

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ФГБУН Института
геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии РАН
член-корреспондент РАН,
доктор геол.-мин. наук

Петров Владислав Александрович



« 8 » февраля 2022 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Малича Крешимира Ненадовича

**«КОМПЛЕКСНЫЕ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЯРНОЙ
СИБИРИ (СОСТАВ, ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА И УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ)»**,

представленную на соискание ученой степени

доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и
разведка твердых полезных ископаемых; минерагения

Представленная работа посвящена исследованию фундаментальной проблемы происхождения комплексных платиноидных месторождений и рудопроявлений в арктических регионах России, которые связаны с ультрамафит-мафитовыми интрузивами Маймеча-Котуйской, Норильской и Таймырской провинций. Работа обосновывает выделение изотопно-геохимических индикаторов прогноза на магматическое оруденение, что вносит значительный вклад в определение стратегии поисков и разведки этого вида минерального сырья.

Актуальность работы обусловлена экономической ценностью магматических платинометальных месторождений, являющихся основным источником элементов платиновой группы (ЭПГ) - критических металлов, потребность в которых в ближайшие годы будет только расти в связи с очередной технологической революцией и грядущим переходом к зеленой энергетике. Актуальность также определяется тем, что несмотря на длительное изучение ультрамафит-мафитовых интрузивов, с которыми ассоциируют различные по масштабу комплексные сульфидные ЭПГ-Cu-Ni месторождения, проблемы

генезиса пород и руд остаются предметом непрекращающихся научных споров. Дискуссионность тематики в основном связана с проблемой источников и способов концентрирования ЭПГ в рудоносных магмах, сформировавших рудоносные интрузивы Норильской провинции.

Основу диссертации составляют результаты исследований ультрамафит-мафитовых интрузивов трех провинций Полярной Сибири, полученные автором в течение **почти 40 лет (1983-2021)**. В ходе работ проводилось геологическое картирование обнажений и документация скважин, но основным достижением диссертанта является получение колоссального массива высококачественных аналитических данных по имеющемуся **фактическому материалу**. Практически каждый отобранный образец был тщательно изучен и охарактеризован с привлечением **новейших методов анализа вещества**. Аналитические исследования проводились в ведущих российских и международных организациях (АО «Механобр-Аналит», Бюро геологических и горных исследований (Орлеан, Франция), Горном университете Леобена (Австрия), ЦЛ и ЦИИ ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург), ЦКП «Геоаналитик» ИГГ УрО РАН (Екатеринбург), ARC GEMOC Университета Макуори в Сиднее (Австралия) и СМСА Университета Западной Австралии в г. Перте.

Научная новизна достижений диссертанта не вызывает сомнений. Даже с учетом того, что результаты исследований, опубликованные 30 лет назад, не могут считаться новыми в данный момент, большинство выводов не потеряли своей актуальности и сейчас, так как дискуссии о происхождении рудоносных магм сохранили свою остроту. По нашему мнению, **новизна исследований** особенно значима в следующих выводах:

1. Впервые определенные вариации изотопного состава Os в минералах осмия и хромититах доказали субхондритовую природу источника ЭПГ Гулинского массива.

2. Впервые поликомпонентные твердые растворы системы Ru-Os-Ir-Pt(\pm Fe) проинтерпретированы как продукт кристаллизации недифференцированного в отношении ЭПГ рудного вещества.

3. Впервые показана негомогенная природа разновозрастных цирконов из интрузивов норильского типа, отражающая их полигенно-полихронное происхождение.

4. Впервые измерен изотопный состав кислорода в цирконах Талнахского интрузива, свидетельствующий о мантийном происхождении его первичных магм.

5. На основании Hf-Nd изотопных данных по породам и циркону обосновано положение о трех вещественных источниках (деплетированной мантии, субконтинентальной литосферной мантии и древней коры) рудоносных магм.

6. Впервые на примере Дюмталейского и Бинюдинского ультрамафит-мафитовых интрузивов установлена синхронность образования интрузивов Таймырской провинции с базальтовым магматизмом Сибирской платформы.

7. Впервые показано, что в формировании Дюмталейского интрузива принимало участие наиболее деплетированное вещество по сравнению с ультрамафит-мафитовыми интрузивами Норильской провинции разной степени рудоносности.

