

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Евгения Леонидовича Кунаккузина

"ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ

ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО БАЗИТОВОГО МАССИВА МОНЧЕТУНДРА (СЕВЕРО-ВОСТОК ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ЩИТА"

представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по - специальности 1.6.3 – «петрология, вулканология»

Диссертационная работа Е.Л.Кунаккузина направлена на изучение палеопротерозойского Мончетундровского ультрамафит-мафитового массива, залегающего на востоке Феноскандинавского щита на Кольском полуострове. Породы массива вмещают комплексное Cu-Ni-ЭПГ и Cr-Ti-V оруденение и месторождения. Вместе с другими рудоносными мафит-ультрамафитовыми интрузиями близкого возрастного уровня, он входит в состав крупной изверженной провинции с высоким металлогеническим потенциалом, имеющей важное экономическое значение. Мончетундровский массив имеет сложное внутреннее строение и длительную историю формирования, включающую несколько импульсов магматической активности. В последние два десятилетия на массиве активно разведывалось малосульфидное Pt-Pd месторождения Лойпишнюн, приуроченное к породам нижней части разреза интрузии. Несмотря на большой объем выполненных тематических исследований, поисковых и геологоразведочных работ с применением глубокого бурения, многие вопросы геологии массива, последовательности и условий его образования, состава первичных расплавов и металлогенической продуктивности продолжают оставаться дискуссионными. Все это определяет **актуальность** изучения этого уникального объекта, а представленная диссертационная работа Е.Л.Кунаккузина вносит заметный вклад в решение отдельных вопросов геологии, геохронологии и происхождения Мончетундровского массива.

Следует констатировать, что благодаря наличию месторождений полезных ископаемых, связанным с Мончетундровским массивом, степень его изученности очень высока. Научная литература, посвященная разным вопросам его геологии обширна и включает монографии (Расслоенные интрузии..., 2004; Шарков, 1980, 2006 и др.), многочисленные статьи в международных и российских журналах. Задача определить и сформулировать актуальные нерешенные проблемы Мончетундровского массива для диссертанта Е.Л.Кунаккузина оказалась довольно сложной. Формулировка **научной новизны** диссертационного исследования, представленная в автореферате и диссертации о том, что *"Впервые проведено комплексное петрографическое, петро-геохимическое, изотопно-геохимическое и геохронологическое изучение пород массива Мончетундра и сопоставление полученных данных по всему разрезу его юго-восточной части. Определены взаимоотношения и возраст пород верхней зоны, и возраст их метаморфических преобразований. Получены новые представительные данные по изотопному составу Nd (35 проб) и Sr (24 пробы) для пород массива которые позволили*

установить характеристики мантийного источника и его изменения во времени, а также определен вклад коровой контаминации при формировании различных групп пород." является новым лишь в части датирования метаморфических преобразований габброидов на уровне амфиболитовой фации с образованием граната, и в оценке вклада коровой контаминации в формирование различных групп пород массива. Многочисленные дополнительные данные по геохимии пород, их Nd и Sr изотопии, по геохимии элементов платиновой группы (ЭПГ) и, даже, по возрасту трахитоидных габброидов верхней зоны интрузии, в общем, соответствуют данным, опубликованным ранее в капитальной коллективной монографии 2004 года и в других работах (Расслоенные интрузии..., 2004; Баянова и др., 2010; Нерович и др., 2009; Смолькин, Макрушин, 2019; Чашин и др., 2020 и др.). Новизна авторских данных заключается в том, что они получены по другим блокам Мончетундровского массива при изучении нового кернового материала. Исходя из этого, формулировка целей и задач диссертационного исследования, частично дублируют результаты уже выполненных ранее исследований других авторов. Несмотря на это, **личный вклад** Е.Л.Кунакузина в проведение всего цикла исследований (участии в полевых работах, отбор проб, петрографическое описание пород, подготовке проб для геохимических и Sm-Nd и Rb-Sr изотопных исследований и их выполнение, обработка и интерпретация полученных геохимических и изотопных данных), заслуживает положительной оценки.

