

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Чеботарева Дмитрия Александровича**

«Петрогенезис и ниобий-редкоземельная минерализация Чуктуконского щелочного ультраосновного карбонатитового массива, запад Сибирской платформы», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

Условия образования карбонатитов – одна из наиболее интригующих проблем петрологии и геохимии мантийного магмообразования. Несмотря на то, что эти необычные образования более 50 лет являются объектом пристального внимания геологов, многие вопросы генезиса и эволюции первичных щелочных магм и связанных с ними карбонатитов остаются спорными. Это касается состава первичных расплавов и источников, глубины и температурного режима выплавления, режима летучих компонентов и др. Среди этих вопросов, анализ причин обогащения мантийных расплавов некогерентными элементами является в настоящее время, пожалуй, наиболее важной проблемой, имеющей прямое отношение к расшифровке условий проявления процессов плюм-литосферного взаимодействия, оценке однородности мантийных источников и проявлению процессов мантийного метасоматоза.

Обогащенность карбонатитов и связанных с ними щелочных пород элементами-примесями обуславливает практическую ценность объектов, сложенных этими породами, со многими из которых связаны месторождения ценного редкометалльного сырья. Объявленная диссертантом цель работы – определить петрогенезис пород, ниобиевое и редкоземельное оруденение в магматических породах и коре выветривания - диктует необходимость привлечения наиболее современных геологических и аналитических методов изучения. В связи с этим избранная Д.А.Чеботаревым тема работы представляется весьма актуальной как в научном плане, так и с точки зрения практической оценки перспектив рудоносности глубинных проявлений мантийного магматизма.

В соответствии с поставленной целью, диссертантом проведены комплексные исследования, включавшие анализ геологического строения Чуктуконского массива, определение главных особенностей химического состава пород и минералов, геохимические и изотопно-геохимические исследования крайне сложного для изучения объекта, в котором широко проявлены обширные постмагматические изменения. Следует особо отметить, что представленная работа выгодно отличается, с одной стороны, обширностью аналитических данных и, с другой, умелым их использованием для решения поставленных задач, что, в конечном счете, определяет достоверность полученных Д.А.Чеботаревым результатов.

Диссертация состоит из введения и 6 глав, в которых приводятся основные результаты натурного изучения объекта, исследований природных образцов и рассматриваются модели образования и эволюции щелочно-ультраосновных и карбонатитовых расплавов. Во введении ставится задача исследований и кратко очерчена научная новизна и наиболее существенные достижения. Структура работы хорошо продумана, диссертация снабжена обстоятельным литературным обзором, которому посвящена вся первая глава. Обзор свидетельствует о достаточно глубоком знакомстве с литературой по теме исследования.

Во второй главе дана геологическая характеристика района работ – Чадобецкого комплекса, основу которой составляют литературные данные. Поскольку диссертантом обосновывается неразрывная генетическая связь Чуктуконского массива с Чадобецким комплексом, фрагментом которого он, фактически является, то выбор объекта исследования представляется оппоненту несколько искусственным. Возникает закономерный вопрос: можно ли распространить выводы, сформулированные в защищаемых положениях, на весь Чадобецкий комплекс? В частности, можно ли считать, что все образования комплекса сформировались 256 – 252 млн лет назад? Есть ли отличия в ниобий-редкоземельной минерализации и гидротермальных преобразованиях карбонатитов Териновского выступа? Что помешало получить более полную

картину по карбонатитам и дополнить результаты по Чуктуконскому массиву данными по более свежим породам Териновского выступа и другим проявлениям в составе Чадобецкого поднятия?

В описании района работ автор приводит малоинформативную схему элементов строения и физических свойств литосферы, хотя существуют гораздо более детальные, и, что важно, геологические схемы строения региона, например (Кириченко и др. 2012), на которую ссылается автор. По крайней мере, в этой карте содержатся названия и местоположение объектов, упоминаемых в тексте. Что касается геологической схемы Чадобецкого поднятия, то диссертант настолько упростил оригинал, что эта схема потеряла информативность.

Основные результаты исследований Чуктуконского массива представлены, соответственно, в главах 3–6. Объектами исследования служили как наиболее свежие образцы карбонатитов и силикатных пород, так и их сильноизмененные разности, а также материал кор выветривания.

