

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Никифорова Андрея Александровича на тему «Минеральные ассоциации и зоны ЭПГ – хромитового оруденения ультрабазитового массива Падос-Тундра (Кольский полуостров)» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения; 25.00.04 – петрология, вулканология

1. Актуальность избранной темы. Тема «Минерагения и рудогенез хрома, никеля и элементов группы платины в мафит-ультрамафитовых массивах» – является одной из самых приоритетных, актуальных и экономически значимых среди направлений исследований «Науки о Земле». Мафит-ультрамафитовые массивы являются своего рода модельными природными объектами. Их всестороннее и детальное изучение позволяет познать закономерности процессов магматической дифференциации, фракционной кристаллизации, рудообразования и, в конечном итоге, эволюции материи в природе. Эти массивы являются основными носителями весьма важных ресурсов, таких как месторождения Cr, Ni, Ti, V и ЭПГ. Однако существует множество весьма важных аспектов петро- и рудогенеза, требующих самого детального и всестороннего изучения. В природных объектах имеется значительная специфика в характере индивидуальных рудно-магматических систем, которую необходимо учитывать и выявлять в конкретных магматических комплексах мафит-ультрамафитового состава. Массив Падос-Тундра является недостаточно изученным, поэтому изучение вещественного состава его пород, минералов и руд на современном уровне – весьма актуальная задача.

2. Цели и задачи работы. Главными целями диссертационного исследования были: определение рудогенерирующих обстановок и факторов рудогенеза; выявление положения зон хромовой и ассоциирующей МПГ минерализации в массиве Падос-Тундра в общей схеме магматической расслоенности и эволюции интрузива. Основные задачи исследования сформулированы следующими четырьмя положениями: изучение минеральных ассоциаций и парагенезисов; установление геохимических особенностей интрузива; исследование скрытой расслоенности, трендов кристаллизации и вариаций составов главных породообразующих силикатов; изучение трендов кристаллизации и генераций хромшпинелидов по представительным разрезам интрузива. Все цели и задачи, поставленные автором в диссертации выполнены.

3. Новизна исследований и полученных результатов определяется тем, что в работе впервые выявлены и всесторонне охарактеризованы: закономерная скрытая расслоенность, что доказывает принадлежность массива к расслоенным интрузивам; уточнённая схема геологической структуры массива, включающая Дунитовую и Ортопироксенитовую зоны; обоснована высокая магнезиальность исходной магмы коматиитового типа. Изучены тренды кристаллизации и ассоциации хромшпинелидов. В хромовых рудах Дунитового блока впервые исследованы проявления МПГ; в составе минерализации выявлено первое в природе проявление сульфоселенидов рутения, предложена интерпретация их генезиса и рудогенетическая значимость; выявлены необычные микрокрастания лаурита $(Ru,Os)S_2$ с клинохлором, и обсуждены возможные

механизмы их формирования. Не имеющая мирового аналога находка фрамбоидальных микро(нано)-частиц самородного рутения представляет собой первое проявление самородного рутения в Карело-Кольском регионе.

4. Значимость для науки и производства полученных автором диссертации результатов. Полученные в ходе исследований результаты будут способствовать повышению эффективности геологоразведочных работ. Впервые изученная в массиве Падос-Тундра минерализация МПГ, может быть использована для прогнозирования подобной минерализации в других расслоенных ультрабазитовых массивах региона. Установленное положение стратиформных и подовых хромовых руд в объёме массива дает основание сделать прогноз перспектив хромового оруденения массива. Прогнозные ресурсы массива путем несложного расчета могут быть оценены в 3-4 млн. тонн руды, что соответствует мелкому-среднему месторождению. Массив может быть рекомендован для лицензирования и проведения ГРП на хромовое оруденение.

5. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов определяется большим объемом фактического материала и применением современных аналитических методов. В основу работы положен оригинальный материал (более 300 штуфных и протолочковых проб), собранный в ходе полевых работ с личным участием автора, Использован огромный объём (более 1000 электронно-микроскопических анализов минералов, нескольких сотен рентгенофлуоресцентных, представительных ICP-MS анализов пород и других исследований). Высокая достоверность аналитических данных обусловлена их получением в аккредитованных лабораториях по сертифицированным методиками, а также их заверкой с использованием дубликатов проб. **Личный вклад Андрея Александровича Никифорова** оценивается как доминирующий в его диссертационной работе, и сама работа является его личным научным достижением.

