

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.050.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ И МИНЕРАЛОГИИ ИМ. В.С. СОБОЛЕВА СИБИРСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20 марта 2023 г. № 03/7

О присуждении **Фоминой Екатерине Николаевне**, гражданке РФ, ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Диссертация **«Редкоземельные карбонатиты массива Вуориярви (Кольская щелочная провинция): петрология и рудогенез»** по специальностям 1.6.3 – «петрология, вулканология» и 1.6.10 – «геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения», принята к защите 11 января 2023 г., протокол № 03/1 диссертационным советом 24.1.050.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3) приказ МИНОБРНАУКИ № 105/нк от 11.04.2012 г.

Соискатель **Фомина Екатерина Николаевна**, 1988 года рождения, в 2011 году окончила магистратуру геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета по специальности «геология» со специализацией «геология месторождений твердых полезных ископаемых». В 2016 году окончила очную аспирантуру при Геологическом институте – обособленном подразделении ФГБУН ФИЦ «Кольский научный центр Российской академии наук» по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология».

Диссертация выполнена в Геологическом институте – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральном исследовательском центре «Кольский научный центр РАН».

Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук **Арзамасцев Андрей Александрович**, ведущий научный сотрудник лаборатории геологии и геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохронологии докембрия Российской академии наук.

Официальные оппоненты: **Никифоров Анатолий Викторович**, доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – «петрология, вулканология», ведущий научный сотрудник лаборатории редкометального магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН; **Избродин Иван Александрович**, кандидат геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – «геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения», старший научный сотрудник лаборатории рудоносности щелочного магматизма Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение

науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН), г. Москва в своем положительном заключении, подписанном **Когарко Лией Николаевной**, академиком РАН, доктором геолого-минералогических наук, заведующей лабораторией геохимии и рудоносности щелочного магматизма и **Сорохтиной Натальей Владиславовной**, кандидатом геолого-минералогических наук, старшим научным сотрудником лаборатории геохимии и рудоносности щелочного магматизма, указала, что диссертационная работа Фоминой Е.Н. является законченным научным исследованием, в котором получены новые оригинальные геологические, петролого-минералогические, геохимические и изотопные данные для перспективных на РЗЭ пород участка Петяйян-Вара; впервые для редкоземельных карбонатитов позднего магматическо-карботермального генезиса описаны механизмы концентрации РЗЭ и предложена модель формирования редкоземельного месторождения. Соискатель имеет 14 опубликованных работ по теме диссертации, в том числе 8 статей, опубликованных в рецензируемых научных изданиях:

1. 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. Vol. 8. № 8. P. 281. DOI: 10.3390/geosciences8080281.

2. 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.

3. 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. Vol. 34. № S1. P. S59–S70. DOI: 10.1017/s0885715619000435.

4. 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. Vol. 10. № 1. P. 73. DOI: 10.3390/min10010073

5. 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. Vol. 10. № 5. P. 405. DOI: 10.3390/min10050405.

6. 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. Vol. 398-399. P. 106282. DOI: 10.1016/j.lithos.2021.106282

7. 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. Vol. 14. № 17. DOI: 10.1007/s12517-021-07884-9.

8. Kozlov E. N., Fomina E. N. Mass balance of complementary metasomatic processes using isocon analysis // *MethodsX*. 2022. Vol. 9. P. 101609. DOI: 10.1016/j.mex.2021.101609.

