

### Отзыв официального оппонента

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

Представленная диссертационная работа отличается большим фактическим материалом, прекрасной аналитикой, включающей широкий спектр современных методов, хорошим владением информацией, как по геологической истории района, геохимии и петрологии изученных глубинных ксенолитов, так и по проблемам мантийной петрологии базитового магматизма, его геодинамической и геохимико-петрологической интерпретации.

Актуальность работы заключается в попытке связать состав, геохимию и структуру мантии под Тункинской долиной, расшифрованную на основании изучения состава и термобарометрии глубинных включений из кайнозойских лав, с геодинамическими процессами и новейшей тектоникой в сопоставлении с другими регионами Мира, в частности, с Сирией. Кроме того, впервые для данного района по данным изотопии Rb глубинным ксенолитам и лавам сделаны попытки интерпретации древних глубинных геодинамических процессов.

Нельзя сказать, что этими вопросами мало занимались раньше, в том числе, научный руководитель диссертанта д.г.-м.н. С.В. Рассказов, а также оппонент. Однако данная работа основана на геохимической информации нового уровня и сочетает в себе сведения из разных областей геологических знаний: геохимии редких элементов, изотопии Rb, мономинеральной термобарометрии, тектоники, сейсмоки и т.п.

Диссертационная работа состоит из 8-ми глав, списка литературы и 4 приложений, содержащих фактические материалы и результаты расчетов.

В первой главе представлены общие сведения о новейшей геодинамике Байкальской рифтовой системы (БРС), о месте Тункинской долины в ее структуре, геологическом строении Тункинской долины, вулканических породах и глубинных включениях из них, а также о геологии Слюдянского кристаллического комплекса. Отмечу, что все сведения о геологии, в основном литературного плана, изложены последовательно и логично и необходимы для понимания сути явлений, касающихся строения и эволюции мантии данного района. Глава сопровождается хорошими геологическими схемами. При рассмотрении ключевого вопроса об образовании Байкальской рифтовой системы автор не указал, какой гипотезы он придерживается, но, по-видимому, 3-ей как и руководитель, в которой БРС рассматривается как структура, формировавшаяся при сочетании Индо-Азиатской конвергенции в Центральной Азии и дивергенции в Японско-Байкальском геодинамическом коридоре (Chuvashova et al., 2017; Рассказов, Чувашова, 2018). Хотя вполне очевидно, что без активного воздействия плюмов в БРС никаких масштабных тектонических движений и горообразования и, конечно, вулканизма просто не могло быть и роль плюмов, как минимум, не подчиненная. Вопрос о роли наиболее глубинных нижне-мантийных процессов остается дискуссионным.

Описывая историю вопроса и эволюцию вулканизма можно было шире использовать опубликованные данные, в частности по возрастам и составу базальтов и их включений (Ащепков, 1991; Ащепков и др., 2003). Отмечу, что статья по термобарометрии и геохимии



включений Витимского плато (Ashchepkov et al., 2011) дает вариант более надежной термобарометрии по клинопироксенам для включений из базальтов, чем статьи (Ashchepkov et al., 2010, 2017).

Во второй главе с описанием методик анализа пород и минералов часть описаний опущено (об изотопных методах) и приведены ссылки на ранние работы. Про индуктивную масс-спектрометрию написано скупо. Следовало бы указать, какая часть оливинов образцов проанализирована методом растворения минералов и лазерной абляции (LA-ICP-MS) и насколько сбивается аналитика ICP MS с растворением и результаты лазерной абляции.

В третьей главе представлена схема строения и распределения ксенолитов в вулканитах в пределах Тункинской долины. И снова не использованы опубликованные возрасты базальтов в пределах Хамар-Дабанской зоны (Ащепков и др., 2003). Довольно схематично представлены составы базальтов, которые обогащены  $\text{SiO}_2$  и не достигают поля базанитов. По этому показателю область локализации последних очагов не достигает даже уровня гранат-шпинелевой фации. Кремнекислотность базальтов обратно коррелирует с глубиной уровней отделения расплавов (Albarede, 1992). Редкоземельные характеристики в общем соответствуют обогащенным редкоземельными элементами (РЗЭ) фракционированным плюмовым базальтам с повышенными содержаниями легких РЗЭ. Левая часть спектра мультикомпонентной диаграммы сравнительно обеднена, а содержания Nb и Ta довольно высокие, что свидетельствует не о совсем примитивных характеристиках расплавов. Соотношение  $(\text{La}/\text{Yb})_n - (\text{Yb})_n$  в лавах использовано для иллюстрации степени плавления и количества граната в источнике. Это один из наиболее используемых приемов.

