

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию Фоминой Екатерины Николаевны
«РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ КАРБОНАТИТЫ МАССИВА ВУОРИЯРВИ (КОЛЬСКАЯ
ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ): ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОГЕНЕЗ», представленную на
соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по
специальности 1.6.3 – Петрология, вулканология, 1.6.10 – Геология, поиски и
разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертационная работа Е.Н. Фоминой посвящена исследованию редкоземельных руд, связанных с карбонатами массива Вуориярви. О востребованности этих элементов в современном мире говорится на всех информационных площадках, и, соответственно, актуальность выбранной диссертантом темы не вызывает сомнений.

В основе настоящей диссертации лежат более сотни проб каменного материала, собранного автором при проведении полевых исследований. Дальнейшее изучение этих проб целым комплексом методов как самостоятельно, так и с привлечением специалистов по изотопным и термо-барогеохимическим исследованиям, позволило получить Екатерине Николаевне оригинальный фактический материал.

Рецензируемая работа состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 413 наименований, и приложения, в котором приведены полученные автором аналитические данные. Объем работы составляет 190 страниц текста, 43 рисунка и 11 таблиц в тексте. Оформление работы не вызывает никаких нареканий.

Во введении автором приводятся все необходимые при защите диссертации пункты – актуальность проблемы, цели и задачи, научная новизна и т.д. Апробация работы была проведена на серии международных конференций, основные результаты опубликованы в 8 статьях, включенных в список ВАК.

Первая глава диссертации представляет собой литературный обзор, посвященный ряду проблем, связанных с карбонатами – терминологии, геологической позиции, механизму формирования, полезным ископаемым, в том числе редкоземельным рудопроявлениям.

Рассмотрены региональные вопросы по девонской Кольской щелочной провинции с акцентом на редкоземельные карбонаты. Описывается история изучения объекта исследования и геологическое строение массива в целом.

К этой главе замечание одно – автору стоило определиться с термином «карбонатит». По тексту диссертации становится понятен принцип выделения основных типов карбонатитов – по преобладающей минеральной ассоциации.

Однако такой подход не имеет ограничений по объему выделяемых разновидностей карбонатитов. Это, собственно, и происходит, когда из первоначальных 5 появляются 9 разновидностей карбонатитов. Таким образом, как первичные, так и образованные за счет них «вторичные» породы Екатерина Николаевна называет карбонатитами. Это ее право, но, когда доходит дело до геологических тел этих карбонатитов выясняется, что, например, наименование баритовые карбонатиты присвоено мелкозернистым массам в полостях выщелачивания бурбанкитсодержащих магнезиокарбонатитов (стр. 68). Диссертанту стоило остаться на уровне баритовой минеральной ассоциации, а не присваивать этим скоплениям термин карбонатит.

Кроме того, стоит также отметить следующее. Когда имеешь дело с рудными объектами, всегда сложно с используемой терминологией. Однако диссертанту все же стоило придерживаться одного типа терминов. По тексту сменяются то руды, то карбонатиты, то минеральные ассоциации или парагенезисы. Это даже вошло в защищаемые положения.

Вторая глава диссертации посвящена описанию материалов и методов проведенных исследований. Все показано в надлежащем виде.

Третья глава диссертации посвящена петрографии и описанию минеральных ассоциаций изученных карбонатитов участка Петяйян-Вара.

Эта глава содержит геологические сведения, из которых следует представление об объемах и взаимоотношениях выделяемых разновидностей пород. Здесь, собственно, и поясняется, что же подразумевается под той или иной разновидностью карбонатитов.

В упрощенном виде модель образования выделенных Екатериной Николаевной карбонатитов выглядит следующим образом – на измененные первичные карбонатиты наложены прожилки, жилы, гнезда и тому подобное, которые сложены последовательно сменяющимися друг друга минеральными парагенезисами. По преобладающей минеральной ассоциации выделяются разновидности карбонатитов. Таким образом, при любых дальнейших рассуждениях с использованием выделенных разновидностей карбонатитов автор оперирует смесями, состоящими из различных минеральных ассоциаций. Объемные соотношения этих смесей неизвестны.

Несмотря на отмеченные моменты с терминологией, диссертант добротнo описывает наблюдаемый минеральный состав и взаимоотношение минералов и их парагенезисов, показывает составы минералов-концентраторов РЗЭ. Описание сопровождается прекрасными иллюстрациями. Все это является несомненным достоинством настоящей работы.

