

Утверждаю

и.о. Директора ГИН РАН
академик РАН К.Е.Дегтярев



Отзыв ведущей организации на диссертацию Максимова Олега Александровича
«Метаморфическая эволюция Гридинского эклогит-содержащего комплекса
Фенноскандинавский щит) », представленную на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 «Петрология, вулканология»

Диссертация Максимова Олега Александровича посвящена решению вопросов фундаментальной темы «Эволюция геодинамических процессов в истории Земли», которая включает мультидисциплинарные исследования различных направлений наук о Земле. Важное место в этом процессе занимают петрологические изучения древнейших комплексов литосферы, как ее коровой части, так и субконтинентальной мантии. Как хорошо известно, в архейской субконтинентальной литосфере широко распространены эклогиты, которые являются поставщиками наиболее крупных алмазов, включая знаменитый алмаз Кулиннан, которые выносятся на поверхность Земли кимберлитовыми трубками. Вместе с тем, до недавнего времени эклогиты архейского возраста были не известны, что порождало различные интерпретации этого феномена.

Эклогитовые породы Гридино были еще в 70-х годах прошлого века описаны Олегом Ивановичем Володичевым - научным руководителем диссертанта, которые были датированы в 2004 году как имеющие неоархейский возраст, что вызвало огромный интерес петрологов всего Мира. С тех пор появилось много десятков публикаций в международных журналах, в которых ведется широкая дискуссия по возрасту эклогитов Гридина - являются ли они архейскими или же палеопротеройскими. Этот объект стал предметом нескольких международных полевых экскурсий, в которых приняли участие многие петрологи мирового уровня. Этот краткий экскурс показывает, во-первых, чрезвычайную сложность объекта исследования, и, во-вторых, квалификационную подготовленность автора диссертации для решения сложных научных проблем.

Диссертация О.А. Максимова состоит из Введения, 7 глав текста, Заключение (180 стр. текста), сопровождается 57 рисунками и 3 приложениями. Цитируемая литература насчитывает 208 источников.

Во Введение приводятся данные о распространении эклогитов в различных орогенических поясах Земли, их значении для понимания геодинамических процессов. Упоминаются и описания палеопротерозойских эклогитов. Замечание относится к отсутствию ссылок на петрологическое описание эклогитов из Нагссугкитанского орогена на юго-востоке Гренландии, который давно уже рассматривается в качестве западного продолжения Лапландско-Кольского орогена (Müller et al., 2018, *Lithos*, 296-298; Glasley et al., 2014, *Am. Mineral*, v. 99). Эклогиты этого региона заключены в матрицу серых гнейсов. И было бы интересно сопоставить параметры их метаморфизма с полученными результатами по эклогитам Гридино. Также не отмечены находки ретроградно-измененных эклогитов в Олекминской гранит-зеленокаменной области Алданского щита (Smelov, Berezin, 1993; *Prec. Res.*, v.62).

В главе 1 приводятся общие сведения о Беломорской провинции в ее положении в региональной структуре Фенноскандинавского щита. С точки зрения тектоники региона термин Беломорская провинция очень неудачный. Это линейная, или поясовая, структура, вследствие чего она издавна называлась Беломорским подвижным поясом, а не провинцией, что предполагает обширные географические контуры. На странице 17 возникает термин Беломорская орогения. Но Беломорский пояс — это производное Лапландско-Кольской орогении - ее форландовая часть, в которую вовлекается архейская литосфера Карельского кратона. На стр. 18 находим термин «вулканогенных молассов». В тектонике есть понятие «моласса», но нет термина «вулканогенная моласса», а молассов не бывает вовсе. Существуют понятия «зрелая» и «незрелая моласса», «нижняя» и «верхняя моласса». Раскрытие Лапландско-Кольского океана происходило по линии Печенга-Имандра-Варзуга, а не по границе Беломорского пояса (см. Lachtenen, Huhma, 2019; Арзамасцев и др., 2020).