Диссертация объемом 269 страниц состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы, включающего 552 работы.

В **главе 1** дается обзор платинометальных объектов геолого-экономических районов Полярной Сибири и кратко обрисовываются перспективы расширения сырьевой базы рудных районов. Для Норильского и Таймырского рудных районов оценки основаны на литературных данных. При этом диссертант рассматривает основные типы месторождений и руд, включая магматические сульфидные месторождения, малосульфидный тип руд, а также техногенные и россыпные типы месторождений. Для Маймеча-Котуйского района личный вклад диссертанта особенно заметен в исследованиях форм нахождения ЭПГ в Гулинском массиве и, во многом основанную на этих исследованиях, оценку металлогенического потенциала провинции (Малич, публикации 1991-2002). Данная глава подчеркнута концентрируется на описании только исследуемых регионов, тогда как сопоставление с другими крупнейшими рудными провинциями мира позволило бы показать значимость изучаемых объектов в глобальном масштабе. Сравнительная характеристика запасов основных групп магматических месторождений, приведенная на Рис. 1-2, в тексте не обсуждается, хотя докторские работы требуют обсуждения собственных представлений в широком сравнительном контексте.

К этой главе имеются следующие замечания.

Диссертант использует смешанную терминологию для районирования изученных территорий, которая не вполне соответствует общепринятой. Традиционно в геологии рудных месторождений выделяются рудные узлы, районы и провинции, где рудный район представляет собой геологически и географически обособленную территорию с развитыми в её пределах месторождениями близкого состава и типа, образованными в сходных геологических и физико-химических условиях. Диссертант не дает определения, что подразумевается под выделенными им геолого-экономическими районами, что вносит некоторую путаницу в общую картину. Так, например, неясно, что является экономической составляющей для выделения Маймеча-Котуйского геолого-экономического района. Или каковы соотношения Игарско-Норильского геолого-

экономического района (стр. 21), Норильского района (везде по тексту), Норильского рудного района (также везде по тексту) и Норильской провинции (стр. 27, в тексте, а также в защищаемых положениях). В пределах геолого-экономических районов, автор выделяет рудные зоны (стр. 23 - Норильско-Хараелахская, Имангдинская, Курейско-Северореченской и ряд других рудных зон), что также не соответствует общепринятой терминологии в Норильском районе. Там месторождения традиционно объединяются в рудные узлы, а рудные зоны выделяются в разрезах интрузивов на основании экономически выгодных для извлечения содержаний металлов.

В таблице 2 следовало бы указать, что это содержания металлов, а не так называемое «качество», которое не может иметь размерности и измеряться в г/т, тогда как для запасов надо было указать размерность, что это относительные проценты от общей суммы запасов.

На стр. 29 приводится, что для малосульфидных руд норильских месторождений характерны твердые растворы «платины в пентландите, рутения – в пентландите, пирротине и сперрилите, иридия – в пирротине», что не соответствует данным в публикациях, на которые приводятся ссылки. В упомянутых работах (Служеникин и др., 1994; Служеникин, 2000), а также в более современной работе Sluzhenikin et al. (2020) количественно доказан доминирующий вклад твердых растворов палладия в пентландите в общем балансе твердых растворов ЭПГ.

Глава 2 характеризует геологическое строение щелочно-ультраосновных массивов Маймеча-Котуйской провинции и связанной с ними платинометальной минерализации, как коренной, так и россыпной. После краткого введения, рассматривается формационная принадлежность ультрамафитов. При этом автор далее в тексте широко использует и термины формация и комплекс как взаимозаменяемые при типизации интрузивов, что не критично для понимания, но требует четкого определения при первом использовании термина. Далее в тексте, автор использует термин комплекс как для определения ассоциации комагматичных интрузивных тел, так и для определения самих интрузивов, подобно тому, как это принято в англоязычной литературе (например, см. на стр. 42 «...гулинский клинопироксенит-дунитовый комплекс прорван двумя ийолит-карбонатитовыми массивами...»). Если принимать эквивалентность магматической формации и магматического комплекса, то правильнее было бы сказать, что интрузив гулинского комплекса прорван...

