

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук», чл.-корр. РАН, д-р биол. наук
Бахмет Ольга Николаевна



« 25 » 14 вера 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Кунаккузина Евгения Леонидовича «Этапы формирования и мантийные источники палеопротерозойского базитового массива Мончетундра (северо-восток Фенноскандинавского щита)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – Петрология, вулканология

Актуальность исследования определяется потенциальной рудоносностью палеопротерозойских крупных дифференцированных интрузий, в том числе целого ряда интрузий, локализованных в Мончегорском рудном районе в северо-восточной части Фенноскандинавского щита. Изучение петрографических особенностей, элементной и изотопной геохимии пород, слагающих дифференцированные базит-гипербазитовые интрузии, оценка возраста кристаллизации и метаморфических преобразований пород позволяют оценить условия формирования и промышленную значимость рудоносных горизонтов в этих крупных магматических телах.

Целью диссертационного исследования являлось определение условий формирования массива Мончетундра, расположенного в Мончегорском рудном районе. Задачи исследования включали детальное петрографическое изучение пород в разрезе интрузива, оценку химического и изотопного состава пород с применением комплекса методов, а также оценку возраста кристаллизации и метаморфизма пород с применением геохронологических методов.

Научная новизна

Автором впервые детально проанализированы особенности внутреннего строения юго-восточной части массива Мончетундра и предложена модель его формирования.

Впервые получена оценка возраста метаморфизма пород массива Мончетундра. Комплексность проведенных исследований и сопряженность их с данными о локализации оруденения в массиве определяют возможность использования представленных в диссертации данных при прогнозных металлогенических исследованиях в регионе.

Фактический материал, использованный в работе, включает данные, полученные автором в ходе полевых работ 2011-2018 гг., а также результаты изучения керна скважины МТ-70, пробуренной в юго-восточной части массива и вскрывшей разрез нижней части интрузива. Выводы, сделанные в работе, являются результатом изучения более 100 шлифов, более 70 анализов концентраций главных и рассеянных элементов в породах, позволивших оценить их вариации в разрезе интрузива. Фактический материал включает также 35 авторских определений Sm-Nd изотопного состава валовых проб и данные Rb-Sr изотопно-геохимических исследований 24 валовых проб. Геохронологические данные, использованные в работе, включают результаты U-Pb изотопного датирования циркона методами SIMS (SHRIMP-II) и ID-TIMS и результаты проведенного автором Sm-Nd изохронного датирования проб лейкогабброноритов, габбро-анортозитов и трахитоидных габброноритов верхней и нижней зон массива.

Оформление и апробация работы

В целом, диссертация написана хорошим языком, специальная терминология используется профессионально, графические материалы наглядны и выполнены на хорошем уровне. Однако текст диссертации и автореферата содержит опечатки.

Результаты исследований, проведенных в рамках диссертационной работы, апробированы на 20-ти российских и международных конференциях.

Результаты диссертационной работы в достаточной степени изложены в 4-х статьях в изданиях из списка ВАК, в том числе, в 3-х статьях – из международных баз данных и системы цитирования Scopus, Web of Science, рекомендованных для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук.

Структура работы

Диссертация общим объемом 175 стр. состоит из семи глав, Введения и Заключение.

В **Главе 1** рассмотрены вопросы геологического строения северо-восточной части Фенноскандинавского щита, приведен обзор геологических и геохронологических данных по основному магматизму раннего палеопротерозоя на Фенноскандинавском щите, дана краткая характеристика ряда дифференцированных базит-гипербазитовых массивов, расположенных в Кольской части Фенноскандинавского щита. В этой главе обсуждается

принадлежность палеопротерозойских базитов Фенноскандинавского щита с возрастом 2.50-2.45 млрд лет к крупным магматическим провинциям Мистассини и Матачеван.

В **Главе 2** рассмотрены использованные в работе методы исследований. Следует отметить, что методы исследований описаны достаточно поверхностно, прежде всего это касается определения концентраций ЭПГ в валовых пробах, для которых не указаны ни анализирувавшиеся навески, ни методы подготовки проб к анализу. Методика и особенно погрешности измерений при выполнении Sm-Nd изотопного анализа, приведенные в этом разделе вызывают вопросы, как в количестве измерений ($N=15$), так и в оценке погрешности 0.511835 ± 18 , которые идентичны в работах разных лет разных авторов (напр., Кунаккузин и др., 2015, 2018, Недосекова и др., 2017, Лиханов, 2020).

В **Главе 3** приведена детальная геолого-петрографическая характеристика пород массива, рассмотрены вариации минерального состава пород и определены соотношения между выделенными разновидностями пород. Отдельное внимание уделено породам юго-восточной части массива и соотношению фаз внедрения в пределах интрузива. Следует отметить подход автора к изложению материала, в основу которого положены геохронологические данные. С одной стороны, этот подход обеспечил анализ большого объема имеющихся геохронологических данных и позволил автору обозначить позицию новых представленных в диссертации результатов. С другой стороны, такой подход существенно осложняет описание внутреннего строения интрузива и соотношений пород в его составе.