Глава 4 посвящена геохимической характеристике карбонатитов участка Петяйян-вара. В этой главе демонстрируются основные геохимические характеристики валовых проб и соотношение с наблюдаемым минеральным составом, в том числе с использованием разработанной автором методики статистического сопоставления результатов рентгенодифракционного и геохимического исследований с помощью факторного анализа.

С интересом знакомился с этими разделами. Однако результаты меня несколько озадачили. Сложилось такое ощущение, что математика применена ради математики.

Поясню. Диссертантом были установлены два фактора.

«Первый фактор выделил титанистые карбонатиты среди всех остальных пород» (стр.94). Смотрим на таблицу, и по содержанию титана спокойно вычленим эти карбонатиты из общей выборки.

«Второй фактор отражает воздействие процессов, связанных с накоплением РЗЭ, включающее (1) привнос фосфора в титанистые породы, сопровождающийся интенсивной апатитизацией, и (2) Ba-Sr- редкоземельный метасоматоз первичных (бурбанкитсодержащих) магнезиокарбонатитов. Тяжёлые редкоземельные элементы (Y, Dy–Lu) накапливались преимущественно во время первого процесса, а лёгкие (La–Gd) – во время второго.» Смотрим таблицу и график соотношения ТРЗЭ и ЛРЗЭ к их сумме и видим, что в апатитовых карбонатитах появился фосфор, а по соотношению легких к тяжелым выясняем, что в анкилитовых карбонатитах больше РЗЭ и преобладают легкие РЗЭ, а в апатитовых меньше РЗЭ и преобладают тяжелые РЗЭ.

Автору не удалось показать значимость факторного анализа для данного набора данных. Возможно, в более обширных наборах данных, например, на производстве это и имеет смысл, но в данной конкретной работе их применение было излишнее..

Более оптимистично обстоят дела с изоконным анализом масс-баланса комплементарных метасоматических процессов. Это позволило автору приблизительно оценить соотношение исходных и новообразованных ассоциаций. Из этих расчетов следует неутешительный для производителей вывод, что редкоземельных руд будет в сто раз меньше первичного объема бурбанкитовых карбонатитов.

В целом, если рассматривать проделанную автором работу по математической обработке материала с точки зрения квалификации, то следует отдать должное умению автора пользоваться продвинутыми математическими методами и применять их в геологической практике.

К этой же главе относится еще один непонятный момент. В рассуждениях автора по поводу природы апатита с высоким содержанием тяжелых РЗЭ мне показалась есть путаница в описании фактуры. На странице 112 говорится, что

ксеноморфный ранний апатит лишён примесей. Далее на стр. 114 говорится, что «апатит первой генерации выступил в роли концентратора ... ТРЗЭ, что и вызвало обогащённость апатитизированных участков титанистых карбонатитов тяжёлыми РЗЭ». Как соотнести эти утверждения? Необходимы пояснения автора.

Глава 5 посвящена результатам исследования флюидных включений в минералах. Изложенный фактический материал этой главы является одной из основ, на которой строятся все дальнейшие рассуждения. Было показано, что процесс формирования наложенных минеральных ассоциаций начался с довольно высоких температур (порядка 300 градусов). Это сразу ограничивает вероятную гипергенную природу рассматриваемых образований.

При изучении включений по дочерним минералам были получены данные о составе флюида. Они в одних случаях представлены сульфатами, в других карбонатами и т.д. Соответственно, выделены сульфатные и карбонатные растворы. Я не специалист в этой области, однако из общих соображений невольно возникает вопрос – а как же CO₂ газового пузырька и состав жидкой фазы? Вряд ли она являлась дистиллированной водой. Она может быть хлоридной или сульфатной, и, соответственно, это усложнит обозначенный состав флюидов.

В конце главы Екатерина Николаевна показала, что минералогические наблюдения и результаты исследования включений минералообразующей среды вполне удачно согласуются.

Поскольку диссертант в преамбуле этой главы показывает, что она знакомилась с основными редкоземельными проявлениями, связанными с карбонатитами и моделями их формирования, нельзя не отметить следующее. В тексте говорится, что накопление редкоземельных элементов в карбонатитах связано преимущественно с поздними гидротермально-метасоматическими процессами. В качестве одного из примеров отмечается комплекс Мушугай-Худук. Диссертант знакомился явно не со всеми работами по этому объекту. Как было показано И.А. Андреевой (например, Andreeva et al., *Acta Petrol. Sin.*, 23 (2007)), ликвационные явления формируют целую серию расплавов фосфат-сульфатных или фосфатно-карбонатных с процентными содержаниями РЗЭ, которые в свою очередь ответственны за образование главных апатитовых редкоземельных залежей комплекса Мушугай Худук. Таким образом, важность ликвационных процессов магматической стадии при накоплении редких земель в магматической системе сложно отрицать.