Глава 2 посвящена детальному геологическому описанию Гридинского эклогит-содержащего комплекса. Описание скрупулёзное и сопровождается множеством полевых фотографий, иллюстрирующих соотношение эклогитов с более поздними дайками и вмещающей рамы ТТГ гнейсов. Собственно говоря, этот материал был неоднократно представлен в статьях, в том числе журнальных статей из списка Web of Science, и не вызывает особых замечаний.

Глава 3. В этой главе приводятся данные о петрогеохимических характеристиках изученных эклогитов и связанных с ними пород. Начинается она с утверждения «эклогиты и преобразованные эклогиты по петрогеохимическим характеристикам отвечают габбро». И если локально эклогитизированные палеопротерозойские дайки отвечают понятию в широком понимании можно отнести к габбро (в действительности к габбро-норитам), то к

ретроградно-измененным эклогитам (ретро-эклогитам) это утверждение далеко не очевидно. Использование диаграммы TAS, т.е. щелочи - кремнекислотность, для сильно метаморфизованных комплексов (щелочи — это сильно подвижные элементы) не рационально.

Существуют несколько новых диаграмм IUGS как для основных, так и кислых составов, которые могут быть использованы для подобных обстановок, но с осторожностью. Смотрим на диаграмму TAS (рис. 15, стр. 53) гранатовые ортопироксениты попадают в поле габбро-диорита. Далее смотрим в приложении их химические составы, и обнаруживаем, что это пикриты с содержанием $MgO = 14-21\%$. Далее смотрим - в поле гранодиоритов попадают риолитовые составы с кремнекислотностью 70%. Более того, эти породы в магматическом эквиваленте определяются как трондьемиты, т.е. натровые граниты с резким преобладанием Na_2O над K_2O . И не просто трондьемиты, а высоко- средне-барические (HP- MP-pressure) трондьемиты. Их образование общепринято рассматривать, как продукт плавления гранат-содержащей основной породы ($La/Yb > 20$) (базальт/габбро) выше поля стабильности плагиоклаза ($Sr/Y > 40$), т.е. **эклогита**. Опубликованы результаты многочисленных экспериментов, в которых получены высокобарические трондьемиты при плавлении водонасыщенных эклогитов при давлении 20-30 кбар. Поэтому датирование циркона из так называемых гранодиоритовых жил участка Самыгино является критически важным (на фотографиях этих жил ясно видна их лейкократовость, свойственная трондьемитам). Много замечаний относится к геохимическим данным, но это относится к способу их демонстрации на мультиэлементных диаграммах и, по-видимому, к некачественному измерению Zr и Nb в лаборатории, что связано, вероятно, с неполным разложением проб. По нашему опыту все пробы ретро-эклогитов Салмы и Куру-Ваары показали их океаническое происхождение с положительной аномалией Nb, в то время как составы палеопротерозойских габбро-норитов, в том числе эклогитизированные, показывают ясные отрицательные аномалии Nb, указывающие на контаминацию их расплавов коровым веществом.

Глава 4 содержит детальное минералого-петрографическое описание эклогитовых и связанных с ними пород изучаемых объектов. Читается с интересом, поскольку выделяется неформальным изложением структурных соотношений минеральных фаз и их интерпретации. Кроме того, текст сопровождается также демонстрацией текстурных соотношений в исследуемых породах (фото обнажений и штучков). Так, если сравнить эклогиты-2 из Столбихи, в которых наблюдаются реликты эклогитов-1 (рис. 25) с однородными эклогитами Самылено, то очевидно, что текстурно это разные образования. Если эклогиты-2 Столбихи выглядит как локальное пятно наложенной эклогитизации на складчатые эклогиты-1, то эклогиты Самылино слагают целиком крупную будину, отличаясь

от остальных эклогитов Беломорского пояса удивительной степенью сохранности.

