

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Малича Крешемира Ненадовича**
“Комплексные платинометалльные 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

К.Н. Малич хорошо известен исследованиями рудоносных интрузивов и платинометалльных месторождений Полярной Сибири, включая разнообразные аспекты их геологии, минерагении и геохимических особенностей слагающих пород. Эти работы подкреплены определениями абсолютного возраста и изучением изотопных характеристик руд и минералов, отличительной особенностью которых является представительность материала, системный подход и использование нескольких изотопных систем. В представленной диссертации соискатель подводит итоги этой деятельности применительно к комплексам мафит-ультрамафитовых и щелочных пород Маймеча-Котуйской, Норильской и Таймырской провинций, которая охватывает около 40 лет активной работы в российских научных организациях (ЛГИ, ВНИИ Океангеология, ВСЕГЕИ, ИГГ УрО РАН) и за рубежом – в Горном Университете Леобена в Австрии (2000-2004). Основная часть этих результатов представлена автором в трех монографиях и более сотни статей, включая 56 в журналах, рекомендованных ВАК, а также – в серии отчетов хоздоговорных работ российских производственных организаций (Красноярскгеология, Полярная ГСЭ, Таймыргеолком), проектов российских и зарубежных научных фондов. Диссертация является не только обобщением полученных данных, но представляет синтез – осмысление этой информации с акцентом на расшифровку природы и выработку прогнозных критериев платинометалльного рудообразования, связанного с ультрамафит-мафитовым магматизмом Полярной Сибири.

Диссертационная работа К.Н. Малича состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы. Общий объем работы – 269 стр., включая 88 рисунков, 28 таблиц и список литературы из 552 наименований.

Во Введении к работе автор ясно формулирует научные проблемы и актуальность проведенных исследований, акцентируя внимание на промышленно-стратегическом значении платиноидно-медно-никелевых месторождений России, необходимости их дальнейшего изучения в свете дискуссионных вопросов, касающихся условий образования. Это вступление демонстрирует научную эрудицию

соискателя и предопределяет цели работы, направленной (1) на решение проблемы происхождения платино-метальных месторождений арктических регионов и полярной Сибири и (2) обоснование новых подходов к их прогнозированию. Соответственно формулируются семь задач, включающих детальную петролого-геохимическую и металлогеническую характеристику ультрамафит-мафитовых комплексов трех главных рудоносных провинций Полярной Сибири, геохронологические исследования и использование изотопно-геохимических данных для серы, меди, кислорода и Re-Os системы (с привлечением Hf-Nd изотопии). Затем следует раздел, посвященный фактическому материалу и методам исследований. Здесь впечатляет не только перечисление аналитических методов и использованной приборной базы. Оппоненту еще не приходилось видеть столь подробного описания аналитического арсенала, которое не оставляет сомнений в высокой квалификации соискателя как минералога и геохимика. Пять ясно сформулированных защищаемых положений, обоснование новизны и практической значимости работы завершают Введение.

Глава 1 представляет обзор платинометального потенциала Полярной Сибири на примере Игарско-Норильской, Таймырской и Маймеча-Котуйской провинций. Информация дается сжато (всего 10 страниц), но хорошо структурирована. Это касается типов руд и конкретных месторождений, их запасов, значения в ресурсной базе России. Помимо хорошо известных коренных месторождений талнахонорильского типа, здесь даются характеристика и прогнозные ресурсы малосульфидного оруденения, рассмотрен потенциал Бинюдинского и Дюмталейского ультрамафит-мафитовых интрузивов в Таймырском геолого-экономическом районе. Вызывает интерес описание техногенных месторождений платиноидов, тогда как россыпные только упоминаются. Обсуждение формационной принадлежности и особенностей минерального состава ЭПГ-Cu-Ni сульфидного сырья служит преамбулой к последующим главам, где этот материал приводится более детально.

В первой главе вызывают вопросы некоторые формулировки. Например, на стр. 27 утверждается, что “Существенные количества ЭПГ (палладия, родия, рутения, иридия, осмия) включены в решетку сульфидов”, а на стр. 29 – “Твердые растворы характерны для платины в пентландите (!?)...”. При этом не приводится никаких ссылок и остается неясным, что является основанием для подобных утверждений. Можно догадаться, что в этом контексте подразумеваются повышенные концентрации платиноидов в минералах (микрозонд/LA-ICP-MS), которые в действительности могут отражать наличие микро- или нановключений. В любом случае термин “решетка” ко

многому обязывает и скорее здесь можно обсуждать возможность изоморфного вхождения ЭПГ на стадии первичной кристаллизации сульфидов.