Наиболее интересны в этой главе соотношения Th/Yb – Ta/Yb, а также изотопные данные по Pb. Показано что “ вся совокупность точек выстраивается в линию согласованного возрастания отношений  $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$  ( $\mu$ ) и  $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$  ( $\omega$ ). Изменение наклона для более кремнекислых разностей, скорее всего все-таки, по мнению оппонента, вызвано контаминационными процессами в коре.

Таким же образом, отнесение к аномалии Dupal анчукских и зыргунских вулканитов по соотношению  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} - ^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  имеет скорее символическое значение, и просто говорит о том, что плюмовый (или литосферный) источник был обогащен  $^{232}\text{Th}$  (то есть, компонентом коры).

Следующая (четвертая) глава посвящена петрографической характеристике глубинных пород. В целом схема основана скорее на петрохимических (Mg/Si – Al/Si) и геохимических особенностях, чем собственно на петрографии глубинных пород. Это не запрещено, но не всегда приветствуется, когда генетические еще не доказанные особенности ложатся в основу классификации. Так, по автору, реститы, вторично обогащенные (группа 1) – их обычно в литературе называют истощенные лерцолиты (степень вторичности обогащения надо доказывать отдельно). Породы, близкие к первичному составу силикатной Земли, вторично обогащенные (группа 2) – это примитивные лерцолиты в обычной формулировке; метасоматиты (группа 3) – это самая гетерогенная группа от дунитов до гарцбургитов и верлитов объединенные тем что содержат прожилки со слюдой; (группа 4) магматические породы, комплементарные реститовым перидотитам в обычной формулировке – это лерцолиты, обогащенные пироксенитовым материалом (частичными выплавками); породы смешанного магматического и метасоматического генезиса (группа 5) – это черная группа включений



кумуляты различных в основном базальтоидных расплавов, которые концентрируются на границе Мохо и выше.

Далее даны петрохимические соотношения групп нодулей с первичным составом силикатной Земли. И опять используется Th/Yb – Ta/Yb диаграмма, в принципе верная и интуитивно понятная. Однако отметим что группа 1 – это породы, обогащенные ортопироксеном, которые, как показано во многих работах, имеют повышенные концентрации Th и U. Такие же особенности имеют многие клинпироксены. На взгляд оппонента, смещение пород ниже тренда OIB+MORB скорее говорит о карбонатитовом метасоматическом агенте.

Далее автор переходит непосредственно к РЗЭ спектрам пород. Для гр. 1 характерно некоторое обогащение легкими РЗЭ, что совсем не обычно для типичных лерцолитов шпинелевой фации. Это отмечается для перидотитов островодужных систем. Для групп 2, 3 и 4 РЗЭ спектры напоминают таковые гранат-шпинелевой фации. Все породы 5 группы имеют Eu аномалию, как породы (гранулиты кумулаты, перидотиты или эклогиты,) образованные в плагиоклазовой фации.

В пятой главе описаны составы пироксенов и других минералов из глубинных ксенолитов. Все сделано грамотно. Однако при оценке окислительных условий по пироксенам можно было бы перейти к численным значениям оценок  $\Delta(QFM)_{LnFO_2}$  по полиному (Ashchepkov et al., 2012).

На рис 5.3 показаны РЗЭ и элементные спектры для клинопироксенов из разных групп. Отмечу, что спектры клинопироксена 1,3 групп включений в лучшем случае похожи по наклону на клинопироксены из гранат-шпинелевой фации. Может быть влияние карбонатитового агента, что может объяснить также и отрицательные аномалии высокочarged элементов. Однако есть еще и аномалии Eu. Среди кратонных перидотитов такие спектры есть только у гибридных эклогит–перидотитовых пород, испытавших адакитовый метасоматоз (Sablukov et al., 2021). Пока ничего подобного ранее для шпинелевых перидотитов не отмечалось.