В главе 3 дана минералого-петрографическая характеристика пород Чуктуконского массива. Следует особо отметить очень высокую степень постмагматических изменений большинства пород, что крайне осложнило проведение петрографо-минералогических исследований. Кроме того, неопределенности классификации и сложнейшая номенклатура щелочных карбонатсодержащих лампрофиров вынудила автора посвятить этой проблеме один из разделов. В результате, названия доминирующих пород первой и третьей фаз комплекса читатель узнает только в конце главы. В качестве существенного замечания следует указать, что хотя во введении и перечислены применявшиеся диссертантом методы, однако в тексте диссертации отсутствует стандартная информация о том, какие методы использовались для анализа состава конкретных пород и конкретных минералов. В частности, каким методом и с какой точностью определено содержание главных компонентов и рассеянных элементов в пироклорах и других минералах? Частично ответ на этот вопрос можно найти в публикациях диссертанта (Chebotarev et al., 2017). Если составы слюд определялись микрозондом, то как было определено содержание  $H_2O$  (табл. 3.14)? На основании каких данных выполнена диагностика таких сложных фаз, как Nb-брукит, риппит, тайниолит, олекминскит, анкилит-(Ce), дациншанит-(Ce), бурбанкит, стронцианит, голландит, феррохагендорфит (группа аллюодита) и ряда других. Применялась ли рентгеновская диагностика? В главе 3 автор приводит многочисленные фото разных кристаллов пироклоров, но из этих фото не ясно, где магматические, где первичные (!), где измененные разновидности, какой анализ в таблице соответствует какой зоне или какой разновидности пироклора. Пазл с пироклорами затрудняет и то, что вместо номеров образцов и обозначений точек приведены ни о чем не говорящие порядковые номера. На основе каких данных диссертант в пироклорах из карбонатитов выделяет гидротермальный тренд и тренд выветривания (рис. 3.10)? Если бы на этих диаграммах были обозначены фигуративные точки выделенных автором магматических (первичных), измененных (гидротермально-измененных, стронциевых, кальциевых) и «выветрелых» пироклоров, читателю не пришлось бы сопоставлять данные из графиков рис. 3.9 и 3.10.

В главе 4 приведены результаты геохронологических исследований. В предельно кратком тексте главы отсутствует стандартное, общепринятое в публикациях, содержащих изотопные данные, описание пород и минеральных фаз. Это тем более важно, поскольку производился локальный изотопный анализ определенных зон кристаллов перовскита. Прилагаемое фото (рис. 4.1) мелко и неинформативно. Неопределенность состава породы, из которой был анализирован перовскит, усугубляется тем что, если в диссертации об этой породе вообще нет сведений, то в статье Doroshkevich et al., 2019, в которой диссертант является соавтором, указано, что был проанализирован перовскит из мелилитита. Но такая порода в петрографическом описании в главе 3 отсутствует. Так же, как и указания на присутствие мелилита.

Данные по циркону по которому было выполнено U-Pb датирование, как и по вмещающей его породе, также отсутствуют. Фото проанализированных зерен не приводятся. Диссертант, ссылаясь на работу (Sharygin et al., 2017) утверждает, что датирован циркон из дамтьернита 3

фазы, но в этой публикации на основе анализа включений показано, что наиболее вероятно происхождение цирконов из карбонатитов.

Что же касается остальных геохронологических данных, то их геологическая интерпретация требует пояснений. В частности,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возраст риппита из карбонатитов ( $232 \pm 3$  млн лет), который оказался на 20 млн лет меньше полученного U-Pb методом для циркона ( $257 \pm 1$  млн лет), не отвечает ни одному из геологических событий этого периода и свидетельствует только о том, что минерал может служить геохронометром. Также неясна попытка диссертанта интерпретировать возраст монацита из коры выветривания Чуктуконского массива, тем более, что, как указывает сам автор, этот минерал имеет нарушенную U-Pb систему.

Глава 5 содержит геохимическую характеристику пород массива, основанную на нескольких десятках химических анализов, большая часть из которых содержит от 20 до 40% потерь при прокаливании. Очевидно, что такой состав пород вызывает проблемы с достоверностью выводов, основанных на геохимических данных, что создает массу сложностей для исследователя. Единственный путь решения этой проблемы – привлечение данных по более свежим щелочным ультраосновным породам соседних районов Чадобецкого комплекса и, прежде всего, соседнего Териновского массива. В этом случае в петрографическом описании пород первой фазы (глава 3) была бы не характеристика абстрактной породы без названия, а описание всех разновидностей, упомянутых в литературном обзоре, в том числе и мелилититов, из которых был датирован перовскит. Именно поэтому оппонент считает неоправданным ограничение объекта исследований диссертанта исключительно Чуктуконским выступом.

