

## ОТЗЫВ

### официального оппонента

*на диссертацию Хассана Мусаба Авада Ахмеда на тему «Минерализация благородных металлов (элементы платиновой группы, золото) в офиолитовом комплексе Кала Эн Нахаль-Умм Сагата обрамления Аравийско-Нубийского щита (Гедареф, Судан)», представленную на соискание ученой степени кандидата геолога – минералогических наук по специальности 1.6.10. – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».*

#### **1. Соответствие работы намеченной специальности**

Представленная на рецензирование работа полностью соответствует специальности 1.6.10. – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

#### **2. Актуальность темы диссертации.**

Диссертация Хассана М.А.А. посвящена важной как с научной, так и практической точек зрения теме изучения офиолитовых комплексов обрамления Аравийско-Нубийского щита и связанных с ними полезных ископаемых. **Актуальность исследований** определяется необходимостью расширения минерально-сырьевой базы Судана, а также восстановлением геодинамических условий формирования офиолитовых комплексов и связанной с ними минерализации.

**Целью** исследований является установление геолого-геохимических особенностей офиолитового комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата и связанных с ним проявлений золота и элементов платиновой группы.

Для достижения указанной выше цели были определены **задачи**, наиболее значимыми из которых являются следующие:

1. Обобщить материалы предшественников о геологическом строении и тектонической обстановке комплекса, а также дополнить их собственными данными на основе геологического картирования территории;

2. Определить структурно-тектонические условия эволюции офиолитов Кала Эн Нахаль-Умм Сагата на основе анализа геологического строения территории;

3. Провести комплексное минералого-геохимическое изучение пород и руд комплекса с применением современных методов исследования вещества;

4. Выявить потенциально значимые геолого-промышленные типы месторождений полезных ископаемых в данном офиолитовом комплексе;

5. Восстановить условия рудообразования на основе изучения парагенезисов минералов благородных металлов.

**Фактический материал**, положенный в основу диссертационной работы, представлен результатами геологического картирования, проведенного автором, результатами изучения 300 проб различными методами анализов, включая электронную микроскопию и микрозондовый анализ, масс-спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS), рентгенофлюоресцентный анализ (РФА), атомно-абсорбционную спектрометрию (ААС) и другие.

**Личный вклад автора.** Полевые исследования, включая геологическое картирование и поисковые работы, а также первичная обработка материалов проводились лично автором. На основе анализа полученных данных автором обобщенные результаты представлены в виде диссертации.

### **3. Научная новизна и результаты работы**

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Автором составлена уточненная геологическая карта района распространения офиолитового комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата.

2. В диссертации представлены новые геохимические данные по породам офиолитового комплекса, которые позволяют по-новому взглянуть на геодинамическую эволюцию территории.

3. В хромититах комплекса установлена платинометальная минерализация, проведена ее типизация.

4. Впервые в районе исследований установлена зона лиственнизации, перспективная на обнаружение золоторудных объектов.

#### **4. Практическая значимость работы**

Практическая значимость работы заключается в обнаружении в хромититах офиолитового комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата платинометальной, а в лиственитах – золоторудной минерализации, которые могут при углублении поисковых работ перерасти в выявление промышленно-значимых объектов. Автором детализировано геологическое строение района, реконструирована тектоническая история развития территории, что также может быть использовано при поисковых работах.

**Степень достоверности результатов проведенных исследований** обеспечивается применением современных методов изучения вещества (СЭМ/ЭДС, ААС, ИСП МС, РФА), привлечением для геохимических исследований лабораторного оборудования специализированных сертифицированных лабораторий.

**Апробация работы.** По теме диссертации автором опубликовано 6 научных статей (5 из них – в изданиях, индексируемых в международных базах), основные положения докладывались на конференциях различного уровня. В целом апробация работы удовлетворяет требованиям ВАК РФ.

#### **5. Краткое содержание диссертации**

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав (главы 2-4 посвящены обоснованию защищаемых положений) и

заклучения. Объем работы составляет 142 страницы, она содержит 21 таблицу, 90 иллюстраций, список литературы включает 226 наименований.

**Первая глава** посвящена общей характеристике района исследований, здесь рассмотрены физико-географические, геоморфологические особенности, а также административно-территориальное устройство территории.

**Во второй главе** приводится описание геологического строения района в целом и конкретно – офиолитовой ассоциации комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата. Обращает на себя внимание тот факт, что офиолитовая ассоциация обнажается в виде изолированных блоков на фоне перекрывающих рыхлых отложений, датируемых от палеогена до кайнозоя. В строении этих блоков автором идентифицированы практически все члены типичной офиолитовой ассоциации, которая включает мантийную и коровую часть. Самые нижние члены ассоциации представлены полностью серпентинизированными, а зачастую превращенными в тальк-карбонатные сланцы, гарцбургитами и дунитами. Переходный комплекс представлен существенно пироксеновыми породами и полосчатыми габброидами. Коровый разрез начинается с массивного габбро с телами плагиогранитов, далее следуют долеритовые дайки и подушечные лавы. Автором отмечается интенсивное вторичное изменение всех членов офиолитовой ассоциации, тем не менее, их первичная принадлежность к определенному типу пород идентифицируется достаточно уверенно.