Представленная Е.Л.Кунакузиным диссертационная работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 175 страниц, включая 53 рисунка, 14 таблиц и 3 приложения. Список литературы состоит из 217 наименований, из которых 116 публикаций на русском языке, а 101 - на английском.

Глава 1. Краткая характеристика геологического строения северо-востока Феноскандинавского щита. В этой главе приведен достаточно полный систематический обзор геологии Кольского полуострова и Феноскандинавского щита, в частности. Рассмотрены этапы магматической активности этой геологической провинции, кратко охарактеризованы наиболее известные мафит-ультрамафитовые интрузии, приведен обзор геохронологических данных по региону. Принципиальных возражений этот раздел не вызывает и является достаточным для общего знакомства с геологической структурой и магматизмом этого региона.

Замечание к рис. 1.2.1, который озаглавлен "Тренды рифтогенных поясов...". Что такое тренды рифтогенных поясов?

Глава 2. Методика исследований. В разделе описаны методы и приборы, с помощью которых были получены все аналитические данные, используемые в диссертации. Класс используемого оборудования соответствует современному мировому уровню и гарантирует получение качественных результатов. Для рецензента осталось неясным с какой чувствительностью или нижним порогом обнаружения были выполнены определения элементов платиновой группы методом ICP-MS? В тексте диссертации и в таблицах в Приложении содержания ЭПГ представлены в граммах на тонну с точностью до третьего знака после запятой. Это означает, что нижний порог обнаружения ЭПГ соответствует мг/т,

что практически не достижимо методом ICP-MS. Были ли выполнены контрольные измерения содержаний ЭПГ, редких и редкоземельных элементов?

Глава 3. Геологическая характеристика массива Мончетундра. Очень большая глава, которая с подразделами имеет объем 42 страницы и может рассматриваться как специальная авторская часть диссертации. В первой части этой главы (подраздел 3.1) диссертант дал краткую характеристику географического положения Мончетундровского массива, его геометрических параметров и особенностей внутренней структуры. В ретроспективной форме Е.Л.Кунаккузин коснулся истории изучения Мончетундровского массива, акцентируя внимание на том, как разные исследователи в разные периоды трактовали его геологическое строение. Отметил, что в структуре массива исследователями выделялось от двух до четырех разных зон. По литературным данным был продемонстрирован субширотный разрез через зону сочленения Мончетундровского и Мончегорского плутонов, где было отмечено положение опорной структурной скважины М-1. Приведены геологические разрезы по скважинам М-1 и 765, которые были использованы во многих публикациях разными авторами для характеристики внутреннего строения массива и выделения разных петрологических зон. Дана детальная схема строения месторождения ЭПГ Лойпишнюн, которое относится к малосульфидному базально-структурному типу, в изучении которого диссертант принимал участие. Приведена компиляция по изотопно-геохронологическому изучению Мончетундровского массива, которая насчитывает 7 литературных источников.

Замечания: 1) Излишними в подразделе 3.1 выглядят сведения о составе руд и минералогии ЭПГ месторождения Лойпишнюн, 2) Приводя данные разных исследователей о выделении 2-х, 3-х или 4-х разных зон в массиве, диссертант принимает за основу двучленное строение разреза (*деление на нижнюю и верхнюю зоны - прим. мое*). Однако никаких новых данных для доказательства этой точки зрения автор не приводит. На самом деле, этот вопрос является одним из самых серьезных для понимания геологии и истории становления Мончетундровского массива, так как в его верхнюю зону исследователи, включая диссертанта, объединяют габброиды, возраст которых различается на 30 млн лет. Тогда возникает вопрос, как можно разные фазы внедрения, пусть и сходных по составу пород, объединять в единую верхнюю структурную зону массива? Эта неопределенность и дальше транслируется по всему тексту, 3) Еще один важный вопрос касается дунитов нижней зоны, которые по словам диссертанта образуют и слои, и тела, секущие породы нижней зоны. Е.Л.Кунаккузин предполагает, что эти дуниты могут представлять более молодое магматическое событие. Однако в работе не приведено геологических доказательств (фотографии, зарисовки, контакты, ксенолиты и тд) секущего положения дунитов, нет и изотопно-геохронологических свидетельств их более молодого возраста.

