

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Фоминой Екатерины Николаевны
РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ КАРБОНАТИТЫ МАССИВА ВУОРИЯРВИ
(КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ):

ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОГЕНЕЗ

представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальностям: 1.6.3 – Петрология, вулканология;

1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

Диссертация Фоминой Е.Н. посвящена актуальным проблемам геологии и петрологии, имеющим прикладные аспекты – проблемам редкометалльного рудообразования и карбонатитообразования, связанного с комплексами ультраосновных щелочных пород. Карбонатитовые комплексы, как известно, обогащены несовместимыми элементами – Nb, Ta, Zr, Hf, V, Ti, а также РЗЭ, Sr, Ba и часто образуют промышленно значимые месторождения, являясь главными источниками ЛРЗЭ и Nb для мировой промышленности.

Известно, что карбонатитовые комплексы имеют различную рудную специализацию. Так, для щелочно-ультраосновных карбонатитовых комплексов внутриплитных обстановок характерны многокомпонентные Nb-(Ta)-РЗЭ месторождения (например, уникальное Nb-РЗЭ Томторское и Nb-РЗЭ Чуктуконское месторождения, Сибирская платформа; Nb-Ta-(РЗЭ) месторождение Неске-Вара, Кольская провинция, Балтийский щит), в которых обогащение различными рудными компонентами определяется температурной эволюцией карбонатитовых расплавов, когда ранние кальциокарбонатиты замещались магнезиокарбонатитами, а затем феррокарбонатитами. Накопление HFSE-элементов (Nb, Ta, Zr, Hf, V, Ti) в этих комплексах приурочено к магматическому этапу карбонатитогенеза, тогда как к поздним карбонатитам происходит снижение содержания HFSE, а обогащение РЗЭ, Sr и Ba происходит лишь в самой поздней фации карбонатитов. Для карбонатитовых комплексов складчатых областей характерна РЗЭ-специализация и обедненность HFSE-элементами, при этом с ними связаны крупнейшие месторождения легких РЗЭ (например, Маунтин-Пасс, США; Мяньнин-Дэчан, Китай и др.). В отличие от внутриплитных ультраосновных щелочных комплексов, причиной образования этих месторождений предполагается аномально обогащенный РЗЭ метасоматический мантийный источник с субдцированным компонентом (обогащенный также радиогенным стронцием и нерадиогенным неодимом).

Наиболее актуальными вопросами формирования редкоземельных карбонатитов и связанных с ними месторождений, являются источники их вещества (в том числе, рудных компонентов), а также условия и факторы накопления редкоземельных элементов, которые автор диссертации решает на примере карбонатитов массива Вуориярви Кольской щелочной провинции Балтийского щита, являющейся представителем внутриплитного щелочно-ультраосновного и карбонатитового магматизма.

Необходимо отметить, что автором проведено детальное исследование этого геологического объекта, собраны представительные коллекции пород, использован комплекс современных методов исследования, включающий оптические, химические, дифрактометрические, спектроскопические, изотопно-геохимические и термобарометрические методы, в том числе электроннозондовый и микрозондовый анализ, рамановскую спектроскопию, ICP-MS. Изучен изотопный состав нерадиогенных (C и O) и радиогенных (Rb, Sr, Sm, Nd) изотопов, исследованы флюидные включения в минералах, проведен факторный анализ и масс-балансовые расчеты, что позволило автору решить поставленные задачи и ключевые вопросы формирования поздних редкоземельных карбонатитов массива Вуориярве.