Глава завершается формулировкой первого защищаемого положения: **в районе Кала Эн Нахаль-Умм Сагата на юго-востоке Судана выделен позднепротерозойский рудоносный офиолитовый комплекс, представленный серпентинизированными ультраосновными породами (гарцбургитами с подчиненными дунитами), основными – ультраосновными кумулятивными породами (полосчатыми габбро и пироксенитами), массивными габбро и связанными с ними плагиогранитами, а также подушечными базальтовыми лавами и**

**долеритовыми дайками.** Первое защищаемое положение, по мнению оппонента, диссертантом обосновано убедительно.

**Третья глава** посвящена описанию геохимических особенностей пород офиолитового комплекса и структурному изучению территории. На основе проведенных анализов построена серия дискриминационных диаграмм для пород мантийного разреза, которые по мнению автора свидетельствуют о том, что гарцбургиты и дуниты представляют собой сильно истощенный материал верхней мантии. Структурно-геологическое изучение территории позволило автору выделить несколько фаз деформации, которые испытали первичные породы разреза. Им выделены фазы образования вертикальной изоклиальной складчатости (D1), перегибы сложных лежащих складок (D2), зон правостороннего сдвига северо-восточного направления (D3).

Значительная часть в главе посвящена геохимическим особенностям вулканогенных пород офиолитового комплекса, составлены многочисленные геохимические диаграммы. На основе анализа геохимических данных автор справедливо делает вывод о принадлежности базальтоидов района к островодужным. В результате анализа геохимических и структурно-геологических данных, автором в конце главы сформулировано второе защищаемое положение.

**Установлена тектоническая обстановка формирования пород комплекса и его эволюции. Определено, что мантийные перидотиты комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата образовались в преддуговой обстановке. Этот офиолитовый комплекс испытал три фазы деформаций позднепротерозойского возраста.**

Оппоненту представляется, что второе защищаемое положение автором обосновано, хотя есть некоторые замечания, которые высказаны ниже.

**В четвертой главе** рассмотрен потенциал рудной минерализации офиолитового комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата. В ней описаны проявления хромититов с выявленной в них платинометальной минерализацией, а также золоторудные проявления в зонах лиственизации.

Образование хромититов автор связывает с высокой степенью плавления исходного мантийного материала, которое происходило в надсубдукционной обстановке и было обусловлено присутствием большого количества флюидов, выделявшихся из гидратированных пород погружающейся океанической плиты. Платинометальная минерализация, установленная в хромититах, характеризуется довольно большим разнообразием, включая в себя как типичную для мантийных разрезов тугоплавкую (IPGE), так и собственно платиновую, которая обычно связана с хромититами переходного комплекса и коровой частью разреза. Помимо типичных для рестита МПГ (лаурит-эрликманит, IPGE сплавы и сульфоарсениды), автором сообщается о находках арсенидов платины, а также соединений платины и родия с сурьмой. Анализ полученного материала приводит автора к выводу о том, что изученный офиолитовый комплекс представляет собой перспективный объект для поисков промышленной ЭПГ-минерализации.

Вторая часть главы посвящена золоторудной минерализации, которая выявлена в связи с лиственизацией и кварцевыми жилами преимущественно в коровой части разреза. Оруденение связывается с правосдвиговой фазой деформации, что подтверждается конкордантностью сдвигов и ориентировки золотоносных кварцевых жил. Автор также делает вывод о перспективности двух указанных типов Au-минерализации для обнаружения промышленно значимых объектов.

В конце главы автор подводит итоги, формулируя третье защищаемое положение.

**В пределах офиолитового комплекса широко развита промышленная хромитовая минерализация, с которой связаны проявления двух типов платиновой минерализации, представленной кристаллизационными первичными платиновыми металлами и метасоматическими вторичными платиновыми металлами. Также выявлена золоторудная минерализация, которая преимущественно проявлена в кварцевых жилах в местах**

**распространения лиственитов, образовавшихся во время третьей фазы деформации территории.**

В целом оппонент констатирует обоснованность третьего положения.

В **Заключении** сформулированы основные результаты исследований по теме диссертации. Защищаемые положения в диссертационной работе и автореферате идентичны друг другу.

## **6. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Считаю целесообразным рекомендовать соискателю продолжить работу по изучению минералогии ультрамафитов и хромититов. В частности, более детальное изучение состава акцессорных хромшпинелидов из ультрамафитов мантийной части разреза комплекса может использоваться для детализации геодинамической обстановки образования офиолитовых массивов.

