

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт геологии и минералогии  
им. В.С. Соболева  
Сибирского отделения  
Российской академии наук (ИГМ СО РАН)  
630090, г. Новосибирск, 90  
Просп. Академика Колтуяга, д. 3  
Для телеграмм: Новосибирск, 90, Геология  
Тел (383) 333-26-00  
Факс 333-27-92  
13.11.2015 № 5350-110-2174/578  
На « \_\_\_\_\_ » от \_\_\_\_\_



«УТВЕРЖДАЮ»  
директор ИГМ СО РАН  
академик

12 ноября 2015 г.

Н.П. Похиленко

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт геологии и  
минералогии им. В.С. Соболева Сибирского  
отделения Российской академии наук  
630090, Новосибирск, пр. Колтуяга, 3  
тел.: 8(383)333-26-00; факс: 8(383)333-27-92;  
<http://www.igm.nsc.ru>; e-mail: [director@igm.nsc.ru](mailto:director@igm.nsc.ru)

### Отзыв

официальной ведущей организации

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук на диссертационную работу КОРОЛЕВА Нестера Михайловича «Петрология и модель образования эклогитов из литосферной мантии кратона Кассаи (С.-В. Ангола)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 «петрология, вулканология»

Проблема реконструкции и моделирования глубинных процессов является одним из основных направлений деятельности многих известных в мировом сообществе ученых и отдельных исследовательских групп. Одним из основных направлений в исследованиях мантийных процессов является изучение геохимических характеристик глубинных минералов и их ассоциаций. В данной области на протяжении многих лет проводятся активные исследования пород глубинных горизонтов мантии (астеносферы, переходной зоны и нижней мантии) с целью определения эволюции древних кратонов (происхождение перидотитов, эклогитов и пироксенитов). Минеральный и химический состав ксенолитов, выносимых на поверхность Земли, отражают особенности состояния мантии – состав, гетерогенность, P-T-fO<sub>2</sub> условия, присутствие летучих компонентов, метасоматические преобразования и т.д. Работа Н.В. Королева как раз и посвящена весьма популярной в настоящее время теме характеристики состава и строения литосферной мантии по данным изучения глубинных ксенолитов. В работе представлены результаты петрографических, минералогических и геохимических исследований серии уникальных ксенолитов эклогитов из кимберлитовой трубки Катока (кратон Кассаи, С.-В. Ангола).

Работа состоит из 8 глав, введения, заключения и приложения, содержит 197 страниц, включая 28 таблиц и 52 рисунка, список литературы насчитывает 235 наименований.

В главе 1 «Предшествующие исследования строения литосферной мантии кратона Кассаи» представлен литературный обзор, в котором рассмотрены геологическое положение и возраст кимберлитов кластера «Катока». В этой главе так же обсуждаются доступные в настоящее время немногочисленные данные геофизических исследований и приводится предварительная оценка строения и термального состояния литосферной мантии кратона Кассаи.

В главе 2 «Аналитические методы» кратко описаны методы исследования, которые были использованы соискателем для получения основных результатов представленной диссертационной работы. В основном (за исключением метода мёссбауэровской спектроскопии) описание методик ограничивается характеристикой процесса пробоподготовки. Характеристика конкретных методов (в особенности геохронологических методов) приводится либо крайне ограничено, либо со ссылкой на предшествующие методологические работы, что не позволяет в достаточной мере определить насколько квалифицированно соискатель владеет данными методами.