Вторая глава посвящена особенностям геологии и формационного расчленения комплексов ультраосновных и щелочных пород Маймеча-Котуйской провинции. Здесь обсуждаются проблемы интерпретации геологических данных, неопределенности формационной типизации и возможной генетической связи ультрамафитов со щелочными породами и карбонатитами. При этом даются весьма детальные описания строения Гулинского комплекса, массива Бор-Урях и Маймеча-Котуйского ийолит-карбонатитового комплекса. Подача информации позволяет оценить существенный личный вклад соискателя в решение этих вопросов. Делается это последовательно – в соответствии с формулировкой необходимости (1) более детальной и системной типизации ультрамафитов по структурно-вещественным параметрам, (2) оценки фазового состояния магм на стадии интродирования и (3) поиска критериев наличия/отсутствия парагенетической связи ультрамафитов с другими продуктами магматизма.

К этому разделу у оппонента есть претензии, связанные с форматом представления материалов, которые в ряде случаев носят характер резюме по ранее опубликованным результатам. Например, автор несколько раз упоминает, что ультрамафиты “Гулинского массива резко обеднены щелочами и принадлежат семейству ультраосновных пород нормального ряда” (стр. 39 и далее). При этом каких-либо таблиц и рисунков не приводится и остается догадываться, насколько К.Н. Малич в последующем учел эффект занижения (по сравнению с исходными магмами) содержания щелочей при аккумуляции в породах 80-90% оливина и пироксена. Вызывает вопросы фраза про “интенсивную клинопироксенизацию дунитов”. Опять без ссылок и пояснений... Что это за процесс и можно ли представить химические/фазовые реакции, описывающие такого рода взаимодействие? Несколько раздражает мелькание двойных определений “оливиниты (метадуныты)” и “дуниты (метаоливиниты)”. О каких же породах в итоге речь? Мимоходной смотрится фраза про формирование пород ийолит-карбонатитовых массивов под “воздействием глубинных щелочных эманаций и магм на ранее внедрившиеся ультраосновные тела” (стр. 46) – по мнению рецензента в описательной части она совсем не обязательна.

Но главный вывод об отсутствии прямой генетической связи между ультрамафитами и щелочными породами провинции выглядит обоснованным.

В третьей главе рассмотрено разнообразие платиноидной минерализации из россыпей и коренных пород Маймеча-Котуйской провинции, представлены уникальные данные об изотопном составе осмия в хромититах и осмиевых минералах Гулинского массива. Количество изученных минералов ЭПГ впечатляет, любопытны данные о составе силикатных включений в этих минералах, генетически информативны диаграммы состава Os-Ir-Ru фаз. Несомненно, что представленная здесь информация носит фундаментальный характер, подчеркивая, в том числе, мантийную природу ультраосновных массивов провинции как источника МПГ-содержащих россыпей. Эти выводы дополнены результатами представительных исследований Re-Os изотопной системы, которые показывают, что значения $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ в минералах осмия Гулинского массива, оказались близки Os-изотопному составу деплетированной мантии. Интересны результаты измерений собственной (“intrinsic”) летучести кислорода в минералах осмия из хромититов, которые при субмагматических температурах указывают на условия близкие буферу вюстит-магнетит (WM). Оппоненту не известны подобные работы в России и за рубежом, замечаний по этой главе нет.

Четвертая наиболее объемная глава диссертации (около 70 страниц) посвящена детальной геологической и петролого-геохимической характеристике интрузивов Норильской и Таймырской провинций, разделенных по “степени рудоносности”. Системный подход к этой части исследования сразу виден из таблиц 4.1 и 4.2, которые представляют классификацию публикаций по интрузивам по темам (“Геология”, “Геохронология”, “Минералогия и геохимия” и “Происхождение”) и составленную автором схему рудоносных интрузивных формаций. Такая хорошо продуманная систематизация позволяет представить данные последовательно для “промышленно-рудоносных”, “рудоносных”, “слаборудоносных” и “потенциально-рудоносных” интрузивов. Описание объектов (главным образом для Норильской провинции) дается с привлечением геологических карт, стратиграфических разрезов, учитывая типизацию пород, разнообразие петрохимических и геохимических данных. Этот обзор (в который органично вписаны данные, полученные соискателем) имеет самостоятельную научную ценность.

