

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института геологии и геохимии
им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения
Российской академии наук (ИГГ УрО РАН)
доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН



Д.А. Зедгенизов
7 сентября 2021 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого
Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН)**

Диссертация «Комплексные платинометалльные месторождения Полярной Сибири (состав, источники вещества и условия образования)» по специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» выполнена в Лаборатории геохимии и рудообразующих процессов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук (ИГГ УрО РАН).

Диссертационная работа **Малича Крешимира Ненадовича** основывается на многолетнем (1983-2021) изучении соискателем геологии, минералогии, геохимии, геохронологии и металлогении массивов ультраосновных и щелочных пород с карбонатитами Маймеча-Котуйской провинции и ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской и Таймырской провинций. Работа начата в Ленинградском Горном институте (ЛГИ, 1983-1993 гг.), продолжена во Всероссийском научно-исследовательском институте геологии и минеральных ресурсов Мирового океана (ВНИИ Океангеология, 1994-2000), Горном Университете Леобена, Австрия (2000-2004), Всероссийском научно-исследовательском геологическом институте им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, 1985-1986, 2005-2011) и, в завершающую стадию, в Институте геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН (ИГГ УрО РАН, 2011-2021).

В период подготовки диссертации соискатель Малич К.Н. работал в Лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ИГГ УрО РАН с 2011 года по настоящее время в должности ведущего научного сотрудника.

Соискатель Малич К.Н. 1963 года рождения в 1985 году окончил Ленинградский горный институт (ЛГИ) по специальности «Геологическая съёмка и поиски месторождений полезных ископаемых» и получил квалификацию «Горный инженер-геолог». В 1990 г. Малич К.Н. защитил диссертацию «Минералого-геохимические критерии платиноносности ультрабазитов Кондёрского массива» по специальности 04.00.20 «Минералогия» на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук (решение Совета при Ленинградском горном институте им. Г.В. Плеханова от 4 июня 1990 г., протокол № 5, диплом кандидата наук ГМ № 007318 от 21 ноября 1990 г.), в 2015 г. окончил докторантуру ИГГ УрО РАН.

Связь темы диссертации с научно-техническими программами.

Исследования по теме диссертационной работы проводились в рамках выполнения планов НИР ЛГИ, ВНИИ «Океангеология», ВСЕГЕИ (все Санкт-Петербург), ИГГ УрО РАН, хоздоговорных работ по заданиям ПГО «Красноярскгеология» (Красноярск),

Полярной ГСЭ (Хатанга), Таймыргеолкома (Норильск), по научным проектам Австрийского научного фонда, Австрийской и Финской Академии наук, в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 годы» Министерства науки и образования РФ (гос. контракт 02.740.11.0726), проектам РФФИ (гранты №№ 96-05-65126-а, 09-05-01242-а, 09-05-12028 офи-м, 13-05-00671-а, 18-05-70073-Арктика) и проектам УрО РАН (№№ 12-У-5-1038 и 12-5-6-019-Арктика).

Главные цели диссертационной работы Малича К.Н. состояли в (i) решении фундаментальной проблемы происхождения комплексных платиноидных месторождений арктических регионов России на примере сульфидных платиноидно-медно-никелевых (ЭПГ-Cu-Ni) руд ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской и Таймырской провинций, платиноидного оруденения Гулинского массива Маймеч-Котуйской провинции и (ii) формировании новых подходов при прогнозировании месторождений стратегических видов минерального сырья.

