



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Геологического института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук",**

Диссертация Фоминой Екатерины Николаевны "Редкоземельные карбонатиты массива Вуориярви (Кольская щелочная провинция): петрология и рудогенез" выполнена в лаборатории минерации Арктики № 52 Геологического института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГИ КНЦ РАН).

В период подготовки диссертации Фомина Екатерина Николаевна работала младшим научным сотрудником лаборатории минерации Арктики № 52 ГИ КНЦ РАН.

В 2011 году Фомина Екатерина Николаевна окончила Санкт-Петербургский государственный университет. В период с 2011 по 2016 гг. обучалась в очной аспирантуре Геологического института Кольского научного центра Российской академии наук (ГИ КНЦ РАН) по специальности 25.00.04 "Петрология, вулканология" (Приказ ГИ КНЦ РАН о зачислении в аспирантуру от 31.10.2011 г. № 283/л-г; зачислена с 01.11.2011 г.; отчислена в связи с окончанием срока обучения 22.07.2016 г., приказ от 21.07.2016 № 9/ас).

За время обучения в аспирантуре ГИ КНЦ РАН Фомина Екатерина Николаевна сдала кандидатские экзамены по следующим дисциплинам: история и философия науки 15.06.2013 г. с оценкой "отлично", иностранный язык (английский) 15.05.2012 г. с оценкой "хорошо", специальность 25.00.04 "Петрология, вулканология" 20.04.2016 г. с оценкой "отлично" и специальность 1.6.10 "Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,

минерагения" 22.11.2022 г. с оценкой "отлично". Справка об обучении и сданных кандидатских экзаменах № 33/2022 выдана 27.10.2022 г. в Геологическом институте – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук». Кандидатский экзамен по специальности 1.6.10 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения сдан 22.11.2022 г. в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Федеральном исследовательском центре «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН), куда Фомина Екатерина Николаевна была прикреплена для сдачи экзамена и получила оценку "отлично". Справка о сданном экзамене № 186-05/18 выдана 24.11.2022 г. в ФИЦ КНЦ РАН.

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук Арзамасцев Андрей Александрович, ведущий научный сотрудник ИГГД РАН.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

**Актуальность темы исследования** определяется тем, что редкоземельные элементы являются основным стратегическим сырьем, имеющим критическое значение для многих отраслей промышленности, поэтому возрастает интерес к исследованию источников и условий образования месторождений этих элементов. В связи с этим проведение комплексного геологического-минералогического изучения редкоземельных карбонатитов каждого нового проявления с применением современных методик исследования является весьма актуальной научной задачей, имеющей важное значение как для фундаментальной, так и для прикладной геологии.

**Основной целью работы** является определение источников вещества и реконструкция стадий образования карбонатитов массива Вуориярви, оценка характера флюидной переработки этих пород и выявление главных факторов накопления и перераспределения в них редкоземельных элементов и, как итог, создание согласованной модели образования редкоземельных карбонатитов массива Вуориярви.

**Круг решаемых задач** сводится к следующим: 1) Изучение геологического строения карбонатитовых тел массива Вуориярви; 2) Петрографо-минералогическая и геохимическая характеристика редкоземельных карбонатитов и комплементарных им пород массива для установления основных разновидностей карбонатитов и стадийности их становления; 3)

Выявление минералогических, геохимических и изотопно-геохимических индикаторов хода эволюции карбонатитов путём сопоставления результатов комплекса современных методов исследования; 4) Определение химических и температурных параметров флюидного режима на различных стадиях формирования пород путём рамановского и термометрического изучения флюидных включений; 5) Оценка привноса-выноса компонентов в ходе метасоматических преобразований для определения их масштаба и направленности процессов; 6) Создание генетической модели формирования редкоземельных карбонатитов массива.

**Оценка выполненной соискателем работы.** В диссертационном исследовании Фоминой Екатерины Николаевны "Редкоземельные карбонатиты массива Вуориярви (Кольская щелочная провинция): петрология и рудогенез" впервые для карбонатитов поля Петяйян-Вара проведены комплексные петрографические, минералогические и геохимические исследования, включая изучение изотопных составов Sr-Nd и C-O в породах. Приведён масс-балансовый расчёт метасоматического образования наиболее широко распространённых поздних карбонатитов и разработана новая методика статистического сопоставления рентгеновских и геохимических данных. По совокупности полученных результатов предложена согласованная модель образования редкоземельных карбонатитов Вуориярви, которая может быть эффективно экстраполирована на другие сходные объекты.