Глава 3 «Минералогия и петрография эклогитов» - основная часть работы, в которой изложены оригинальные результаты минералогических и петрографических исследований 21 ксенолита эклогитов из кимберлитовой трубки Катока. В первом разделе этой главы не совсем уместно приводится краткий обзор основных публикаций по эклогитам из разных месторождений мира. Очевидно, что данный раздел был бы более полезен в главе 1 хотя бы для того, чтобы было понятно, почему для изучения были выбраны именно ксенолиты эклогитов, но не других типов пород. На основании полученных данных проведена типизация эклогитов и характеристика выделенных типов. Показано что эклогиты каждой выделенной группы (высокоглиноземистые, высокомагнезиальные, низкомагнезиальные) обладают набором специфических первичных и наложенных особенностей. Несмотря на детально проведенные исследования, результаты которых приведены в главе 3, следует привести ряд замечаний: (i) В таблицах с составами минералов приведены значения с суммой больше или меньше 100%, хотя в описании методики отмечено, что «Суммы определяемых оксидов в анализах минералов приведены к 100%» (Гл. 2, стр. 16). Если из анализов удалены или в анализы добавлены некоторые компоненты, то следует объяснить какие и почему? (ii) Приведенное в главе петрографическое описание ксенолитов не подкреплено ни одной фотографией шлифов. Это особенно снижает уровень представленных результатов, учитывая, что название работы начинается со слова «Петрология...». Поэтому остается только надеется на то, что данное описание проведено соискателем достаточно квалифицированно. (iii) В главе отмечено присутствие рутила в виде включений в пороодообразующих минералах, но никаких доказательств этого не

приводится. Все приведенные растровые микрофотографии с СЭМ свидетельствуют о присутствии рутила только в межзерновом пространстве в ассоциации с другими наложенными минералами. (iv) Предложенная по результатам сопоставления составов пороодообразующих гранатов и клинопироксенов новая классификационная схема позволяет разделить изученные эклогиты на 3 группы, но практически мало отличается от таковой предложенной в работе (Taylor, Neal, 1989), которая была дополнительно предложена гораздо более позже впервые предложенной классификации «мантийных» эклогитов на 3 группы по составу гранатов (Coleman et al., 1965). При этом также не совсем понятно, каким образом классифицируются эклогиты, которые по составу попадают в область составов иной группы, нежели они были отнесены соискателем (см. Рис. 3.2).

Также в этой главе не обсуждаются взаимоотношения кианита и корунда, который, как правило, является продуктом замещения кианита при декомпрессии. Уникальные находки цирконов, если это конечно не контаминация, вообще проигнорированы в главе 3. Почему не очень понятно? Впервые он упоминается лишь в главе 6, причем описание размеров и формы зерен и их морфологии приведено не для всех цирконов, хотя их всего лишь 4! Из текста диссертации остается, не ясным была ли попытка извлечь цирконы из всей коллекции образцов, или по каким-то критериям были выбраны два образца, содержащие циркон. Едва ли полученные данные о возрасте, основанные на подобного рода статистике, могут считаться достоверными, но, безусловно, это не уменьшает трудозатрат автора диссертации.

При описании составов сульфидов не понятно почему результаты анализов в оксидах. Фотографии сульфидов в отраженном свете могли бы помочь как рецензентам, так и самому автору разобраться в их фазовом составе. Приведенная фотография одного из шлифов, позволяет усомниться, что все до единого включения сульфидов были уничтожены гипергенными процессами.

Также странно видеть, что ламели ильменита в рутиле, почему-то не рассматриваются как самостоятельная фаза, хотя очевидно, что произошел распад исходного гомогенного твердого раствора на две фазы – рутил и ильменит.

В главе 4 «Геохимия эклогитов» приводятся данные о содержании главных и редких элементов в валовом составе эклогитов, а также редких элементы в пороодообразующих гранатах и клинопироксенах. Геохимические данные полностью подтверждают ранее сделанное на основании минералогических и петрографических особенностей разделение изученных эклогитов на три группы. Как и ожидалось, наилучшим образом, эти различия проявляются в содержании LREE в зависимости от содержания Ca, установленные ранее для мантийных эклогитов в работе (Harte, Kirkley, 1997). Геохимические данные,

полученные для гранатов из высокоглиноземистых эклогитов, указывают на присутствие коэсита в этих породах, но в главе 3 ничего не говорится о полиморфных модификациях  $\text{SiO}_2$ . Непонятно с какой целью в таблице 4.1 приведены содержания некоторых элементов в массовых процентах и ppm, если в дальнейшем это не обсуждается.

