

О Т З Ы В

официального оппонента на диссертацию Мельника Алексея Евгеньевича

«Эклогиты северо-западной части Беломорского подвижного пояса:

геохимическая характеристика и время метаморфизма»,

представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук
по специальности 25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных
ископаемых

Диссертационная работа Мельника Алексея Евгеньевича посвящена комплексному изучению эклогитов северо-западной части Беломорского подвижного пояса Фенноскандинавского щита на основе детальной геохимической характеристики изучаемых пород и включает большой объем изотопно-геохронологических данных по разным (U-Pb (SHRIMP-II), Sm-Nd и Lu-Hf) систематикам для породообразующих и акцессорных минералов (клинопироксена, граната, циркона) и породе в целом.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и содержит 196 страниц, 67 рисунков и 32 таблицы, список литературы из 228 наименований. Диссертационная работа включает 3 защищаемых положения, очень четко написаны пункты актуальности работы, целей и задач исследований, представлено много фактического материала и приведены данные по изотопным методам исследований, также включая U-Pb систематику и данные SHRIMP-II, Sm-Nd и Lu-Hf изотопию, пункты научной новизны и практической значимости. Результаты диссертационного исследования адекватно отражены в 10 статьях в журналах из перечня ВАК, широко представлены в материалах конференций и тезисах докладов. Исследования Мельника А.Е. были поддержаны 3 грантами РФФИ, 2 проектами Минобрнауки РФ, определение состава минералов и диагностика микроструктур были проведены на электронном микроскопе JEOL-JSM-6510 LA с энергодисперсионным спектрометром JED-2200 (JEOL) в ИГГД РАН (г. Санкт-Петербург), геохимические особенности минералов по редким и редкоземельным элементам были изучены на ионном микрозонде Cameca IMS-4f в ЯФ ФТИАН (г. Ярославль).

Структура диссертационной работы включает введение, 6 глав, заключение, список литературы и содержит большой объем приложений, состоящих из таблиц с содержаниями петрогенных и редких элементов в эклогитах, амфиболитах, метагаббро-норитах, включая также представительные микрозондовые анализы и кристаллохимические коэффициенты граната, ортопироксена, амфибола, плагиоклаза из

эклогита, амфиболита и гранатита. Кроме того, в приложении представлены данные локального U-Pb анализа (SHRIMP-II), распределения редких и редкоземельных (REE) элементов в цирконах из симплектитового эклогита, апоэклогитового гранат-клинопироксенового амфиболита, апоэклогитового гранатита, эклогитизированного оливинового габбро-норита, гранат-амфибол-клинопироксенового кристаллосланца и керамического пегматита.

Во введении указывается актуальность проделанной большой научно-экспериментальной диссертационной работы. Эклогиты в пределах Беломорского подвижного пояса были открыты в начале XXI столетия, в основном исследованиями карельских геологов (ИГ КарНЦ РАН) – Володичевым О.И., Слабуновым А.И. и др., а также московских исследователей (ГИН РАН) – Щипанский А.А., Конилов А.Н., Минц М.В., Докукина К.А. и др. Поскольку возрастные данные для эклогитов района Гридино Беломорского подвижного пояса были определены как мезо-неоархейские в интервале 2.87-2.72 млрд. лет, а известные в мире коровые эклогиты древнее 2.0 млрд. лет не были известны ранее науке, то актуальность исследований таких уникальных пород является очевидной. Автор диссертационной работы посвятил свои исследования самым сложным породам региона, поскольку эклогиты являются индикаторами геодинамических режимов, что является особенно актуальным для расшифровки ранней истории формирования Земли. Комплексные исследования ЭПГ-содержащих палеопротерозойских расслоенных интрузий в восточной части Фенноскандинавского щита отразили их длительное и многофазное формирование от 2.53 до 2.40 млрд. лет, генезис которых в последнее время считается плюмовой природы (Bayanova et al., 2009; Митрофанов и др., 2013). Именно с позиций плюмовой геодинамики таких суперкрупных месторождений Балтийского щита, который совместно с кратонами Вайоминг и Сьюпериор составляли, по-видимому, древний суперконтинент Кенорланд, очевидно, что субдукционные процессы также происходили в архейское-палеопротерозойское время. Кроме того, санукитоидные массивы Фенноскандинавского щита с возрастaми 2.74 млрд. лет (Егорова, 2014), а также щелочные граниты и анортозиты Кейвской зоны и карбонатиты Сиилиньярви (Финляндия), сформированные в интервале 2.67-2.61 млрд. лет (Баянова, 2004), с общей длительностью магматизма 130 млн лет (от 2.74 до 2.61 млрд. лет), также считаются плюмовой природы. Кроме того, на международном геодинамическом полигоне Воче-Ламбина, созданном в 1990 году Ф.П. Митрофановым, работами Морозовой Л.Н. и др. (2011) подтверждены породы высоких давлений 15-22 кбар. Поэтому актуальность исследований Мельника А.Е.