Исследование геологических взаимоотношений магматических тел в пределах Гулинского массива в сочетании с геохимическими и геофизическими данными привели

диссертанта к важному выводу, что доминирующие в разрезе ультраосновные породы гулинского клинопироксенит-дунитового комплекса являются более ранними и вмещающими для поздних ийолит-карбонатитовых многофазных тел маймеча-котуйского комплекса.

Материал, изложенный во второй главе, обосновывает **первое защищаемое положение** о сходстве Гулинского массива ультрамафитов как с платиноносными клинопироксенит-дунитовыми массивами урал-аляскинского и алданского типа, так и с офиолитовыми дунит-гарцбургитовыми массивами. С первыми он схож по ассоциации пород (дуниты, хромититы, верлиты и клинопироксениты) и россыпеобразующему потенциалу (десятки тонн полезного компонента), а со вторыми – по значительному размеру коренных выходов ультрамафитов (сотни км²) и металлогенической специализации на тугоплавкие платиноиды. При этом следует отметить неудачную формулировку заключительной части первого защищаемого положения. Размеры коренных выходов контролируются степенью эрозии и могут не отражать размеры интрузива; крупнейшие массивы могут иметь небольшие выходы, как, например, второй по размеру на Земле Дюфек, большей частью скрытый под вмещающими породами и ледяным покровом.

При обсуждении литературных данных о времени становления гулинского и маймеча-котуйского комплексов (стр. 40) следовало бы привести современные данные по датированию перовскита Гули методами LA-ICPMS и ID-TIMS (Reguir et al., 2021). Изотопный возраст перовскита, по данным этих исследователей, составил от 249 ± 2 млн лет до 250 ± 1 и 250.4 ± 1.1 млн лет, что опровергает гораздо более молодой изотопный возраст (220-240 млн лет) определенный в более ранних работах, на которые ссылается диссертант.

К этой главе есть и редакционные замечания.

На стр. 37 использован неверный символ для обозначения кембрия - (PR₂-ε₁),

На стр. 53 в заключительном предложении утверждается, что «Новые данные по металлогении гулинского массива позволили обосновать выявление новой платинометальной провинции...» со ссылкой на работу 1996 г. Очевидно, что данные 1996 г. были новыми только на конец 90-х годов, а на время написания диссертации новыми уже не являются.

Глава 3 освещает авторские результаты исследования платинометальной минерализации в интрузивах Маймеча-Котуйской провинции и связанных с ними россыпях. Здесь приводится детальное описание строения россыпей рек Гулэ и Бор-Урях и

характеристика химического состава (с выделением иридиево-платинового и иридиево-осмиевого типов россыпей) и морфологических особенностей россыпных минералов благородных металлов. Выявленные диссертантом различия составов минеральных включений в минералах осмия и золота из россыпей, связанных с Гулинским массивом, а также морфологические и гранулометрические особенности их зерен, позволили ему сделать интересный вывод об их различных источниках и предположить связь золотой минерализации с ийолит-карбонатитовым магматизмом. Так, по его мнению, коренным источником Os-Ir сплавов и Pt-Fe твердых растворов, обогащенных иридием и родием, являются хромититы и дуниты, тогда как коренным источником Pt-Fe сплавов с низкими концентрациями примесных ЭПГ предположительно являются оливиниты.

Одним из ярких достижений диссертанта является обнаружение природных поликомпонентных твердых растворов системы Ru-Os-Ir-Pt-Fe, которые, по его гипотезе, образуются при разделении в мантийных условиях платиноидного протораствора на две составляющие – Pt-Fe твердые растворы и минералы тугоплавких платиноидов, характеризующихся повышенными *P-T* параметрами. Эти предположения по происхождению осмий-содержащих минералов подкреплены и заверены прецизионными измерениями изотопного состава Os. Эти данные, допуская устойчивость Os изотопной системы и эквивалентность источников осмия и источников других ЭПГ, позволили диссертанту более конкретно определить деплетированную мантию как основной источник ЭПГ в хромититах и связанных с ними россыпях Гулинского массива.