Единственное замечание к главе 4 касается использования термина “габброизация” на стр. 97. Как и в случае с “клинопироксенизацией” выше, создается впечатление, что этот термин для внутреннего потребления, в который автор не вкладывает генетического значения (в смысле конкретного петрологического процесса), а использует скорее, как некий наблюдательный геологический признак.

Глава 5 включает три раздела и представляет результаты геохронологических исследований. В первых двух разделах подробно описаны оценки U-Pb и Th-U-Pb возраста образования карбонатитов Гулинского массива и пород потенциально рудоносных Бинюдинского и Дюмталейского интрузивов Таймырской провинции. В первом случае они получены по результатам измерений для бадделеита и ториянита, во втором – для циркона. Обе группы оценок указывают на возрастную близость этих ассоциаций к пермо-триасовому рубежу, что дает основание автору заявить о “синхронности с формированием толеит-базальтовой формации Сибирской платформы” (стр. 159 и 163). Здесь оппонент напоминает, что K-Ar датировки долеритов бассейна р. Виллой дают и более древний возраст трапповой толщи в интервале ~340-370 млн. лет (Courtillet et al., 2010). Интересно, что эта оценка, перекрывается с возрастом наиболее ранней популяции зерен циркона, которая установлена соискателем при изучении промышленно-рудоносных интрузивов и отвечает 347 ± 16 млн. лет (см. ниже).

U-Pb возраст циркона, бадделеита и монацита из пород интрузивов Норильск-1, Талнах и Хараелах обсуждается в третьем разделе главы 5. Фактура колоссальная – изучено около 500 зерен бадделеита и циркона, которые классифицированы по морфологии и внутреннему строению. При этом установлено 11 популяций циркона с возрастом от 347 до 227 млн. лет. Эти данные вступают в противоречие с доминирующими представлениями об узком временном интервале формирования траппов северо-запада Сибирской платформы и связанных с ними сульфидных руд, который охватывает примерно от 246 до 251 млн. лет. Пикантность ситуации придает тот факт, что широкий диапазон возраста циркона установлен для каждого из интрузивных тел: ~34 млн. лет для Норильска-1, 28 для Талнаха и 111 для Хараелаха! Для объяснения такого разнообразия автор предлагает схему продолжительного магмообразования в более глубинных промежуточных камерах и захват интрузивными магмами циркона, вероятно из частично закристаллизованных периферийных частей протоматматических резервуаров. Идея интересная, заслуживающая внимания, но не решающая проблемы возрастной гетерогенности конкретных интрузивов – даже с учетом того, что более молодые популяции цирконов возрастом менее 237 млн. лет К.Н. Малич связывает с проявлениями наложенных процессов. В этой весьма обстоятельной главе огорчает только то, что автор не приводит гистограмм относительной распространенности различных популяций и распределения циркона разного возраста по разрезам интрузивов.

В шестой главе обсуждаются изотопно-геохимические сигналы, которые можно использовать для выявления источника рудного вещества и природы рудоносных магм. Она включает семь разделов, из которых первые четыре посвящены изотопным характеристикам серы и меди в разных типах сульфидных и малосульфидных руд. Для Норильской провинции автор представил 153 новых изотопных анализа серы и 65 изотопных анализов меди, для двух интрузивов Таймырской провинции еще 19 и 6 анализов, соответственно. Уникальность этого материала заключается в сопряженности значений $\delta^{34}\text{S}$ и $\delta^{65}\text{Cu}$, что принципиально отличает исследование от многих более ранних работ, начиная с данных Л.Н. Гриненко. Кульминацией при обобщении полученных результатов является рис. 6-6, где отчетливо проявлен $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{65}\text{Cu}$ тренд промышленно-рудоносных интрузивов, к которым, по-видимому, следует отнести и (пока недостаточно изученный) Дюмталейский массив на Таймыре. Убедительный и изящный прогноз богатого оруденения!

Последующие сравнения изотопных данных по меди и сере для Хараелахского и менее рудоносных интрузивов вновь подводят автора к выводу о важности процессов взаимодействия сульфидсодержащей магмы с вмещающими породами “в долгоживущей промежуточной камере задолго до внедрения интрузива”. Эти идеи не просто согласовать с данными для массивных руд Хараелаха, которые, с одной стороны, “требуют” привлечения корового источника меди (раздел 6.3), с другой – отвечают наиболее примитивным Re-Os мантийным характеристикам и согласуются с минимальной степенью контаминации (раздел 6.5). Решение этой дилеммы (насколько понял оппонент) видится автору в гетерогенном источнике рудоносных магм, которые несут метки смешения деплетированного $\pm\text{SCLM}$ мантийного и корового резервуаров. Этот сценарий подкрепляется анализом данных O-Hf-Nd-изотопии в разделе 6.6. Очевидно, что поднятые здесь вопросы относятся к дискуссионным проблемам ЭПГ-Cu-Ni сульфидного рудообразования, что подчеркивается парадоксом изотопных характеристик для интрузивов Таймырской провинции, которые представлены в разделе 6.7.