В главе 6, обозначенной как «Обсуждение результатов», содержится, по существу, обоснование защищаемых положений, представления диссертанта об источниках вещества и предлагается модель образования пород Чуктуконского массива.

Среди теоретических положений, которые можно квалифицировать как научное достижение соответствующего научного направления, следует выделить данные о возрасте Чуктуконского массива (**1 защищаемое положение**), свидетельствующее о близком по времени формировании трапповой провинции и щелочно-ультраосновного магматизма в регионе, что имеет фундаментальное значение. Народно-хозяйственную ценность имеют результаты изучения ниобий-редкоземельной минерализации, что позволит оптимизировать разработку месторождения и последующую переработку ценнейшего минерального сырья.

Во **2 защищаемом положении** диссертант обосновывает природу материнских расплавов Чуктуконского массива. В целом, можно согласиться с аргументами диссертанта, обосновывающими их образование из изотопно умеренно деплетированного мантийного источника (1), в результате частичного плавления карбонатизированного гранат-содержащего мантийного перидотита (2) под действием плюма (3). Если вдаваться в детали, то всплывают следующие вопросы.

Утверждение (1). Приведенные в таблице 5.2 Rb-Sr и Sm-Nd изотопные данные показывают, что породы всех фаз, как неизмененные, так и измененные (айликисты, дамтърниты, карбонатиты) имеют мантийные метки. Более того, такие же «мантийные» характеристики с низким радиогенным стронцием ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i(\text{T}) < 0.70386$ ) и эpsilon Nd +4.2 имеют коры выветривания! Пересчет первичного отношения этих кор на 120 млн лет (что автор указал, но не сделал), понижает эpsilon неодима до значений +2.2, что для неодимовой системы в общем, закономерно. Но что касается Rb-Sr системы, то необходимы пояснения, как в породах, испытавших гидротермальные изменения и последующее выветривание, могли сохраниться первичные отношения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i(\text{T})$ . Это при том, что диссертант детально описывает характер минеральных преобразований (вынос Rb). Интересно, что на приведенной автором Sr-Nd изотопной диаграмме даже траппы образуют тренд в область контаминированных корой субстратов.

Утверждение (2). Странно, что диссертант не воспользовался такими аргументами в защиту этого положения, как  $(\text{Gd}/\text{Yb})_N$  или  $(\text{Tb}/\text{Yb})_N$  отношения, указывающие на присутствие граната в равновесии с расплавом в зоне магмогенерации. Высокое La/Yb отношение на которое ссылается диссертант, не является индикаторным для данного процесса. Что же касается карбонатного мантийного метасоматоза, то одним из указаний на его присутствие является

наличие Zr и Hf отрицательных аномалий на графиках, нормализованных к РМ (Girnis et al., 2013; Martin et al., 2013). Это диссертантом не отмечено, но великолепно видно на приведенных графиках рис 5.1.

Утверждение (3) о плюмовой природе расплавов Чуктуконского массива основывается, по-видимому, на аналогии с аналогичными и одновозрастными проявлениями магматизма Сибирской платформы, для которых такая природа была доказана.

**3 положение**, описывающее особенности ниобий-редкоземельной минерализации карбонатитов и характер гидротермальных преобразований, обосновывается результатами детальных минералогических исследований и замечаний не вызывает.

Сделанные замечания не снижают общего положительного впечатления о представленной работе, основные положения которой опубликованы в 3 статьях в рецензируемых научных журналах, индексируемых в международных базах и рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ и докладывались на 4 международных конференциях.

В целом, работа Дмитрия Александровича Чеботарева «Петрогенезис и ниобий-редкоземельная минерализация Чуктуконского щелочного ультраосновного карбонатитового массива, запад Сибирской платформы» отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям как по широте, важности и научной значимости разработок, так и с точки зрения новизны и достоверности представленного материала. Автореферат отражает основные положения диссертации. Считаю, что Дмитрий Александрович Чеботарев заслуживает искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология.

Андрей Александрович Арзамасцев

доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук

Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 2.

Телефон: +79213448645, 8(812)3284701

Электронная почта: arzamas@ipgg.ru, arz1998@yahoo.com

Я, Арзамасцев Андрей Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись

25 марта 2020 года

|                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПОДПИСЬ: Арзамасцев А. А. ЗАВЕРЯЮ<br>Пом. директора ИГД РАН<br>Ученый секретарь (подпись)<br>Март 2020 г. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|

