

ОТЗЫВ

**официального оппонента, кандидата геолого-минералогических наук Скобленко
Анфисы Владимировны, на диссертацию Акбарпуран Хайяти Симы
Абдолрахимовны на тему: «Р-Т ТРАЕКТОРИИ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ
ОБСТАНОВКИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НЮ
ФРИСЛАНДА, АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН» по специальности 1.6.4.
Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых.**

Диссертационная работа Акбарпуран Хайяти С. А. посвящена комплексному минералого-геохимическому и петрологическому изучению метаморфических пород серий Атомфьелла и Моссель в пределах полуострова Ню Фрисланд, архипелаг Шпицберген. В рамках диссертационной работы уточнены Р-Т параметры формирования и ключевые реакции минералообразования для метаосадочных комплексов двух серий, выявлены закономерности фазовых превращений при формировании главных и акцессорных минералов, определен возраст проявления метаморфических преобразований. *Актуальность* исследования обусловлена ограниченным количеством данных для полуострова Ню Фрисланд в условиях труднодоступности региона, характеризующегося сложным геологическим строением и развитием разновозрастных докембрийских метаморфических комплексов, многие вопросы генезиса которых остаются открытыми. В работе использовались прецизионные современные изотопно-геохронологические и минералого-геохимические методы, позволившие установить закономерности изменения состава породообразующих минералов при метаморфизме, оценить условия, время и обстановки формирования минеральных парагенезисов, а также предложить модель геодинамической эволюции метаосадочных комплексов серий Атомфьелла и Моссель. *Личный вклад* соискателя, заключающийся в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной литературы по теме исследования, микроскопическом изучении образцов горных пород и их подготовке для проведения аналитических исследований, обработке полученных аналитических данных и их интерпретации, не вызывает сомнений. По результатам исследований Акбарпуран Хайяти С. А. в соавторстве с коллегами было опубликовано 3 статьи (1 статья из перечня ВАК, 2 статьи из системы цитирования Scopus) и зарегистрировано 2 базы данных. Основные

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-77 от 14.04.25
АУ УС

защищаемые положения и результаты работы докладывались на многочисленных российских и международных семинарах и конференциях.

Диссертация объемом 163 страницы состоит из оглавления, введения, шести глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы, включающего 244 наименования, бóльшая часть из которых – на английском языке, и 13 приложений. Работа хорошо структурирована и дополнена многочисленными иллюстрациями, геологическая часть диссертации сопровождается картографическим материалом.

В первой части **Главы 1** детально рассматриваются наиболее широко используемые в науках о Земле методы восстановления физико-химических параметров (прежде всего температуры и давления) формирования минералов в метаморфических породах, в хронологическом порядке приводится краткий обзор истории изучения проблематики оценки и реконструкции условий термодинамического равновесия в многокомпонентных системах, перечислены разнообразные геотермометры и геобарометры и связанные с ними ключевые понятия минерального парагенезиса, химической зональности минералов, реакций фазовых превращений и мультиравновесной геотермобарометрии. Также в главе освещаются основные принципы построения фазовых P-T-X изохимических диаграмм с применением программных пакетов типа *Perple_X*, *THERMOCALC*, *Theriak/Domino*. Последняя используется в диссертации в сочетании с методом пересечения изоплет составов минералов для восстановления основных этапов эволюции метаморфизованных вулканогенно-осадочных комплексов серий Атомфьелла и Моссель полуострова Нью Фрисланд.

Несмотря на большой объем приведенной информации, состояние проблемы оценки P-T трендов метаморфизма для метаосадочных комплексов, которые и являлись главным объектом изучения, рассматривается ограниченно. Так, в диссертации представлена базовая информация о работе с метаморфическими комплексами различного состава и генезиса в целом, однако не приводятся никаких данных о современных подходах для восстановления P-T эволюции сланцев и гнейсов, сформированных за счет осадочных и/или вулканогенно-осадочных протолитов. Для этих пород характерны низкие температуры солидуса, значительное модальное количество водосодержащих минералов, широкое развитие индекс-минералов определенных ступеней метаморфизма, и мн. др. Эти особенности во-многом определяют спектр методов и подходов, применяемых как в классической геотермобарометрии, так и при моделировании фазовых равновесий, включая выбор моделей минеральных твердых растворов, расчет «эффективного» или

реинтегрированного валового состава, и т.д. Все эти аспекты было бы уместным рассмотреть в рамках постановки проблематики исследования.

