

### Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу КАРИМОВА АНАСА АЛЕКСАНДРОВИЧА «Геохимия, минералогия и генезис пироксенитовых жил в надсубдукционных перидотитах Эгийнгольского массива (Северная Монголия)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

Основы тектоники литосферных плит в настоящее время подвергаются сомнению, поскольку принятые более 50 лет назад постулаты фактически часто не соблюдаются. В сложившихся условиях требуется сохранение ядра этой главной геологической парадигмы с внесением корректировок. Представления о строении континентальной коры исходят из предположения о ее сборке в результате последовательной аккреции террейнов к древним палеоконтинентам. Аккреционные швы обозначены офиолитами, часть из которых содержит фрагменты океанической коры, другая часть – фрагменты островодужных комплексов. Обобщение материалов по аккреционной системе палеоокеана Тетис показало преобладание надсубдукционных офиолитовых фрагментов. Многочисленные офиолитовые зоны Центрально-Азиатской аккреционной системы требуют конкретизации петрогенезиса перидотитовых массивов, входящих в их состав. Работа А.А. Каримова посвящена изучению пироксенитовых жил надсубдукционных перидотитов Эгийнгольского массива Джидинского палеоостроводужного террейна. *Актуальность и научная значимость* нового исследования определяется обозначением бонинитовой специфики пироксенитовых жил в надсубдукционном преобразовании перидотитов Эгийнгольского массива.

Диссертационная работа выполнена по материалам, собранным соискателем с конкретной постановкой задачи изучения контактов пироксенитовых жил с вмещающими реститовыми серпентинизированными перидотитами гарцбургитового состава. При таком конкретном подходе в опробовании использован широкий спектр методов изучения пород и слагающих их минералов на базе оборудования ИГХ СО РАН: петрографический метод, определение петрогенных оксидов методом РФА, микроэлементов пород методом ИСП-МС, состава породообразующих минералов на рентгеноспектральном микроанализаторе и редких элементов в силикатных минералах методом ИСП-МС с лазерной абляцией. Серпентиновые минералы диагностировались на дифрактометре. Кроме того, использовалось оборудование других организаций: для определения микроэлементов в клинопироксенах – вторично-ионный микрозонд Cameca IMS-4F ЯФ ФТИАН РАН (г. Ярославль), для определения элементов платиновой группы в породах – масс-спектрометр

Element 2 в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск) с методикой изотопного разбавления, такие же определения и измерения в Re–Os изотопной системе – на масс-спектрометре Thermo Scientific Triton в ИГГ КАН (г. Пекин, КНР), для определения изотопного состава кислорода в пироксенах – масс-спектрометр Finnigan MAT 253 в ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ), для изучения состава расплавных включений в минералах – рентгеноспектральный электронно-зондовый микроанализатор JEOL JXA 8100 и сканирующий микроскоп MIRA 3 LMU в ИГМ СО РАН (г. Новосибирск).

*Научная новизна* работы заключается в определении пироксенитовых жил как производных бонинитовых расплавов, взаимодействующих с вмещающими серпентинизированными гарцбургитами реститового типа.

*Практическая значимость* работы определяется выявленной связью пироксенитов с жилами хромитового оруденения подиформного типа, что может иметь экономическое значение в оценке металлогенической специализации Эгийнгольского массива.

В первом защищаемом положении выстраивается реакционная последовательность образования ортопироксенитов по вмещающим серпентинизированным гарцбургитам и затем – вебстеритов по ортопироксентам. Во втором положении приводится геохимическое обоснование этого ряда и высказывается гипотеза о механизме образования пироксенитовых жил. В третьем защищаемом положении предполагается формирование пироксенитовых жил расплавами, подобными расплавам высококальциевых бонинитов Джидинской палеоостроводужной системы. Защищаемые положения звучат как единое целое и составляют суть всего диссертационного исследования. Можно согласиться с принятой гипотезой о бонинитовой природе ортопироксенитовых жил, поскольку ортопироксенитовые жилы фактически имеют состав бонинитов в классическом варианте Идзу-Бонинской островной дуги.