докембрийских эклогитов в пределах Фенноскандинавского щита является очень важной для понимания формирования ранней истории Земли.

Основной целью диссертационной работы Мельника А.Е. являлось установление времени эклогитового метаморфизма в северо-западной части Беломорского подвижного пояса, с которой он блестяще справился, применяя разные изотопно-геохимические методы для изучения цирконов (U-Pb, SHRIMP-II) и рутилов (U-Pb, LA-ICP-MS); породообразующие минералы (клинопироксен, амфибол, гранат) и порода в целом были изучены Sm-Nd и Lu-Hf систематиками с построением изохрон. Задачами исследований являлись типизация метабазитов на основе данных химического и минерального состава, выявление парагенетических ассоциаций и их P-T параметров, которые были установлены для разных стадий метаморфической эволюции метабазитов с приведением большого количества таблиц фактического материала и графиков. Важной задачей диссертационной работы являлось установление возраста магматического протолита эклогитов, изучение времени проявления наложенных процессов и времени эклогитового метаморфизма. Можно отметить, что диссертант успешно представил много фактических U-Pb (SHRIMP-II) возрастных данных. Возраст протолита симплектитовых эклогитов, по ядерным частям цирконов, определен как мезоархейский; а время формирования протолита эклогитизированного габбро-норита определено как 2.44 млрд. лет.

Глава 1 диссертационной работы Мельника А.Е. посвящена геологическому строению и развитию Беломорского подвижного пояса, где автор приводит большое количество работ, связанных с изучением района Куру-Ваара. Приведены геолого-тектонические схемы строения пояса и места обнаружения реликтов эклогитов в нем. История открытия эклогитов приведена в геологической характеристике района работ, где еще в 1936 г. Н.Г.Судовиковым были впервые обнаружены и описаны породы, близкие по составу к эклогитам, расположенные в центральной части Нявка-тундры. Также в 1 главе представлена геологическая карта карьера Куру-Ваара с GPS привязками.

Глава 2 посвящена описанию аналитических работ, включая описание приборной базы для изучения геохимических особенностей пород и минералов, а также методов термобарометрических исследований, комбинационного рассеяния (рамановская спектроскопия) и методики изотопно-геохимических исследований пород и минералов – Lu-Hf, Sm-Nd, U-Pb (SHRIMP-II). Можно отметить, что методики приведены достаточно

обзорно, отсутствуют фамилии аналитиков в каждом конкретном методе, которые работали с коллекциями диссертанта.

Глава 3 посвящена особенностям химического состава и петрографии изучаемых пород. В этой главе Мельник А.Е. представил подробное описание петрографических особенностей эклогитов и ассоциирующих с ними пород в районе исследований – карьере Куру-Ваара. Приведено много фото и зарисовок будин симплектитового эклогита, эклогитоподобного гранат-амфибол-клинопироксенового кристаллосланца (метаультрабазита), дайки оливинового габбро-норита. Представлены фото шлифов симплектитовых эклогитов, гранатитов, апоэклогитовых гранатовых амфиболитов. Небольшим недостатком этого раздела является отсутствие конкретной GPS привязки изучаемых проб, информации о количестве, размере и весе всего отобранного материала, количестве изученных шлифов на каждом объекте. Также в этой главе представлены диаграммы AFM для эклогитов и ассоциирующих пород, спектры распределения REE, спайдердиаграммы для наименее измененных симплектитовых эклогитов, вариационные диаграммы; приводятся выводы к главам 1 и 3.