Некоторое недопонимание касается интерпретации соотношений цоизитов и анортитов. Как хорошо известно, анортит - безводный минерал, а цоизит содержит около 8 мол. % воды. Возникает естественный вопрос о причинах столь обильной гидратации в той обстановке, когда формировался цоизит.

Глава 5. В этой главе рассматриваются результаты термобарических исследований эклогитов и связанных с ними пород - гранатовых пироксенитов и цоизититов. Эти исследования проводились с использованием совокупности методов классической, мульти-равновесной термобарометрии и псевдосечений. К полученным оценкам Р-Т параметров замечаний нет. Однако необходимо заметить, что все эти методы были разработаны для моноциклического метаморфизма фанерозойских орогенических поясов. Как известно, Беломорский пояс является полиметаморфическим образованием, что автор прекрасно подтверждает своей работой. В подобных областях, прежде всего, необходимо опираться на геологические реперы того или иного термального события, которые зажимают возраст и Р-Т условия проявления метаморфических преобразований протолита.

Эклогитовое тело на острове Столбиха, которое во время многочисленных международных экскурсий посещали десятки петрологов, остается по-прежнему «яблоком раздора».

Детальные исследования диссертанта не обошли стороной эту проблему. Он остановился на описании предмета как сосуществования двух эклогитовых метаморфизмов - неархейского (полосчатые эклогиты-1) и палеопротерозойского (однородные эклогиты-2). Для эклогита-1 рассчитанные параметры пикового метаморфизма составили - ($P = 12-14$ кбар, $T = 750^{\circ}\text{C}$), для однородного эклогита-2 - ($T = 700-820^{\circ}\text{C}$ и $P = 14-17$ кбар). При постулировании давления как литостатического, разрыв в давлении составляет от 8 до 10 км в пересчете на мощность коры. С рациональной точки зрения объяснить такое невозможно, учитывая детальнейшее картирование этой небольшой будины (см. рис. 10). По всей видимости, палеопротерозойская эклогитизация может быть связана со сверхдавлением, возникавшим в литосфере при ее орогеническом сокращении во время Лапландско-Кольской коллизии. Это замечание можно отнести и к интерпретации термобарометрических данных по эклогитам Самылино. Несколько этапов эклогитизации в одном и том же теле без структурно-геологических доказательств представляются очень и очень маловероятным, и даже невозможным.

Термобарометрические исследования гранатовых оропироксенитов показали более высокие параметры пикового метаморфизма - $P = 24$ кбар и $T = 800^{\circ}\text{C}$ и классический тренд декомпрессионных преобразований (рис. 42) без всяких упоминаний фаз - эклогит 1 и эклогит-2. При этом гранатовые ортопироксениты (метапикриты) имеют то же структурное

положение, что и эклогиты — это будины в матриксе ТТГ-гнейсов. Разрыв в пиковых давлениях метаморфического события между эклогитами (базальтовый состав) и ортопироксенитами (пикритовый состав) составляет при пересчете на коровую мощность около 25 км. Исследования Р-Т параметров метаморфической эволюции цоизититов показывают подобные пиковые значения метаморфизма (рис. 44) с появлением тренда прогрессивного преобразования некоего предполагаемого анортозита. Но возникает очевидный вопрос, - каким образом при таком сценарии можно было обеспечить обильную гидратацию анортита, да еще с увеличением давления и температуры, что в теории должно вести к процессу дегидратации.