Глава 5 «Термобарометрия эклогитов» посвящена оценке P-T-параметров образования изученных ксенолитов эклогитов из кимберлитовой трубки Катока. Особое внимание в данной главе уделено описанию и выбору термобарических инструментов. По данным о соотношении  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$  в породообразующих минералах эклогитов также приводятся характеристика окислительно-восстановительного состояния мантии. Для более выгодного представления полученных результатов выбран геотермометр (Nakamura, 2006), который по мнению соискателя лучше других согласуется с существующими петрологическими и минералогическими моделями, и геотермы теплового потока  $40 \text{ мВт/м}^2$ . При этом очевидно, что использование других геотермометров не позволяет выявить наблюдаемой соискателем согласованности. В связи с этим вывод о том, что «P, T параметры мантийных эклогитов кимберлитовой трубки Катока соответствуют трем уровням глубинности» следует рассматривать весьма критически. Кроме того, отмечено, что «P, T параметры мантийных эклогитов трубки Катока, определенные таким образом для всех групп эклогитов, полностью соответствуют P, T оценкам для аналогичных эклогитовых ксенолитов из других регионов мира (Бобров, 1997; Taylor, Anand, 2004; Patel et al., 2009; и др.)». Не совсем понятно как Бобров, 1997 и Taylor, Anand, 2004 могли таким же образом использовать геотермометр (Nakamura, 2006). Следует отметить, что эта глава является одной из наиболее противоречивых. С одной стороны автор неоднократно отмечает, что равновесие в породах могло и не достигаться, но при этом в конце главы делает вывод о том, что разные типы эклогитов образовались на разных глубинах. Парадоксален факт, что именно в наиболее высокотемпературных и высокобарических эклогитах сохраняется зональность в гранатах по главным элементам (!), а если принять возраст формирования эклогитов в 1250 млн.лет, то становится не ясно, почему за это время зональность не выровнялась. Так же следует отметить, что полученные автором диссертации P-T оценки не объясняют высокую алмазоносность трубки Катока, а время и P-T условия образования вторичных минералов – новообразованного пироксена, плагиоклаза, флогопита, амфибола и других минералов вообще не рассматривается.

В главе 6 «Возраст эклогитов» рассмотрены U-Pb и Sm-Nd геохронологические системы. Для U-Pb датирования удалось выделить всего по два зерна циркона из двух эклогитовых ксенолитов. Пересечение дискордии дает возраст  $1242 \pm 97$  и  $194 \pm 74$  Ma. По мнению соискателя, древние оценки возраста отражают этап формирования протолита, а

более молодые маркируют наложенные мантийные процессы, которые привели к перестройке U-Pb системы. Однако, очевидно, что для более достоверного определения возраста эклогитов необходимо более представительное количество датировок для более значительного количества образцов. По результатам изучения Sm-Nd изотопных характеристик только для двух образцов удалось построить изохроны по валовому составу, клинопироксену и гранату. К сожалению, полученные данные позволили определить только этап воздействия кимберлитового расплава на эклогиты и изменения их изотопных характеристик. При этом, полученные возрастные оценки  $127.3 \pm 8.5$  и  $150.0 \pm 6.5$  Ma для этих двух эклогитов не очень хорошо согласуются с самым «молодым» возрастным значением для циркона из другого эклогита (194 Ma) даже в пределах погрешности ( $\pm 74$  Ma).

В главе 7 подробно обсуждаются современные петрогенетические модели формирования «мантийных» эклогитов и критерии определения их протолита. Несмотря на приведенный в настоящей главе достаточно обширный обзор существующих в настоящее время представлений о генезисе «мантийных» эклогитов многие из выделенных соискателем критериев определения их протолита в работе никак не используются. Это в первую очередь касается изотопно-геохимических характеристик изученных ксенолитов. Хотя именно эти данные являются основными критериями однозначно свидетельствующими в пользу субдукционного происхождения. Тем не менее, несмотря на важность, а порой и ведущую роль изотопных характеристик мантийных эклогитов при решении проблемы их генезиса, соискатель в следующей главе попытался показать, что не менее достоверных результатов можно добиться, используя комплексный подход, основанный только на детальном минералогическом, петрографическом и геохимическом исследовании с применением геохимического моделирования.