Глава 3 обосновывает **второе защищаемое положение**, которое гласит, что «Большинство минералов платиновой группы из благороднометалльных россыпей Маймеча-Котуйской провинции образовано Os-Ir сплавами, преобладающими над Pt-Fe сплавами, Ru-Os сульфидами и другими МПГ. Коренными источниками МПГ являются дуниты, хромититы и оливиниты. К сожалению, формулировка защищаемого положения звучит слишком обще и ему не хватает конкретики, так как за его пределами остались значительные достижения диссертанта, включая определение источников ЭПГ минерализации в массивах гулинского комплекса с использованием Os изотопной системы, выявление окислительно-восстановительных условий кристаллизации минералов осмия, выявление отличий химического состава платиноидной минерализации и фракционирования ЭПГ в дунитах и хромититах, а также сопоставительный анализ коренной и россыпной минерализации.

Глава 4 посвящена результатам исследования рудоносных ультрамафит-мафитовых интрузивов Полярной Сибири, как Норильской, так и Таймырской провинций.

В разделе 4.1. приводится обзор схем расчленения интрузивных образований Норильской провинции, однако, аналогичный обзор истории и предпочтительной схемы расчленения интрузивов Таймырской провинции в работе отсутствует, оставляя читателя в затруднении. Однако диссертант не указывает, какой из приведенных в обзоре схем расчленения интрузивных комплексов Норильской провинции он придерживается, а также предлагает свою геолого-экономическую типизацию интрузивов, объединяя их в формации (стр. 90) и группы (стр. 93), а не подразделяя на типы, как это принято в большинстве литературных источников (Радько, 2016; Геологическая карта..., 1987). Как известно, интрузивы Норильского рудного района объединяются в восемь или девять интрузивных комплексов, а в пределах норильского комплекса общепризнанно подразделяются на норильский, круглогорский, зубовский, и нижнеталнахский типы (Радько, 2016).

Приведенная в диссертации формационная типизация вызывает много вопросов, поскольку большая часть известных интрузивных комплексов в этой классификации не рассматриваются (Таблица 4-2) или из нее не ясно, к какой формации они принадлежат. Согласно представлениям диссертанта, норильскому и круглогорскому типу интрузивов соответствует оливинит-габбровая платино-медно-никелевая интрузивная формация, нижненорильский тип рассматривается как габбро-меланотроктолитовая формация, к которой без обоснования также отнесен и моронговский комплекс. Троктолит-долеритовая формация включает курейский комплекс, и остается неясным, к какой формации относится зубовский тип, а также интрузивы ергалахского, оганерского, далдыканского комплексов.

В целом, таблица вызывает много вопросов. К их числу относится список высокобарических минералов в породах оливинит-габбровой формации, к которым отнесены обычные хромит, авгит, ортопироксен, оливин и анортит и др. Очень вольно используется термин оливинит. Геологический словарь (2010) определяет оливинит как существенно оливиновую породу, состоящую в основном из оливина с акцессорными магнетитом, реже мелилитом, монтичеллитом или перовскитом. Этим оливинит отличается от дунита, который содержит акцессорный хромит. В описанном же диссертантом оливините присутствуют акцессорные хромит, пироксен и плагиоклаз, а количество оливина не достигает необходимой пропорции. Так что здесь какая-то путаница в терминах, не позволяющая четко определить породу, а тем более давать название целой формации. Формационный анализ интрузивного магматизма или геолого-экономическая типизация (или рудно-формационный анализ) требует детального обоснования используемых терминов и понятий. В настоящей же работе автор пытается

изложить свое видение на нескольких страницах и в одной таблице, что вызывает много вопросов.

Хотя формационный анализ не является сильным местом работы, это во многом компенсируется дальнейшими конкретными и детальными описаниями изученных диссертантом интрузивов, с особым упором на петролого-геохимические особенности интрузивов, вмещающих месторождения-гиганты – Норильск 1, Талнах и Хараелах. Описания разрезов сопровождаются колонками изученных скважин (МН-2 для Норильск 1, ОУГ-2 для Талнаха и КЗ-844 и КЗ-963 для Хараелаха) с вынесенными номерами образцов и ссылками на огромный объем полученного по ним фактического и аналитического материала, что подтверждает его представительность и достоверность. В следующих главах описано строение Черногорского и Круглогорского интрузивов по скв. МП- 2бис, Зуб-Маркшейдерского интрузива (по скв. МП-27), Вологочанского интрузива (по скв. ОВ-29), при этом, надо отметить, что при их описании автор использует разделение на типы интрузивов, принятые в регионе и в современных работах (Служеникин и Криволицкая, 2015; Служеникин и др., 2018, 2020), и не ссылается на их формационную принадлежность, представленную в таблице 4-2. Последний раздел главы посвящен описанию массивов на Таймыре - Бинюды, для которого подчеркивается схожесть ультраосновных составов с таковыми в рудоносных интрузивах Норильского района, и Дюмталя, для которого автор выдвигает идею о двучленном строении с титаномагнетитовыми и сульфидными рудами приуроченными к двум разным интрузивным фазам. Эти массивы еще мало изучены, и их описание в работе суммирует почти все доступные сведения об их геологическом строении.

