

Отзыв официального оппонента

на диссертацию **Киселевой Ольги Николаевны**

«Хромититы и платинометальная минерализация в офиолитах юго-восточной части восточного Саяна», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

Работа О.Н. Киселевой посвящена исследованию хромитовой и платинометальной минерализации в ультраосновных породах офиолитовой ассоциации Восточного Саяна.

В этом труднодоступном регионе известны два крупных ультраосновных массива - Оспино-Китойский и Харанурский. Специализированных поисковых работ на хромиты и платиноиды здесь не проводилось и поэтому выбор относительно слабо изученного (в плане металлогении) объекта представляется удачным и **актуальным**. **Актуальность** работы определяется также тем, что вопросы, связанные с происхождением и размещением хромитов, имеют два одинаково значимых аспекта: 1 – экономический – запасы руд, и в частности, руд, пригодных для металлургии, в России весьма ограничены и поэтому требуется разработка новых критериев их поиска; 2 – фундаментальный – хромиты несут информацию о процессах в мантии в огромном диапазоне глубин и времени, что способствует пониманию эволюции корово-мантийных оболочек Земли.

Задачи, поставленные автором – охарактеризовать хромитовые рудопроявления и участки минерализации, выявленные как в процессе полевых исследований, так и ранее известные, и на основе полученных минералого-петрографических и геохимических данных оценить физико-химические условия формирования минеральных ассоциаций – представляются вполне конкретными и соответствующими требованиям, предъявляемым к кандидатской диссертации.

Работа состоит из шести глав, введения, заключения и трех приложений общим объемом 224 страницы, включая 33 таблицы и 57 рисунков, представляющих геологические схемы, диаграммы и микрофотографии.

В *первой главе* рассмотрены методы исследования пород и минералов. Основное внимание уделено описанию методов геохимического анализа хромитов, элементов платиновой группы, золота и серебра. Это оправдано, поскольку на полученных геохимических данных основаны главные выводы автора. Однако, геохимии предшествует минералогический анализ, которому уделено несколько строк на стр.10:

дробление породы – отмывка – получение шлиха – шашка для анализа. Значит ли это, что не было разделения на фракции разной размерности, магнитной – электромагнитной сепарации, изучения шлиха под биноклем с выделением таких минералов, как, например, циркон, бадделеит? Если черный шлик сразу заливался в шашку, можно предполагать, что эти редкие для хромитов минералы содержатся в большом количестве.

Нет описания методики рентгеноспектрального (микронного) анализа минералов и не указана ошибка измерений. Соответственно, остается неясным, почему отсутствуют некоторые элементы, столь обычные в породообразующих минералах ультраосновных пород. Судя по результатам анализа, приведенным в таблице состава пироксенов (Приложение I, таблица 1), либо точность анализа недостаточна для определения оксидов хрома и титана, а также натрия, либо эти элементы отсутствуют по какой-либо причине (метаморфизм, например) не обсуждаемой автором. Содержания оксидов титана, хрома и натрия в пироксенах, как правило, является обязательным для оценки условий формирования пород.

Во *второй главе* геологическое строение юго-восточной части Восточного Саяна рассмотрено по литературным материалам. Автор приводит основные элементы тектонического районирования региона и краткие характеристики структурно-формационных и стратиграфических подразделений. Отмечена принципиально важная черта тектонического строения рассматриваемых комплексов - аллохтонное залегание офиолитовых покровов на фундаменте Гарганской глыбы. В целом, текст дает картину существующих представлений о геологическом строении рассматриваемой области. Однако, иллюстрации к этой главе, также заимствованные из публикаций, к сожалению, не осмыслены и никак не дополнены автором (кроме точек отбора проб на схеме 2.1); в тексте много названий, не отраженных на рисунках. Рисунки представляют собой схемы - не карты! как указано в подписях, поскольку нет элементов залегания пород, нет геологических разрезов, линейный масштаб и ориентировка север-юг на рисунках 2.1, 2.2, 2.4, 2.6, 2.7. отсутствует. Линейный масштаб обязателен на любой геологической схеме, которая претендует на элементарную геологическую грамотность. Автору должно быть ясно, что указание масштаба скопированной карты (неизвестно, какого размера) не дает представления о размере объектов, ведь даже для микрофотографий приводится линейный масштаб, а не размер увеличения. Неясно, почему точки отбора проб показаны только на мелкомасштабной схеме и не показаны на относительно крупномасштабных картах.