Глава 6. В ней сведены данные по датированию циркона из различных пород Гридинского эклогит-содержащего комплекса, в том числе авторские, и проводится сравнительный анализ с ранее полученными и опубликованными датировками других авторов. Совокупность этих данных представляется новизной в остро дискуссионной проблеме возраста беломорских эклогитов - являются ли они архейскими или палеопротерозойскими? И более того, эта работа имеет важное значение в исследованиях других глубоко эродированных раннедокемрийских областей Мира, где проблема датирования высокометаморфических комплексов ощущается весьма острой. Как убедительно показано диссертантом, представления о моноциклической петле эклогитового метаморфизма в Беломорском поясе вне зависимости от той или иной точки зрения о его возрасте не являются релевантными. Циркон из эклогитовых будин как из острова Столбиха, так и Самылино обнаруживает пять метаморфических популяций, четыре из которых - ~ 2.75-2.70 млрд лет, ~ 2.55 млрд лет, 2.06 млрд лет и 1.9 млрд лет - содержат включения типоморфных минералов эклогитовой фации. Все цирконовые датировки метаморфических событий закономерно соответствуют главнейшим тектоническим событиям становления и дальнейшей эволюции континентальной коры Балтийского щита: Мезо-неоархей - формирование ранней континентальной коры Карельского кратона (возраст образования ТТГ комплекса); конец архея - вхождение кратона в суперконтинент Кенорленд; начало палеопротерозоя (2.45 - 2.40 млрд лет) - суперплюмовое событие, охватившее всю территорию Карельского кратона; 2.06 млрд лет - начало формирования Свекофеннского и Лапландско-Кольского океанов; 1.92 - 1.90 млрд лет - коллизия Карельской и Лапландско-Кольской литосферных плит, в результате которой Беломорская часть Карельской плиты развивалась длительное время как юго-восточный форланд Лапландско-Кольского орогена с медленной эксгумацией глубинных горизонтов коры Карельского кратона к поверхности как результат длительного коллизионного сжатия окраинной части этой литосферной плиты. В такой тектонической обстановке локальные процессы эклогитизации как архейских эклогитовых будин, так и

ранне-палеотерозойских даек, скорее отвечают обстановкам реализации сверхдавления, нежели их появления в постулированной обстановке литостатического давления.

Глава 7 подводит результаты петрологических исследований автора, которые наглядным образом отражены на рис. 57. Этот рисунок иллюстрирует аномальное давление однородных эклогитов о. Столбиха, превышающих «фоновые» значения ретро-эклогитов Гридино, примерно, на 5 кбар, что по данным детальных геолого-структурных наблюдений не может быть объяснено ничем, кроме реализации условий сверхдавления, что теоретически было показано Д.С. Коржинским (локально-мозаичное термодинамическое равновесие) и Н.Л. Добрецовым (автоклавный эффект).

В заключении приводятся главные выводы диссертационной работы, к которым замечаний нет.

Текст диссертации написан ясным и стилистически грамотным научным языком. Он иллюстрирован необходимым графическим материалом и сопровождается табличными данными, в которых отражены полученные аналитические результаты. Признаков плагиата в диссертации не обнаружено. Материал диссертации прошел апробацию в статьях (10 статей из списка ВАК, в том числе 3 статьи в журналах WOS) и многочисленных докладах на международных и российских конференциях (15 тезисов). Защищаемые положения представляются хорошо обоснованными и не вызывают серьезных замечаний. Замечания относятся к более общим вопросам, которые во многом выходят за рамки специальности «Петрология, вулканология», но, тем не менее, они представляются важными и полезными в дальнейших исследованиях диссертанта. Автореферат соответствует материалам диссертационной работы. Несмотря на высказанные замечания, диссертация отвечает всем требованиям ВАК для квалификационных работ такого рода, а ее автор Олег Александрович Максимов заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.3 – петрология, вулканология.

Обсуждение диссертации состоялось на расширенном заседании лаборатории Тектоники раннего докембрия ГИН РАН 29.01.2024. Отзыв на диссертацию Олега Александровича Максимова рассмотрен и принят в качестве официального отзыва ведущей организации.

Заведующий лабораторией Тектоники раннего докембрия,

доктор геол.-мин. наук

Ведущий научный сотрудник, кандидат геол.-мин. наук

Щипанский
Докукина

А.А. Щипанский

К.А. Докукина