Интересными для практического применения являются наработки автора, касающиеся выявления собственных минералов элементов платиновой группы в хромититах. Они позволяют прогнозировать геохимическую специализацию будущих месторождений. Важное практическое значение также может иметь выявление высоких содержаний золота в определенных типах метасоматитов, связанных с породами офиолитового комплекса.

## **7. Замечания**

К диссертации и автореферату у Оппонента имеется ряд замечаний, которые изложены ниже.

1. В первом защищаемом положении, помимо прочего, обосновывается *выделение* офиолитового комплекса автором, но в тексте автор говорит о том, что предшественники уже выделили несколько офиолитовых поясов в данном районе. Было бы корректнее в защищаемом положении вместо «выделение» употребить термин «расчленение», который бы указал на более детальное изучение, но не открытие самого комплекса.

2. Во втором защищаемом положении на основании геохимических особенностей пород автор обосновывает «преддуговую» природу офиолитов. Однако, непонятно, почему в автореферате автор не привел очень важные и информативные диаграммы: тройную в координатах Al-Cr-Fe<sup>3+</sup>, и Cr#-Mg# для тех же минералов, хотя они есть в диссертации? Используемая для геодинамической интерпретации диаграмма с содержанием TiO<sub>2</sub> менее предпочтительна из-за низкой концентрации данного оксида в офиолитовых шпинелидах, обычно на пороге предела обнаружения. К сожалению, на диаграммах автор не разделяет хромшпинелиды из гарцбургитов и из дунитов. Известно, что высокохромистые шпинелиды в дунитах не обязательно свидетельствуют о преддуговой обстановке образования остаточных ультрамафитов.

Две другие диаграммы, приведенные автором в автореферате (CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O-FeO-MgO для валовых составов перидотитов), следует применять с большой осторожностью, поскольку, как следует из описания в диссертации, породы тотально изменены, а вторичные изменения значительно затрагивают соотношения таких оксидов как CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O. Необходимо также отметить, что автором наиболее убедительно показана надсубдукционная природа именно для вулканических пород, но они почему-то не попали в защищаемое положение.

3. Каким образом рассчитывался нормативный минеральный состав серпентинитов для соответствующей тройной диаграммы на рис.31? В тексте диссертации об этом не сказано.

4. На стр.61 при описании акцессорного хромшпинелида автор пишет, что это «магматический минерал», но тем не менее автор называет породы, содержащие его, «мантийными тектонитами». Как понимать данное противоречие?

5. Необходимо пояснить, как автор понимает «магматическое происхождение» хромититов «в результате высокой степени частичного плавления»? Что это – рестит или же результат кристаллизации частичного

расплава? В частности, в разделе 4.5.2, посвященном происхождению хромититов, автор пишет и о «магматической сегрегации хромита», и об «истощенном остатке». То же относится и к происхождению МПГ.

6. Хотя автор важное значение в диссертации отводит хромититам, в тексте автореферата отсутствует описание их текстурно-структурных особенностей и вещественного состава (нет валовых содержаний главных компонентов, нет составов рудообразующих хромшпинелидов для разных проявлений). Все это есть в тексте диссертации, но лучше было бы об этом кратко написать и в автореферате.

7. В тексте диссертации и автореферата часто встречается аббревиатура МПГ, которую в нескольких местах автор расшифровывает как «металлы платиновой группы». Однако, в русскоязычной геологической литературе МПГ означает «минералы платиновой группы», кстати именно такая трактовка подходит во многих случаях и к тому, о чем пишет автор. Если же речь идет об элементах (металлах), то обычно пишут ЭПГ – элементы платиновой группы. Этим сокращениям соответствуют англоязычные аббревиатуры PGM (platinum group minerals) и PGE (platinum group elements). Кроме того, автор на стр.99 неверно определяет аббревиатуры IPGE и PPGE как обозначающие «первичные» и «вторичные» платиновые металлы. На самом деле эти аббревиатуры указывают на принадлежность элементов платиновой группы к подгруппе иридия, или тугоплавким платиноидам (Os-Ir-Ru), или же к подгруппе платины (Pt-Pd-Rh).

8. Сомнение вызывают находки в хромититах сплавов цветных металлов, в частности, бронзы. На BSE-снимках видно, что частицы приурочены к порам, морфология частицы на рис.75 также скорее указывает на ее приповерхностное расположение. Чтобы избежать ошибочных «находок», необходимо было применить режим SE, который позволяет идентифицировать частицы металлической пыли, не относящиеся к природному образцу.