Несомненным достоинством работы является установление парагенетических минеральных ассоциаций и последовательности образования Ba-Sr-РЗЭ-минералов, а также исследование флюидных включений в минералах (кварце и карбонатах) из карбонатитов РЗЭ-рудопроявления Петийян-Вары, на основе которых составлена схема стадийности их формирования, включающая магматическую стадию, раннюю постмагматическую стадию (субсолидусные преобразования) и

две гидротермально-метасоматические стадии (сульфатно-карбонатную и хлорид-гидрокарбонатную). Согласно полученным данным, на магматической стадии образовались бурбанкитсодержащие, а также апатитовые магнезикарбонатиты и «титанистые» магнезио-, ферро- и силикокарбонатиты, сформировавшиеся при контактовом взаимодействии карбонатитового расплава с силикатными породами массива Вуориярви. На I-ой метасоматической стадии в результате воздействия на ранние карбонатиты гидротермального флюида (эволюционирующего от сульфатного до карбонатного) и на фоне снижения температуры от 350 до 250 °C последовательно кристаллизовались «баритовые» и «анкилитовые» магнезиокарбонатиты и гигантозернистые кальциокарбонатиты. На II-ой метасоматической стадии, под воздействием хлорид-гидрокарбонатного и позднее хлоридного флюида при $T = 250-100^\circ\text{C}$ были сформированы «бастнезитовые» и «стронцианитовые» магнезиокарбонатиты.

По мнению автора, источником PЗЭ, Ba и Sr был карбонатитовый расплав, из которого кристаллизовались ранние карбонатиты магматической стадии. Дальнейшее концентрирование PЗЭ, Ba и Sr происходило в результате субсолидусных и гидротермально-метасоматических процессов преобразования ранних карбонатитов, при которых происходило растворение бурбанкита с последующей ремобилизацией и концентрацией Ba, Sr, PЗЭ в виде баритовой и анкилитовой минерализации (I метасоматическая стадия) и, позднее, растворение апатита и анкилита и отложение, соответственно, монацита и стронцианита, а также кристаллизация кварц-бастнезитовой ассоциации (II метасоматическая стадия), сопровождающиеся незначительным разубоживанием PЗЭ.

Особенно следует отметить исследования изотопных систем (Sm-Nd, Rb-Sr, C, O), проведенные автором для каждой из 8 разновидностей поздних карбонатитов PЗЭ-рудопоявления Петяйян-Вара, а также для ранних карбонатитов Nb-рудопоявления Неске-Вара. Автором получен представительный объем изотопных данных, позволяющих интерпретировать источники вещества, возраст и продолжительность процессов карбонатитообразования, а также оценить роль коровых флюидов в рудообразующих метасоматических процессах. Анализ, обобщение и представление результатов изотопных исследований проведены автором на высоком научном уровне.

По данным изотопных исследований, ранние карбонатиты магматической стадии массива Вуориярве, в том числе бурбанкитсодержащие карбонатиты PЗЭ-рудопоявления Петяйян-Вары, так же как щелочно-ультраосновные силикатные породы Вуориярве, имеют изотопные параметры умеренно деплетированного мантийного источника ($\epsilon\text{Nd}_{365} = 5$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.703-0.7032$). При этом, карбонатиты магматической стадии совместно с (PЗЭ-Sr-Ba)-карбонатитами I-ой метасоматической стадии формируют единую Sm-Nd-изохрону с возрастом 365 ± 44 млн лет ($\text{СКВО}=0.71$), близким (в пределах ошибки определения) возрасту клинопироксенитов и карбонатитов Вуориярви, полученному ранее Rb-Sr-методом. Это может свидетельствовать том, что рудообразующие гидротермальные флюиды I стадии являются продуктами эволюции карбонатитовых магм и их формирование происходило в близком временном интервале. Однако, Rb-Sr-изотопная система зафиксировала привнос радиогенного стронция в PЗЭ-Sr-Ba-карбонатитах, как I-ой, так и II-ой метасоматических стадий. Кроме того, установлена положительная корреляция радиогенного стронция с тяжелым кислородом, а также с содержанием железа и кремнезема, что позволило автору обосновать участие корового флюида в рудообразующих процессах и метасоматических преобразованиях ранних карбонатитов.

Замечания:

1) В разделе «Геохимия карбонатитов ...» автореферата данные по геохимии разновидностей карбонатитов представлены очень избирательно (лишь график $\text{La}_{\text{CN}}/\text{Yb}_{\text{CN}}-\Sigma\text{PЗЭ}$ - хотя и очень наглядный, но иллюстрирующий лишь фракционирование редких земель при процессах карбонатитообразования). Желательно, геохимические данные представлять и в виде спайдер-диаграмм и хондритнормализованных содержаний PЗЭ, так как они позволяют проиллюстрировать весь спектр изученных элементов, позволяют сопоставить их с другими объектами, и многие из ваших выводов (например, вывод о привносе Ti, Nb и P коровыми флюидами) будут более обоснованы.