Перечисленные замечания представляются существенными, поскольку работа защищается по специальности «геология, поиски и разведка...» и квалификация автора оценивается в том числе, и по геологической грамотности.

В разделе «Геологическая характеристика хромитовых рудопроявлений» приведено достаточно полное описание зон хромитовой минерализации, размеров, формы, текстуры скоплений хромитов и их соотношений с вмещающими породами, как правило, сильно измененными. Этот раздел иллюстрирован четкими фотографиями и таблицей, в которой суммированы структурно-текстурные типы опробованных хромитов. Из этого раздела явствует, что большая часть хромитов находится в элювиально-делювиальных, коллювиальных свалах и, судя по незначительным масштабам зон и отдельных шпиров, жил, точки таких находок пока не могут быть названы рудными телами. В тех случаях, когда описаны шпирь, линзы хромитов в дунитах и серпентинитах, указано, что они «приурочены к тектоническим трещинам..» или просто – к трещинам - стр.25, 27. Термин «тектоническая трещина» сам по себе вызывает недоумение - какой геологический смысл вкладывает автор в слово *трещина*, совершенно неясно. Подразумевается сдвиг? сброс? зона расщепления? или милонитизации неясного генезиса?, а приуроченность хромитов к «трещинам» совсем непонятна – получается, что руды (с постепенными контактами!) формировались после разрывной (коровой?) тектоники. Возможно, автор хотела сказать, что «трещины» приурочены к зонам развития жил или шпиров хромитов или предполагалось подчеркнуть пострудную тектонику? Но слово «приуроченность» употребляется довольно часто именно в генетическом смысле. Это замечание, на мой взгляд, говорит о довольно небрежном отношении автора диссертации к геологии, без которой модельные построения часто теряют ценность. Петрографические названия ультраосновных пород приведены по данным предшествующих исследователей – например, Анциферова, 2006, но автор приводит и свои данные. Судя по составу пироксенов (табл.1 приложение I – волластонит, авгит, энстатит диопсид без оксидов титана и с весьма низкими содержаниями оксидов алюминия и хрома), изученные породы, вмещающие хромиты, представлены исключительно рекристаллизованными или полностью метаморфизованными в коровых условиях ультрабазитами. Названия пород, из которых анализируются минералы, указаны только в заголовке таблицы, но не к конкретному образцу; при этом есть такая порода, как «редковкрапленный дунит». Рецензенту ясно, что основная задача автора - исследование хромитов и МПГ, но если нет ясности, какие изменения претерпели породы, в которых заключен изучаемый аксессуарный шпинелид и залегают хромитовые руды, то последующие рассуждения

автора о степени плавления реститов, фугитивности кислорода и т.д. не имеют большой ценности.

Третья глава содержит значительный объем результатов оригинального исследования О.Н. Киселевой. В этой главе минералогические и геохимические особенности хромитов рассмотрены отдельно по участкам, указанным на рисунке 2.1. Аналитические данные, на которых основаны выводы исследования, приведены в приложении I, таблицы 1-5.

Весь материал четко систематизирован, петрографическое и минералогическое описание дано по единому плану, что облегчает восприятие большого количества аналитики.

Несомненной заслугой автора диссертации является тщательное определение сложного минерального состава хромитов, включающих большое количество редких акцессорных минералов. Сильный аллохимический метаморфизм ультрабазитов восточного Саяна нашел отражение в составе как силикатной, так и рудной части хромитов, и автору удалось показать специфику минералогии метаморфизованных хромитов, содержащих целый ряд силикатов, сульфидов, сульфоарсенидов и интерметаллических соединений.

На базе большого количества аналитических данных О.Н. Киселевой выделены три группы рудообразующих хромшпинелидов и показано их пространственное распространение в Северной и Южной ветвях офиолитового пояса. К сожалению, в работе нет схемы, на которой обозначены эти ветви, и читателю приходится руководствоваться названиями участков, особенно, для восточной части пояса.

