

Первая глава представляет собой литературный обзор геологической истории развития Слюдянского субтеррейна, который в кайнозое испытал рифтогенную активизацию. Приводятся данные о строении Тункинской долины в структуре Байкальской рифтовой системы, а также о составе вулканических пород и их глубинных включений из Тункинской долины.

Во второй главе описаны использованные в работе аналитические методы исследования.

В третьей главе приведены результаты изучения петрографии, петрогенного и редкоэлементного состава изученных вулканитов Тункинской долины. Обсуждается природа источника, из которого они образуются. Приведены результаты моделирования процесса плавления, а также интерпретируются данные по изотопии Rb.

Замечания к главе 3:

Автор пишет «Каждый из этапов характеризовался сменой состава вулканических пород во времени от оливин-толеитового к щелочно-оливин-базальтовому». Это означает, что базальты толеитовой серии сменяются щелочными базальтами????

«Афанитовая» структура – устаревший термин.

Рис. 3.7. На основании чего для вулканитов Карьерного выделен трахибазальт-базанитовый тренд, в то время как нет ни одного состава, точка которого попадала бы в поле базанита? На основании чего для вулканитов Тункинской впадины выделен трахибазальт-андезибазальтовый тренд, в то время как нет ни одного состава, точка которого попадала бы в поле андезибазальта? Для чего показана точка пересечения этих трендов? То есть не понятно ни на каком основании выделены тренды, ни для чего это сделано, какой в этом петрологический смысл?

Нужно делать ссылки на литературные источники, откуда взяты классификационные диаграммы (рис. 3.7).

Рис. 3.9. Вариационная диаграмма $\text{SiO}_2\text{-MgO}$. Вариационные диаграммы позволяют установить, например, закономерности изменения состава вулканитов (обусловленные порядком кристаллизации минералов в процессе фракционирования), принадлежность или непринадлежность вулканитов к единой серии пород и т.д. Какой петрологический смысл в выделении для изученных вулканитов «среднего тренда существенных вариаций SiO_2 при слабых вариациях MgO »? В него попадают полностью или частично образцы из всех изученных объектов с близким содержанием MgO и очень разным содержанием SiO_2 ?

Рис. 3.10. Сейчас принято нормировать не к пиролиту, а к примитивной мантии, именно для этого гипотетического резервуара был рассчитан редкоэлементный состав, по которому проводят нормировку [McDonough, Sun, 1995].

Спектры распределения REE и редких элементов в базальтах описаны очень скупо. Нужно было обязательно провести сопоставление по редким и петрогенным элементам с описанными в литературе составами внутриплитных базальтов Южно-Байкальской вулканической области (ЮБВО), например, [Ярмолюк и др. Магматизм и геодинамика Южно-Байкальской вулканической области (горячей точки мантии) по результатам геохронологических, геохимических и изотопных (Sr, Nd, O) исследований // Петрология, 2003, том 11, №1, с. 3-34]. Тем более, что авторы этой статьи придерживаются другой точки зрения на генезис базальтов Тункинского сектора ЮБВО.

Рис. 3.11. Анализируя диаграмму Th/Yb - Ta/Yb , автор предполагает, что положение на ней точек изученных вулканитов отражает «преобразование мантийных источников вулканических пород частичным плавлением с отделением компонента, соответствующего составу континентальной коры» (стр. 44). Он считает, что это был мантийный источник «типа OIB», а составы изученных базальтов отражают реститовый состав литосферной мантии. «Последовательность MORB-OIB» на диаграмме Th/Yb - Ta/Yb (позднее – на диаграмме Th/Yb - Nb/Yb) была выделена J.A. Pearce. На этой диаграмме содержания Th и Ta нормируются на содержание Yb для корректировки вариаций состава базальтов в результате частичного плавления и фракционной кристаллизации, то есть на ней фактически рассматривается Th/Ta отношение в базальтах. Th и Ta – сильно несовместимые элементы, имеющие близкие общие коэффициенты