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, соответствующей требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

По теме диссертации опубликовано 14 работ, из них в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ и приравненных к ним 8, что подтверждает достаточность апробации исследования.

Диссертация может быть представлена в совет по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

#### **Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.**

В основе диссертации лежат авторские материалы, собранные во время полевых работ в период 2015–2020 гг. на территории Мурманской области в пределах массива Вуориярви, а также обобщение литературных данных. Личный вклад автора заключается в первичной подготовке каменного материала (изготовлении петрографических шлифов, аншлифов и навесок для геохимических и изотопных исследований); петрографическом описании образцов; проведении рамановских, EBSD и микрозондовых исследований; выполнении

статистического и масс-балансового (изоконного) анализа с разработкой оригинальных методик; обработке полученных минералогических, геохимических и изотопных данных; анализе, интерпретации и опубликовании всех полученных результатов.

**Степень достоверности результатов проведённых исследований.** Основные положения и выводы работы основываются на достаточном фактическом материале, полученном автором, а также из литературных данных. Для решения поставленных проблем в работе был использован широкий комплекс методов изучения пород и минералов. Химические анализы пород выполнены в ГИ КНЦ РАН. Определения редких элементов методом ICP-MS проводились в ИППЭС КНЦ РАН. Минералогические исследования, включая рентгеноструктурный анализ, проводились в РЦ "Геомодель", ГИ КНЦ РАН и СПбГУ. Изотопный состав С и О определялся в ГИН РАН. В ИГГД РАН проводился Sm-Nd и Rb-Sr анализ проб. Работы по исследованию флюидных включений проводились в ИГМ СО РАН и МГУ.

Полученные автором результаты вошли в отчёты по темам научно-исследовательских работ в рамках госзадания Минобрнауки ГИ КНЦ РАН и проектам Российского научного фонда.

**Наиболее существенные результаты, полученные лично автором диссертации, и их научная новизна.** В результате проведённых исследований автором получены принципиально новые сведения о минералогии и геохимии уникальной ассоциации практически значимых редкоземельных карбонатитов, выявлены петрологические и минералогические индикаторы образования и эволюции карбонатитов, определено место редкоземельного оруденения в истории становления карбонатитов, установлены механизмы концентрирования редкоземельных элементов в ходе магматического процесса и на позднемагматических стадиях преобразования пород, предложена согласованная модель образования редкоземельных карбонатитов массива Вуориярви. Разработанная модель вносит вклад в понимание эволюции щелочно-карбонатных комплексов на поздних стадиях их формирования. Проведённый в работе анализ условий накопления и перераспределения РЗЭ в исследуемых карбонатитах может способствовать созданию дополнительных критериев для поиска и разведки объектов с редкоземельным оруденением и выбору действенных поисковых инструментов.

**Практическая значимость проведенного исследования.** В работе установлен механизм формирования руд, определяющий структурный контроль разных типов минерализации РЗЭ, что способствует подбору эффективных поисковых инструментов как при разведке в пределах массива Вуориярви, так и при поиске схожих объектов в мире. Разработаны и апробированы оригинальные авторские методики статистического сопоставления рентгеновских и геохимических данных и масс-баланса комплементарных метасоматических процессов, которые могут быть применены на широком спектре геологических объектов.

**Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем.** Результаты исследования и основные защищаемые положения в полной мере отражены в 8 статьях в ведущих научных журналах (БАК, Web of Science, Scopus):

Kozlov E.N., Fomina E.N. Mass balance of complementary metasomatic processes using isocon analysis // *MethodsX*. – 2022. – 9. doi:10.1016/j.mex.2021.101609

Fomina E.N., Kozlov E.N. Stable (C, O) and radiogenic (Sr, Nd) isotopic evidence for REE-carbonatite formation processes in Petyayan-Vara (Vuoriyarvi massif, NW Russia) // *Lithos*. – 2021. – 106282. doi:10.1016/j.lithos.2021.106282

Kozlov E., Skiba V., Fomina E., Sidorov M. Noble gas isotopic signatures of sulfides in carbonatites of the Vuoriyarvi alkaline-ultrabasic complex (Kola Region, NW Russia) // *Arabian Journal of Geosciences*. – 2021. – 14(17). doi:10.1007/s12517-021-07884-9.