В подразделе 3.2. Геолого-петрографическая характеристика юго-восточной части массива и 3.3. Взаимоотношения между разновозрастными группами пород приведено подробное описание участка, где был собран основной объем каменного фактического материала, положенного в основу диссертационного исследования, а также, где была пробурены

скважина МТ-70, материал по которой также лег в основу работы. Раздел 3.2 сопровождается фотографиями обнажений и микрофотографиями шлифов по всем главным разновидностям пород Мончетундровского массива. В разделе 3.3 приведены результаты изотопно-геохронологических (U-Pb по циркону и бадделеиту и Sm-Nd по породам и минералам) исследований по определению возраста массивных габброноритов и трахитоидных габброноритов, объединенных в верхнюю зону. Было подтверждено 2500 млн лет возраст трахитоидных габброноритов и, примерно 2470 млн лет возраст массивных габбро, что в очередной раз свидетельствует в пользу двухфазного строения верхней зоны массива. Геохронологические исследования проведены на высоком уровне и замечаний не вызывают.

Замечания: 1) Странной выглядит последовательность подачи материала. В разделе по геологии больший объем занимает описание петрографии пород, 2) После петрографического описания пород следует раздел 3.3, где, согласно заголовку должны были быть описаны взаимоотношения между разными группами пород, хотя на фотографиях были представлены только взаимоотношения между лейкогаббро и трахитоидными габброноритами. Остальная информация о взаимоотношениях основана на изотопно-геохронологических исследованиях, 3) Петрографическое описание пород малоинформативное, хотя этот раздел мог бы стать надежной основой для последующего проведения геохимических и изотопных исследований диссертанта. Отсутствуют сведения о составе породообразующих минералов, 4) Исследователи (Шарков, 1980, 2006; Расслоенные интрузии..., 2006 и др) указывают, что в габброидах Мончетундровского массива одним из главных породообразующих минералов является пижонит или его инвертированные разновидности. Диссертант описывает "ельчатые" двойники клинопироксена, приводя микрофотографии пироксенов с явным распадом твердого раствора, но не называет этот пироксен пижонитом. 5) Подписи к микрофотографиям шлифов неинформативны, например, "Рисунок 3.2.15. Фотографии шлифов норитов" и все. Что хотел показать диссертант на этих фотографиях (структуру пород, взаимоотношения или последовательность формирования минералов, зональность и тд.), непонятно.

Подраздел 3.4 Возраст метаморфических преобразований пород верхней зоны посвящен определению изотопного возраста метаморфических трансформаций габброидов верхней зоны. Многие исследователи отмечают, что породы Мончетундровского массива подвержены метаморфизму на уровне амфиболитовой фации с образованием вторичного амфибола, граната и других минералов. Однако впервые Е.Л.Кунаккузину с использованием Sm-Nd метода по метаморфическим минералам (гранату, оксидам и плагиоклазу) удалось определить возраст этих преобразований, который составил, примерно, 2020 млн лет. Полученное значение возраста несколько отличается в более древнюю сторону от оценок в 2000-1900 млн лет, которые предполагались для возраста формирования Мончетундровского разлома (Шарков и др., 2006). Полученный результат представляет научный интерес, поскольку демонстрирует, что метаморфические преобразования габброидов могут отражать один из этапов становления интрузии и не быть связанными с проявлением разломной тектоники.

Материал, представленный в главе 3 может служить для доказательства Первого защищаемого положения.