распределения (D) для системы расплав (базальт) - мантия (перидотит). Поэтому отношение Th/Ta в океанических базальтах близко к соответствующему отношению в их мантийных источниках. Отношение этих элементов в рестите также контролируется отношением в источнике. То есть, процесс частичного плавления мантийного вещества приводит к изменению состава расплава и рестита в пределах диагонального поля «последовательности MORB-OIB». Базальты, располагающиеся в поле «последовательности MORB-OIB», образовались из конвективной верхней мантии. Смещение точек состава базальтов на этой диаграмме выше «последовательности MORB-OIB» свидетельствует либо об участии в их формировании наряду с конвективной верхней мантией дополнительных источников (субдукционный компонент, коровый материал), либо об образовании из метасоматизированной литосферной мантии при возможном участии тех же дополнительных источников [Pearce, J.A., 1983. Role of the subcontinental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publications, Nantwich, Cheshire, pp. 230–249]. Таким образом, при частичном плавлении мантийного источника «типа OIB» не может получиться базальт с соотношением Th/Yb и Nb/Yb как в нижней и средней коре. Таким образом, приведенный автором график с построениями и рассуждениями не доказывает, во-первых, комплементарность материала нижней - средней континентальной коры и гипотетической континентальной мантии реститового типа в Западном Прибайкалье, во-вторых, образование изученных базальтов из последней. Более того, точки состава изученных автором базальтов Анчукского, Карьерного, Зыркузунского вулканов и вулканов Тункинской впадины попадают в обогащенную часть «последовательности MORB-OIB» на диаграмме Pearce [1983]. Эта последовательность выделена не по средним составам, а по полям точек MORB и внутриплитных базальтов. Кроме того, в оригинальной версии диаграммы Th/Yb - Ta/Yb использован логарифмический масштаб. Обычно тренды изменения состава источников, расплавов и реститов рассчитываются на основе численного моделирования процесса плавления.

В четвертой главе выделены 5 групп ксенолитов, описаны их модальный состав, петрографические особенности, положение групп относительно состава «примитивная мантия» на диаграмме Mg/Si – Al/Si и обсужден REE состав пород.

Замечания к главе 4:

Автор пишет «Почти все изученные породы (перидотиты, дуниты и частично оливиновые вебстериты) имеют лерцолитовый парагенезис». Как дуниты и вебстериты могут иметь лерцолитовый парагенезис?

Автор пишет «Данная группа пород по химическому составу характеризуется высоким отношением Mg/Si (1,2–1,35, выше, чем в первичной мантии (первичной силикатной Земле) и низким содержанием редких элементов (см. рис. 4.8 и 4.12). Эти признаки свидетельствуют о реститовом происхождении пород». Этой информации недостаточно для вывода о реститовой природе пород. Для такого вывода нужно рассматривать всю информацию о породе: структура, состав минералов, состав породы.

Структуры пород 1 группы (вторично обогащенные реститы) описаны в старой терминологии, ранее применяемой для альпинотипных гипербазитов (панидиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая). Тогда считалось, что эти структуры указывают на кристаллизацию пород из ультраосновных расплавов. Более поздние, в том числе экспериментальные исследования показали, что в условиях мантии перидотиты подвергаются твердопластической деформации и ведут себя подобно вязким жидкостям. В настоящее время структуры реститовых перидотитов принято описывать

как протогранулярная, порфирокластовая и т.д. Эти структуры имеют ряд особенностей, которые наблюдаются в описываемых перидотитах. Под вторичным обогащением реститов, по-видимому, подразумевается процесс их взаимодействия с просачивающимся расплавом в условиях мантии. Этот процесс фиксируется появлением дополнительных микроструктурных особенностей: изменением формы первичных зерен, появлением мелких новообразованных зерен (например, оливина, клинопироксена, хромшпинелида) и т.д.

В приложении в подписях к фотографиям шлифов 1 группы описаны «развитие серпентина?», участки перекристаллизации. Это реакционные каймы взаимодействия Орх с щелочным базальтом, проникающим в перидотитовый ксенолит.

