

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института геологии –
обособленного подразделения
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Федерального исследовательского центра
«Карельский научный центр Российской
академии наук» (ИГ КарНЦ РАН)
д.г.-м.н. С.А. Светов

« 25 »

апреля

2023 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Кунакузина 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 позволяет 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 массива Мончетундра. Комплексность проведенных исследований и сопряженность с данными о локализации оруденения в пределах массива Мончетундра определяет возможность использования представленных в диссертации данных при прогнозных металлогенических исследованиях.

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 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 и содержание работы

Диссертация общим объемом 175 страниц состоит из семи глав, введения, заключения и трех приложений. Введение полностью отражает суть диссертационной работы, содержит информацию об использованном фактическом материале и апробации результатов исследований.

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

В главе 2 рассмотрены использованные в работе методы исследований. Необходимо отметить, что методы исследований описаны достаточно поверхностно, прежде всего, это касается определения концентраций ЭПГ в валовых пробах, для которых не описаны методы подготовки проб к анализу. Методика и погрешности измерений при выполнении Sm-Nd изотопного анализа вызывают вопросы в количестве измерений ($N=15$) и в оценке погрешности 0.511835 ± 18 , которые идентично представлены в работах разных лет у разных авторов (например, Кунакузин и др., 2015, 2018, Недосекова и др., 2017, Лиханов, 2020).

В главе 3 приведена детальная геолого-петрографическая характеристика пород массива, рассмотрены вариации минерального состава, определены соотношения между выделенными разновидностями пород. Особое внимание уделено породам юго-восточной части массива и соотношению фаз внедрения в пределах интрузива. Следует отметить использованный автором подход к изложению материала, в основу которого положены геохронологические данные. С одной стороны, приведен анализ большого объема имеющихся геохронологических данных, что позволило 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 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 (35 проб) и литературные данные (более 40 проб). Анализ имеющегося массива изотопных данных

показывает, что породы интрузива Мончетундра демонстрируют очень широкий разброс значений ϵNd : от +3.1 до -12. Адекватность полученных данных, их прецизионность, а также зависимость вариаций от минерального состава пород, наличия в них зон вторичной переработки не обсуждаются. В работе также представлены результаты изучения изотопного состава Sr в 37 валовых пробах, показавшие широкие вариации ISr(T) .

В главе 6 приведены данные по вариациям содержаний элементов платиновой группы в разрезе интрузива, представленном в образцах скважины МТ-70. 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 соискателем и литературных данных предложена модель генезиса и эволюции первичных расплавов, сформировавших интрузив. Одно из основных положений предложенной 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 каждой из них доказана принадлежность к возрастной группе 2.5-2.45 млрд лет, соответственно часть даек может быть связана 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 результаты 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 пород части пород интрузива, в то время как возрасты около 2.0 млрд лет, полученные для метаморфизованных пород верхней зоны свидетельствуют о существенной переработке, что несомненно должно быть учтено при интерпретации U-Pb геохронологических данных для циркона и бадделеита, а также при последующих геохронологических исследованиях в пределах Мончегорского рудного района.

Замечания:

1. В ряде случаев в тексте и на рисунках приведены разные значения. Например, для габбро-пегматитов на рис. 5.1.2 приведено значение ϵ_{Nd} -12.13, а в тексте и в таблице это значение составляет -12.08.
2. Вопросы региональной тектоники, хотя и не связаны напрямую с темой диссертации, важны для понимания процессов эволюции пород, оценки 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. В работе отсутствует сравнение с другими крупными интрузивами мира, например, массивами Стиллуотер и Бушвелд, продолжительность кристаллизации которых на порядок меньше (Scoates et al., 2019, 2021, Wall et al., 2018), не обсуждаются причины столь длительной кристаллизации интрузива Мончетундра.

4. В некоторых случаях соискателем не проведен критический анализ собственных данных и результатов предшествующих исследований, поэтому ряд формулировок являются недостаточно обоснованным. Например, не обсуждаются возможные причины получения значений ϵNd в валовых пробах базитов, равные -7 и -12. Также автором констатируются, но не анализируются причины широких вариаций изотопного состава Nd в породах (ϵNd от +3.1 до -4.1). Не обсуждается зависимость изотопного состава пород от вариаций содержаний рассеянных элементов и степени вторичных преобразований, что уменьшает возможность использования изотопных данных для понимания процессов эволюции расплавов и вовлечения процессов коровой контаминации в их генезис.
5. Предложенная автором модель формирования первичных расплавов и кристаллизации массива оригинальна. В ней обсуждается вклад мантийных 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 Кунакузин заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3. Петрология, вулканология.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником лаборатории геологии и геодинамики докембрия ИГ КарНЦ РАН, кандидатом геолого-минералогических наук Степановой Александрой Владимировной и научным сотрудником лаборатории геологии и геодинамики докембрия ИГ КарНЦ РАН кандидатом геолого-минералогических наук Нестеровой Натальей Сергеевной.

Обсуждение диссертации состоялось на расширенном заседании лаборатории геологии и геодинамики докембрия 6 апреля 2023 года. Отзыв на диссертацию Евгения Леонидовича Кунакузина рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого совета ИГ КарНЦ РАН 25 апреля 2023 года, протокол № 4.

ведущий научный сотрудник

лаборатории геологии и геодинамики докембрия ИГ КарНЦ РАН,

кандидат геолого-минералогических наук

(25.00.04 – Петрология, вулканология)

Степанова Александра Владимировна

научный сотрудник

лаборатории геологии и геодинамики докембрия ИГ КарНЦ РАН,

кандидат геолого-минералогических наук

(25.00.01 – Общая и региональная геология)

Нестерова Наталья Сергеевна

Подпись заверяю
Директор ИГ КарНЦ РАН



С. А. Светов

25.04.2023