Для достижения поставленных целей решались следующие задачи:

1. Проведение петролого-геохимического анализа различно рудоносных ультрамафит-мафитовых комплексов Российской Арктики в пределах Норильской, Таймырской и Маймеч-Котуйской провинций.
2. Выявление особенностей состава и закономерностей локализации благороднометального оруденения; получение новой минералого-геохимической информации на основе детальных исследований ультрамафитов и благороднометальной минерализации пород и россыпей.
3. Определение возраста и длительности породо- и рудообразования при помощи комплексных вещественных, U-Pb, Th-U-Pb- и Re-Os геохронологических исследований различных по металлогеническому потенциалу ультрамафит-мафитовых комплексов Полярной Сибири.
4. Выявление изотопно-геохимических параметров силикатного вещества ультрамафит-мафитовых интрузивов (по данным изотопного состава кислорода и Lu-Hf изотопной систематики циркона/бадделеита и Sm-Nd изотопии пород).
5. Проведение сравнительной характеристики источников рудного вещества вкрапленных и массивных сульфидных ЭПГ-Cu-Ni руд и Os-Ir минералов (по данным Re-Os, S и Cu изотопии).
6. Уточнение модели формирования сульфидного ЭПГ-Cu-Ni оруденения на основе новых геохронологических и изотопно-геохимических данных.
7. Разработка новых информативных оценочных индикаторов для прогноза ЭПГ-Cu-Ni сульфидного оруденения.

Актуальность исследования.

Уникальность и многообразие свойств платиноидов определяет их широкое использование во многих областях деятельности человека. Потребность данных элементов со стороны химической, электрохимической, электронной, автомобильной, ювелирной промышленности, науки и медицины неуклонно растет. Постоянно растущий спрос на ЭПГ предопределяет необходимость расширения их минерально-сырьевой базы, что связано с выявлением новых источников платиноидов и использованием новых подходов при прогнозировании месторождений стратегических видов минерального сырья. В России главным по значимости источником платиновых металлов являются сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Норильского района, вмещающие богатейшие комплексные руды на Земле, содержащие 15% земных ресурсов сульфидного Ni и 27% ресурсов Pd наряду с другими стратегическими металлами.

Несмотря на длительное изучение ультрамафит-мафитовых интрузивов, с которыми ассоциируют различные по масштабу комплексные сульфидные платиноидно-медно-

никелевые (ЭПГ-Cu-Ni) месторождения, проблемы генезиса пород и руд трактуются различно, оставаясь предметом непрекращающихся дискуссий на протяжении XX столетия и до настоящего времени. Самыми острыми и до сих пор нерешенными являются вопросы об (i) источниках силикатного и рудного вещества, (ii) продолжительности образования пород и руд интрузивов, (iii) взаимоотношении рудоносных интрузивов с вулканитами и (iv) характере взаимодействия между первичными магмами с континентальной корой и/или субконтинентальной литосферной мантией. От решения данных вопросов зависит эффективность научного прогнозирования богатых ЭПГ-Cu-Ni руд.

Вторым по значимости источником платиновых металлов в России являются россыпные месторождения, тесно связанные с зональными клинопироксенит-дунитовыми массивами, расположенными на Урале, Дальнем Востоке и Восточной Сибири. В данных россыпных месторождениях главным минералообразующим элементом является платина. От данных геологических объектов резко отличаются комплексные золото-иридиево-осмиевые россыпи, связанные с крупнейшим в мире Гулинским массивом ультраосновных и щелочных пород с карбонатитами в пределах Маймеч-Котуйской провинции. Накопленный фактический материал по благороднометалльным месторождениям и рудопроявлениям Маймеч-Котуйской провинции позволяет по-новому осветить вопросы их геологии, минералогии, геохимии и металлогении, впервые увязав аспекты коренной и россыпной платиноносности. Таким образом, **актуальность** настоящей работы определяется ее направленностью на (i) выявление состава, изотопно-геохимических параметров силикатного и рудного вещества, (ii) уточнение возраста и генезиса рудоносных ультрамафит-мафитовых интрузивов, позволяющих по-новому сопоставить процессы магмо- и рудообразования. Использование оригинальных подходов при изучении комплексных платинометалльных месторождений Полярной Сибири позволяет на их примере предложить новые предпосылки и признаки прогноза для поиска подобных месторождений.

Наиболее важные научные результаты, полученные соискателем.

