

## ОТЗЫВ

**официального оппонента, кандидата геолого-минералогических наук Скобленко Анфисы Владимировны, на диссертацию Салимгараевой Ляйсан Ильшатовны «ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВЫСОКОБАРИЧЕСКОМ МЕТАМОРФИЗМЕ (НА ПРИМЕРЕ ЭКЛОГИТОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО БЕЛОМОРЬЯ И ЮГО-ЗАПАДНОЙ НОРВЕГИИ)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.**

Диссертационная работа Л.И. Салимгараевой посвящена изучению закономерностей поведения рассеянных элементов, особенностям их миграции и перераспределения в различной степени измененных высокобарических породах и породообразующих минералах (гранат, клинопироксен, амфибол) на примере эклогитов в пределах Беломорского подвижного пояса, Западного гнейсового региона и комплекса Берген Аркс. *Актуальность* исследования определяется отсутствием ранее существовавших данных для большинства из рассмотренных комплексов, что затрудняло восстановление эволюции состава высокобарических пород на различных этапах их преобразования. В работе использовались наиболее прецизионные современные изотопно-геохимические и минералого-геохимические методы, а полученные результаты позволили установить тенденции изменения редкоэлементного состава высокобарических пород при полиметаморфизме, выделить закономерности изменения состава породообразующих минералов при преобразовании эклогитов в амфиболиты и гранулитов в эклогиты и провести сравнительную оценку устойчивости изотопных систем (U-Pb и кислород) при метаморфизме высоких ступеней. *Личный вклад* автора диссертации, заключавшийся в постановке цели и задач исследования, анализе научной литературы по теме работ, участии в полевых работах и отборе образцов, получении и обработке аналитических данных и интерпретации результатов, не вызывает сомнений. По результатам проведенного исследования Л.И. Салимгараевой в соавторстве с коллегами было опубликовано 2 статьи в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus, а также ряд работ, связанных с темой диссертации, в двух из которых Л.И. Салимгараева – первый автор. Основные защищаемые положения и результаты работы докладывались на многочисленных российских и международных семинарах и конференциях.

ОТЗЫВ

ВХ. № 9- 590 от 15.09.22  
АУ УС

Диссертация объемом 151 страницу состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений с описью образцов с точками отбора, результатами измерений валового химического состава пород и результатами изотопно-геохимического исследования циркона. Список литературы включает 246 наименований, при этом большая часть работ – на английском языке. Каждая глава диссертации сопровождается небольшим резюме, отражающим её содержание, что очень удобно для восприятия большого количества аналитических данных. Работа хорошо структурирована и дополнена многочисленными иллюстрациями.

В **Главе 1** содержится обзор ключевых принципов проведения геохимических исследований высокобарических пород, оценивается их роль и акцентируется внимание на особенностях перераспределении элементов в процессе высокобарического метаморфизма с точки зрения плит-тектоники. В этой же главе перечислены основные проблемы, связанные с интерпретацией геохимических данных, и факторы, влияющие на мобильность элементов в ходе эклогитового метаморфизма. Следует отметить, что в главе рассматриваются механизмы формирования высокобарических комплексов в результате вовлечения коровых комплексов в субдукцию, а также присутствует упоминание о том, что «...изучение метаморфических пород разного возраста дает фундаментальное представление о процессах формирования и эволюции континентальной коры». В то же время комплексы океанической литосферы (коры и верхней мантии) участвуют в высокобарическом метаморфизме и имеют собственную геохимическую специфику. Возможно, об этом следовало бы тоже упомянуть, особенно принимая во внимание, что некоторые из образцов эклогитов и образованных по ним амфиболитов, изученных в рамках диссертации, демонстрируют характеристики близкие к N-MORB.

В **Главе 2** подробно рассмотрены особенности геологического строения объектов исследования, включающих Беломорский Подвижный Пояс (БПП), Западный Гнейсовый Регион (ЗГР) и комплекс Берген Аркс (БА). В главе перечислены и описаны ключевые структурно-вещественные комплексы, приведены исчерпывающие данные по геохронологии, а также рассматриваются модели и время формирования различных комплексов, приуроченных к БПП, ЗГР и БА. Тем не менее, при всем представленном объеме данных по рассматриваемым объектам не хватает собственных геологических схем (на фоне ряда карт и разрезов, взятых из работ различных авторов, из собственного материала приводятся только три небольших схемы для норвежских комплексов). Кроме того, несколько схем, в особенности для БПП, нуждаются либо в переводе в векторную графику, либо в цветном изображении.