В **Главе 4** детально рассмотрены вариации содержаний главных и рассеянных элементов в породах массива. Описание вариаций проведено согласно геолого-геохронологической схеме строения массива, приведенной в главе 3. На основании проведенного анализа автором выявлено обогащение пород верхней зоны Ca, Al и Na относительно пород нижней зоны. Наблюдаемые более высокие содержания FeO^{tot} в породах нижней зоны автором связываются с более высокими концентрациями сульфидов в породах этой части интрузива. Большой объем геохимических данных для разных зон интрузива является одной из положительных особенностей диссертации.

Глава 5 посвящена рассмотрению изотопно-геохимических характеристик пород массива. Здесь представлен большой объем материала, включающий данные по изотопному составу Nd более чем в 70 валовых пробах, включающие авторские данные (35 проб) и литературные данные (более 40 проб). Анализ имеющихся изотопных данных показывает, что породы массива Мончетундра демонстрируют очень широкий разброс значений ϵNd_{2500} : от +3.1 до -12. Адекватность полученных данных, их прецизионность, а также зависимость вариаций от минерального состава пород, наличия в них зон вторичной переработки и пр. автором не обсуждаются.

В работе также представлены данные изотопного состава Sr в 37 валовых пробах пород массива. Породы широко варьируют по изотопному составу Sr. При этом для

дунитов отмечены максимальные вариации – от 0.690 до 0.704, что свидетельствует о нарушении изотопной системы.

В **Главе 6** представлены данные по вариациям содержаний элементов платиновой группы в разрезе интрузива, изученном в образцах скважины МТ-70. Основным недостатком представленных в работе данных по концентрациям ЭПГ является отсутствие информации о методиках измерения и подготовки проб к анализу. На основании проведенного анализа вариаций содержаний в разрезе интрузива показано, что основными концентраторами ЭПГ являются породы нижней зоны, в то время как породы верхней зоны не содержат значимых количеств ЭПГ. Максимальный рост концентраций ЭПГ в породах автор связывает с процессами поздне(пост)- магматической переработки.

В **главе 7** на основании синтеза полученных диссертантом и литературных данных предложена модель генезиса и эволюции первичных расплавов, сформировавших интрузив. Одно из основных положений представленной автором модели предполагает, что образование расплавов, сформировавших интрузив Мончетундра, обусловлено плюм-литосферным взаимодействием. При этом автором рассматривается очень широкий ряд потенциальных источников и вариантов их взаимодействия при формировании поступавших в магматические камеры расплавов. В качестве возможного «эталона» примитивных расплавов рассматриваются дайки базитов, секущие интрузив. Использование даек не представляется полностью правомерным, так как не для всех из них доказана принадлежность к возрастной группе 2.5-2.45 млрд лет, и они могут быть связаны с другими эпизодами магматической активности.

Следует отметить ряд положительных моментов в работе:

1. Автором проведено обобщение U-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr геохронологических данных по массивам северо-восточной части Фенноскандинавского щита. Составлена база изотопно-геохронологических данных для массива Мончетундра.

2. Автором получен большой объем нового фактического материала по химическому составу пород: вариациям содержаний главных, рассеянных и редкоземельных элементов, а также элементов платиновой группы в разрезе интрузива. Эти данные вносят вклад в понимание процессов эволюции расплавов и будут востребованы при изучении рудогенерирующих систем раннедокембрийских базит-гипербазитовых интрузивных комплексов.

3. Получены новые Sm-Nd изохронные возрасты для пород массива Мончетундра, которые позволяют оценить время проявления главных процессов в истории интрузива – кристаллизации из расплава – около 2500 млн лет и метаморфизма – около 2000 млн лет. Эти данные согласуются с U-Pb геохронологическими данными для циркона и геологическим строением массива. Новые геохронологические данные демонстрируют неравномерность тектоно-метаморфической переработки пород массива. Sm-Nd изохронные возрасты, совпадающие, в пределах ошибки, с U-Pb возрастами

циркона и бадделеита, свидетельствуют о низкой степени метаморфической переработки и хорошей сохранности части пород интрузива, в то время как возрасты около 2.0 млрд лет, полученные для метаморфизованных пород верхней зоны свидетельствуют о существенной переработке пород, что, несомненно, должно быть учтено при интерпретации U-Pb геохронологических данных для циркона и бадделеита в этой части интрузива и последующих геохронологических исследованиях в пределах Мончегорского рудного района.

Замечания:

1. Текст диссертации и автореферата содержит опечатки и несогласованности. В ряде случаев на диаграммах, в тексте и на рисунках приведены разные значения, например значения ϵNd для габбро-пегматитов на рис. 5.1.2 (-12.13) в тексте и в таблице (-12.08). Для образца 7/106 в тексте и на рис. 3.4.2 указано значение $\epsilon Nd = -7.6$ а в таблице 2.1 приложения приведено значение $\epsilon Nd = -2.4$

2. Вопросы региональной тектоники, хотя и не связаны напрямую с темой диссертации, важны для понимания процессов эволюции пород, в том числе для понимания влияния тектоно-метаморфических преобразований на степень переработки пород и сохранность изотопных систем минералов-геохронометров, в том числе, бадделеита и циркона. Автор, следуя традиции (Шарков и др., 2006), связывает метаморфические преобразования пород массива с крупным Мончетундровским разломом и тектонической активизацией, но не упоминает широкое проявление в северной части Фенноскандинавского щита тектоно-метаморфических процессов, связанных с формированием палеопротерозойского (около 1.93 млрд лет) Лапландско-Кольского орогена, в непосредственной близости к ядру которого расположен изученный массив.