Замечания по этой главе, самой объемной в тексте диссертации, сводятся к следующему.

Требуется определения термин «габброизация», широко используемый диссертантом при описании пород в главе 4, но практически отсутствующий в современной петрологической литературе. Какой процесс при этом имеется в виду, остается неясным, хотя термин используется, начиная со стр. 97.

При описании пород принято использовать модальные (или нормативные) проценты, а не просто %, которые могут трактоваться как объемные, массовые или по площади, при использовании простого символа его значение должно специально оговариваться.

На стр. 119-120 пропущено описание интервала интрузива на глубинах 920.6-947 м: горизонт 1 начинается с глубины 947 м (сверху вниз), тогда как верхний контакт интрузива на отметке 920,6 показан с безоливиновым габбро (рис. 4-13).

Стр. 121 Содержание в горизонте 2 сульфидов от 20 до 50 % не соответствует приводимым содержаниям серы 2,2-4,9 % (видимо, мас.%?).

Глава 5 посвящена результатам датирования акцессорных минералов (циркона, бадделеита, торианита и монацита) в интрузивах, описанных в предыдущей главе. Первый раздел приводит результаты определения U-Pb изотопного возраста бадделеита и Th-U-Pb изотопного возраста торианита карбонатитов Гулинского массива Маймеча-Котуйской провинции. Представленные в таблицах 5-1 и 5-2 результаты многочисленных предыдущих изотопно-геохронологических определений показывают огромный разброс датировок, выявляя высокую дискуссионность и актуальность проблемы получения надежных изотопных данных. Изотопные возраста по торианиту и бадделеиту согласуются с оценкой возраста, полученной Rb-Sr-методом по паре минералов флогопит-кальцит (248.6 ± 2.8 млн лет, Мамаева, 2006), с Pb-U изотопным определением бадделеита (250.2 ± 0.3 млн лет, Kamo et al., 2003) и изохронным Pb-Pb изотопным определением (250.0 ± 8.7 млн лет, Kogarko, Zartman, 2007). Приведенные данные уверенно обосновывают **третье защищаемое положение** о временной близости образования карбонатитов Гулинского массива Маймеча-Котуйской провинции и ультрамафит-мафитовых интрузивов Таймырской провинции на пермо-триасовом рубеже, синхронно с базальтовым магматизмом Сибирской платформы (~250 млн лет).

Небольшие замечания к этому разделу включают:

При обосновании возраста базальтов не хватает ссылки на работу Burgess, Bowring (2015), также можно было бы упомянуть, что авторские результаты подтверждены и в более поздних изотопно-геохронологических работах по карбонатитам Гули (Reguir et al., 2021).

Подчеркнутая в защищаемом положении толеитовая природа базальтов, по-видимому, ставит вопрос об авторском понимании роли и места пикритового вулканизма в пределах Сибирской трапповой провинции.

Следующий раздел **главы 5** освещает результаты изотопного датирования циркона из массивов Бинюда и Дюмталей на Таймыре. Полученные возраста впервые подтверждают их образование в триасе синхронно с базальтовым вулканизмом Сибирской платформы и хорошо согласуются с изотопно-геохронологическими данными, полученными методом ID-TIMS (Augland et al., 2019).