В **Главе 3** рассматриваются использованные в работе методы исследования эклогитов, эклогитизированных амфиболитов и гранатовых амфиболитов с гранатитами БПП, ЗГР и БА. Все методы являются прецизионными, а лаборатории, в которых проводились измерения, аккредитованы, исходя из этого, полученные результаты не вызывают сомнений. Впечатляет также и количество методов изотопно-геохимического, локального геохимического и геохронологического исследования пород, что несомненно свидетельствует в пользу валидности новых полученных данных и квалифицированности диссертанта, занимавшегося их интерпретацией. Отдельно стоит отметить применение автором диссертации кислородного метода и метода инертного компонента для расчета масс-баланса, что само по себе являлось нетривиальной задачей. В качестве замечания отмечу, что химические составы минералов, полученные на SEM-EDS для пород БПП, приведены к 100%. В случае гранатов это является не критичным недостатком, но в случае амфиболов не позволяет надежно проводить их классифицирование и пересчет на формульные коэффициенты, и, следовательно, расчет по катионным позициям (это же замечание среди прочих приведено и далее для Главы 5).

В первой части **Главы 4** рассматриваются основные типы высокобарических пород БПП, ЗГР и БА, использованные для дальнейшего комплексного геохимического исследования. Приводится петрографическая характеристика пород с акцентом на модальном составе и микроструктурных особенностях, фотографии шлифов имеют высокое качество и являются репрезентативными. Среди пород выделяются как непосредственно эклогиты, так и их измененные аналоги, приуроченные к различным зонам и демонстрирующим разнообразные степени регрессивных изменений. Небольшое замечание здесь касается пары сокращений, которые являются некорректными -  $K_{\text{уап}}$  (вместо  $K_{\text{у}}$ ) или  $\text{Simp}$  (тогда как полное название – *symplectite*).

Вторая часть **Главы 4** включает характеристику валового химического состава репрезентативных разностей высокобарических пород БПП, ЗГР и БА на основании содержания главных и рассеянных элементов, в приложении Б даны результаты измерения химического состава пород. Помимо описания общих закономерностей и тенденций по содержаниям тех или иных элементов в породах, в этой части главы приводятся AFM- и TAS- диаграммы с вынесенными составами ключевых разностей пород, а также расчеты по оценке мобильности главных элементов по методу Барта и по инертному компоненту. К этой главе имеются следующие замечания: насколько уместно и необходимо использование AFM- и TAS-диаграмм без дополнительных диаграмм, учитывающих распределение немобильных или слабоподвижных рассеянных элементов (например, Zr, Hf, Nb)?

Учитывая мигматизацию пород, составы вмещающих комплексов, и многие другие факторы, такие подвижные компоненты, как калий и натрий или менее подвижные LREE так или иначе бы мигрировали. К подобному выводу приходит и автор, проанализировав мобильности главных элементов при расчете масс-баланса. В таком случае, что дает использование этих диаграмм? На мой взгляд, в главе также не хватает рассуждения о возможном составе протолитов пород, которое сопровождалось бы по крайней мере краткой интерпретацией этой информации с точки зрения геологического строения региона. Фактически отсутствует рассуждение о причинах выявленных закономерностей перераспределения элементов (краткого пояснения в диссертации о связи таких процессов с вариациями флюидного режима при метаморфизме явно недостаточно).