Автор пишет «На диаграмме $MgO - SiO_2$ (рис. 4.10 б) выделяется тренд возрастания MgO от 12.9 до 23.2 мас. % при снижении SiO_2 от 46,2 до 42,2 мас. %». Какой петрологический смысл в выделении этого тренда? При фракционировании базальтов MgO понижается, а SiO_2 растет.

Спектры распределения РЗЭ в ультраосновных и основных ксенолитах сопоставляются с таковыми в кристаллических сланцах и гнейсах харагольской свиты Слюдянского комплекса. В тексте нет объяснения причины такого сопоставления.

В пятой главе описаны результаты изучения петрогенного и редкоэлементного состава минералов (клинопироксен, оливин, хромшпинелид, слюда, амфибол, апатит, титанит и рудные минералы) в ксенолитах из вулканитов Тункинской долины.

Замечание к главе 5: Автор пишет «Глубинные нодулы реститового типа из пород вулкана Карьерный характеризуют слабо обедненный литосферный материал корневой части Слюдянского метаморфического субтеррейна ...». Глубинные нодулы реститового типа из пород вулкана Карьерный характеризуют литосферную мантию под Слюдянским субтеррейном.

В шестой главе приведены результаты расчета температуры (по двум термометрам) и давления (по клинопироксеновому барометру) для изученных ксенолитов. Кроме того, обсуждаются петрографические и минералогические признаки глубинных тектонических напряжений и срывов, описываются зоны перехода кора-мантия и приводится разрез литосферы, полученный автором по результатам изучения ксенолитов из вулканитов Тункинской долины.

Замечания к главе 6:

Автор считает, что полученные Р-Т оценки отражают избыточное давление, а не глубину нахождения ксенолитов в разрезе, так как рассчитанная по перидотитовым ксенолитам геотерма пересекает кондуктивные геотермы. К кондуктивным геотермам близки геотермы, рассчитанные по мантийным перидотитам из кимберлитов. То есть геотермы такого типа обычны под кратонами. В районах с активным магматизмом, тонкой корой и процессами подслаивания коры основными породами (*underplating*) геотермы, рассчитанные по мантийным перидотитам из щелочных базальтов, не соответствуют кондуктивным, что обычно объясняется адвективным переносом тепла.

Автор рассматривает состав метасоматитов группы 3 как доказательство наличия тектонических напряжений, приведших к синкинематическому перераспределению Si и Fe в породах и перераспределению барофильных компонентов в клинопироксене (поэтому получились более высокие оценки Р). В то же время он утверждает, что перидотиты группы 3 находились в «литологически индивидуализированном слое» совместно с группой 1. Но автор использует отношения $Mg/Si - Al/Si$ и содержания FeO , Al_2O_3 в 1 группе пород для выявления их генезиса, то есть считает их состав первичным,

отражающим этап частичного плавления при формировании пород. Почему в Sp лерцолитах группы 1 не наблюдается перераспределения Si и Fe, как в метасоматитах, а только перераспределение барофильных компонентов (раз полученные оценки P считаются «избыточным давлением»)?

Автор пишет, что скачок сейсмических волн на границе Мохо может быть обеспечен только появлением граната в перидотитах. То есть автор считает, что литосферная мантия состоит из гранатовых лерцолитов, а шпинелевые лерцолиты не могут быть представителями литосферной мантии. Резкое увеличение скоростей сейсмических волн ниже раздела Мохоровича в настоящее время связывают с исчезновением полевого шпата. Сходство петрогенного состава шпинелевых и гранатовых лерцолитов из ксенолитов кимберлитовых трубок дало основание связывать их минералогические различия с физико-химическими условиями. Возможность фазового перехода шпинелевый лерцолит-гранатовый лерцолит в мантии подтверждена экспериментально. Как справедливо пишет автор, в складчатых поясах, обрамляющих кратоны (off-craton) обычно присутствует зона перехода кора-мантия. Нижняя часть этой зоны представлена смесью шпинелевых лерцолитов и мафических пород. Образование последних объясняют кристаллизацией из основных расплавов (underplating). Наличие такой смеси приводит к тому, что в этих районах регистрируемая сейсмологами граница Мохо располагается в основании зоны перехода кора - мантия, то есть ниже петрологической границы кора-мантия. Петрологическая граница определяется появлением в разрезе реститовых шпинелевых перидотитов [O'Reilly S.Y., Griffin W.L. Moho vs crust-mantle boundary: Evolution of an idea//Tectonophysics. 2013. V. 609. P. 535–546]. Таким образом, граница литосферной мантии, соответствующая появлению граната, показана на рис. 6.5. не верно.