На диссертацию и автореферат поступило 12 отзывов (все положительные, из них

один без замечаний) от: 1) Врублевского В.В., д.г.-м.н., доцента, заведующего кафедрой динамической геологии ФГАОУ ВО НИ «Томский государственный университет»; 2) Ермолаевой В.Н., к.г.-м.н., старшего научного сотрудника лаборатории синтеза и модифицирования минералов ФБГУП «Институт экспериментальной минералогии им. академика Д.С. Коржинского РАН»; 3) Кашина С.В., к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника отдела металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского»; 4) Котовой И.К., к.г.-м.н., доцента кафедры геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», и Алексеева И.А., к.г.-м.н., доцента, заведующего кафедрой геологии месторождений полезных ископаемых ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»; 5) Лихникевич Е.Г., д.г.-м.н., главного научного сотрудника технологического отдела и Томашева А.В., ведущего специалиста отдела урана и редких металлов ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского»; 6) Недосековой И.Л., к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ФГБУН «Институт геологии и геохимии им. академика Заварицкого УрО РАН»; 7) Носовой А.А., д.г.-м.н., главного научного сотрудника ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН»; 8) Паниной Л.И., к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника, Исаковой А.Т. и Рокосовой Е.Ю., к.г.-м.н., научных сотрудников лаборатории термобарогеохимии ФГБУН «Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН»; 9) Пекова И.В., д.г.-м.н., профессора, члена-корреспондента РАН, главного научного сотрудника кафедры минералогии Геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»; 10) Плечова П.Ю., д.г.-м.н., профессора РАН, директора ФГБУН «Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана РАН»; 11) Терехова Е.Н., д.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории «Тектоника консолидированной коры» ФГБУН «Геологический институт РАН»; 12) Удоратиной О.В., к.г.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории петрографии ФГБУН «Институт геологии им. академика Юшкина Коми НЦ РАН».

В отзывах отмечается актуальность и высокий научный уровень исследований, аргументированность защищаемых положений, представительный объем фактического материала, полученного с применением традиционных и современных методов исследований. Подчеркивается значимый вклад работы в реконструкцию эволюции флюидной системы в карбонатитах, создания цельной картины формирования редкоземельных месторождений и общей концепт-модели карбонатитогенеза. Дается высокая оценка результатам исследованиям флюидных включений, радиогенных и стабильных изотопов в метасоматизированных карбонатитах.

Основные замечания и комментарии по автореферату и диссертации касаются: 1) недостаточного обоснования выделения типов исследуемых пород и описания их объемных соотношений (ведущая организация, официальные оппоненты Никифоров А.В. и Избродин И.А., Котова И.К. и Алексеев И.А.); 2) изложения проблемы стадийности формирования карбонатитов Кольской щелочной провинции (ведущая организация); 3) детальности описания в автореферате пород и текстурно-структурных

взаимоотношений минералов (Врублевский В.В., Котова И.К. и Алексеев И.А, Панина Л.И., Исакова А.Т и Рокосова Е.Ю.); 4) отсутствия спайдер-диаграмм, и результатов масс-балансовых расчетов в автореферате (Недосекова И.Л.); 5) вопросов распределения РЗЭ в породах и минералах (Недосекова И.Л., Панина Л.И., Исакова А.Т и Рокосова Е.Ю, официальный оппонент Никифоров А.В); 6) интерпретации изотопных данных (официальный оппонент Никифоров А.В., Врублевский В.В., Носова А.А.; 7) отсутствия данных по включениям в карбонатитах магматического происхождения (Плечов П.Ю., Панина Л.И., Исакова А.Т и Рокосова Е.Ю.; Недосекова И.Л.); 8) деталей использования факторного анализа и полноты раскрытия результатов его применения (официальные оппоненты Никифоров А.В. и Избродин И.А); 9) объяснения происхождения ранних карбонатитов (Кашин С.В., Котова И.К. и Алексеев И.А.); 10) связи карбонатитов с основной частью щелочной интрузии (Терехов Е.Н.).

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что Никифоров А.В. и Избродин являются признанными экспертами в области исследования щелочных комплексов с карбонатитами, их петрологии и рудоносности, имеют ряд публикаций в соответствующей данной сфере исследования и способны объективно оценить работу.

Выбор ведущей организации (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Ордена Ленина и Ордена Октябрьской Революции Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)) обосновывается тем, что направление научно-исследовательской деятельности лаборатории геохимии и рудоносности щелочного магматизма данного Института полностью соответствуют тематике диссертации, а ее сотрудники имеют колоссальный опыт изучения объектов Кольской щелочной провинции.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Разработана модель формирования редкоземельных карбонатитов массива Вуориярви; **определены** условия рудогенеза на разных этапах магматической и постмагматической эволюции карбонатитовой системы с оценкой температуры и состава флюидов; **обосновано** участие в минералообразовании на метасоматических стадиях двух типов флюидов (сульфатно-карбонатного и хлорид-гидрокарбонатного) и перераспределение Ba, Sr и редких земель под воздействием магматогенно-коровых (на стадии рудоконцентрирования) и коровых (на стадии разубоживания руд) флюидов; **доказано**, что ранние магматогенные карбонатиты Вуориярви являются продуктом изотопно деплетированного мантийного источника.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что доказаны следующие положения:

1. Бурбанкитсодержащие карбонатиты участка Петяйян-Вара образовались в результате внедрения карбонатитового расплава с высокими концентрациями редкоземельных элементов, бария и стронция. Данные породы претерпели две стадии метасоматических преобразований: главную стадию концентрирования и рудоотложения РЗЭ, в течение которой сформировались карбонатиты, богатые баритом и анкилитом, и стадию разубоживания редкоземельных руд, в ходе которой возникли карбонатиты с бастнезитом и стронцианитом.

2. Формирование анкилитовых руд Вуориярви протекало под влиянием

высококонтрированного флюида, состав которого эволюционировал от сульфатного до карбонатного на фоне снижения температуры от 350 °С до 250 °С. Образование бастнезитовых руд происходило при температуре 100 °С – 250 °С при участии низкоконцентрированного флюида, состав которого эволюционировал от хлорид-гидрокарбонатного до хлоридного.

3. Карбонатитовый расплав был продуктом изотопно деплетированного мантийного источника и не был контаминирован коровым веществом. Анкилитовые карбонатиты образовались непосредственно после карбонатитового магматизма под воздействием смеси корового и ортомагматического флюидов. Формирование бастнезитовых руд стало следствием поздней переработки анкилитовых карбонатитов флюидом корового происхождения.

Применительно к проблематике диссертации результативно использован комплекс современных методов: геологических, минералогических, петрографических, геохимических, термобарогеохимических и изотопных. В процессе работы изучено более 200 петрографических шлифов, аншлифов и полированных пластинок, получено и проанализировано более 300 рамановских спектров минералов, методами EDS и WDS выполнено более 230 определений химических составов минералов, в 10 препаратах выполнено исследование методом дифракции отражённых электронов (EBSD). Для 46 валовых проб карбонатитов проведены рентгенодифракционные анализы (XRPD), определены содержания петрогенных (методами мокрой химии) и редких (методом ICP-MS) элементов и изучен изотопный состав углерода и кислорода. Для 26 проб карбонатитов проведены изотопные исследования Rb, Sr, Sm и Nd. В минералах 8 образцов карбонатитов исследованы флюидные включения. На основе комбинированного массива данных по 43 образцам карбонатитов проведен факторный анализ, для 6 образцов выполнены масс-балансовые расчеты перераспределения элементов между породами в ходе метасоматических процессов.

В диссертационной работе **обобщены опубликованные и изложены новые данные** по геологической позиции, минералогическим, геохимическим и изотопным характеристикам карбонатитов щелочно-ультраосновного комплекса Вуориярви; **проведена модернизация** изоконного метода масс-баланса для определения массовых пропорций между материнской породой и образующимися метасоматитами; **определены температуры и состав флюидов** на разных этапах преобразования карбонатитов; **дана характеристика источников вещества и проведено сравнение с другими карбонатитовыми проявлениями Кольской щелочной провинции и мира.**

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что полученные знания о карбонатитах массива Вуориярви, условиях и связанных с ними редкоземельных руд создают основу для подбора эффективных поисковых инструментов при разведке и поиске карбонатитовых редкоземельных месторождений. Разработанная авторская методика статистического сопоставления рентгеновских и геохимических данных может найти практическое применение для экспрессной идентификации минерального состава пород в обширных выборках проб.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты

аналитических работ получены с помощью современного сертифицированного оборудования. Химический состав минералов определен методами EDS на спектрометре Oxford X-Max 20 в РЦ «Геомодель» СПбГУ и WDS на спектрометре Cameca MS 46 в ГИ КНЦ РАН. Рамановские спектры минералов получены с использованием спектрометра Jobin-Yvon LabRam HR800 в РЦ «Геомодель» СПбГУ. Исследование методом дифракции отражённых электронов выполнено при помощи сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N, оборудованного детектором Oxford HKLNordlys EBSD в РЦ «Геомодель» СПбГУ. Микротермометрические анализы выполнены с использованием термодриокамеры Linkam TH-MSG-600в лаборатории термобарогеохимии ИГМ СО РАН. Для определения особенностей состава флюидных включений использовался рамановский спектрометр LabRam HR800 Horiba Jobin Yvon, ИГМ СО РАН. Содержания петрогенных компонентов определены методами мокрой химии в химико-аналитической лаборатории ГИ КНЦ РАН. Анализ концентраций редких элементов проведен методом ICP-MS на квадрупольном масс-спектрометре ELAN 9000 DRC-с в ИХТРЭМС КНЦ РАН. Рентгеновские дифрактограммы валовых проб пород получены с помощью дифрактометра RigakuMiniFlex II в РЦ "Рентгенодифракционные методы исследования" СПбГУ. Изотопный состав углерода и кислорода определен с использованием автосамплера Finnigan MAT GasBench II и масс-спектрометра Delta V Advantage Thermoelectron в ГИН РАН. Изотопные составы Rb, Sr, Sm и Nd определены на многоколлекторном масс-спектрометре Triton, ThermoFisher в ИГГД РАН.

Теория построена на результатах комплексного изучения карбонатитов Вуориярви. Идеи диссертации базируются на общепринятых моделях формирования карбонатитов и их редкоземельных разновидностей [Anenburg et al., 2020; Bell, 2001; Ernst, Bell, 2010; Jones et al., 2013; Mitchell, 2005; Wall and Zaitsev, 2004; Woolley and Bailey, 2012; Woolley and Kjarsgaard, 2008 и др.]. В работе использовано сравнение результатов авторского исследования с литературными данными по условиям формирования связанных с карбонатитами редкоземельных месторождений и рудопроявлений России и мира [Andersen et al., 2017, 2016; Chakhmouradian et al., 2017; Giovannini et al., 2017; Broom-Fendley et al., 2017; Dalsin et al., 2015; Trofanenko et al., 2016; Zaitsev et al., 1998; Cooper et al., 2015; Moore et al., 2015; Doroshkevich et al., 2009; Liu and Hou, 2017; Nadeau et al., 2015; Prokopyev et al., 2016 и др.]. Установлена согласованность результатов, полученных соискателем, с данными по минеральным ассоциациям эталонных редкоземельных месторождений анкилитовых и бастнезитовых карбонатитов. Полученные данные не противоречат общеизвестным фактам, являются научно-обоснованными и аргументированными. Используются современные методики анализа минералов, геохимии пород, изотопных систем и флюидных включений. Соискателем были изучены более 100 образцов карбонатитов и вмещающих их силикатных пород участков Петяйян-Вара и Неске-Вара, отобранных автором в ходе полевых работ на массиве Вуориярви в 2015–2020 гг., и более 200 петрографических шлифов, аншлифов и полированных пластинок.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в экспедиционных работах, в подготовке образцов для петрографических, геохимических и изотопных исследований, проведении минералого-петрографических исследований,

математической обработке аналитических данных, а также в разработке петрогенетической модели формирования карбонатитов комплекса Вуориярви. Совместно с соавторами проведена интерпретация полученных данных, написаны тексты статей, тезисов и материалов конференций. Результаты исследований обсуждались на всероссийских и международных конференциях и опубликованы в 14 работах.

На заседании 20.03.2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Фоминой Е.Н. ученую степень кандидата геолого-минералогических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.6.3 и 8 докторов наук по специальности 1.6.10, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных - 0.

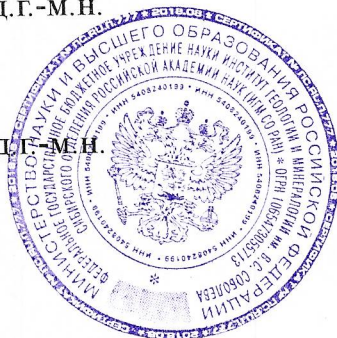
Председатель

диссертационного совета, д.г.-м.н.

Ученый секретарь

диссертационного совета, д.г.-м.н.

22.03.2023 г.



А.Э. Изох

О.М. Туркина