**Замечание:** Следуя логике А.А. Каримова о реакционном происхождении ряда гарцбургит–ортопироксенит–вебстерит, нужно признать, что вебстериты, как крайний член ряда, отличаются от классических идзу-бонинских бонинитов и, следовательно, должны обозначать более продвинутый процесс, в ходе которого участвовали расплавы (флюиды) с относительным обогащением кальцием (т.е. со смещением к составам Са-бонинитов дуги Тонга и офиолитов Троодоса).

Содержательная часть диссертации включает 8 глав. После вводных глав и петрографической характеристики пород (главы 1–4) сначала делается акцент на составе минералов (глава 5), затем приводятся смешанные петрохимические и геохимические данные о породах и минералах (глава 6), рассматривается состав микровключений в

хромшпинелидах пироксенитовых жил (глава 7) и, наконец, обсуждается механизм образования пироксенитовых жил (глава 8).

*В первой главе* сделан краткий обзор гипотез образования пироксенитов, а также приведено краткое описание экспериментальных работ, имеющих отношение к реакционному преобразованию оливиновых пород.

**Замечания:**

1. Перидотиты офиолитов отождествляются с породами верхней мантии. Однако, мантия Земли – это геофизическое понятие слоя, расположенного ниже коры и отличающегося от нее более высокой плотностью (повышением сейсмических скоростей Р-волн, приблизительно, от 7 до 8.1 км/с). Терминологическое недоразумение между геофизическим определением мантии и интерпретацией ее состава как перидотитового возникло, когда перидотитовые глубинные нодулы из молодых вулканических пород, сложенные оливином и пироксенами, были отнесены К.С. Россом и др. в пионерной публикации 1954 г. к породам современной мантии. Такая интерпретация была ошибочной, поскольку оливин и пироксены соответствуют плотностным характеристикам коры. Переход от коры к мантии на границе Мохо получается в случае включения в перидотитовый парагенезис более плотной фазы граната. Вряд ли гарцбургитовый (реститовый) Эгийнгольский массив и массивы подобного типа в офиолитах действительно маркируют материал с геофизическими характеристиками мантии.

2. При обсуждении экспериментов по изучению взаимодействия оливин–флюид на предмет главной роли бонинитовых расплавов в генерации пироксенитовых жил было бы уместно вспомнить о результатах экспериментов с плавлением бонинитов при варьирующих соотношениях водного и водородного флюидов, приведенных в докторском исследовании классических бонинитов С.В. Высоцкого (1999).

3. К сожалению, из обзора выпали также работы сибирских геологов (А.А. Конева, В.С. Самойлова, С.А. Гурулева и др.), в которых приводилась геологическая и минералого-геохимическая аргументация метасоматического генезиса пироксенитов щелочных и щелочно-ультраосновных массивов юга Сибири.

*Во второй главе* представлена история изучения Джидинской зоны и Эгийнгольского массива с кратким введением в его геологическое строение.

**Замечание:** По данным разных авторов, к Джидинской островодужной системе относятся бониниты, андезибазальты и другие вулканические породы, обозначившие ее активность в конце докембрия (570–560 млн лет назад) и в кембрии. Другие комплексы магматических, осадочных и метаморфических пород характеризуют тектоническую

подвижность Джидинской зоны и позже, которая, скорее всего, уже не имела отношения к надсубдукционным процессам.

*В третьей главе* детально описаны научные и аналитические методы, использованные в работе.

**Замечание:** Отсутствуют данные по результатам измерений эталонных материалов, полученным на оборудовании в период аналитических исследований образцов пород и породообразующих минералов Эгийнгольского массива.

*В четвертой главе* приведена петрографическая характеристика перидотитов, пироксенитов и хромититов. Показана высокая степень вторичных изменений пород, особенно гарцбургитов, которые называются в отдельных фрагментах текста «серпентинизированными гарцбургитами». Текст главы хорошо иллюстрирован фотографиями шлифов и замечаний не вызывает