6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом. Диссертация состоит из введения, 6-ти глав и заключения, содержит 232 страницы машинописного текста, включая 58 рисунков, 39 таблиц и список литературы из 230 наименований. Текст диссертации обладает внутренним единством. Во введении, где даётся «Общая характеристика работы» обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, приведены краткие сведения о методах работы, фактическом материале, приведена оценка научной новизны и практической значимости работы, краткие сведения о степени изученности рассматриваемых объектов, а также обозначен личный вклад автора и сведения об апробации работы.

Самой объемной является Глава 1 «Геологическая структура и скрытая расслоенность палеопротерозойского массива Падос-Тундра, Серпентинитовый пояс Кольского по-ва». Она состоит из следующих разделов: Местоположение, предыдущие исследования и общие сведения о массиве Падос-Тундра; Геологическая структура массива Падос-Тундра; Профили, пробы и аналитические данные; Скрытые вариации составов оливина и ортопироксена в массиве Падос-Тундра; Наиболее высокомагнезиальные составы кумулузного оливина и ортопироксена, как оценка степени магнезиальности исходной магмы; Ойкокристаллы ромбического пироксена; Кальциевые и Fe-Mg амфиболы в ультрамафитах массива Падос-Тундра; Степень обогащения хромом

породообразующих и вторичных минералов, и проявления серпентина, аномально обогащённого Cr и Al; Свидетельство вероятного существования переохлаждённого расплава в интрузиве Падос-Тундра; Происхождение гипермагнезиального оливина в массиве Падос-Тундра в сопоставлении с расслоенным массивом Мончеплутон, Кольский полу-ов; Сопоставление с расслоенной интрузией Кевица, северная Финляндия. На материалах этой главы сформировано первое защищаемое положение, которое вполне логично построено, достаточно аргументировано и не вызывает сомнений.

В главе 2 рассматриваются важные аспекты типоморфизма рудных и акцессорных хромшпинелидов их приуроченность к определенным местам локализации, связь с эволюцией главных породообразующих минералов ультрабазитов и составом минеральных парагенезисов. Обсуждается место магнезиального ильменита (необычного рудного минерала для минеральной ассоциации ультрабазитов) в общей эволюции минеральных парагенезисов. На материалах главы сформировано второе защищаемое положение. Однако пространное изложение его сути можно было сформулировать в коротком и ёмком, но тривиальном выражении: о том, что направление тренда эволюции хромшпинелида совпадает с трендом изменчивости типоморфных особенностей главных породообразующих минералов оливина и энстатита в магматическом процессе.

В главе 3 приведены результаты исследования платиновометалльной минерализации (МПП) в хромовых рудах массива Падос-Тундра. Обсуждаются составы лаурита в ассоциации с клинохлором, микрофазы фромбоидального самородного рутения, новая природная серия твердого раствора RuS_2-RuSe_2 , даётся авторская интерпретация происхождения и распространения МПП. На интересных материалах этой главы, обладающих несомненной новизной и практической значимостью, сформулировано третье защищаемое положение, которое хорошо аргументировано и не вызывает ни каких вопросов. Материалы исследований опубликованы в нескольких статьях.

Глава 4 посвящена рассмотрению петрографических особенностей гарцбургитов со сфероидальными формами выветривания, связанными с особо крупными (1-4 см) выделениями индивидов энстатита и замещением их вторичными водными минералами в процессе автотометасоматоза (авторская интерпретация). Индивиды энстатита нацело замещены тальком и тремолитом. То, что в гарцбургите присутствуют ойкокрсталлы ортопироксена, не следует из представленных материалов, так как собственно энстатит не сохранился, и судить о его первичности по отношению к оливину не представляется возможным. Более устойчивый к выветриванию тремолит, образующий армирующую сеточку, способствует сохранению первичных сфероидов. Этот раздел диссертации представляется рецензенту как избыточный в работе, он слабо аргументирован и вызывает много вопросов.