. Параметры выделенных групп (типов) четко обозначены разными соотношениями оксидов глинозема, хрома, железа и магния, а также набором акцессорных минералов и содержаниями некоторых второстепенных окислов. Обсуждаемый материал сопровождается удачно составленными таблицами и диаграммами в тексте.

Как результат - создана четкая картина распространения зон, точек проявлений хромитовой минерализации (1) средне-высокохромистых алюмохромитов в Северной и Южной ветвях офиолитового пояса и (2) высокохромистых хромитов в Северной ветви. Особое место занимают метаморфизованные хромиты и хромиты в углеродизированных ультрабазитах (3 тип). Судя по приведенным анализам, метаморфизованные хромиты Северной и Южной ветви, возможно, имеют разный генезис. Остается неясным, почему автор считает, что очень высокое содержание оксида марганца - до 10% - в высокохромистых шпинелидах, с низким содержанием окисного железа и титана (Южная ветвь) обусловлено метаморфизмом? Есть ли вероятность того, что эти хромиты формировались не в реститовых ультраосновных породах ??.. Метаморфическая

зональность хромшпинелидов с замещением их хроммагнетитом, магнетитом в разных породах хорошо показана на микрофотографиях Приложения II, Рис. 8.

Замечание по поводу классификационной диаграммы хромшпинелидов, **Рис.3.2**. Здесь показаны поля составов хромшпинелидов **со ссылкой; по Н.В. Павлову, 1968.** (Павлов Н.В., Кравченко Г.Г., Чупрынина И.И. Хромиты Кемпирсайского плутона. М.: Наука, 1968. 178 с.). В работе, на которую диссертант ссылается, нет такой диаграммы. Н.В. Павлов использовал (в том числе, и в работе 1968 г) **другую** классификационную диаграмму, созданную им и опубликованную в работе: *Н.В. Павлов. Химический состав хромшпинелидов в связи с химическим составом пород ультраосновных интрузивов. Тр.ин-та Геологических наук, Вып.108. Сер. рудных месторождений, № 18, 1949. с. 87.* Принципы составления диаграмм Павлова в этой работе приведены на стр 15, Фиг. 4, стр 39, Фиг.6 и на стр 36-37, Фиг. 20. Диаграмма представляет собой развернутый тетраэдр, где в вершинах треугольника расположены **формульные количества трехвалентных катионов, а формульные количества двухвалентных катионов показаны слева и справа от треугольника.** Автор диссертации имеет право использовать любые классификации, но в данном случае, к ссылке «по Павлову» следовало бы прибавить «с упрощением».

Распределение редких (литофильных, высокозарядных, РЗЭ) элементов в хромититах рассмотрено в последнем разделе 3-ей главы. Исследование поведения этих элементов в ультраосновных породах представляет сложную задачу даже в тех случаях, когда породы слабо изменены. При этом в несерпентинизированных ультрамафитах только клинопироксен (диопсид) несет относительно уверенную информацию о содержании и поведении РЗЭ, а в оливинах, энстатите и шпинелиде содержания этих элементов ничтожны. В породах, изучаемых О.Н. Киселевой, первичных клинопироксенов практически нет (см табл.1, Приложение 1) и полученные цифры отражают содержания РЗЭ во вторичных минералах – серпентинах, реже – в амфиболах, тальке, хлоритах и т.д., и могут характеризовать только коровые процессы метаморфизма, а не «эволюцию исходных магм».. Если автор диссертации относит изучаемые объекты к офиолитам – аллохтонным тектоническим пластинам, то о какой «коровой контаминации» идет речь?

По мнению рецензента, полученные данные могут быть использованы при изучении метаморфических процессов в регионе, возможно, при исследовании условий перераспределения платиноидов и золота в хромитах и формирования новых минеральных ассоциаций в ультраосновном субстрате в коровых условиях.

Материал, изложенный в 3-ей главе, **логично и полностью обосновывает 1-ое защищаемое положение** автора о существовании хромититов различного состава и об их распределении в пределах офиолитовых массивов Восточного Саяна. Можно лишь заметить, что концентрации Co, V, Mn зависит не только от доли хромшпинелида в породе, но и от первичного состава самого хромшпинелида.