Глава 4. Химический состав пород массива Мончетундра. В главе приведены данные по петрохимии и геохимии пород массива, причем исключительно по пробам из коллекции самого автора. Обширный петрохимический и геохимический материал других исследователей использован не был, что является недостатком работы. Следует сказать, что петрохимия является важным инструментом петрологических исследований. Вариации химического состава пород отражают закономерности дифференциации расплавов. Петрохимия не сводится к констатации того, каких компонентов в одной породе больше или меньше по сравнению с другой породой, тем более в породах разной основности и меланократовости. Автор не использовал петрохимические характеристики пород для решения принципиальных вопросов формирования Мончетундровского массива - в результате чего образовалась наблюдаемая последовательность пород и, с чем связано их петрографическое разнообразие. А также, имеются ли основания, с точки зрения петрохимии, объединять в верхнюю зону массива разновозрастные габброиды. Петрохимический анализ пород Мончетундровского массива, выполненный ранее (Расслоенные интрузии..., 2004; Чашин и др., 2020), выглядит более убедительным по сравнению с диссертационной работой Е.Л.Кунакузина. Тем не менее, авторские данные по петрохимии и геохимии являются вполне представительными, они не противоречат ранее полученным результатам других исследователей, описывают все разнообразие пород массива. Автор отмечает, что "разновозрастные породы массива характеризуются схожими геохимическими особенностями, такими как наличие Nb-Ta, Zr-Hf минимумов и Sr максимума, обогащение легкими РЗЭ, что говорит о сходстве их исходных расплавов". Наличие этих минимумов и максимумов автор интерпретирует как результат взаимодействия первичных мантийных плюмовых расплавов с материалом древней архейской коры. С другой стороны, в геохимии эти же самые характеристики рассматриваются как отражение надсубдукционного образования выплавов. Бонинитовый и коматиитовый варианты расплавов также рассматриваются автором. Бониниты можно относить к типичным островодужным образованиям. Рассматривается ли автором какой-то из вариантов привлечения субдукционной компоненты к формированию первичных расплавов Мончетундровского плутона?

Замечания: 1) Для классификации и номенклатуры пород Е.Л.Кунакузин использует диаграмму $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ по (Middlemost., 1994). Странная диаграмма со странными полями, например, "перидотитовое габбро"? В настоящее время для химической классификации магматических горных пород специалисты используют либо TAS диаграмму, рекомендованную Международным Союзом геологических наук либо Межведомственным петрографическим комитетом ОНЗ РАН, что закреплено в Петрографическом кодексе России (2008, 2009), 2) Некоторые диаграммы (рис. 4.2, 4.4) однозначно демонстрируют, что составы пород четко определяются соотношением трех минералов - плагиоклаза, оливина и ортопироксена, с минимальным влиянием клинопироксена. Их следовало бы использовать

для уточнения трендов дифференциации пород массива, чего сделано не было, 3) В разделе, петрохимии пород Мончетундровского массива автор постоянно использует термины "глиноземистость", "магнезиальность" и т.д., подразумевая под этим содержания, Al_2O_3 , MgO и т.д., что является неправильным, так как эти термины используются для определения отношений элементов, 4) Автор часто обсуждает закономерности вариаций тех или иных компонентов, например, в разрезе верхней зоны, где объединены разновозрастные габброиды, что нельзя считать корректным. Просто это разные породы со своей петрохимией и геохимией.

Глава 5. Изотопно-геохимические характеристики пород массива Мончетундра.

Глава посвящена анализу изотопных Nd-Sr характеристик пород массива Мончетундра с целью установления генетических связей между разными породами внутри массива, а также для интерпретации состава мантийного источника и влияния процессов коровой контаминации на состав расплава. Автором было убедительно показано, что ультрамафиты и габброиды нижней зоны и разновозрастные габбронориты верхней зоны имеют сходные изотопно-геохимические характеристики, свидетельствующие о их генетическом единстве. Массивные габбронориты с возрастом 2.47 млрд лет характеризуются большей вариативностью и преимущественно отрицательными значениями $\epsilon Nd(T)$, а также большим накоплением Sr, что предполагает формирование первичного расплава для этих габброидов из более обогащенного мантийного источника по сравнению с породами, имеющими возраст 2.50 млрд лет. Результаты, представленные в этой главе, частично используются для доказательства второго и третьего защищаемых положений. Принципиальных замечаний к этому разделу нет, хотя следует отметить, что предшественниками было выполнено 44 определения изотопных параметров в породах Мончетундровского массива, автор добавил к ним еще 35 определений. Насколько согласуются авторские данные с результатами ранее выполненных работ?

Глава 6. Элементы платиновой группы в породах массива Мончетундра.