Далее в **Главе 1** содержится обзор геологического строения района исследований – полуострова Нью Фрисланд, архипелаг Шпицберген. Эта часть представляет собой хорошо структурированное и последовательное описание стратифицированных, магматических и метаморфических комплексов, включая краткое резюме по истории изучения региона и подробную характеристику серий Атомфьелла и Моссель, в составе которых выделяются метаморфические породы, являвшиеся объектом исследования в рамках диссертации. В главе также приводятся имеющиеся данные, полученные предшественниками в процессе проведения геологической съемки и изотопно-геохронологических, в меньшей степени минералого-петрологических исследований.

В этой части необходимо обратить внимание на то, что магматические комплексы не могут выделяться в составе свит, их следует рассматривать отдельно с характеристикой взаимоотношений со стратифицированными толщами. Также необходима более аргументированная интерпретация оценки возраста, рассматриваемой в качестве единственной для изученного региона конкордантной датировки, характеризующей каледонский этап тектогенеза, и полученной для циркона из гипербазитов, поскольку присутствие циркона в ультрамафических породах не является типичным.

В **Главе 2** приводится краткое описание использованных в диссертационной работе методов исследования состава пород и минералов, изотопного датирования и оценки P-T условий формирования равновесных минеральных ассоциаций в метапелитах, известковых сланцах и амфибол-биотитовых гнейсах серий Атомфьелла и Моссель. Все перечисленные в работе методы являются прецизионными, а лаборатории, в которых проводились измерения, аккредитованы; полученные аналитические данные выглядят надежными и не вызывают сомнений.

Принимая во внимание явный акцент в диссертации на интерпретации результатов термодинамического моделирования и их согласовании с данными по минеральной геотермобарометрии и геохронологии, предполагается более детальная характеристика использованных методов физико-химического моделирования процессов метаморфизма. Прежде всего имеется в виду обоснование выбора базы внутренне согласованных термодинамических данных и моделей минеральных твердых растворов, а также уравнения состояния для расчета концентраций воды и углекислоты. Необходима и дополнительная аргументация в пользу использования суммарного железа и валового состава пород,

полученного с помощью рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, для расчетов параметров метаморфизма на проградном, окологиковом и ретроградном этапах.

Глава 3 содержит информацию о химическом составе (только главные компоненты) метапелитов, известковых сланцев и амфибол-биотитовых гнейсов серий Атомфьелла и Моссель; в этой части главы приводятся и AFM- и TAS- диаграммы с вынесенными составами ключевых разностей пород. Кроме того, в главе 3 содержится детальное петрографическое описание и характеристика химического состава минералов изученных пород, базируясь на которых в дальнейшем строятся многие выводы об их тектонической принадлежности и степени метаморфических преобразований.

Поскольку в рамках диссертационной работы не предусмотрена реконструкция тектонического положения и источников сноса для протолитов изученных метаосадочных комплексов, особенности распределения рассеянных элементов в породах не являются необходимым фактором для обоснования защищаемых положений. Однако предоставление такой информации желательно, особенно учитывая наличие признаков частичного плавления в породах по крайней мере серии Атомфьелла (замечание будет расширено далее в отзыве). Это позволит проследить закономерности изменения в содержаниях слабоподвижных компонентов метаморфических пород единой серии и сделать предположения об особенностях их эволюции на различных этапах. Приведенные в диссертации диаграммы, основанные на распределении главных элементов, демонстрируют широкие вариации от пелитов к грауваккам, что даже при условии работы с неизменными осадочными толщами представляет собой значительный разброс. Дополнительный критерий присутствия анатексиса метаосадочных пород при этом фактически исключает возможность использования содержаний главных элементов для интерпретации их петрогенезиса.

К петрографической характеристике пород (включая химический состав минералов) имеются следующие замечания:

- во многих «метапелитовых и известковых сланцах» серии Атомфьелла суммарные модальные содержания калиевого полевого шпата (КПШ) и плагиоклаза достигают 20-25%, при этом плагиоклаз в нескольких разностях относится к фактически лабрадору-битовниту и содержит антипертиты (Рис. 7, г), КПШ демонстрирует высокие концентрации ВаО, а в случае образца 4072-2 калиевый полевой шпат и самим автором относится к мезопертиту. Кроме того, биотит содержит высокие концентрации TiO_2 до 4.5 вес.%, а зональность крупных порфиробластов граната в ядерных частях выражена слабо. Все эти признаки

указывают на высокие температуры формирования минеральных парагенезисов, метаморфическая эволюция которых, по-видимому, включала этапы инконгруэнтного плавления при температурах около 700°C и выше.