1. Обобщение оригинальных данных по минералогии, геохимии и металлогении крупнейшего в мире Гулинского массива и связанных с ним комплексных золото-платиноидных россыпей позволило по-новому оценить металлогенический потенциал Маймеч-Котуйской провинции на севере Сибирской платформы, традиционно перспективной на апатит-магнетитовые и флогопитовые руды, нефелиновое сырье и редкоземельные металлы, ассоциирующие с ийолит-карбонатитовыми массивами.

2. Установлено, что Гулинский массив ультрамафитов обладает переходными чертами между платиноносными ультрамафитами клинопироксенит-дунитовых массивов урал-алыскинского и алданского типа и офиолитовыми ультрамафитами дунит-гарцбургитовых массивов. С первыми их объединяет парагенетическая ассоциация пород (дуниты, хромититы, верлиты и клинопироксениты) и значительный россыпеобразующий потенциал (первые десятки тонн полезного компонента), со вторыми – значительный площадной размер коренных выходов ультрамафитов (сотни км²) и металлогеническая специализация на тугоплавкие платиноиды.

3. На основании оригинальных минералого-геохимических данных установлено, что минералы платиновой группы (МПГ) из благороднометалльных россыпей представлены Os-Ir сплавами, преобладающими над Pt-Fe сплавами, Ru-Os сульфидами и другими МПГ. Особенности минеральных ассоциаций платиноидов в россыпях Маймеч-Котуйской провинции обусловлены их первичными источниками – дунитами, хромититами и оливинитами.

4. Для карбонатитов Гулинского массива и ультрамафит-мафитовых интрузивов Таймырской провинции установлена временная близость к пермо-триасовому рубежу и синхронность с толеит-базальтовым магматизмом Сибирской платформы.

5. Комплексная оценка U-Pb и O-Hf-Nd-Sr-Os-Cu-S изотопно-геохимических данных для различно рудоносных ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской и Таймырской провинций Полярной Сибири позволила выявить более сложную, чем это представлялось ранее, геологическую историю промышленно-рудоносных интрузивов. На основании анализа изотопно-геохимической информации охарактеризованы источники силикатного и рудного вещества, участвовавшие в формировании ультрамафит-мафитовых интрузивов норильского типа. В основу предложенной модели рудообразующих процессов положен механизм мантийно-корового взаимодействия. Последний обосновывается новыми данными по различным изотопным систематикам, которые указывают на определенную долю участия компонентов с коровыми изотопными метками в общем процессе породо- и рудообразования, связанного с мантийными магмами.

6. Использование оригинальных подходов при изучении комплексных платинометалльных месторождений Полярной Сибири позволило предложить новые предпосылки и признаки прогноза для поиска подобных месторождений. Наиболее значимыми информационными параметрами при оценке рудоносности являются изотопные составы осмия, меди и серы в Cu-Ni сульфидах наряду с изотопным составом гафния и кислорода в цирконе/бадделеите и изотопными составами неодима и стронция в породах. На основе сочетания изотопных составов осмия, серы и меди выявлены интрузивные тела с вкрапленными сульфидными рудами, обладающими параметрами рудного вещества, за счет которых были сформированы промышленные платиноидно-медно-никелевые месторождения. Наиболее перспективными на обнаружение богатых ЭПГ-Cu-Ni руд являются Черногорский и Дюмталейский ультрамафит-мафитовые интрузивы.

7. Выполненные минералого-геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические исследования позволили на принципиально новом уровне изучения вещества (i) охарактеризовать условия образования ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской и Таймырской провинций и (ii) провести оценку перспектив выявления богатых платиноидно-медно-никелевых сульфидных руд в рудоносных и потенциально рудоносных интрузивах Полярной Сибири.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации.