Следующие три раздела отражают значительный вклад диссертанта в понимание истории кристаллизации минералов-аксессуаров, используемых для датирования магматических событий в Норильской провинции. К.Н. Малич трактует выявленные дискретные группы циркона с изотопными возрастными 347±16, 265.7±11 и 253.8±1.7 млн лет как свидетельство захвата ксенокристов в глубинных промежуточных очагах более раннего заложения, последовательных магматических событий, а также более раннего внедрения ультраосновных пород по сравнению с более поздними габброидами. Молодая возрастная группа цирконов с изотопным возрастом 235.9±6.1 млн лет образовалась в ходе длительного охлаждения и термальной рекристаллизации пород после внедрения интрузивов, Дискуссионность приведенной интерпретации подчеркивает чрезвычайную важность этих наблюдений и необходимость учитывать их при рассмотрении истории развития региона. Длительный временной интервал (более чем 100 млн лет) согласуется с многими моделями полихронного развития Норильской рудно-магматической системы (Dodin et al., 2001), однако не вполне согласуется с нарастающим объемом изотопно-геохронологических данных, в основном свидетельствующих в пользу сравнительно узких (менее 5 млн лет) временных рамок плюмового магматизма (Augland et al., 2019; Scoates et al., 2021).

Глава 6 рассматривает изотопно-геохимические индикаторы источников рудного вещества сульфидных магматических месторождений Норильской и Таймырской провинций. Для всех охарактеризованных в работе разрезов интрузивов разной степени рудоносности диссертантом получен впечатляющий массив данных по парно измеренному изотопному составу меди и серы. Установленные узкие вариации изотопного состава серы сульфидов в Хараелахском и Талнахском интрузивах свидетельствуют в пользу того, что контаминация мантийных магм «коровым» компонентом и гомогенизация изотопного состава серы происходила в глубинных условиях, а не в местах внедрения. Вариации изотопного состава меди ($\delta^{65}\text{Cu}$) также обусловлены различием изотопных параметров рудного вещества первичных магм для Талнахского месторождения и месторождения Норильск-1, тогда как «изотопно-лёгкие» составы меди сульфидных руд Хараелахского интрузива предполагают участие внешнего источника меди. Эти выводы составляют содержание **четвертого защищаемого положения**, полностью подкрепленного фактическим материалом **главы 6**. В качестве замечания можно отметить, что Хараелахского месторождения, как сформулировано в тексте диссертации и четвертом защищаемом положении, не существует, а месторождение в пределах Хараелахского интрузива называется Октябрьским.

Пятое защищаемое положение обосновывает установленный автором диапазон изотопных параметров серы ($\delta^{34}\text{S}=8\text{--}13\text{‰}$), осмия ($^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}=0.1283\text{--}0.1366$) и меди ($\delta^{65}\text{Cu}$ от -2.1 до 0.6‰) в сульфидах как индикаторный для богатых сульфидных ЭПГ-Cu-Ni руд. В целом, дискуссионная часть **шестой главы** написана убедительно, с обширным привлечением литературных материалов по другим объектам в широком глобальном контексте и практически не вызывает замечаний. В ней обсуждаются генетические ограничения на происхождение сульфидных руд по авторским данным Re-Os изотопии, которые предполагают субхондритовый источник осмия для магматических сульфидов Норильского района, несколько отличающийся для массивных и вкрапленных руд.

Сопоставлению данных O-Hf-Nd-изотопии по циркону и породам не нашлось места в защищаемых положениях, хотя, по нашему мнению, это является весомым вкладом диссертанта. Прецизионный локальный анализ изотопного состава кислорода в цирконе показал, что породы большей части разреза характеризуются сходным близмантийным диапазоном составов, тогда как такситовые разновидности пород характеризуются наиболее тяжелыми значениями $\delta^{18}\text{O}$ то есть являются наиболее контаминированными.

В последних двух разделах **шестой главы** автор рассматривает генетические ограничения на происхождение ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской и Таймырской провинций по данным O-Hf-Nd-изотопии и обосновывает свою модель контаминирования ювенильных родительских магм в промежуточных глубинных очагах. В результате, шестая глава является самой сильной частью работы, наиболее информативной в части генетических интерпретаций полученных изотопных данных, и сама могла бы составить тему отдельной диссертации, хотя ее содержание не вошло в защищаемые положения.

Глава 7 рассматривает историю развития идей образования магматических сульфидных месторождений и предлагает авторскую трехстадийную модель формирования богатых ЭПГ-Cu-Ni руд; (1) внедрение ультрамафитовых расплавов с мантийными сульфидами в основание земной коры; (2) концентрирование сульфидной жидкости и контаминация расплавов; (3) захват и перемещение сульфидного вещества и ультрамафитов в резидентные камеры более поздними мафитовыми расплавами.