Спектры пироксенов 5 группы типичны для кумулатов базитовых пород, однако они часто более фракционированы и часто подразумевают осаждение граната, которого среди изученных пород не обнаружено. Надо проверить по коэффициентам распределения соответствие элементных спектров минералов и расплавов.

При рассмотрении метасоматических агентов схема довольно упрощена. Силикатные карбонатитовые и насыщенные H<sub>2</sub>O и CO<sub>2</sub> расплавы очень приблизительно отвечают реальности. Одних типов карбонатитов можно привести несколько в разной степени обогащенных высокочarged, редкоземельными и крупноионными литофильными элементами, а так же силикатных расплавов – перидотитовых, базальтовых, коматиитовых, плюмовых, бонинитовых, адакитовых и т.п. Вариант с оценкой по La/Ybn – Ti/Eu отражает только тенденции плюмовых базальтов – карбонатитов.

Рассмотрение составов оливинов сделано очень подробно со всеми типичными диаграммами и даже использован факторный анализ. Автор сделал определения концентраций Na, P, Cr, Ca, Zn, Li методом LA-ICP-MS (что избыточно для оливинов) и сделал вывод о кратонных тенденциях, с чем можно не согласится. В целом обнаруженные тенденции для  $Mg\# = 100 \times Mg / (Mg + Fe)$  и его модального состава характерны для фанерозойских трендов перидотитов и не соответствуют кратонным архейским условиям.



Вариации состава пород в зависимости от рассчитанных температур отражают разрез мантии и дают тенденции от ее примитивного состава до метасоматитов и разных дифференциатов, что логично.

Рассмотрение тренда OSMA (рис.5.13) для Ol-Sp применяется очень часто (Arai, Ishimaru, 2008). В целом тункинские глубинные включения отвечают вариациям глубинных пород континентальной мантии молодых платформ и окраин континентов.

Для диаграммы  $Cr\#_{spl} - \Delta fO_2(QFM)_{spl}$  не указан метод расчета. Получены довольно сложные и часто неинтерпретируемые тенденции. Проще было использовать диаграмму  $T - \Delta fO_2(QFM)$ .

Находки слюд и амфиболов в перидотитах из вулканических пород Тункинской долины и Хамар-Дабана очень интересны. Автор обнаружил ряд полевых шпатов в породах, а также апатит, титанит и рудные минералы, что несомненно делает ему честь и украшает работу. В целом минералогия рассмотрена очень подробно.

Микропикродолериты – это по сути внедрения пикробазальтовых расплавов в перидотиты в виде жил. Они, конечно, могут дать информацию о характере процесса взаимодействия расплав–порода и о глубине, на которой это взаимодействие происходило, а, возможно, и о скорости подъема расплавов в литосферной мантии и коре.

В шестой главе сделаны РТ оценки глубинных пород на основании минеральной термобарометрии с применением методов рецензента. Для клинопироксенов следовало взять барометр из работы (Ashchepkov et al., 2011), который лучше адаптирован для включений из базальтов. Оценки целиком легли бы в пределы шпинелевой фации. Не надо было бы привлекать избыточный гидравлический стресс и тектонические напряжения для избыточного давления. Но в целом на конфигурации диаграмм это бы сказалось незначительно. Адиабатический тренд присутствует в любом случае.

Диаграмма  $FeO_{общ} - Al_2O_3$  широко применялась Д. Ионовым и другими авторами для оценок РТ режима плавления перидотитов мантии кратонов. Для перикратонных условий это пионерский шаг. В целом плавление при 2–3 ГПа и, соответственно, последующий диапиризм вполне реальный процесс, тем более в тектонически ослабленных зонах, таких как Танс-Хамардабанская. Разогрев под действием плюмов и потока летучих – дополнительные благоприятные факторы.