Глава 4 посвящена особенностям состава породообразующих минералов эклогитов и ассоциирующих пород. В этой главе Мельник А.Е. приводит большое количество диаграмм минерального состава гранатов из эклогитов, распределения REE в ядрах и каймах гранатов. Проведено сравнение распределения REE в гранатах из симплектитового эклогита, апоэклогитовых гранатита и амфиболита, гранат-амфибол-клинопироксенового кристаллосланца. В главе приведено много описаний шлифов для наименее измененного симплектитового эклогита. Построены REE графики для первичного и вторичного гранатов, отмечены ассоциации минералов (кварц, ортопироксен и др.) во включениях в гранате, показано положение омфацита в матрице эклогита, приведены диаграммы жаделитовой компоненты для клинопироксенов, приведены составы амфиболов, а также распределение REE в них. Большое количество рисунков шлифов посвящено изучению реликтов первично-магматической ассоциации габбро-норитового протолита симплектитового эклогита, приведен пример обратной (ретроградной) зональности по главным элементам в порфиробласте граната из эклогитоподобного кристаллосланца. Показаны реакционные взаимоотношения минералов в коронарном габбро-норите из карьера Куру-Ваара, приведены рамановские спектры омфацита из эклогитизированного габбро-норита. Главным выводом 4 главы является установление омфацита в метагаббро-норите, который присутствует в составе реакционных корон.

Замечаниями к главе 4 является отсутствие количественной характеристики изучаемых проб (шлифов, анализов) для оценки представленного материала.

Глава 5 является основной и самой большой по объему и посвящена изотопно-геохимическим характеристикам эклогитов и ассоциирующих с ними пород, в ней представлен обобщенный спектр распределения REE в цирконах из эклогитов (пород эклогитовой фации) различных комплексов мира, приведено много фотографий циркона из изучаемых пород в катодолюминесцентных лучах с 20 мкм кратерами аналитических точек SHRIMP-II. В главе показаны U-Pb (SHRIMP-II) диаграммы с конкордией для всех изучаемых цирконов. Вызывает непонятное удивление, что в табличных данных SHRIMP-II анализов цирконов все измерения проведены на уровне 1σ , а в подписях под диаграммами с конкордией эллипсы и значения конкордантного возраста соответствуют 2σ , включая погрешность константы распада. Такие подрисовочные подписи требуют дополнительных объяснений. Кроме того, на U-Pb диаграммах приведены эллипсы с большими ошибками и, вероятно, лучше было бы писать интервал возрастов. Погрешности ошибок в 1σ интервале при U-Pb (SHRIMP-II) датировании существенно уступают классическому U-Pb методу (Treatise of geochemistry, 2003).

В главе 5 приведен U-Pb возраст по SHRIMP-II данным для цирконов из симплектитового эклогита, где возраст оторочек циркона определен в 1878 ± 36 млн лет и интерпретируется временем эклогитообразования, а возрастные данные в 2879 ± 34 млн лет полученные для ядерных частей цирконов, относятся (на основании высоких магматических значений Th/U отношения и сильно дифференцированном характере распределения REE с увеличением концентраций от LREE в сторону HREE) ко времени образования магматического протолита эклогитов. Время формирования цирконов в эклогитоподобных метаультрабазах Куру-Ваары продатировано как 1907 ± 11 млн лет, которое в пределах ошибок очень близко U-Pb (SHRIMP-II) возрасту «эклогитовых» цирконов из гранатита, равному 1900 ± 18 млн лет, и эклогитизированного габбро-норита, равному 1915 ± 17 млн лет. Таким образом, на основе большого количества изотопных U-Pb (SHRIMP-II) данных корректно обоснован свекофеннский возраст одноактного эклогитового метаморфизма. В цирконах из эклогитизированного габбро-норита Куру-Ваары продатированы более темные части зерен с палеопротерозойским возрастом, равным 2443 ± 22 млн лет, который интерпретируется временем образования протолита изучаемых пород. Возраст цирконов из пегматитов оценивается в 1.84 млрд. лет. Кроме U-Pb возрастов по цирконам в работе представлены данные для рутилов из симплектитового эклогита, равные 1753 ± 18 млн лет. Кроме того, в главе 5 приведены