Реститовый генезис источника изученных вулканитов и его комплементарность материалу средней и нижней континентальной коры не доказаны (см. замечание к главе 3 по графику Th/Yb - Ta/Yb), поэтому нижняя часть рис. 6.5. не обоснована.

Замечаний к седьмой главе, где сравниваются особенности химического и минерального состава ксенолитов из Тункинских, Витимских и Окинских щелочных базальтов, нет.

В восьмой главе рассматриваются геохимические характеристики вулканических пород Западного Прибайкалья и Сирии как показатели источников деламинированной континентальной литосферы.

Замечание к главе 8:

Для выявления источников вулканитов Сирии используется диаграмма Th/Yb - Ta/Yb, критика рассуждений по которой приведена в замечаниях к главе 3.

К заключению замечаний нет.

Общее замечание к тексту диссертации. Было бы удобнее читать, если бы работа была лучше структурирована. Например:

- выводы о реститовой природе групп 1 и 2 сделаны в разделе Петрография до того, как описана вся полученная информация о составе пород и минералов;
- данные по оценке T используются в 5 главе, тогда как эти расчеты приводятся только в главе 6;
- в главе 6 (P-T оценки...) присутствует график 6.3, на котором показано сопоставление валового состава пород 1 и 2 групп с рассчитанными составами реститов, образующихся при частичном плавлении астеносферной мантии в срединно-океанических хребтах, было бы уместнее его показать раньше при обсуждении генезиса пород.

Защищаемые положения:

Первое защищаемое положение обосновано, следует все-таки сказать, что название группы 4 неудачное: как перидотиты могут быть комплементарны перидотитам?

Второе защищаемое положение обосновано.

Третье защищаемое положение «В рифтовых структурах Западного Прибайкаля и Западной Сирии изливались кайнозойские магматические расплавы из источников континентальной мантии реститового типа, комплементарных материалу средней и нижней континентальной коры». Оно аргументируется рассуждениями о соотношениях $Th/Yb - Ta/Yb$ в изученных вулканитах. Рассуждения выполнены не корректно, о чем написано в замечаниях к главе 3. То есть, третье защищаемой положение не обосновано.

Несмотря на сделанные замечания, представленная диссертация представляет собой серьезное научное исследование, выполненное на актуальную тему, обладает новизной и научной значимостью, так как полученная информация вносит вклад в понимание процессов формирования литосферы. Основные положения диссертации опубликованы в трех статьях (1 в журнале из системы цитирования WoS и 2 в журналах из списка ВАК). Автореферат отражает содержание диссертации.

На основании изложенного выше, считаю, что, рассматриваемая диссертация удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842 с изменениями), а ее автору, Аило Юссефу, может быть присуждена ученая степень кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Официальный оппонент

Горнова Марина Аркадьевна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской Академии Наук. Адрес: 664033, г. Иркутск, Фаворского 1А. Телефон: (3952)42-66-00, факс: (3952)42-65-00, адрес электронной почты: mgorn@igc.irk.ru

Я, Горнова Марина Аркадьевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.
22 августа 2022 г.




Подпись Горновой М.А.
ЗАВЕРЯЮ 22.08.2022
Зав. канцелярией
ИГХ СО РАН