*В пятой главе* проиллюстрированы диапазоны вариаций состава породообразующих минералов пород массива. Основная информация о процессах надсубдукционного преобразования перидотитов массива с генерацией пироксенитовых жил получена по соотношениям петрогенных оксидов и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в хромшпинели. Дополнительно показано группирование оливина реститовых гарцбургитов, ортопироксенитов и вебстеритов по содержанию форстеритового минала и  $\text{NiO}$ , а также относительное снижение  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  с падением магнезиальности от ортопироксена и клинопироксена реститовых гарцбургитов и ортопироксенитов, соответственно, к ортопироксену и клинопироксену вебстеритов. В качестве эталонного объекта для демонстрации состава клинопироксена использованы данные по клинопироксеновым фенокристаллам из бонинитов сравнительно низкомагнезиального состава из Баянгольской аккреционной призмы Джидинской зоны. Рассмотрен состав минералов в пироксенитовых жилах и в их экзоконтактных зонах. Текст главы содержит необходимые графики, иллюстрирующие смену парагенезисов первично-магматических пород и метаморфических (метасоматических) изменений. По минеральным парагенезисам вторичных минералов с использованием фазовой диаграммы сделано предположение о вторичном преобразовании пород массива при температуре 670–550 °С и давлении 0.6–1.5 GPa. Без замечаний.

*В шестой главе* приведены данные о петрогенных оксидах и редких элементах пород, а также о редких элементах минералов пироксенитовых жил и реститовых серпентинизированных гарцбургитов экзоконтактных зон, дана интерпретация данных по изотопным отношениям осмия и кислорода.

**Замечания:**

1. Петрохимические данные раздела 6.1 не вписываются в последовательность изложения материала, тем более, что, судя по названию главы «Геохимия пород и минералов», введение этого раздела в главу, по-видимому, не предполагалось.

2. В тексте говорится о главных элементах, но приводятся содержания петрогенных оксидов.

3. На рис. 6.1-2 нет условных обозначений, которые появляются далее на рис. 6.2-3. На диаграммах петрогенных оксидов и микроэлементов этих рисунков показаны фигуративные точки «гарцбургитов на контакте с пироксенитовыми жилами», но составы фоновых серпентинизированных гарцбургитов массива не обозначены, поэтому неясно, в какой мере экзоконтактовые изменения наложены на фон.

4. На стр. 135: «PGE относятся к сидерофильным элементам, у которых коэффициенты распределения уменьшаются в ряду  $Os \sim Ir \sim Ru > Pt > Pd > Re$ ». Неясно, о каких коэффициентах распределения идет речь? О валовых, минеральных? Для каких минералов? Для равновесия перидотит/расплав или сульфид/силикатный расплав?

5. Изотопные отношения Re и Os эффективно применяются для оценки изотопно-геохимической характеристики источников молодых излившихся магм, не требующих поправки изотопных отношений на возраст. В этом случае можно сравнивать полученные значения с современными эталонными характеристиками, например, PUM (Primitive Upper Mantle). Чтобы корректно использовать Re-Os изотопную систему для идентификации характера гетерогенности магматических источников, рассчитываются начальные изотопные отношение  $^{187}Os/^{188}Os$  каждого образца. В табл. 6.4-1 результат такого расчета представлен (отрицательные значения исключаются). Теперь на отдельной диаграмме пересчитанные составы должны сопоставляться со значением PUM, существовавшим 560 млн лет назад. Сопоставление с современным значением PUM не имеет смысла. На рис. 6.4-5, показывающем современные значения изотопных отношений молодых лав и эталонных объектов, точки начальных изотопных отношений пород Эгийногольского массива не должны присутствовать. Отмечу, что Re-Os изотопная система фиксирует момент обеднения протолита. Повторное обогащение протолита приводит к изотопной гетерогенности. Широкий диапазон начальных изотопных отношений  $^{187}Os/^{188}Os$  в табл. 6.4-1 – это следствие такой гетерогенности, обеспеченной новообразованиями пироксенитовых жил и вторичных изменений пород. Разумеется, такие породы не могут дать Re-Os изохрону и корректных оценок модельного возраста обеднения протолита в источнике. По причине существенных вторичных изменений пород, измеренные изотопные отношения кислорода вряд ли могут дать характеристики первичных компонентов магматических источников.

В седьмой главе показаны результаты исследований силикатных микровключений в хромшпинелидах одной из ортопироксенитовых жил. Определены первичные высокомагнезиальные расплавные включения и включения амфибола и ортопироксена. Выявленные в хромшпинели расплавные включения используются для моделирования фракционирования из высокомагнезиального расплава ликвидусного ортопироксена.