Kozlov E., Fomina E., Sidorov M., Shilovskikh V., Bocharov V., Chernyavsky A., Huber M. The Petyayan-Vara Carbonatite-Hosted Rare Earth Deposit (Vuoriyarvi, NW Russia): Mineralogy and Geochemistry // *Minerals*. – 2020. – 10(1). – 73. doi:10.3390/min10010073.

Prokopyev I., Kozlov E., Fomina E., Doroshkevich A., Dyomkin M. Mineralogy and Fluid Regime of Formation of the REE-Late-Stage Hydrothermal Mineralization of Petyayan-Vara Carbonatites (Vuoriyarvi, Kola Region, NW Russia) // *Minerals*. – 2020. – 10(5). – 405. doi:10.3390/min10050405.

Fomina E., Kozlov E., Ivashevskaja S. Study of diffraction data sets using factor analysis: a new technique for comparing mineralogical and geochemical data and rapid diagnostics of the mineral composition of large collections of rock samples // *Powder Diffraction*. – 2019. – 34(S1). – S59–S70. doi:10.1017/s0885715619000435.

Kozlov E., Fomina E., Sidorov M., Shilovskikh V. Ti-Nb Mineralization of Late Carbonatites and Role of Fluids in Its Formation: Petyayan-Vara Rare-Earth Carbonatites (Vuoriyarvi Massif, Russia) // *Geosciences*. – 2018. – 8(8). – 281. doi:10.3390/geosciences8080281.

Козлов Е.Н., Фомина Е.Н., Сидоров М.Ю., Киркин В.В. Генезис апокарбонатитовых титанистых метасоматитов редкоземельного рудопроявления Петяйян-Вара (Вуориярви, Кольский регион) // *Вестник МГТУ*. – 2018. – Т. 21. – № 1. – С. 37-50. doi:10.21443/1560-9278-2018-21-1-37-50.

Результаты исследований по теме работы докладывались и обсуждались на 6 конференциях мирового уровня, таких как «Щелочной магматизм Земли и связанные с ним месторождения стратегических металлов» (Миасс, 2017 г., Москва, 2018 г. и Санкт-Петербург, 2019 г.); «16-я европейская конференция по порошковой дифракции – EPDIC-16» (Эдинбург, Великобритания, 2018 г.); «Генеральная ассамблея Европейского союза геонаук – EGU-2020» (Вена, Австрия, 2021); «Goldschmidt-2021» (Лион, Франция, 2021).

**Соответствие научной специальности и отрасли науки.** Диссертация "Редкоземельные карбонатиты массива Вуориярви (Кольская щелочная провинция): петрология и рудогенез" Фоминой Екатерины Николаевны соответствует научным специальностям 1.6.3 – Петрология, вулканология и 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Диссертация соответствует требованиям, установленным п. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней» утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями).

Диссертация "Редкоземельные карбонатиты массива Вуориярви (Кольская щелочная провинция): петрология и рудогенез" Фоминой Екатерины Николаевны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям 1.6.3 – Петрология, вулканология и 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

В диссертации отсутствуют заимствованные материалы без ссылок на их авторов и источники заимствования. Результаты научных работ, выполненных Фоминой Екатериной Николаевной в соавторстве, имеют необходимые указания на соавторов.

Заключение рассмотрено и принято на заседании учёного совета Геологического института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Федерального исследовательского центра "Кольский научный центр Российской академии наук", на котором были рассмотрены диссертация, рецензии на неё от заведующей лабораторией геологии докембрия ГИ КНЦ РАН, д.г.-м.н. Т.В. Каулиной и заведующей лабораторий физических методов исследования пород, руд и минералов ГИ КНЦ РАН, к.г.-м.н. Е.А. Селивановой, а также проект данного заключения.

В заседании приняли участие 4 доктора геолого-минералогических наук, 10 кандидатов геолого-минералогических наук, 1 кандидат географических наук.

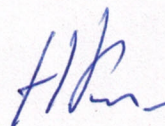
Присутствовали на заседании 15 членов совета

Результаты голосования:

"за" – 15, "против" – 0, "воздержалось" – 0.

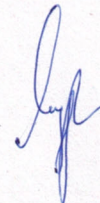
Протокол № 11, п. 2 от 8 декабря 2022 г.

Председатель Учёного совета ГИ КНЦ РАН,  
директор ГИ КНЦ РАН,  
д.г.-м.н., проф.



Н.Е. Козлов

Секретарь Учёного совета ГИ КНЦ РАН,  
учёный секретарь ГИ КНЦ РАН  
к.г.-м.н.



С.В. Мудрук