Глава 6 посвящена изотопным исследованиям.

В первую очередь хотелось бы отметить странный подход к изучению изотопной системы в породах данного типа, который сильно усложнил диссертанту интерпретацию полученных результатов. Породы содержат большое количество

собственных минеральных фаз РЗЭ и стронция, О и С, и в соответствии с описанием заведомо представляют собой смесь ранних и поздних минеральных парагенезисов, причем без учета их соотношения. Работать с валовыми пробами в такой ситуации можно только на уровне «похоже-непохоже».

Приведу пример самых ранних и наименее измененных титанистых карбонатитов, где встречаются все (!) минералы, которые преобладают в других ассоциациях. Но что это означает для изотопных исследований – мы получим случайную ничем не контролируемую смесь изотопных характеристик каждой стадии.

Попробую описать, в чем же пытается разобраться автор. Рассмотрим сначала изотопные данные по Sr и Nd.

По стронцию наблюдается широкий разброс значений, который объясняется с помощью привлечения радиогенного стронция из вмещающих пород. Это весьма необычное предположение в данной ситуации, ведь сколько нужно «корового» стронция, чтобы сдвинуть 100 объемов (!) первичного стронция карбонатитов при начальном содержании 0,8 масс %, и сформировать анкилитовые или стронцианитовые ассоциации с 7 % стронция со сдвинутыми изотопными характеристиками. Кроме того, среагирует и изотопный состав кислорода. Однако по этому поводу, надо отдать должное диссертанту, высказано предположение, что изменение изотопного состава кислорода увязывается с изменением угла наклона рэлеевского фракционирования в системе С-О.

По изотопному составу неодиму тоже наблюдается разброс. Однако здесь уже привлекать посторонний материал не получается. Диссертант выбраковывает данные, не лежащие на изохроне. Собственно, отсюда делается вывод о «родном» источнике флюида. Для «неизохронных» составов говорится, что нужно время для накопления радиогенного неодима. Однако ниже из текста с рассуждениями об эволюции флюида следует, что это единый процесс. Тогда, когда же успел накопиться радиогенный неодим? Необходимо услышать пояснения автора по этому вопросу.

Блок данных по изотопному составу кислорода и углерода показал диссертанту, что наблюдаемый разброс значений лучше всего подходит под модель рэлеевского фракционирования, вызвавшего согласованный рост значений $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ (стр. 143-144). Рэлеевское фракционирование – это модельная равновесная ситуация, когда из системы с несколькими фазами одна из фаз непрерывно удаляется из системы. В рассматриваемой же диссертантом модели помимо последовательной кристаллизации в систему совместно со стронцием поступает еще и приличное количество кислорода. Как это повлияет на конечный результат, и можно ли вообще говорить о рэлеевском фракционировании? Здесь же нельзя не вспомнить, что обсуждаются результаты случайных смесей разновременных минеральных

ассоциаций. Впрочем, описываемая диссертантом модель имеет право на существование, а высказанные замечания носят больше дискуссионный характер.

Тем не менее несмотря на первоначальную нелегкую стартовую позицию, диссертант вполне справляется с описанием наблюдаемых трендов и их интерпретацией. На базе основных выводов по этой главе было сформулировано третье защищаемое положение, которое вполне обосновывается полученным фактическим материалом.

Все высказанные замечания не влияют на общее положительное впечатление от работы. Диссертация богата рассуждениями, насыщена литературными примерами, что показывает широкий кругозор, знание предмета исследования. Екатерина Николаевна показала умение получать новый материал, его интерпретировать и делать вполне обоснованные научные выводы. Все представленные защищаемые положения в целом доказаны фактическим материалом.

Диссертация отвечает всем необходимым требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а Екатерина Николаевна Фомина заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – Петрология, вулканология, 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Никифоров Анатолий Викторович

д.г.-м.н., Профессор РАН,

ведущий научный сотрудник

лаборатории редкометального магматизма

ФГБУН Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН);

Адрес: 119017 Москва Старомонетный пер., дом 35

e-mail: usn2007a@yandex.ru; nikav@igem.ru

тел. +7 (499) 230-82-05

Я, Никифоров Анатолий Викторович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

3 марта 2023 г