**Замечания:**

1. Принимая во внимание петрографическое определение бонинита, вряд ли стоит называть бонинитовым состав расплавного включения с содержанием MgO 22.3–30.4 мас.%. Нужно ли втискивать состав расплавных микровключений хромита в классификационное пространство типичных вулканических пород?

2. Приведение базальтов к 8 мас.% MgO (добавлением или извлечением небольшого количества ликвидусного оливина) обычно преследует цель получения резче выраженных петрохимических параметров при одной температуре реально существующих (преобладающих) базальтовых расплавов. Такой же пересчет состава расплавных включений с измеренным содержанием MgO 22.3–30.4 мас.% (при высоком содержании SiO<sub>2</sub>) в эфемерный состав с 8 мас.% MgO (рис. 7.1-5) не подкрепляется природным процессом отделения оливина. Тем более что в следующем разделе главы приводятся результаты моделирования отделения ликвидусного ортопироксена от высоко-Mg расплава, соответствующего составу высоко-Mg расплавного включения,

В восьмой главе проводится синтез полученных данных и обсуждается механизм образования пироксенитовых жил, предполагающий преобразование серпентинизированных гарцбургитов массива просачивающимися бонинитовыми расплавами. В рамках принятого механизма объясняется весь комплекс полученных данных по породам и минералам Эгийнгольского массива.

**Замечание:** В принятом механизме просачивания (инфильтрации) расплава через гарцбургиты не найдена роль высокотемпературных включений в хромшпинели ортопироксенитовой жилы. Может ли инфильтрационный механизм обеспечить возрастание температуры до интервала 1320–1387 °С в гарцбургитовом массиве, находившемся в коре? Можно предположить, что хромшпинель могла выноситься из более глубокой части литосферы, в которой создавались такие температуры и, следовательно, при образовании ортопироксенитов действовал механизм внедрения расплава, содержащего кристаллы. В пределах Хамардабанского террейна из нижней части коры базальтовыми расплавами вулкана Сухой (хр. Камар) около 13 млн лет назад на поверхность выносились глубинные нодулы пегматоидных ортопироксенитов и вебстеритов. Кристаллы орто- и клинопироксена размером до 10 см дали структуры

распада твердых растворов от начальных гомогенных индивидов, кристаллизовавшихся при температуре около 1350 °С. Геохимические характеристики распавшегося ортопироксена (например, спектры РЗЭ) соответствовали спектрам бонинитов. Такие же нодули выносились плиоцен-четвертичными базальтовыми и щелочно-базальтоидными расплавами в субширотной зоне сильных деформаций перидотитов нижней части коры под хр. Удокан, где выявлен переход от высоко-Mg (Cr-диопсидовых) шпинелевых лерцолитов с последовательным снижением магнезиальности через пегматоидные ортопироксениты с пойкилофитовой структурой (т.е. структурой замещения) к клинопироксенитам. Образование пироксенитовых жил Эгийнгольского массива может быть связано с высокотемпературными процессами, получившими развитие в перидотитах нижней коры.

#### Заключение по диссертации:

Работа представляет собой завершённое исследование происхождения пироксенитовых жил Эгийнгольского массива, соответствующее требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Достоверность выводов определяется применением современных геохимических методов. Личный вклад А.А. Каримова в разработку проблемы надсубдукционного магматизма заключается в первичном полевом отборе образцов, получении аналитических данных и обобщении полученных материалов. Список публикаций по теме диссертации содержит 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России. Материалы диссертации прошли апробацию на конференциях российского и международного уровня. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации. Каримов Анас Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент:

Рассказов Сергей Васильевич, доктор геол.-мин. наук, профессор, зав. лабораторией изотопии и геохронологии, Институт земной коры СО РАН, 664033, crust.irk.ru, Иркутск ул. Лермонтова 128, зав. кафедрой динамической геологии, геологический факультет Иркутского государственного университета, [rassk@crust.irk.ru](mailto:rassk@crust.irk.ru), 8(3952-51-16-59)

Я, Рассказов Сергей Васильевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

24 мая 2021 г.



Подпись Рассказов С.В.  
\_\_\_\_\_ заверяю  
Рассказов Сергей Васильевич  
Ведущий инспектор Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки Института земной  
коры Сибирского отделения Российской  
академии наук \_\_\_\_\_ Тыркова М.Г.  
«24» 05 2021 г.