

## Отзыв официального оппонента

**на диссертационную работу Шарыгина Игоря Сергеевича «Акцессорные минералы ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитов трубки Удачная-Восточная (Якутия): происхождение и петрогенетическое значение», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.05 - «минералогия, кристаллография» и 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».**

Представленная работа Игоря Сергеевича посвящена изучению ксенолитов мантийных пород (перидотитов) из кимберлитов трубки Удачная-Восточная (Якутия) – главное внимание в работе уделено исследованию акцессорных минералов и расплавных включений в минералах. Актуальность избранной темы определяется тем, что, с одной стороны, кимберлиты это один из главных источников алмазов (это азбучная истина), с другой стороны кимберлиты являются своеобразными «окнами в мантию» - их изучение позволяет нам реконструировать процессы, происходящие в верхней мантии, её состав и строение, условия зарождения кимберлитов и образования алмазов. Кимберлиты трубки Удачная-Восточная важны и для понимания первичного состава кимберлитов – именно на примере этого объекта в последние годы ведется дискуссия об особенностях химического состава кимберлитов, в частности о содержании щелочных элементов, хлора, серы и других компонентов в этих породах (см. дискуссию Kamenetsky et al. 2012, 2014 vs Korylova et al. 2013).

Главным объектом исследований в данной работе были уникальные по сохранности ксенолиты деформированных перидотитов, в которых отсутствовали какие-либо признаки вторичных приповерхностных изменений. Полученные диссертантом данные основаны на комплексных минералого-петрографических исследованиях с использованием методов оптической микроскопии, электронной сканирующей микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа и спектроскопии комбинационного рассеяния света (также известна как Рамановская

спектроскопия), а также методов термобарогеохимии. Несмотря на «ограниченную» коллекцию деформированных перидотитов (всего 25 образцов), автором было изучено около 200 шлифов и 500 препаратов для исследований, получены статистически значимые данные по химическому составу главных и акцессорных минералов (около 1400 определений), расшифровано около 500 спектров комбинационного рассеяния света для минералов и проведено около 100 термометрических и криометрических опытов с расплавленными и флюидными включениями. Эти оригинальные, авторские данные дополняются и результатами совместной научной работы с другими исследователями по изучению валового химического состава ксенолитов и примесных элементов в главных минералах ксенолитов.

В результате выполненных исследований Игорем Сергеевичем выдвинуто три защищаемых положения (1) о генетической связи между расплавленными включениями в оливине ксенолитов и кимберлитами, а также о существовании кимберлитовых расплавов, обогащенных щелочными элементами, хлором и другими компонентами, (2) о присутствии разнообразных акцессорных минералов в межзерновом пространстве ксенолитов перидотитов, образование которых связано с инфильтрацией расплава, генетически связанного с кимберлитовым магматизмом и (3) о вкладе акцессорных наложенных минералов (перовскит, апатит, джерфишерит и др.) в бюджет редких элементов в ксенолитах перидотитов. На основе представленных фактических данных по минералогии кимберлитов и ксенолитов, химическому составу минералов и данных по расплавленным включениям каждое из защищаемых положений представляется обоснованным и достоверным. Диссертантом показано, что расплавленные включения в минералах ксенолитов обогащены разнообразными карбонатами натрия и калия, а также сульфатами, сульфидами и хлоридами. Результаты термометрических опытов и присутствие арагонита показывают, что минимальные P-T параметры формирования этих включений составляют 1.5 ГПа и 600°C, что свидетельствует об их глубинном, мантийном происхождении (предположительно более 50 км). Доказана генетическая связь этих включений с расплавами, формировавшими кимберлиты трубки Удачная-Восточная. Детальное исследование акцессорного минерала

джерфишерита позволило установить, что его образование является результатом реакции ксенолитов с кимберлитовым расплавом. Автором предложено рассматривать джерфишерит как минерала-индикатора первичного обогащения хлором кимберлитовых расплавов. Минералого-геохимические исследования показали, что основными концентраторами различных редких элементов (включая редкоземельные и высокозарядные элементы) в ксенолитах перидотитов являются аксессуарные наложенные минералы, включая перовскит, апатит, слюду, джерфишерит, арагонит и кальцит, и все эти минералы генетически связаны с кимберлитовым магматизмом.

