

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Евгения Леонидовича Кунаккузина
**«ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ
ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО БАЗИТОВОГО МАССИВА
МОНЧЕТУНДРА (СЕВЕРО-ВОСТОК ФЕННОСКАНДИНАВСОГО
ЩИТА)»**

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-
минералогических наук по специальности **1.6.3 – Петрология,
вулканология**

Представленная оппоненту на отзыв работа посвящена изучению базитового магматизма палеопротерозойского этапа (2.50 – 2.45 млрд лет), который является важным периодом, проявленным в различных регионах мира. Исследователи интрузивных базитов этого возраста в Карельской, Кольской и Беломорской провинциях, а также базитовых вулканитов этого возраста в различных провинциях Фенноскандинавского щита считают, что их образование связано с мощным импульсом магматизма, обусловленного подъёмом в начале палеопротерозоя крупного мантийного плюма. Большое внимание проявленное к палеопротерозойским базитовым интрузиям Фенноскандинавского щита связано с тем, что в них часто встречается Cu-Ni-Co, Cr-Ti-V и Pt-Pd оруденения. Не менее важным является вопрос о характере источников палеопротерозойских базитовых магм. Проведённые автором диссертации новые комплексные геологические, геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические (U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr) исследования пород массива Мончетундра позволяют расширить представления о составе, строении, условиях формирования базитов и типе их мантийных источников, что определяет **актуальность данной работы.**

Фактический материал. Диссертационная работа основана на изучении Е.Л. Кунаккузиным юго-восточной части массива Мончетундра во время полевых работ в период с 2011 по 2018 годы, на материалах

предшествующих полевых исследований сотрудников Геологического института КНЦ РАН, на изучении автором работы нижних частей разреза скважины МТ-70 Pt-Pd месторождения Лойпишнюн и на данных изучения литературных источников. Автором проведено петрографическое изучение более 100 шлифов, геохимическое изучение 73 силикатных анализов, 53 определений концентраций редких и редкоземельных элементов и 34 анализов элементов платиновой группы в породах массива Мончетундра. Проведено датирование пород и минералов U-Pb и Sm-Nd методом, определение концентраций Sm, Nd, Rb и Sr и изотопного состава Nd и Sr.

Обоснованность научных выводов диссертанта обеспечивается представительностью фактического материала, использованием современных методов исследования, а также корректной и всесторонней интерпретацией результатов аналитических работ.

Результаты исследований представлены в 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК. Промежуточные результаты были представлены на 20 всероссийских и международных конференциях.

Работа хорошо структурирована и состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы, содержит 53 рисунка, 14 таблиц и 3 приложения.

Во введении сформулированы **цель и задачи исследования.**

Основной целью диссертационной работы является изучение комплексом геологических, петрологических и изотопно-геохимических методов характера взаимоотношений между главными разновидностями пород, а также выяснение вклада различных источников при выплавлении родоначальных магм для пород массива Мончетундра.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи:**

1. Изучение геологического строения юго-восточной части массива по данным полевых работ и керна скважин;
2. Комплексная петрографическая и геохимическая характеристика пород и их сравнительный анализ;

3. Установление U-Pb методом возраста трахитоидных и массивных абброидов верхней зоны и характера взаимоотношений между ними;
4. Определение возраста метаморфических преобразований пород изотопным Sm-Nd методом;
5. Изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем в породах и определение их изотопно-геохимических параметров;
6. Исследование распределения элементов платиновой группы в породах и их связь с вещественными характеристиками;
7. Интерпретация совокупности полученных данных для определения вклада различных источников исходных магм в формирование массива.

В первой главе диссертации приводится характеристика геологического строения СВ части Фенноскандинавского щита и описание по литературным данным ряда раннепротерозойских базитовых интрузий щита с таблицей данных их возрастов.

Вторая глава посвящена методам и методикам исследований, применённых в данной работе.

Третья глава наиболее информативная, так как в ней приведены основные характеристики массива Мончетундра. Она включает в себя описание геологического строения массива, петрографическую характеристику пород восточной части массива, описания характера взаимоотношений между разновозрастными группами пород массива, которые подтверждены фотографиями непосредственных соотношений пород, фотографиями шлифов пород, слагающих верхнюю часть массива, новые определения возраста, полученного автором для массивных лейкогаббро из линзы и вмещающих их трахитоидных габброноритов изотопным ID-TIMS U-Pb методом п циркону и бадалеиту, новые изотопные Sm-Nd возрасты для трахитоидных габброноритов массива Мончетундра. Определены значения величины $\epsilon Nd(t) = -1.6 \pm 0.5$, -1.7 ± 0.5 для пород массива и общая величина для массивных габброноритов -2.2 ± 0.4 . Определён возраст метаморфизма пород

верхней зоны массива Sm-Nd методом по парагенезису метаморфических минералов из массивных габброноритов, который составил 2020 ± 50 млн лет.

В четвертой главе приводится и рассматривается химический состав пород массива, который включает изучение концентраций и соотношений главных, редких и редкоземельных элементов в различных группах пород массива.

Пятая глава посвящена изучению вариаций изотопно-геохимических характеристик Nd и Sr в породах массива.

В шестой главе рассмотрены элементы платиновой группы.

В седьмой главе рассматриваются возможные условия образования и процессы ответственные за образование первичных расплавов массива Мончетундра. В этой главе приведено обсуждение разнообразных мантийных источников вещества, влияние коровой контаминации на формирование исходных расплавов и роль литосферной мантии в формировании массива.