данные по Sm-Nd и Lu-Hf датированию эклогитов, приведены изохронные зависимости и таблицы изотопных данных. Общим замечанием к таблицам является отсутствие величин ϵ_{Nd} (T_{Dm}) и ϵ_{Hf} , по которым можно было бы сравнить возрасты протолитов, полученные по цирконам (2.9 и 2.44 млрд. лет). Кроме того, не приведены средние значения по стандартам на период измерений. Изотопные Sm-Nd диаграммы, построенные по породообразующим минералам, включают гранат, клинопироксен и амфибол. Можно отметить, что для навесок гранатов применены процедуры сернокислотного выщелачивания для удаления минеральных микровключений, которые могут искажать значения возраста. Благодаря таким химическим процедурам, полученные новые свекофенские возрасты для эклогитоподобного метаультрабазита, симплектитового эклогита и апоэклогитового гранатита, можно считать достоверными. Можно отметить, что в данной главе совсем не приводится вес навески минералов для датирования, а также общий вес отобранного для исследования материала. Эти замечания касаются и данных для Lu-Hf метода, где представлены 2 минеральные изохроны свекофенского возраста для эклогитоподобного гранат-амфибол-клинопироксенового кристаллосланца и симплектитового эклогита. Глава 5 включает суммированные выводы, в которых на большом количестве изотопно-геохимических данных по разным U-Pb (SHRIMP-II), Sm-Nd и Lu-Hf систематикам обосновывается одноактное свекофенское время эклогитового метаморфизма, проявленного не только в северо-западной части, но и других районах Беломорского подвижного пояса, включая побережье Красной губы и островов Керетского архипелага Белого моря.

Глава 6 включает изучение эволюции P-T параметров эклогитов и диаграммы TWQ для парагенезиса омфациит-амфибол-кварц-гранат-плагиоклаз, который отвечает пиковым условиям эклогитового метаморфизма (на примере дайки коронарного оливинового габбро-норита) в карьере Куру-Ваара, а также для парагенезиса (гранат + амфибол + кварц + плагиоклаз) ретроградного метаморфизма эклогитов в этом же карьере. Получены новые оценки P-T параметров пика эклогитового метаморфизма: $P = 12-13$ кбар и $T = 660-690$ °C. Преобразование эклогитов на ретроградской стадии метаморфизма амфиболитовой фации происходило при $P = 10.5-11$ кбар и $T = 690-700$ °C на этапе 1.87 млрд. лет.

Результаты, полученные Мельником А.Е. в диссертационной работе, отличаются новизной и оригинальностью. Установленный разными изотопно-геохронологическими методами палеопротерозойский возраст (1.9 млрд. лет) эклогитов северо-западной части Беломорского подвижного пояса решает одну из фундаментальных задач данного

региона — установления времени высокотемпературного метаморфизма. Обилие фактического материала и применение разнообразных современных методов исследования при решении поставленных задач свидетельствует о достоверности полученных результатов. Все три защищаемые положения очень хорошо сформулированы и обоснованы также большим фактическим материалом, они являются главными выводами работы. Значительный личный вклад автора диссертационной работы также не вызывает сомнений. Автореферат полностью соответствует тексту диссертационной работы.

Содержание диссертационной работы «Эклогиты северо-западной части Беломорского подвижного пояса: геохимическая характеристика и время метаморфизма» позволяет считать, что работа полностью соответствует уровню, предъявляемому ВАК к кандидатским диссертациям, а Мельник А.Е. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности: 25.00.09 — геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Зав. лабораторией геохронологии и
изотопной геохимии ГИ КНЦ РАН,
доктор геолого-минералогических наук



Баянова Тамара Борисовна

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геологический институт Кольского научного центра
Российской академии наук (ГИ КНЦ РАН)
Адрес: ул. Ферсмана, д. 14, г. Апатиты, Мурманская обл., 184209
Тел. 8(81555) 79218, e-mail: tamara@geoksc.apatity.ru