Содержание *4-ой и 5-ой глав* - **4-** Геохимия элементов платиновой группы и **5** – Платинометалльная минерализация в хромитовых рудах – неразрывно связано, поскольку именно минералогия определяет геохимию платиноидов. Содержания ЭПГ были определены в различных структурно-текстурных разновидностях хромитовых руд. Во все типах хромитов установлено преобладание тугоплавких ЭПГ: Os = 100,1800 мг/т, Ir = 40,2150 мг/т, Ru = 70,3700 мг/т. и на всех спектрах отмечается положительная аномалия по Ru.

Материал, представленный в этих главах, проработан всесторонне и очень тщательно, особенно, характеристика минеральных ассоциаций. Выполнено и обработано огромное количество анализов минералов, в том числе и редких; соотношения минералов иллюстрированы отличными микрофотографиями. Составы минералов ЭПГ приведены в таблицах, которые дают полное представление о разнообразии платинометалльной минерализации и сопутствующих акцессорных минералах. Многочисленные диаграммы состава МПГ, сульфидов и сульфоарсенидов МПГ выполнены с разделением исследованного материала по участкам отбора проб хромитов. О.Н.Киселева убедительно показала, что в изученных хромитовых рудах минералы ЭПГ представлены системой Os-Ir-Ru; при этом, минералогия ЭПГ в хромитовых рудах Северной ветви офиолитовых массивов более разнообразна, чем в Южной. Возможно, причина этого разнообразия обусловлена тем, что именно в Северной ветви распространены различные по составу, структурно-текстурным характеристикам и метаморфизму типы хромитов, содержащих МПГ.

Рассмотренные фактические данные позволяют автору корректно обосновать вывод о видовом различии платинометалльной минерализации в хромититах Северной и Южной ветвей офиолитов Восточного Саяна и показать, что состав преобладающих МПГ типичен для подиформных хромитов офиолитовых комплексов. Из этого материала и выводов по главам 4 и 5 логично вытекает **второе защищаемое положение** - о наличие двух типов распределения элементов платиновой группы: 1-ый тип - **Os-Ir-Ru** – тугоплавкие ЭПГ с выраженным фракционированием легкоплавких ЭПГ (Pd, Pt, Rh) характерным для хромитов I группы и присутствующем также и во II группе; 2 –ой тип –

Pt-Pd с незначительным фракционированием легкоплавких ЭПГ присутствует в хромититах II группы.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что **впервые** на огромной территории протяженных поясов офиолитов восточного Саяна в отдельных точках и на участках проявлений хромитовой минерализации **детально охарактеризована минералогия и геохимия ЭПГ и состав хромитов, вмещающих МПГ**; на участке Зун-Оспа-Ильчир впервые обнаружены зональные зерна (Os-Ir-Ru) состава и установлены условия формирования зональности, а также показана генетическая связь целого ряда минералов ЭПГ с минералами группы серпентина, сульфидами и сульфоарсенидами никеля.

В 6-ой главе обсуждаются физико-химические параметры формирования хромитов и эволюция платинометальной минерализации. О.Н. Киселева дает обзор существующих моделей формирования хромитов, как прошлого века, так и современных. В обзоре показано хорошее знание литературы о генезисе хромитов и критическое осмысление различных представлений. В дальнейшем рецензент рекомендует обратить внимание на работы Х. Роллинсона по Оману (Rollinson, H., Adetunji, J., A review, Gondwana Research, 2013, Lithos. 2013), где Роллинсон связывает разнообразие состава подформных хромитов (Оман - Cr# = 0.501 to 0.769, TiO₂ - 0.23–0.96 wt.%, Al₂O₃ - 11.8–15.8 wt.%) с тем, что хромиты образованы при прохождении сквозь мантию расплавов из разноглубинных источников, в обстановке зарождающейся островной дуги.

Полученные автором цифровые оценки фугитивности кислорода, конечных температур оливин-хромшпинелевого равновесия в породах сопоставлены с уже существующими диаграммами и схемами, среди которых выбраны не противоречащие результатам исследования и вполне логичные. Главный вывод из этой главы заключается в оценке условий и последовательности формирования минеральных ассоциаций хромшпинелида и МПГ.