Последняя **8 глава** раскрывает практическое значение работы, и в ней предложены изотопно-геохимические критерии, позволяющие оценить перспективы выявления новых рудных объектов. Здесь уже вместо платиноидно-медно-никелевых интрузивных формаций (таблица 4-2) диссертант выделяет рудные формации и рассматривает

характеристики промышленно-рудноносных, рудоносных, потенциально-рудноносных и слаборудоносных интрузивов Полярной Сибири. Среди индикаторных признаков выявления богатых руд автор выделяет: (1) зависимость среднего значения изотопного состава серы от дисперсии изотопного состава серы; (2) парный анализ изотопного состава осмия и изотопного состава серы сульфидов; (3) отрицательный тренд изотопных составов серы и меди, подобный наблюдаемому в промышленно-рудноносных интрузивах.

К этой главе есть одно важное замечание, которое касается определения рудоносности и в этой главе, и в целом в диссертации. Руда – это понятие экономическое, и оно определяется экономической целесообразностью добычи сырья на данный момент, Интрузив может называться рудоносным, если в нем есть оконтуренные рудные тела, если таких тел нет, то он нерудоносный, а, в лучшем случае, в разной степени минерализованный. Так называемые «слаборудоносные интрузивы» в классификации автора рудных тел не содержат и должны называться нерудоносными.

В целом, диссертационная работа посвящена раскрытию темы природной сложности изотопно-геохимических систем крупных магматических систем и **обладает внутренним единством. Личный вклад автора диссертации в науку** подтверждается, в том числе, обширным списком монографий, а также публикаций в ведущих международных и российских журналах. Обширные результаты исследований автора представлены в 190 научных работах, в том числе **56 статьях** в рецензируемых научных журналах по списку ВАК. Основные результаты апробированы в практике поисково-оценочных работ, ученых советах и научно-технических совещаниях, по теме диссертации сделано более 70 докладов. Защищаемые положения диссертации **в полной мере отражены в публикациях и автореферате.**

Приведенные многочисленные замечания во многом носят полемический характер, отражают динамичный характер расширения наших знаний о процессах рудообразования и не влияют на общую положительную оценку диссертации и высокую оценку достижений автора. В области изотопно-геохимических исследований руд и магматических образований полярных провинций автор диссертации является ведущим в России и международно признанным авторитетом. Наряду с обобщающей монографией по изотопной геохимии норильских интрузивов, выпущенной ВСЕГЕИ на русском (2017) и английском (2019) языках, труды автора составляют основу нашего современного знания изотопных характеристик норильских интрузивов и связанных с ними уникальных сульфидных тел. По мнению рецензентов ведущей организации, диссертация является **научным достижением в области теории магматического рудообразования** и соответствует

требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Малич Крешимир Ненадович, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых; минерагения.

Прокофьев Всеволод Юрьевич
доктор геол.-мин. наук, зав. лабораторией геохимии ИГЕМ РАН
лаборатория геохимии Института геологии рудных месторождений, минералогии,
петрографии и геохимии (ИГЕМ РАН)
119017 Москва Старомонетный пер., 35; www.igem.ru
e-mail: vpr@igem.ru тел. +7 916 3381190

Я, Прокофьев Всеволод Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

08 февраля 2022 г.

Шарков Евгений Витальевич
доктор. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник ИГЕМ РАН
лаборатория петрологии Института геологии рудных месторождений, минералогии,
петрографии и геохимии (ИГЕМ РАН)
119017 Москва Старомонетный пер., 35; www.igem.ru
e-mail: sharkov@igem.ru тел. +79039642278

Я, Шарков Евгений Витальевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

08 февраля 2022 г.

Отзыв на диссертационную работу Малича Крешимира Ненадовича рассмотрен и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации на совместном заседании лабораторий геохимии и петрологии ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, минералогии, петрографии и геохимии РАН. Протокол №1 от 08 февраля 2022 г.

Заведующий лабораторией
доктор геол.-мин. наук

Прокофьев Всеволод Юрьевич

Зав. Лаб. петрологии,
доктор геол.-мин. наук

Носова Анна Андреевна

Подписи Прокофьева Всеволода Юрьевича и Шаркова Евгения Витальевича заверяю

Зав. канцелярией ИГЕМ РАН Оболенская М.Н.