Е.Л.Кунаккузиным было выполнено определение содержаний элементов платиновой группы в 34 пробах горных пород Мончетундровского массива. Автор предполагал, что эти данные можно использовать для определения условий образования пород. Большое внимание автор уделяет выяснению корреляционных зависимостей между содержаниями ЭПГ и РЗЭ. Полученные данные, свидетельствуют о преимущественно палладиевой специализации пород массива, что соответствует ранее полученным данным. Остается непонятным, как с помощью геохимии ЭПГ можно определять условия образования пород. Обычно геохимию ЭПГ используют для определения формационной принадлежности магматитов, поскольку для офиолитов, расслоенных интрузий или комплексов Урало-Аляскинского типа, она существенно различается. Геохимия ЭПГ уже была изучена как для пород Мончетундровского массива, так и для связанных с ними зон минерализации и оруденения. Какая новая задача стояла перед диссертантом при изучении геохимии ЭПГ? Что нового было получено в сравнении с уже известными данными?

Глава 7. Мантийные источники массива Мончетундра. Глава посвящена анализу изотопно-геохимических данных с целью обоснования 2-го и 3-го защищаемых положений. В целом, материал представленный в этом разделе, выглядит хорошо обоснованным. Автор обсуждает изотопные характеристики магматических пород, в том числе отрицательные и слабоположительные значения $\epsilon Nd(T)$, которые, вероятно, свидетельствуют об участии корового материала при формировании расплавов. Модельные расчеты, проведенные для оценки коровой ассимиляции, показали, что ее степень не была значительной и не превышала, по-видимому, первых процентов. Проведенный анализ изотопных характеристик иллюстрируется наглядными диаграммами. Однако, сама формулировка третьего защищаемого положения вызывает вопросы. Так, Е.Л.Кунаккузин утверждает, что *"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, повышенные Th/Nb отношения и вариации $\epsilon Nd(T)$ от положительных до отрицательных"*. Здесь явно присутствует противоречие, поскольку плюмовые источники как раз характеризуются более примитивными составами, то есть близкими к первичной мантии, а не к деплетированной. В публикациях других авторов (Чашин и др., 2020 и др.) как раз предлагается развернутая модель взаимодействия плюма и отделившихся от него коматиитовых магм с нижнекоровым материалом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Диссертационная работа Е.Л.Кунаккузина "ЭТАПЫ ФОРМИРОВАНИЯ И МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПАЛЕОПРОТЕРОЗОЙСКОГО БАЗИТОВОГО МАССИВА МОНЧЕТУНДРА (СЕВЕРО-ВОСТОК ФЕННОСКАНДИНАВСКОГО ШИТА", представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – «петрология, вулканология», является полностью законченным исследованием, соответствующим всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Цели и задачи, сформулированные в работе выполнены. Актуальность и практическая значимость исследования не вызывает сомнения. Научная новизна определяется впервые полученными изотопно-геохронологическими данными о возрасте метаморфических трансформаций амфиболитовой фации, проявленными в габброидах Мончетундровского массива, проведением расчетов и моделирования процессов коровой контаминации первичных магм плутона с архейским материалом континентальной коры Кольского региона. Результаты исследования подкреплены представительным фактическим материалом, изученным с применением современных методов геохимии и изотопной геохимии, соответствующих мировому уровню. Результаты исследований, доложены на научных конференциях разного уровня и опубликованы в журналах по списку ВАК, включая 3 статьи в центральных рецензируемых российских журналах и одной статьи в международном журнале второго квартиля по WoS. В трех этих публикациях Е.Л.Кунаккузин является первым автором. Евгений Леонидович Кунаккузин достоин

присуждения ему степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология и вулканология.

Официальный оппонент: Пушкарев Евгений Владимирович

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

И.О. заведующего Лабораторией петрологии магматических формаций, ведущий научный сотрудник, Председатель Уральского регионального Петросовета Межведомственного петрографического комитета ОНЗ РАН.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН), Лаборатория петрологии магматических формаций.

Адрес: 620016, Екатеринбург, ул. акад. Вонсовского, 15

Электронная почта: pushkarev@igg.uran.ru

Телефон: 8-9126043802

Я, Пушкарев Евгений Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

5 февраля 2024

Подпись Пушкарева Евгения Владимировича заверяю



Е.В.Пушкарев