Глава 5 раскрывает геологические и минералого-геохимические особенности ультрабазитов горы Карека-Тундра, важные для сопоставления с основным объектом исследования – массивом Падос-Тундра. Из приведенного описания следует, что блоки и фрагменты ультраосновных пород здесь претерпели динамометаморфизм и заметно отличаются от слабо измененных или вовсе неизмененных магматогенных пород расслоенного массива Падос-Тундра.

В шестой главе «Оливин-хромшпинелидовые парагенезисы и зоны ЭПГ-хромитовой минерализации интрузива Падос-Тундра» рассмотрены следующие аспекты: Вариации составов оливина и хромшпинелидов по разрезу хромитоносных зон Дунитового блока; Текстуры, минеральные ассоциации и составы хромитоносных зон Дунитового блока; Геохимические вариации в Дунитовом блоке и ультрамафитах Ортопироксенитовой зоны массива Падос-Тундра; Геотектоническое положение и вероятная исходная магма интрузива Падос-Тундра; Сопоставление с ультрабазитами Фенноскандинавского щита; Формирование ЭПГ-хромитовых рудных зон в массиве Падос-Тундр. В этой главе автор продемонстрировал свою высокую квалификацию как петрограф.

В заключении приведены основные результаты проведенного исследования и сформулированы выводы.

7. Соответствие автореферата основным положениям диссертации. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации, и верно отражает основные результаты и защищаемые положения.

8. Подтверждение опубликованных основных результатов диссертации в научной печати. По теме диссертации опубликованы 9 работ, из них 7 – в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ. Вызывает уважение факт публикации основных достижений автора (6 работ) в зарубежных журналах. Основные результаты были доложены на нескольких всероссийских и международных конференциях в период с 2017 по 2018 гг.

9. Замечания по диссертации.

1. Похвально, что автор широко использует международную номенклатуру для описания химических особенностей хромшпинелей (так же как и других минералов) признаваемой Международной Минералогической ассоциацией. Однако следует признать, что она значительно загроубляет полученные автором интересные данные о химических особенностях и типоморфизме хромшпинелидов массива Падос-Тундра и объектов сравнения. Полезно было бы показать для сопоставления результаты в графическом виде и на другой диаграмме – треугольнике Н.В. Павлова, широко используемом уральскими «хромитчиками». Тогда стало бы понятно, откуда взялся объективный термин «феррихромит» (отсутствующий в международной номенклатуре). Известно, что для расслоенных ультрабазитовых массивов типоморфны глиноземистые рудные хромшпинелиды, как например, в Бураковском массиве это субферриаломохромиты. Непривычно использование автором термина «магнезиохромит», рекомендуемого ММА. Такая разновидность должна бы встречаться только в виде включений в алмазе и в высокохромистых рудах альпинотипных ультрабазитов. По логике ММА все, что находится выше половины высоты номенклатурного треугольника (по направлению к Cr^{3+}), следует называть хромитом (в том числе и «феррихромит»), вторую часть треугольника, прилегающей к Al^{3+} – шпинелью (MgAl_2O_4), а третью часть, прилегающую к Fe^{3+} – магнетитом (FeFe_2O_4). Такое упрощение вредно для типоморфического анализа.

2. Клинопироксен Сопчеозерского массива автор называет авгитом, это неверно, так как согласно табл. 10 (стр. 60), химический состав и кристаллохимические коэффициенты свидетельствуют, о том, что это **диопсид**. Фигуративные точки составов лежат вблизи

границы раздела этих минералов, но всё же в поле диопсида ($En - 45,3-45,6$ мол.%). Расчет следует производить только между тремя компонентами (FeO , MgO , CaO), а не между всеми, включая хром, алюминий, натрий, калий.