Глава 8 «Модель образования мантийных эклогитов из трубки Катока» - основная дискуссионная часть работы. В результате на основании полученных результатов определен наиболее вероятный сценарий образования различных групп эклогитов. Кроме того установлены преобразования, связанные с наложенными мантийными метасоматическими событиями и кимберлитовым магматизмом. В этой части работы следует отметить следующие замечания: (i) стр. 139 – Как понимать сначала утверждение «В неизмененных клинопироксенах из hi-MgO эклогитов и из перидотита (Cat-19) идентичные спектры распределения REE (рис. 4.2).», а затем утверждение «Более того, в клинопироксенах и гранатах из hi-MgO эклогитов повышено La/Sm отношение и содержание Ba, Sr и LREE, относительно перидотита Cat-19 (рис. 4.2, 8.1, 8.5, 8.12, прил. табл. 8).»??? (ii) стр. 146 – Для характеристики состава флюида, действовавшего на

эклогиты, что в действительности является крайне сложной задачей, стоило обратиться к серии работ, где приводятся такие составы по данным изучения микровключений в алмазах (Weiss et al., *Nature* 2015), в т.ч. в алмазах из эклогитов (Зедгенизов и др., *ДАН* 2007). Ссылки на эти публикации могли бы расширить информативность данной диссертационной главы. (iii) стр. 150 – Плагиоклаз встречается чаще в губчатых структурах не потому что «флюид помимо калия содержал также и натрий, возможно даже в большем количестве», а, очевидно, потому что такие структуры развиваются по Na-содержащему клинопироксену.

В заключении к работе подведены главные итоги комплексного минералогического, петрографического и геохимического изучения верхнемантийных эклогитовых ксенолитов. На основании полученных результатов предложена модель генезиса эклогитов. Таким образом, был реконструирован разрез литосферной мантии кратона Кассаи. Утверждается, что верхняя часть разреза представлена  $hiAl_2O_3$ -2 эклогитами, ниже в интервале глубин залегают lo-MgO эклогиты и наиболее глубинная часть разреза сложена  $hi$ -MgO и  $hi-Al_2O_3$ -1 эклогитами. Из этого следует, что структура кратона Кассаи является уникальной, т.к. его основание сложено исключительно эклогитами. Действительно ли это так из текста не совсем понятно. В заключении также отмечено, что «высокое содержание ниобия, послужить поисковым критерием на алмазы кимберлитовых трубок Северо-Восточной Анголы, а возможно и других регионов». Это утверждение весьма спорно, учитывая то что «полученные оценки значительно превышают содержание  $Nb_2O_5$  и  $Ta_2O_5$ , установленное в рутилах из алмазоносных эклогитов и включениях в алмазах».

В заключение необходимо отметить, что основные выводы работы базируются на результатах проведенных автором исследований, а также глубоком теоретическом анализе литературных данных. Королев Нестер Михайлович является автором 12 печатных работ, из них пяти статей в российских и зарубежных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. С использованием самых современных аналитических методов автором впервые получены данные о минералогических, петрографических и геохимических особенностях верхнемантийных эклогитовых ксенолитов кимберлитовой трубки «Катока». На основании полученных данных охарактеризованы процессы генезиса эклогитов в литосферной мантии кратона Кассаи. Эти данные, безусловно, могут быть применены при построении моделей строения верхней мантии и субдуцированных пород, что имеет важное значение для геологии и петрологии.

Работа выполнена на высоком научном уровне, все выводы, полученные автором, подтверждены точными аналитическими данными. Работа соответствует паспорту специальности 25.00.04 - петрология, вулканология и полностью отвечает требованиям ВАК. Она является законченным научным исследованием, выполненным по актуальной

проблеме на высоком международном уровне и ее автор, Королев Нестер Михайлович, заслуживает искомой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Ведущий научный сотрудник ИГМ СО РАН,  
доктор геолого-минералогических наук



Зедгенизов Д.А.

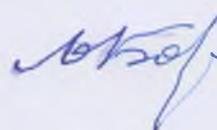
Ведущий научный сотрудник ИГМ СО РАН,  
доктор геолого-минералогических наук



Корсаков А.В.

Отзыв заслушан и одобрен в качестве официального на заседании Ученого совета  
Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева 12.11.2015, протокол № 8.

Зам. председателя Ученого совета ИГМ СО РАН,  
доктор геолого-минералогических наук



Борисенко А.С.

Ученый секретарь совета,  
кандидат геолого-минералогических наук



Тычков Н.С.