По результатам проведённых исследований сформулированы три защищаемых положения.

1. Согласно геологическим взаимоотношениям и геохронологическим данным породы верхней зоны массива Мончетундра были сформированы в три этапа: 2.50, 2.48-2.47 и 2,45 млрд лет. К первому этапу относится образование трахитоидных габброноритов субсинхронно с породами нижней зоны, а к двум последующим – образование массивных габброноритов и габбро-пегматитов соответственно. Возраст метаморфических преобразований пород составляет около 2 млрд лет.

2. Гарцбургиты, нориты и пироксениты нижней и габбронориты верхней зон массива Мончетундра имели близкие по составу родоначальные расплавы, что отражается в сходстве редкоэлементного и Nd -Sr изотопного состава ($\epsilon Nd(t)$ от + 3.1 до -4.1 и $ISr(t)$ от 0.702 до 0,704). Геохимические и изотопные характеристики пород свидетельствуют о незначительной роли коровой контаминации в их генезисе.

3. Исходные расплавы для пород нижней и верхней зон массива Мончетундра были сформированы при плавлении деплетированного (плюмового) и геохимически обогащенного (литосферной мантии) источников, о чем свидетельствуют обогащение LREE, Nb-Ta минимум, повышенное Th/Nb отношение и вариации $\epsilon\text{Nd}(t)$ от положительных до отрицательных.

Первые два положения хорошо аргументированы, доказаны в работе и никаких возражений не вызывают. Оппонент полностью согласен с выводом диссертанта из второго защищаемого положения о незначительной роли коровой контаминации. Этот вывод является достаточно важным и подтверждается не только соотношением редких и редкоземельных элементов, на что справедливо указывает автор, но и расчетом баланса масс по главным элементам (Lobach-Zhuchenko et al., 1998; Арестова, Глебовицкий, 2005; Арестова и др., 2023). Третье защищаемое положение, о мнении оппонента, содержит некоторые дискуссионные моменты, касающаяся «деплетированного» плюмового источника и «обогащенного» источника – литосферной мантии. Автору следовало бы объяснить, что он понимает под деплетированным плюмовым источником. Мантийный источник DM является исходным для выплавления менее глубоких базальтов NMORB, а выплавки из астеносферной мантии поднятой плюмом связаны с источниками PM или DEP – глубинным деплетированным мантийным источником, менее деплетированным чем DM по величине $\epsilon\text{Nd}(t)$, существенно отличающегося от него по соотношению высокочargedных (HFS) элементов и по соотношению Nb/Y- Zr/Y расположенному в поле плюмовых источников выше линии ΔNb (Condie, 2005). Таким образом, понятие деплетированный плюмовый источник следует применять с дополнительным пояснением. Выплавки из литосферной мантии СКЛМ, расположенной над плюмом, смешиваясь с примитивным или слабо деплетированным расплавом плюма способны образовать исходные расплавы интрузии. Другие исследователи, например

Янг (Yang et al., 2016) в результате изучения изотопного состава Os в расслоенных интрузиях с возрастом 2.50-2.44 млрд лет Кольско-Норвежской и Карельской провинций Фенноскандинавского щита предположили происхождение первичных расплавов раннепротерозойских (сумийских) базитов из недеплетированного (плюмового) источника РМ с околохондритовым значением $\delta^{18}\text{O}$ и $\epsilon\text{Nd} +2.6$ и последующей коровой контаминацией. Возможно, в формировании первичных раннепротерозойских базитовых расплавов участвовали выплавки из примитивной мантии РМ и из обогащенной субконтинентальной литосферной мантии СКЛМ.

Результаты, представленные на графиках распределения редкоземельных элементов в породах верхней части массива в главе 4 не вполне соответствуют их распределению в породах, кристаллизовавшихся из расплавов производных источника DM.

Можно посоветовать автору в расчётах величины $\epsilon\text{Nd}(t)$ корово-мантийной смеси использовать не только модель Де Паоло (DePaolo, 1981), но и математическую модель двухкомпонентного смешения Б.-М. Джана (Jahn et al., 2000).

Следует отметить, что все сделанные замечания и предложения носят дискуссионный характер и являются пожеланиями для дальнейших исследований.

По мнению оппонента, представленная диссертационная работа Евгения Леонидовича Кунаккузина **«ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО БАЗИТОВОГО МАССИВА МОНЧЕТУНДРА (СЕВЕРО-ВОСТОК ФЕННОСКАНДИНАВСОГО ЩИТА)»** выполнена на высоком научном уровне, имеет теоретическую и практическую значимость. Результаты работы соответствуют пункту 1 (магматическая геология) и 2 (магматическая петрология) паспорта специальности 1.6.3 – петрология, вулканология. Работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским

диссертациям по специальности 1.6.3 петрология, вулканология. Автор диссертации Евгений Леонидович Кунакузин заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Официальный оппонент

Арестова Наталия Александровна

Доктор геолого-минералогических наук, по специальности 1.6.3 – «петрология, вулканология»

Ведущий научный сотрудник Лаборатории геологии и геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохронологии докембрия Российской Академии наук (ИГГД РАН).

Адрес: 199034, Санкт-Петербург, Набережная Макарова, д. 2

Электронная почта: narestova2009@rambler.ru

Телефон: +79213052418

Я, Арестова Наталия Александровна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

12 февраля 2024



Н.А. Арестова