Сравнение с нодулями из базальтов Монголии и Бартойских вулканов, несомненно, навеяно руководителем, что, в общем, тоже благоприятно. Однако деформации с характерными милонитовыми структурами, которые отмечены и на Витимском плато – это, как и в кимберлитах, скорее процесс гидроразрыва за счет избыточных гидростатических напряжений, передающийся магмой из глубинных очагов.

Слоистость литосферы определенная по РТ параметрам для пород разных групп, несомненно, дает стратиграфическую колонку корово-мантийного перехода. Детальность пока не очень высока. Есть надежда на получение более подробной картины. Интересно применение изотопии свинца и определение возраста различных блоков по простиранию разреза, удревнение возраста источников базальтов при приближении к кратону.

Седьмая глава – обсуждение особенностей химического и минерального состава глубинных пород – несомненно, представляет интерес, поскольку дает сравнительные характеристики развития вулканизма и процессов эволюции мантии БРС и сопредельных территорий. Сравнение с мантийными породами Витимского плоскогорья интересно, но там имеются несколько другие наборы перидотитов и совсем другие наборы пироксенитов.



По характеру изменения разреза, набору пород и глубинности тункинские глубинные нодули подобны нодулям из основания лавовой толщи по р. Тетрах на Витимском плато.

Тренд OSMA (olivine-spinel mantle array) для ксенолитов из базальтов Витимского плоскогорья почему-то менее выражен и ограничен по хромистости. В целом он буферизуется гранатом, что определяет высокую глиноземистость шпинелей. Для Транс-Хамардабанской зоны симплектиты по гранату отмечены в местонахождениях центральной части хребта и р. Маргасан. По-видимому какая то часть пород сформировалась в отсутствии граната, что дало значения  $Cr\#$  0.5 и выше.

Диаграммы NiO – Fo, MnO – Fo и CaO – Fo оливина глубинных нодулей из вулканических пород Тункинской долины и Витимского, Окинского плоскогорий, безусловно, интересны, но пока различаются по представительности.

На рис. 7.9, приведены схемы и диаграммы по соотношению глубинных процессов в коре–подкорковой мантии Тункинской долины и Витимского и Окинского плоскогорий. Без всякого сомнения, эти сопоставления интересны, однако для Витимского плоскогорья использована лишь часть опубликованного материала.

Последняя (восьмая) глава, посвященная рассмотрению геохимических характеристик вулканических пород Западного Прибайкалья и Сирии как показателей деламинированной континентальной литосферы, на взгляд рецензента, несколько тенденциозна. Рифтогенный характер процессов и относительно маломощные разрезы опробуемой литосферы действительно свидетельствуют о малой мощности колонки. Но абсолютно непонятно был ли во всей Транс-Хамардабанской зоне мощный слой литосферной мантии и коры до рифтогенза. То есть деламинация в процессе рифтогенза должна быть доказана. Слюдянский и Хамар-Дабанский террейны могут быть покровами, которые не имели существенных литосферных корней, а интрузии мантийных диапиров и слой кумулатов на уровне Мохо могли образоваться в ослабленных зонах просто путем внедрения и заполнения тектонических трещин. Некоторые геохимические свидетельства в частности эклогитоподобные спектры некоторых пород говорят о том что эклогиты и гранулиты были и возможно переработаны под действием плюмвого магматизма. Если бы мы имели древние вулканы с нодулями, содержащие более протяженные разрезы, тогда обсуждение могло бы быть более предметным. Схемы развития вулканизма в Сирии и его сравнение с вулканизмом Тункинской долины, несомненно, очень интересны.

Замечания к защищаемым положениям:

1. Глубинные нодули из вулканических пород Карьерного вулкана, извергавшегося около 13 млн лет назад, представлены: 1) вторично обогащенными реститами шпинелевых перидотитов, 2) вторично обогащенными шпинелевыми перидотитами, близкими по составу к первичной мантии, 3) метасоматитами, 4) магматическими перидотитами, комплементарными реститам и 5) породами смешанного магматического и метасоматического генезиса. Петрогенетические группы глубинных нодулей различаются между собой по составу породообразующих минералов: клинопироксена, оливина, хромшпинели, слюды, амфибола и полевых шпатов.