3. Геологическое описание пород массива приводится не по разрезу, а по возрастным группам, с учетом полученных предыдущими исследователями геохронологических данных. При этом автором не проводится критический анализ результатов предшественников. С учетом дискордантности циркона и бадделеита, возрасты в интервале 2520-2490 млн лет совпадают в пределах ошибки. Значительная дискордантность циркона и бадделеита во многих изученных образцах, в том числе в пробах с возрастом около 2470 млн лет (Баянова и др., 2010) делает выделение этой возрастной группы спорным. Оценка вариаций возрастов циркона и бадделеита в зависимости от степени метаморфических преобразований пород не проведена. Автором не проведено сравнение с другими крупными интрузивами мира, например, массивами Стиллиутер и Бушвельд, продолжительность кристаллизации которых на порядок меньше (Scoates et al., 2019, 2021, Wall et al., 2018) и не обсуждаются причины столько длительной кристаллизации интрузива Мончетундра.

4. Во многих случаях диссертантом не был проведен критический анализ полученного фактического материала, а также не были критически рассмотрены материалы предшественников, поэтому ряд формулировок являются недостаточно обоснованными. Например, обсуждение значений ϵNd в валовых пробах базитов, равные -7 и -12, автором не рассматриваются критически, а возможные варианты получения таких значений не обсуждаются. Также автором констатируются, но не анализируются причины широких вариаций изотопного состава Nd породах (ϵNd от +3.1 до -4.1), они не увязаны с изменениями содержаний рассеянных элементов в породах интрузива и не дают понимания процессов эволюции расплавов, вовлечения процессов коровой контаминации или метаморфической перекристаллизации в генезис пород.

5. Предложенная автором модель формирования первичных расплавов и кристаллизации массива оригинальна. В предложенной модели обсуждается вклад источников разного состава, но не рассматриваются процессы фракционной кристаллизации расплавов, а также возможность неоднократного внедрения близких по составу расплавов в магматическую камеру и роль этих процессов в кристаллизации дифференцированного интрузива.

Заключение по диссертации

Несмотря на сделанные замечания, диссертация представляет собой законченное научное исследование. Автореферат и публикации автора отражают основное содержание диссертации. Уровень исследования соответствует квалификационным требованиям, диссертационная работа «Этапы формирования и мантийные источники палеопротерозойского базитового массива Мончетундра (северо-восток Фенноскандинавского щита)» удовлетворяет требованиям действующего положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а Евгений Леонидович Кунаккузин заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. Петрология, вулканология.

Обсуждение диссертации состоялось на расширенном заседании лаборатории геологии и геодинамики докембрия ИГ КарНЦ РАН. Отзыв на диссертацию Евгения Леонидовича Кунаккузина рассмотрен и принят в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН) 25 января 2024 года, протокол № 1. Результаты голосования: на заседании присутствовали 22 чел., проголосовали за – 22 чел., против – 00 чел., воздержались – 00 чел.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником лаборатории геологии и геодинамики докембрия Института геологии – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального

исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук» (ИГ КарНЦ РАН), кандидатом геолого-минералогических наук Степановой Александрой Владимировной и старшим научным сотрудником лаборатории геологии и геодинамики докембрия ИГ КарНЦ РАН кандидатом геолого-минералогических наук Нестеровой Натальей Сергеевной.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории геологии и
геодинамики докембрия
ИГ КарНЦ РАН, кандидат
геолого-минералогических наук
(25.00.04 – Петрология,
вулканология)



Степанова Александра Владимировна

Старший научный сотрудник
лаборатории геологии и
геодинамики докембрия ИГ
КарНЦ РАН, кандидат геолого-
минералогических наук (25.00.01
– Общая и региональная
геология)



Нестерова Наталья Сергеевна

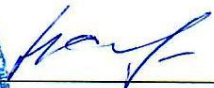
Председатель Ученого совета
КарНЦ РАН, чл.-корр., д.б.н



Бахмет Ольга Николаевна

Подписи Степановой А.В.,
Нестеровой Н.С., Бахмет О.Н.
заверяю:

Ученый секретарь КарНЦ РАН
кандидат биологических наук



Фокина Наталья Николаевна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Карельский научный центр Российской академии наук» (КарНЦ РАН)

Почтовый адрес: 185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д.11

Телефон: (8142) 766040

Сайт организации: <http://www.krc.karelia.ru/>

Адрес электронной почты: krcras@karelia.ru

«25» января 2024 года