В основу выполненных исследований положен материал (образцы пород, сульфидные руды, аксессуарные минералы, в том числе МПГ), собранный автором во время полевых работ в Норильской, Таймырской и Маймеч-Котуйской провинциях более чем за 35-летний период. **Личный вклад** автора также состоял в постановке цели и задач диссертационной работы, планировании и организации широкого спектра минералогических, геохимических и изотопно-геохимических исследований, личном участии в большинстве вышеуказанных исследований, обобщении полученных результатов, подготовке и представлении их в печать.

Высокая степень достоверности и обоснованности результатов проведенных исследований базируется на системном отборе образцов ультраосновных пород Гулинского, Бор-Урахского и Кугдинского массивов Маймеч-Котуйской провинции и представительных выборках МПГ их шлиховых концентратов р. Ингарингда, р. Гулэ, р. Дунитовая, руч. Бурлаковский, р. Буор-Юрах, позволивших охватить территорию всех обнаженных частей массивов. Платиноидная минерализация из коренных пород изучена по образцам дунитов и хромититов. Системный отбор образцов ультрамафит-мафитовых

интрузивов Норильской и Таймырской провинций проводился для главных типов ультрамафит-мафитовых интрузивов и связанной с ними рудной минерализацией независимо от того является ли эта минерализация промышленной или соответствует рангу рудопроявлений. Для этого выбирались типичные разрезы интрузивов, в которых представлены главные петрографические разновидности пород, образующие наиболее полные и представительные разрезы для каждого типа интрузивов. Методы исследований включали минералого-петрографическое, минералого-геохимическое и изотопно-геохимическое изучение пород и рудных минералов из различных по степени рудоносности ультрамафит-мафитовых интрузивов Полярной Сибири. Геологические схемы и разрезы составлены на основе детального картирования и петрографического изучения пород (более 600 шлифов).

Оценка достоверности результатов исследований обеспечена применением современных аналитических методов на сертифицированном оборудовании с использованием международных стандартных образцов в ведущих лабораториях России и мира. Аналитические определения содержаний петрогенных, рудных и редкоземельных элементов (около 800 анализов) наряду с выявлением химического состава породообразующих, рудных и акцессорных минералов (более 1000 анализов) были выполнены в АО "Механобр-Аналит", Горном университете Леобена, Центральной лаборатории (ЦЛ) ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) и ИГГ УрО РАН (Екатеринбург). Инновационный аспект изотопной части исследований заключался в интеграции информации по изотопии (Re-Os, S, Cu, Lu-Hf, Sm-Nd, Rb-Sr, O системы) на макроуровне по породам и минералам и на микроуровне в пределах индивидуальных зерен минералов, используя выборку рудных и акцессорных минералов (МПГ, сульфидов, циркона, бадделеита, монацита и ториянита) в образцах, охватывающих главные разновидности пород изученных геологических объектов. Изотопно-геохимические анализы (более 800 определений) выполнены аналитической лабораторией Австралийского научного центра по геохимической эволюции и металлогении континентов, базирующегося в Департаменте Земных и планетарных наук Университета Макуори в Сиднее (Австралия), Центре микроскопии, характеристики и анализа Университета Западной Австралии в Перте и в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ. Результаты исследований апробированы при реализации исследовательских грантов, поддержанных Австрийским научным фондом, Австрийской и Финской Академиями наук, РФФИ и УрО РАН, а также в докладах на международных и российских конференциях, публикациях в рецензируемых периодических изданиях.

Научная новизна.

I. Научная новизна по Маймеча-Котуйская провинции:

1. Впервые детально исследованы минеральные ассоциации платиноидов из ультрамафитов и благороднометалльных россыпей Гулинского массива.

2. Установлено, что вещественные особенности платиноидной минерализации Бор-Урахского массива близки особенностям состава Os-Ir и Pt-Fe минералов Гулинского массива Маймеча-Котуйской провинции, зональных ультраосновных комплексов Алданской провинции и Платиноносного пояса Урала.

3. Впервые определены вариации изотопного состава осмия для минералов осмия и хромититов Гулинского массива, свидетельствующие в пользу субхондритового источника ЭПГ.