В Главе 5 приводится подробная характеристика химического состава главных минералов репрезентативных разностей высокобарических пород БПП, ЗГР и БА (граната, клинопироксена, амфибола) и рассматриваются возможные сценарии миграции и перераспределения главных и рассеянных элементов в зависимости от меняющихся условий метаморфизма высоких ступеней. К главе имеется несколько замечаний:

-БПП: для описания флуктуаций в составах граната было бы удобнее вести запись в миналах с подстрочным индексом и сразу для центра и края; присутствие клинопироксена с содержанием жадеитового компонента до 17% в составе симплектитов уже свидетельствует о перераспределении натрия в процессе реакции  $Ab = Jd + Qz$ , маркирующей распад начального омфацита и его полное замещение симплектитовым агрегатом. Исходя из результатов моделирования, приводимых во многих петрологических исследованиях эклогитов, такое превращение обычно соответствует давлениям ниже 15 кбар при высоких температурах около 750-800° С, что отвечает границе эклогитовой и гранулитовой фаций. По этой причине наличие подобных микроструктур с участием клинопироксена с высоким содержанием  $Na_2O$  не просто не исключает, а подтверждает присутствие в породе раннего омфацита. Однако использование такого пироксена для расчета пикового давления или пиковой температуры, предполагая ассоциацию с магнезиальным гранатом, будет ошибочным; приведение содержаний главных оксидов к сумме в 100% в водосодержащих минералах (в частности, в амфиболе) приводит к ошибкам при пересчете на формульные коэффициенты. Также в качестве рекомендации можно отметить, что в диссертации используется классификация амфиболов Leake et al. (1997), однако существует более современная классификация Locock (2014).

-ЗГР: в главе дублируется большое количество информации из Главы 4 (петрографическая характеристика пород), в чем нет необходимости. Отсутствие зональности в гранатах из эклогитов здесь интерпретируется как связанное с быстрым ростом граната, но в то же

время процесс высокотемпературной диффузионной гомогенизации, приводящий к «выравниванию» распределений главных компонентов в гранате, нигде не рассматривается.

-БА: получено большое количество данных по содержанию рассеянных элементов для минералов, которые зачастую дублируют результаты предшественников. Есть ли возможность более четко отразить новизну проведенных исследований и уникальность собственных данных, полученных для минералов из высокобарических пород комплекса БА?

**Глава 6** содержит многочисленные изотопно-геохимические данные по изучению циркона (U-Pb датирование; изотопия кислорода), граната и клинопироксена (Sm-Nd систематика) из пород БПП, ЗГР и БА, приводится обзор и пересмотр полученных ранее датировок. Кроме того, в главе представляются новые данные по возрасту гранулитов комплекса БА и из жилы пегматитов, секущих эклогиты в БПП, а также рассматриваются результаты исследования Sm-Nd системы в гранулитах и эклогитах комплекса БА. К главе также имеются несколько вопросов:

-БА: Датирование циркона в гранулитах комплекса БА проводилось локально, как в центральных, так и в краевых частях зёрен. Осталось неясным, есть ли разница в значениях возраста для разных частей цирконов? И если нет, то с чем связано отсутствие разброса, учитывая наличие ядер и каймы с очевидно различным соотношением U-Th-Pb - когда они формировались и как?

-БПП: Для цирконов светло-серого оттенка из жилы пегматитов, секущих будину эклогитов на острове Столбиха (Гридино), получено значение температуры в среднем 714°C. Исходя из рассуждения в диссертации, если есть сходство цирконов из эклогитов и цирконов из секущей пегматитовой жилы, то какой этап эволюции и в каких породах характеризует полученная температура?

Резюмируя, можно отметить, что диссертация основана на представительном количестве данных и является хорошо структурированной законченной работой, соответствующей специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых. Диссертация «Геохимия редких элементов при высокобарическом метаморфизме (на примере эклогитов северо-западного Беломорья и юго-западной Норвегии)», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней»

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного университета от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор – Салимгараева Ляйсан Ильшатовна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент,

ФГБУН Геологический институт РАН

Старший научный сотрудник

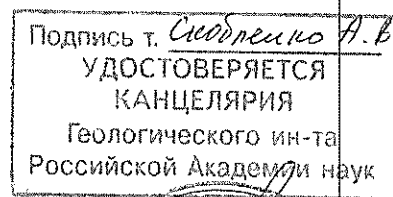
Кандидат геолого-минералогических наук

Тел.: +7(495) 953-54-05

e-mail: an.pilitsyna@gmail.com

Дата: 16 августа 2022 г.

Скобленко Анфиса Владимировна



Официальный адрес организации – места работы оппонента:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Геологический институт Российской академии наук, 119017 Москва, Пыжевский пер, 7, стр.1