Третье защищаемое положение обосновано всесторонним детальным анализом минералогических и микроструктурных характеристик минеральных ассоциаций МПГ. Автор диссертации убедительно **показала последовательность формирования парагенезисов МПГ** в хромититах рассмотренного района: от образования высокотемпературных твердых Os-Ir-Ru состава и лаурита RuS₂ в условиях верхней мантии к последующему образованию сульфоарсенидов, арсенидов (Os, Ir, Ru) под воздействием флюидов. Далее в условиях метасоматоза и гидротермальных процессов происходит перераспределение, накопление и концентрирование низкотемпературных ЭПГ в хромититах; при смене восстановительных

обстановок на окислительные, совместно с арсенидами никеля, феррихромитом, хроммагнетитом, образуются соединения ЭПГ с As, Sb, Sn. Изложенный фактический материал и выводы автора подтверждают новые формирующиеся в мировой литературе представления о высокой подвижности ЭПГ и хрома в низкотемпературных условиях.

Таким образом, все три защищаемые положения четко сформулированы и хорошо обоснованы. О.Н. Киселева показала себя высококвалифицированным специалистом в области минерагии, способным вести самостоятельные исследования. Замечания, сделанные ко второй главе, показывают на взгляд рецензента, недостаточный объем полевых работ автора диссертации, что неизбежно отражается на понимании значимости геологического строения, и эволюции вещественного состава пород района.

Практическое значение диссертации состоит в том, что характеристики зон минерализации, точек рудопроявлений могут быть учтены для оценки рудоносности (хромитоносности, платиноносности) Оспино-Китойского и Харанурского массивов. Полученные характеристики форм нахождения ЭПГ, морфологии и взаимоотношений МПП могут быть использованы при разработке технологических процессов, связанных с извлечением платиновых металлов, в особенности, тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru) из хромититов.

Диссертация **Киселевой Ольги Николаевны** «Хромититы и платинометальная минерализация в офиолитах юго-восточной части восточного Саяна», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагии, полностью отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы, публикации отражают ее содержание.

Автор диссертации О.Н. Киселева, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Савельева Галина Николаевна

профессор, доктор геол-мин.наук

/Г.Н. Савельева/

119017, Москва Пыжевский пер., 7

Тел. +7 (495) 953-54-05,

e-mail: Savel2@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН)

главный научный сотрудник

10 ноября 2014 г.

обстановок на окислительные, совместно с арсенидами никеля, феррихромитом, хроммагнетитом, образуются соединения ЭПГ с As, Sb, Sn. Изложенный фактический материал и выводы автора подтверждают новые формирующиеся в мировой литературе представления о высокой подвижности ЭПГ и хрома в низкотемпературных условиях.

Таким образом, все три защищаемые положения четко сформулированы и хорошо обоснованы. О.Н. Киселева показала себя высококвалифицированным специалистом в области минералогии, способным вести самостоятельные исследования. Замечания, сделанные ко второй главе, показывают на взгляд рецензента, недостаточный объем полевых работ автора диссертации, что неизбежно отражается на понимании значимости геологического строения, и эволюции вещественного состава пород района.

Практическое значение диссертации состоит в том, что характеристики зон минерализации, точек рудопроявлений могут быть учтены для оценки рудоносности (хромитоносности, платиноносности) Оспино-Китойского и Харанурского массивов. Полученные характеристики форм нахождения ЭПГ, морфологии и взаимоотношений МПГ могут быть использованы при разработке технологических процессов, связанных с извлечением платиновых металлов, в особенности, тугоплавких платиноидов (Os, Ir, Ru) из хромититов.

Диссертация **Киселевой Ольги Николаевны** «Хромититы и платинометальная минерализация в офиолитах юго-восточной части восточного Саяна», представленная на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минералогия, полностью отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы, публикации отражают ее содержание.

Автор диссертации О.Н. Киселева, несомненно, заслуживает присуждения искомой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Савельева Галина Николаевна
профессор, доктор геол-мин.наук
119017, Москва Пыжевский пер., 7
Тел. +7 (495) 953-54-05,
e-mail: Savel2@yandex.ru

/Г.Н. Савельева/

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Геологический институт Российской академии наук (ГИН РАН)
главный научный сотрудник

10 ноября 2014 г.