К такому же выводу приходит и сама автор диссертации, тем не менее, не используя эту информацию в дальнейшем ни при интерпретации результатов моделирования, ни возможного генезиса монацита (по крайней мере часть из которого могла быть кристаллизована из новообразованного расплава, на что указывает и идиоморфный облик, и секториальная зональность, также отмеченные самим автором; рассмотрено в отзыве далее). В таком случае породы серии Атомфьелла являются регрессивно измененными парагенезисами высоких ступеней метаморфизма. При этом присутствие среди минералов метаосадочных пород серии Моссель ассоциации ставролита со слюдами (биотит низкотитанистый), олигоклазом, гранатом и кварцем свидетельствует в пользу формирования этого парагенезиса на пике метаморфизма в условиях умеренных ступеней метаморфизма при T 550–650°C.

В **Главе 4** автором приводятся данные минеральной геотермобарометрии для метаморфических пород серий Атомфьелла и Моссель. Эта часть диссертации содержит множество расчетов с использованием представительного количества разнообразных геотермометров и геобарометров, а также моделирования фазовых Р-Т диаграмм с помощью программного пакета Theriak/Domino.

К главе также имеются следующие замечания:

- на изохимических диаграммах метапелитовых и известковых сланцев серии Атомфьелла присутствует только один полевой шпат – плагиоклаз, в то время как для пород отмечается наличие как плагиоклаза, так и КППШ. Неясным является и использование при расчетах как модели твердого раствора полевого шпата, так и чистого альбита;
- принимая во внимание возможный эпизод частичного плавления в процессе метаморфической эволюции пород серии Атомфьелла, пересечение полей стабильности рутила и плагиоклаза с высоким содержанием анортитовой компоненты с X_{Ca} и X_{Mg} изоплетами граната и линией водного «мокрого» солидуса, ограничение по давлению составляет не более 9 кбар при $T > 680-700^\circ\text{C}$. Рассчитанные с помощью минеральных геобарометров более высокие значения либо не вполне корректны, либо нуждаются в дополнительном обосновании;
- рост магнезиальной каймы граната может быть связан с регрессивными изменениями метапелитов за счет реакции граната с биотитом;

- в главе отсутствуют рассуждения о реакциях и параметрах минералообразования в условиях дегидратационного плавления, хотя сами свидетельства этих процессов отмечены автором для пород серии Атомфьелла;

- на изохимических диаграммах метапелитовых и известковых сланцев серий Атомфьелла и Моссель присутствует клиноцоизит, а в петрографической характеристике также отмечается наличие эпидота. Эти минералы содержат значительное количество Fe_2O_3 , что не согласуется с заданными параметрами системы для моделирования, где все железо рассматривается в виде FeO . Это могло привести к смещению изоплет составов других минералов в сторону повышения или понижения давления и/или температуры;

- для метаосадочных пород серии Моссель полученные при моделировании значения давления, по-видимому, не превышают 7-8 кбар при $\sim T$ 600°C при Si (к.ф.) для мусковита 2.99-3.05 согласно значениям, рассчитанным в Таблице Д.2. Это может указывать на различия в степени метаморфических преобразований для пород двух серий полуострова Нью Фрисланд.

Глава 5 посвящена изучению процессов формирования акцессорных минералов и закономерностям проявленных в них фазовых превращений (Се-монацит, REE-содержащие клиноцоизит и эпидот, Се-алланит, рутил, ильменит, титанит) в метаосадочных породах серий Атомфьелла и Моссель. В главе детально описаны реакции преобразования LREE- и Ti-минералов в процессе метаморфической эволюции, обосновывается последовательное образование рутила в ходе проградного метаморфизма.

Однако в этой главе не разъясняется, по каким критериям Се-монацит относится к наиболее ранней ассоциации, предшествующей началу роста граната, принимая во внимание идиоморфный облик минерала и противоречащие этому выводы в Главе 6 о наиболее позднем этапе формирования монацита в результате псевдоморфного замещения?