Глава 7 представляет обзор представлений по условиям образования промышленно-рудоносных интрузивов, где дана краткая характеристика порядка 15 возможных сценариев – геологических моделей. Читается интересно, но удивляет отсутствие упоминаний работ Э.М. Спиридонова (2010) и Н.А. Криволуцкой (2018). Трудно ожидать, что в девять страниц можно вместить детальное рассмотрение

аргументации для всех гипотез, но коль скоро автор сам указывает, что его видение берёт начало от идей А.П. Лихачева (1982) о существовании мантийного сульфидно-силикатного прекурсора, то здесь было бы уместно представить анализ наиболее важных аспектов этой гипотезы. Это касается также аргументов в пользу реальности протокоматиитовых магм, термодинамических условий насыщения сульфидами и содержаний в них ЭПГ, физических ограничений на масштабы диспергирования сульфидного вещества по мере подъема магм, динамики отложения сульфидов, а также глубинной природы самого сульфидного источника, которая признается как постулат без дальнейшего обсуждения.

В главе 8 К.Н. Малич суммирует те результаты своих исследований, которые позволяют конкретизировать изотопно-геохимические индикаторы для прогноза богатых ЭПГ-Cu-Ni сульфидных руд – “независимо от места и времени их проявления”, как декларировано в начале главы 8. Наиболее надежные основаны на использовании данных по изотопному составу серы, меди и осмия. В качестве дополнительных предлагаются данные по изотопному составу Hf в цирконе/бадделеите и Sr-Nd систематика. Это один из важнейших результатов работы, имеющий прикладное значение. Вместе с тем, оппонент считает необходимым отметить, что предложенные критерии справедливы все-таки исключительно для Полярной Сибири и в работе не приводятся данные по другим крупным месторождениям мира, которые могли бы подтвердить эффективность этих параметров для внесибирских провинций. Оно и не удивительно, учитывая химическую противоречивость и гетерогенность возможного мантийного источника, которую автор обсуждает на примере одного локализованного региона.

Закключение диссертации представляет резюме, где автор формулирует девять важнейших результатов проведенного исследования, которые лежат в основе пяти защищаемых положений. Все они обоснованы и доказаны приведенными материалами, автореферат соответствует тексту диссертации. Элементы **научной новизны** несут большинство разделов работы, где представлены уникальные данные, впервые полученные автором.

В качестве дополнительных замечаний по тексту оппонент обращает внимание, что термин “условия образования месторождений” используется в работе главным образом в контексте структуро-геологических, литологических и изотопно-геохимических характеристик, которые оставляют за рамками рассмотрения вопросы

термодинамики сульфидонасыщенных магм, механизмы их контаминации, динамики магмоподводящих систем и интродуирования. Отсюда особенности подхода, который чаще сводится к рассуждениям о “смещении различных резервуаров” и “мантийно-коровом взаимодействии”. Это отнюдь не недостаток работы, а отражение многоплановости и сложности затронутых проблем, решение которых в полном объеме предстоит будущим поколениям. Несомненно, что на этом пути исследование К.Н. Малича следует квалифицировать как **крупный научный вклад** в развитие теории ЭПГ-Cu-Ni сульфидного рудообразования и практики геолого-разведочных работ.

Представленная к защите работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, К.Н. Малич, заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых; минерагения.

Профессор кафедры петрологии и вулканологии

МГУ им. М.В. Ломоносова

25 января 2022 г.



/А.А. Арискин/

Арискин Алексей Алексеевич

Доктор геолого-минералогических наук, доцент по специальности “Петрология”

Профессор кафедры петрологии и вулканологии

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991 Москва, Ленинские горы, 1

E-mail ariskin@geol.msu.ru, ariskin@rambler.ru

тел. раб. +74959394969, моб. +79166821477

Я, Арискин Алексей Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного Совета 24.1.050.01 в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения РАН (ИГМСО РАН).