Данное положение фактически обосновано. Надо было бы добавить несколько слов по геохимии редких элементов или выделить их в отдельное положение.

2. Под восточной частью Тункинской долины ниже слоя гранулитов находится слой авгитовых, салитовых, диопсидовых, фассаитовых и плагиоклазовых пироксенитов,



габброидов и микропикродолеритов, сменяющихся слоем перидотитов и пироксенитов и более глубинным слоем реститовых гранатовых перидотитов.

Это положение о строении и составе разреза переходного слоя кора–мантия под восточной частью Тункинской долины также хорошо обосновано термобарометрией и геохимией включений в базальтах. Однако надо было расставить акценты в частности о том, что это – переходный слой от коры к мантии.

3. В рифтовых структурах Западного Прибайкалья и Западной Сирии изливались кайнозойские магматические расплавы из источников континентальной мантии реститового типа, комплементарных материалу средней и нижней континентальной коры.

На диаграммах это положение подтверждается, однако утверждение о поэтапном отделении средней и нижней коры от мантийных источников звучит несколько тенденциозно. Это положение само по себе нуждается в дополнительной и довольно большой доказательной базе.

Несколько странно звучит заявление о том, что: “Почти все изученные породы (перидотиты, дуниты и частично оливиновые вебстериты) имеют лерцолитовый парагенезис”.

Диссертация очень хорошо проиллюстрирована фотографиями ксенолитов и их шлифов.

Табличный минерал в приложениях также очень объемный и хорошо обработан.

Оппоненту особенно нравится применение мономинеральной термобарометрии по клинопироксену. Хотя метод надо было поменять на адаптированный для ксенолитов из базальтов (Ashcherkov et al., 2011) что даст несколько более низкие оценки давления. Надо было привести РТ оценки и по ортопироксену, они очень близки к полученным по клинопироксену. Кроме того, интересен факт, что оба метода дают оценки где нижние значения > 20 кбар, характерные для гранатовой фации. Спектры для клинопироксенов также наклонные характерные для гранатовой фации – это вопрос требует специального обсуждения. То есть вероятно, что шинелевые перидотиты на самом деле – результат быстрого подъема из гранатовой фации. Гранат мог успеть разложиться под флюидным воздействием. В центральной части Хамар-Дабана его реликты и семлектита встречаются часто. Есть (реже) они и в нодулях из долины Маргасана. То есть образование сводового поднятия было инициировано плюмом и мантийным диапиром, что в диссертации не отмечено.

Автореферат отражает содержание диссертационной работы.

Основные положения работы отражены в 2 статьях из списка ВАК (за первым авторством) и в статье, опубликованном в международном журнале. Диссертация является серьезной научно-квалификационной работой в которой построен разрез перехода от коры в мантию в Тункинской долине под Слюдянским и Хамар-Дабанским террейнами.

Практическая значимость работы определяется возможностями использования ювелирного хризолита из перидотитовых включений в качестве камне-самоцветного сырья.

Диссертационная работа Юссефа Аило соответствует всем критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК». Она в целом производит очень хорошее впечатление, несмотря на высказанные замечания. Автор проявил себя грамотным высококвалифицированным и трудолюбивым специалистом, который владеет комплексом современных методов изучения магматических и ультра-метаморфических мантийных пород и способен делать грамотные и обоснованные выводы. Он, несомненно, заслуживает

присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Старший научный сотрудник  
Института геологии и минералогии  
им. В.С. Соболева СО РАН  
к.г.-м.н.  
19 августа 2022 г.

ПОДПИСЬ УДОСТОВЕРЯЮ  
ЗАВ. КАНЦЕЛЯРИЕЙ  
ШИПОВА Е.Е.  
19.08.2022г.



Ащепков Игорь Викторович

Официальный оппонент: Ащепков Игорь Викторович, Старший научный сотрудник Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, кандидат геолого-минералогических наук. Почтовый адрес: Новосибирск 630090, пр. ак. В.А.Коптюга 3, ИГМ СО РАН, тел. 89139872605; e-mail: igor.ashchepkov@igm.nsc.ru X.

Я, Ащепков Игорь Викторович, даю свое согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

И.В. Ащепков