3. Нельзя считать доказанным отнесение водного силиката магния (табл. 8, стр. 47) с необычно высоким содержанием хрома и алюминия (замещающего в процессе метаморфизма оливин) к серпентину – антигориту. Возможно это смесь двух и более минералов (брусита, клинохлора, серпентина) на тонком наномикронном уровне. Для доказательства необходимо было применить признанные и широко применяемые методы диагностики, как термический и рентгенофазовый анализы, ИК-спектроскопия. Все эти вторичные минералы легко диагностируются даже в смеси с оливином, для этого необходимо иметь всего 20-30 мг вещества. А у автора только микрозондовый химический анализ и ЭМ-изображение. Этого недостаточно для диагностики минерала группы серпентина – антигорита. Исследование этой фазы необходимо продолжить.

4. В диссертации описываются многочисленные вторичные водные минералы, развивающиеся по первичным оливину и энстатиту, такие как антофиллит, тремолит, тальк, клинохлор, серпентин. Судя по фотографиям образцов (рис. 15, 33, 34, 35), а также данным таблицы 38, объем вторичных изменений породы гарцбургита (массивов Падос-Тундра и Мончеплутон), и, соответственно, полных замещений первичного энстатита водными вторичными силикатами может достигать 10-20 об.% породы, а значит, сама порода должна содержать более 1% воды (что подтверждается данными таблицы 38). Автор интерпретирует процессы замещения как **автометасоматоз**. Это означает, что вода во вторичных водных минералах имеет происхождение из самой ультраосновной системы. Но всем известно, что ультраосновные системы «сухие», и такого количества внутренней воды содержать не могут. Должно быть четко доказано, что вода магматическая, а это можно сделать только по изотопии кислорода и водорода в водных вытяжках. Таких данных у автора пока нет, и утверждать о процессе автометасоматоза преждевременно. Если же вода привносится извне, то придется процесс называть метаморфизмом.

Текст диссертации написан грамотно, хорошим литературным языком, сопровождается качественными фотографиями, рисунками и таблицами, однако есть ряд **замечаний по оформлению**:

– в нескольких местах (11-и) текста диссертации (стр. 22, 24, 25, 72, 78, 80, 81, 98, 106) имеется досадная пометка вместо литературной ссылки фраза – **(Ошибка! Источник ссылки не найден...)**. Видимо, это сбой программы связи списка литературы с текстом диссертации. Это неприятно, так как, видимо, из-за этого сбоя на несколько источников в списке литературы нет ссылок в самом тексте работы;

– в таблицах 35 (стр.165); 36 (стр.167); 38 (стр.176) отсутствуют единицы измерения (мас.%);

– в таблице 38 неправильно указывается FeO (общ), должно быть просто FeO , так как Fe_2O_3 (общ) = $Fe_2O_3 + FeO$. В этой же таблице в примечаниях следовало бы назвать анализируемые породы (ортопироксениты, гарцбургиты, дуниты, руды), а не отсылать читателя к Таблице 1.

– в списке литературных источников отсутствует единообразие в представлении ссылок (в применении соответствующей пунктуации и сокращений), все это нужно было сделать согласно существующему ГОСТу.

Заключение: Сделанные замечания не влияют на общую высокую оценку рецензируемой работы. Диссертация Андрея Александровича Никифорова является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение проблемы петрологии, хромитоносности и происхождения минерализации ЭПГ в расслоенном ультрабазитовом массиве Падос-Тундра на Кольском полуострове, что соответствует требованиям п. 9. «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. N 842. (ред. от 21.04.2016).

Считаю, что диссертация «Минеральные ассоциации и зоны ЭПГ – хромитового оруденения ультрабазитового массива Падос-Тундра (Кольский полуостров)» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальностям: 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения, 25.00.04 – петрология, вулканология

Ведущий научный сотрудник лаборатории геологии рудных месторождений ФГБУ Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии ИГЕМ РАН,

доктор геолого-минералогических наук,
профессор по специальности минералогия
и кристаллография –
8.06.2021 г.

Макеев Александр Борисович

119017, Москва. Старомонетный пер, д. 35, ИГЕМ РАН
e-mail: abmakeev@mail.ru
Тел.: 8 916 8830085

Я, Макеев А.Б., даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись руки *Макеева А.Б.*
удостоверяется.

Заведующий канцелярией Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук МИНОБРНАУКИ России