4. Впервые установлены необычные поликомпонентные твердые растворы системы Ru-Os-Ir-Pt($\pm$ Fe), составы которых характерны для недифференцированного в отношении ЭПГ рудного вещества.

5. Обосновываются близкие окислительно-восстановительные условия образования самородного осмия дунитов и Ir-содержащего осмия хромититов Гулинского массива, которые характерны для условий формирования мантийных перидотитов.

6. Установлено, что вещество деплетированной мантии принимало участие при магмогенерации карбонатитов. При этом карбонатиты образовались синхронно с толеит-базальтовым магматизмом Сибирской платформы.

II. Научная новизна по Норильской и Таймырской провинциям:

1. Обобщение литературных и собственных петролого-геохимических данных по ультрамафит-мафитовым интрузивам Норильской провинции позволило выделить три главных геолого-экономических типа: (1) *промышленно-рудonoсный*, вмещающий уникальные и крупные малосульфидные платиноидные и сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения (Хараелахское, Талнахское и Норильск-1); (2) *рудonoсный*, с которым ассоциируют мелкие (резервные) месторождения с забалансовыми сульфидными платиноидно-медно-никелевыми рудами и в котором установлены признаки малосульфидного оруденения (Черногорское, Зуб-Маркшейдерское и Вологочанское); (3) *слаборудonoсный* с Cu-Ni сульфидной минерализацией без платиноидов (интрузивы Нижнеталнахский, Зеленогравский и др.).

2. U-Pb, Th-U-Pb- и Re-Os геохронологические и O-Hf-Nd-Os-Cu-S изотопно-геохимические данные для различно рудonoсных ультрамафит-мафитовых интрузивов Полярной Сибири указывают на более сложную, чем это представлялось ранее, геологическую историю промышленно-рудonoсных интрузивов.

3. Впервые показана полигенно-полихронная природа разновозрастных цирконов интрузивов норильского типа, отражающая многоэтапный период формирования промышленно-рудonoсных ультрамафит-мафитовых интрузивов.

4. Впервые определен возраст монацита и бадделеита из пород ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции.

5. По данным O-Hf-Nd изотопии охарактеризованы различные источники силикатного вещества, участвовавшие в формировании пород промышленно-рудonoсных, рудonoсных и слаборудonoсных интрузивов Полярной Сибири.

6. Впервые выявлены особенности изотопного состава кислорода в цирконе, свидетельствующие о мантийном происхождении первичных магм, родоначальных для Талнахского интрузива. Участие корового компонента в данном интрузиве установлено лишь для рудonoсных пород такситового горизонта.

7. На основании Hf-Nd изотопных данных обосновывается положение о трех источниках вещества (деплетированной мантии, субконтинентальной литосферной мантии и древней коры), участвовавших в формировании промышленно-рудonoсных интрузивов.

8. Впервые показаны контрастные параметры по изотопному составу серы и меди для сульфидного вещества промышленно-рудonoсных интрузивов.

9. На основании сочетания изотопных составов серы, меди и осмия выявлены интрузивные тела с вкрапленными сульфидными рудами, обладающими параметрами рудного вещества, за счет которых были сформированы промышленные платиноидно-медно-никелевые месторождения.

10. Впервые установлена временная близость к пермо-триасовому рубежу и синхронность с толеит-базальтовым магматизмом Сибирской платформы потенциально рудonoсных Джумталейского и Бинюдинского ультрамафит-мафитовых интрузивов Таймырской провинции.

11. По сравнению с другими ультрамафит-мафитовыми интрузивами Норильской провинции силикатное вещество Джумталейского интрузива характеризуется наиболее деплетированным компонентом ($\epsilon\text{Hf} \sim -8.3$, $\epsilon\text{Nd} \sim -3.5$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i \sim 0.70493$).

Практическая значимость и ценность работы соискателя. Часть использованных в работе материалов получена в ходе выполнения многочисленных хозяйственных работ, направленных на выявление вещественных характеристик и различных аспектов генезиса платиноидных месторождений Полярной Сибири.