2) Автором были проведены исследования флюидных включений в поздних карбонатитах Петяйян-Вары: (1) анкилитовых, (2) бастнезитовых и (3) гибридных карбонатитах, позволившие установить состав флюида и $T = 300-350^{\circ}C$ для I-ой стадии метасоматоза, который вызвал растворение бурбанкита в ранних карбонатитах и ремобилизацию RЗЭ, Ba, Sr с последующим осаждением в баритовых и анкилитовых карбонатитах. С чем связано то, что не изучались включения в наиболее ранних - «бурбанкитовых» карбонатитах Петяйян-Вары, что позволило бы охарактеризовать начальные стадии RЗЭ-карбонатитообразования?

3) В автореферате не представлены результаты факторного анализа и масс-балансовые расчеты, проведенные автором и позволяющие в полной мере обосновать, что источником RЗЭ, Ba и Sr, концентрирующихся в редкоземельных карбонатитах Вуориярви, были только ранние карбонатиты магматической стадии. Так как в процессах их метасоматических преобразований на основании полученных изотопных данных предполагается участие корового флюида, а также сделан вывод о привносе коровыми флюидами других рудных компонентов Ti, Nb и P, извлеченными из вмещающих силикатных пород (йолитов и мельтейгитов), остается вопрос о возможности извлечения и привноса и редкоземельных элементов этими флюидами. Также, хотелось бы заметить, что источником RЗЭ, Ba и Sr, которые извлекаются при метасоматических преобразованиях ранних карбонатитов, могут служить не только Sr-REE-карбонаты (бурбанкит, анкилит), как предполагает автор, но и кальцит ранних стадий карбонатитообразования, обычно также обогащенный Sr и RЗЭ. При этом, все вышесказанное не отрицает значимости и достоверности полученных автором результатов и выводов.

В заключение, хотелось бы отметить, что в настоящее время назрела необходимость анализа и сопоставления процессов RЗЭ-карбонатитообразования в ультраосновных щелочных комплексах внутриплитных обстановок, представителями которых являются карбонатиты массива Вуориярве, с редкоземельными карбонатитами складчатых областей, с которыми связаны крупнейшие месторождения редких земель (Баян-Обо, Китай; Маунтин-Пасс, США и др). Хотелось бы надеяться, что автор диссертации сможет в дальнейшем провести сопоставления и обобщения, позволяющие объяснить различные масштабы редкоземельного рудообразования в карбонатитовых комплексах различных геодинамических обстановок.

Представленная диссертационная работа является квалифицированным научным исследованием, основана на представительном геологическом материале, насыщена фактическим материалом, хорошо изложена и проиллюстрирована. Достоверность полученных результатов и её практическая значимость не вызывает сомнения. Результаты работы опубликованы в высокорейтинговых международных журналах и многократно докладывались на российских и международных конференциях.

Диссертационная работа «РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ КАРБОНАТИТЫ МАССИВА ВУОРИЯРВИ (КОЛЬСКАЯ ЩЕЛОЧНАЯ ПРОВИНЦИЯ): ПЕТРОЛОГИЯ И РУДОГЕНЕЗ» отвечает требованиям ВАКа, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Фомина Е.Н. заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по 1.6.3 – Петрология, вулканология и 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Ведущий научный сотрудник
Лаборатория геохимии и рудообразующих процессов,
Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого
Уральское Отделение Академии Наук
620010 Екатеринбург, ул. академика Вонсовского 15
Телефон: +7-9122151692
E-mail: vladi49@yandex.ru; nedosekova@igg.uran.ru

Недосекова Ирина Леонидовна



28.02.2023

Я, Недосекова Ирина Леонидовна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Подпись Недосекова И.Л.
Зав. общим отделом