В **Главе 6** рассмотрены новые данные о времени проявления метаморфических преобразований в метаосадочных породах серий Атомфьелла и Моссель (Rb-Sr, Sm-Nd, SHIME) и проинтерпретированы все полученные результаты минералого-петрологических и геохронологических исследований с точки зрения геодинамической эволюции изучаемого региона. Приведенные в диссертации оценки возраста в целом хорошо дополняют уже имеющиеся изотопно-геохронологические данные по циркону (U-Pb) и слюдам (Ar-Ar), полученные предшественниками, и могут быть использованы при составлении геологических карт и корреляционных схем. В диссертации предлагается коллизионная модель формирования метаморфических комплексов с оцененным временем

проявления кульминационной стадии каледонского метаморфизма амфиболитовой фации для обеих серий ~430 млн лет и возрастом завершающей стадии метаморфизма ~380 млн лет.

К главе имеются следующие замечания:

- оцененный возраст высокотемпературных (гранатсодержащих) парагенезисов метаосадочных пород серий Атомфелла и Моссель, полученный Sm-Nd методом по двум точкам (гранат и валовый состав породы), составляет около 430 млн лет. В то же время в гранатах содержится большое количество включений эпидота, клиноцоизита, алланита. Оценивались ли возможные изменения в значениях изотопных соотношений при условии наличия в гранатах включений, богатых РЗЭ?
- разброс оценок возраста, полученный методом CHIME для монацита из метаосадочных комплексов, часть из которых (серия Атомфелла), по-видимому, испытала частичное плавление, составляет 429–337 млн лет. В этой главе автор рассматривает формирование монацита в процессе реакций «растворения и осаждения», что приводит к псевдоморфному замещению исходного (детритового?) монацита новообразованным: полученная для монацитов средняя оценка возраста ~380 млн лет интерпретируется как время формирования наиболее поздней Ms-Chl-Ab ассоциации. Такой механизм, вероятно, возможен, но в данном случае является скорее исключительным, поскольку продатированные монациты с секториальной зональностью имеют выраженные грани, тогда как для роста по механизму «растворение и осаждение» характерно наличие включений или реликтов более древних ядер. В геологическом обзоре автором диссертации рассмотрены близкие оценки возраста для гранито-гнейсов комплекса Эсколабреен 404 ± 8 , 385 ± 51 , 374 ± 62 , ~350 млн лет, сопоставимые с временем наложенных метаморфических преобразований. Также диссертантом приводятся оценки возраста монацита 420-400 млн лет, полученные предшественниками для метапелитов свит Риттерварнет и Флоен. В таком случае почему автором не рассматривается модель формирования монацита из расплава, отделившегося в результате дегидратационного плавления метапелитов в интервале от 430 млн лет на пике метаморфизма до более поздних генераций? Это, в свою очередь, не отменяет возможности формирования наиболее молодых популяций монацита в условиях поздних этапов диафтореза.

Несмотря на значительное количество приведенных замечаний и комментариев, оппонент выражает понимание автору диссертации и во-многом разделяет встреченные трудности, связанные с реконструкцией метаморфической эволюции для метаосадочных пород, в особенности испытавших один или несколько эпизодов деформаций и/или частичного плавления. Бóльшая часть индекс-минералов более высоких ступеней метаморфизма, характерных зональностей или микроструктурных соотношений в таких породах обычно стерты в результате наложенных процессов. Поэтому получение и интерпретация минералого-геохимических и петрологических данных, а также датирование подобных комплексов всегда является нетривиальной задачей, с которой автор уверенно справилась. Представленная диссертация является хорошо структурированной законченной работой, соответствующей специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация «Р-Т траектории и геодинамические обстановки формирования метаморфических комплексов Нью Фрисланда, Архипелаг Шпицберген», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых, соответствует требованиям раздела 2 «Положения о присуждения ученых степеней» федерального государственного бюджетного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», утвержденного приказом ректора Горного Университета от 20.05.2021 №953 адм, а ее автор – Акбарпуран Хайяти Сима Абдолрахимовна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых.

Официальный оппонент,

ФГБУН Геологический институт РАН

Старший научный сотрудник

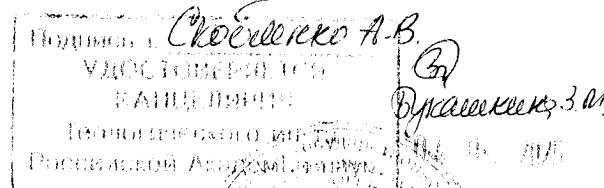
(Скобленко)

Скобленко Анфиса Владимировна

Кандидат геолого-минералогических наук

Тел.: +7(495)9535405; email: an.pilitsyna@gmail.com

Дата: 4 апреля 2025 г.



Официальный адрес организации – места работы оппонента: ФГБУН Геологический институт РАН, 119017 Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1