Проведение ревизии представлений о формационной принадлежности ультрабазитов Гулинского массива с обоснованием их автономности от других магматических образований, позволило по новому подойти к расчленению ультраосновных пород в гетерогенных плутонических комплексах при создании серийной легенды Маймеч-Котуйской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000, апробированной на НРС ВСЕГЕИ. Показано, что комплексные золото-иридиево-осмиевые россыпи, связанные с Гулинским массивом, являются уникальным по типу комплексной благороднометальной минерализации и весьма крупным по прогнозным ресурсам тугоплавких платиноидов потенциально промышленным объектом, которому нет аналога в России и в мире. Вещественные характеристики платиноидной минерализации из четвертичных отложений в пределах Бор-Урахского массива определяют высокие перспективы открытия платиноидных россыпей в Кугдинском и Одихинчинском рудных районах Маймеч-Котуйской провинции.

Охарактеризованы изотопно-геохимические индикаторы прогноза сульфидного ЭПГ-Cu-Ni оруденения, которые предлагаются к использованию при оценке рудоносности слабо изученных геологических объектов. Высокие перспективы обнаружения богатых ЭПГ-Cu-Ni руд для Черногорского и Дюмталейского интрузивов обосновываются сходством S-Cu-Os изотопных характеристик для вкрапленных сульфидных руд с таковыми промышленно-рудноносного Талнахского интрузива Норильской провинции. Выявленные закономерности изотопных характеристик силикатного и рудного вещества могут быть эффективно использованы при прогнозной оценке оруденения в слабо изученных ультрамафит-мафитовых интрузивах Российской Арктики.

Полученные комплексные данные об источниках силикатного и рудного вещества, продолжительности и условиях образования ультрамафит-мафитовых интрузивов Полярной Сибири являются надёжным фундаментом для сопоставления на изотопном уровне процессов магмо- и рудообразования.

Соответствие диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите. Диссертация Малича К.Н. представляет собой завершённую научную работу, выполненную автором самостоятельно. Содержание диссертации соответствует пункту 1 «Условия образования месторождений твердых полезных ископаемых: геология и генетические модели, геодинамические и формационно-магматические условия образования и закономерности пространственного размещения эндогенных месторождений», пункту 3 «Металлогения и минерагения: общая, региональная и специальная, цели и задачи» и пункту 4 «Прогнозирование, поиски, разведка и геолого-экономическая оценка месторождений» Паспорта специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения».

Диссертация К.Н. Малича К.Н. не включает материалов, содержащих государственную или коммерческую тайну.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. Основные научные результаты и материалы диссертационного исследования изложены в научных публикациях соискателя Малича К.Н. (с соавторами и единолично). Соискатель имеет более 100 статей, опубликованных в рецензируемых журналах, в том числе 53 статьи по теме диссертации опубликованы в журналах

рекомендованных ВАК, все из них также индексируются в наукометрических базах Web of Science и Scopus.

Наиболее важные работы, опубликованные по теме диссертации.

Монографии:

1. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю., Туганова Е.В. Рудоносные ультрамафит-мафитовые интрузивы Полярной Сибири: возраст, условия образования, критерии прогноза. Екатеринбург, ИГТ УрО РАН, 2018. 287 с.

2. **Малич К.Н.** Платиноиды клинопироксенит-дунитовых массивов Восточной Сибири (геохимия, минералогия, генезис). С-Пб.: Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 1999. 296 с.

3. Лазаренков В.Г., **Малич К.Н.**, Сахьянов Л.О. Платинометальная минерализация зональных ультраосновных и коматиитовых массивов. С-Пб.: Недра, 1992. 217 с.