Кроме этого, стоит отметить вклад автора в минералогию как науку в целом. В качестве кристаллических фаз в расплавных включениях в оливине ксенолитов им были диагностированы такие редкие минералы, как тихит и беркеит. Ранее редкие находки этих минералов были известны лишь в составе осадочных и гидротермальных ассоциаций. Их присутствие в расплавных включениях, таким образом, является первым свидетельством их кристаллизации в магматических системах.

Из вопросов, которые возникли после прочтения диссертационной работы, хочется остановиться на следующем:

(1) Диссертация написана хорошим научным языком, однако на многих рисунках используются подписи на английском языке, например Sokli carbonatites, alkali carbonates, temperature, pressure, BSE и др. – в чем смысл этого?

(2) Используемая терминология – в тексте, при описании минералов, часто используются не собственные имена минералов, а групповые названия – оливин, гранат, клинопироксен и др. Однако из приводимых данных однозначно видно, что оливин это форстерит, гранат это пироп, клинопироксен это диопсид и т.д. Почему автор поступает таким образом? Также отмечу, что таких «минералов» как хромдиопсид или титаномагнетит (стр. 39, 57) не существует.

(3) Несмотря на вывод диссертанта о первичной природе щелочных карбонатов, хлоридов, сульфатов в кимберлитах трубки Удачная-Восточная, оппоненту представляется, что дискуссия с М. Копыловой еще не окончена – представленные ею и соавторами фактические данные (Kopylova et al., 2013) весьма убедительны. К сожалению, в диссертации нет детального разбора всех аргументов «за» и «против» первичной природы щелочных карбонатов и галогенидов, только на стр. 145 приводятся несколько слов... Какие можно предложить дополнительные исследования для решения этого важного вопроса? Например изотопный состав хлора?

(4) расчет формул минералов (Приложения 2.2 и 2.3) – для оливина формулы рассчитаны на 3 катиона, для ортопироксена на 4 катиона – почему выбран метод расчета по катионам, а не по кислороду? В Приложении 5.4, например, для расчета формул оливина использован кислородный метод! Для ортопироксена, а также клинопироксена и граната я бы предложил рассчитывать формулы на идеальное количество катионов и анионов – это позволило бы рассчитать и  $Fe^{3+}$  и соответственно содержание  $Fe_2O_3$  в минералах (в Приложениях 2.4 и 2.5 формулы вообще не приведены). Приложение 5.6 – в таблице с анализами слюды не учитывается поправка на содержание фтора и хлора, соответственно суммы анализов указаны неверные, и нет рассчитанных формул. Приложение 6.2 – как автор может объяснить низкие суммы в отдельных анализах перовскита – 97.2, 97.3 мас.% и т.д.? идеальная формула перовскита  $CaTiO_3$ , соответственно формульные коэффициенты рассчитываются на 3 атома кислорода, а не на 4, как указано в таблице. Приложение 6.3 - в таблице с анализами апатиты не учитывается поправка на содержание фтора и хлора. Приложение 6.4 – каким образом при определении серы достигалась точность в третьем знаке после запятой?

Несмотря на высказанные выше замечания, предложенная тема и содержание представленной работы, по мнению оппонента, полностью отвечает критериям, установленным для диссертационных работ в п. 9-14 раздела II «Положения о присуждении ученых степеней». Основные положения работы опубликованы Игорем Сергеевичем в семи научных статьях в ведущих российских и

международных рецензируемых журналах, в трех из них он является первым автором, а также были представлены (как лично автором, так и соавторами) на 12 российских и международных научных конференциях. Содержание автореферата (16 стр. с приложением двух таблиц и четырех рисунков) соответствует диссертационной работе и раскрывает основные положения диссертации.

Несомненно, что работа Шарыгина Игоря Сергеевича «Акцессорные минералы ксенолитов деформированных перидотитов из кимберлитов трубки Удачная-Восточная (Якутия): происхождение и петрогенетическое значение» является законченным научным исследованием, полученные результаты являются существенным вкладом в развитие теории образования и эволюции кимберлитов, и автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.05 - «минералогия, кристаллография» и 25.00.09 - «геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых».

Зайцев Анатолий Николаевич  
Доктор геолого-минералогических наук  
Профессор кафедры минералогии  
Института наук о Земле  
Санкт-Петербургского государственного университета  
Университетская наб. 7/9  
Санкт-Петербург 199034  
Телефон: 812 – 3289481  
Эл. почта: a.zaitsev@spbu.ru

24 октября 2014 г.



И.А. Селезнев