## 9. Терминологические неточности.

Необходимо указать также на ряд выражений, которые не соответствуют принятой терминологии: «сокращение океанической плиты» (обычно пишут «погружение» или «поглощение»), «обедненные материалы мантии» (следует заменить на «истощенный мантийный материал», «тугоплавкий остаток», «рестит»).

В формулировке третьего защищаемого положения не ясно, что автор понимает под термином «кристаллизационные металлы платиновой группы»? Кроме того, здесь некорректно применен термин «металлы», поскольку речь идет не об элементах, а о минералах платиновой группы.

При описании контактов мантийного разреза офиолитов с вмещающими породами автор использует словосочетание «структурный характер контакта». Необходимо пояснить, что это означает?

Используется неудачный термин «промежуточно-основные» комплексы (стр.29). Что имеется в виду? Комплексы, состоящие из основных и средних пород? Или что-то иное?

Неточности есть и в употреблении терминов «хромит», «хромшпинелид». Автор ошибочно применяет термин хромит при описании акцессорного хромшпинелида из перидотитов (стр.59, 91).

10. Есть также ряд *технических недоработок*, которые указаны ниже.

При описании фактического материала работы, по мнению оппонента, есть некоторое несоответствие между колоссальной площадью работ (4200 км<sup>2</sup>) и обозначенными детальными масштабами съемки (1:25000 и 1:50000), при этом было отобрано всего 300 проб? Необходимы уточнения.

В автореферате на стр.17-18 почти дословно повторяется текст двух абзацев, то же касается некоторых мест диссертации, например, на стр.41. Одинаковые названия имеют рис.17 и 18, хотя изображения различаются, а также диаграммы на рис.31 и 48.

Рис.60: что означают прямые линии на диаграммах? Если это корреляционные тренды, то в случаях  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O-SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$  такая связь отсутствует.

Замечание к большинству диаграмм и таблиц: не указано, какой анализ к какому объекту или типу пород принадлежит (табл.5, 18), на рисунках (рис. 38, 39, 41-44, 85, 86, 87), характеризующих составы хромшпинелидов, нет разделения акцессорных и рудообразующих, а также по типам пород (перидотиты, дуниты), хотя это имеет важное значение для геодинамических интерпретаций.

На рис.1 и 2 автореферата много мелких, нечитаемых символов, довольно много опечаток в легендах. Непонятно, что на рис.2 обозначает «мета-пеллайт». Также непонятно, что означает термин «пластовые дайки», встречающийся в тексте?

В таблице 1 автореферата не понятно, что обозначают цифры без наименования в столбце «количество»? Вероятно, это различные категории – пробы, образцы, шлифы, участки?

В диссертации приведены три таблицы с валовыми содержаниями ЭПГ (табл.19-21). Было бы лучше, если бы все данные были сведены в единую таблицу и каждый анализ был идентифицирован с определенной породой (хромитит, пироксенит) и типом разреза (мантийный, кумулятивный). Кроме того, в табл.20 не указаны единицы измерения, в табл.19 ошибочно указано г/т (фактически мг/г=ppb), а в табл.21 непонятно из названия, что именно анализировалось – хромититы или пироксениты.

## **8. Выводы**

В целом, несмотря на высказанные выше замечания, диссертация оставляет положительное впечатление. Автор выполнил цикл исследований, получил новые научные результаты, которые можно рассматривать как завершённый научный труд, соответствующий уровню кандидатской

диссертации. Диссертация хорошо иллюстрирована рисунками, схемами, таблицами.

Сделанные замечания не уменьшают значимость полученных автором научных результатов, которые следует рассматривать как один из возможных вариантов в решении важной проблемы рудоносности офиолитовых комплексов.

В целом диссертационная работа Хассана Мусаба Авада Ахмеда является законченным научным исследованием, в котором раскрыты особенности рудообразования в породах офиолитового комплекса Кала Эн Нахаль-Умм Сагата из обрамления Аравийско-Нубийского щита. Основные положения диссертации отражены и обоснованы: первое – в главе 2, второе – в главе 3, третье – в главе 4.

Считаю, что рассматриваемая диссертация соответствует всем требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10. – «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения», а ее автор Хассан Мусаб Авад Ахмед, заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент –  
Доктор геол.-мин. наук,  
главный научный сотрудник  
Института геологии - обособленного  
структурного подразделения  
Федерального государственного  
бюджетного научного учреждения  
Уфимского федерального  
исследовательского центра  
Российской академии наук (ИГ  
УФИЦ РАН)

<http://ig.ufaras.ru>

тел. 89373368580

Савельев

Дмитрий

Евгеньевич



*Я, Савельев Д.Е., даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку*



*26 августа 2024 года*

*Подпись ФИО автора отзыва заверяю*

Подпись <i>Савельева Д.Е.</i> заверяю.
Заместитель директора по общим вопросам
 (П.Н. Асаева)
<i>«26» августа 2024 г.</i>