Главы в монографиях, путеводители, карты:

1. **Malitch K.N.**, Belousova E.A., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Latypov R.M., Sluzhenikin S.F. Chapter 7 – New insights on the origin of ultramafic-mafic intrusions and associated Ni-Cu-PGE sulfide deposits of the Noril'sk and Taimyr provinces, Russia: evidence from radiogenic and stable isotope data. In: Mondal, S. and Griffin, W.L. (eds.), Processes and Ore Deposits of Ultramafic-Mafic Magmas Through Space and Time. 1st Edition, Elsevier Inc., 2018, pp. 197–238.

2. Sluzhenikin S.F., Krivolutsкая N.A., Rad'ko V.A., **Malitch K.N.**, Distler V.V., Fedorenko V.A. Ultramafic-mafic intrusions, volcanic rocks and PGE-Cu-Ni sulfide deposits of the Noril'sk Province, Polar Siberia. Field trip guidebook. 12th International Platinum Symposium (Simonov O.N., ed.). Yekaterinburg: IGG UB RAS, 2014. 80 p.

3. Митрофанов Ф.П., Баянова Т.Б., Корчагин А.У., **Малич К.Н.**, Жиров Д.В. Глава 5. Восточно-Скандинавская и Норильская плюмовые базитовые обширные изверженные провинции Pt-Pd руд: геологическое и металлогеническое сопоставление / Фундаментальные основы формирования ресурсной базы стратегического сырья (Au, Ag, Pt, Cu, редкие элементы и металлы). М.: Геос, 2012. С. 194–222.

4. Cawthorn R.G., Barnes S.J., Ballhaus C., **Malitch K.N.** Platinum-group element, chromium and vanadium deposits in mafic and ultramafic rocks / Economic Geology 100th Anniversary Volume. 2005. P. 215-249.

5. Геологическая карта Сибирской платформы и прилегающих территорий масштаба 1:1500 000 (Гл. редактор Малич Н.С., зам. гл. редактора Туганова Е.В., Миронюк Е.П.). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2000. (Авторы: Малич Н.С., Туганова Е.В., Миронюк Е.П., Авдеева В.И., Алексеев С.П., Анохин В.М., Беззубцев В.В., Глухов Ю.С., Гриненко В.С., Гринсон А.С., Гришин М.П., Дараган-Суцов Ю.И., Егоров В.Н., Камалетдинов В.А., Ковригина Е.К., Кропачев А.П., Лазуркин Д.В., Лотышев В.И., Магнушевский Э.Л., **Малич К.Н.**, Межвилк А.А., Михайлов М.В., Мусатов Е.Е., Никулов Л.П., Пояркова И.Н., Перевалов О.В., Ржевский В.Ф., Садовников Г.Н., Сезько А.И., Семериков А.А., Симонов О.Н., Сластенов Ю.Л., Спектор В.В., Старников А.И., Стрельников С.И., Тимашков А.Н., Чернышев Н.М., Яшин Д.С.).

6. **Malitch K.N.** Peculiarities of platinum-group elements distribution in ultramafites of clinopyroxenite-dunite massives as an indicator of their origin / International Platinum (Laverov N.P., Distler V.V. eds.). Athens-St. Petersburg: Theophrastus Publications, 1998. P. 129–140.

Статьи в рецензируемых журналах:

1. **Малич К.Н.**, Лохов Д.К., Проскурнин В.Ф., Пучков В.Н., Баданина И.Ю., Червяковская М.А. Изотопные системы U-Pb и Lu-Hf в цирконе и Sm-Nd в породах рудоносного Дюмталейского интрузива (Таймыр, Россия): новые свидетельства о роли деплетированной мантии в его образовании / Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492. № 1. С. 71–75.

2. Служеникин С.Ф., **Малич К.Н.**, Туровцев Д.М., Григорьева А.В., Баданина И.Ю. Зубовский тип дифференцированных базит-гипербазитовых интрузивов Норильского района:

петрогеохимические характеристики и рудоносность / *Петрология*. 2020. Т. 28. № 5. С. 511–544.

3. Barnes S.J., **Malitch K.N.**, Yudovskaya M.A. Introduction to the Special Issue on the Norilsk-Talnakh Ni-Cu-PGE deposits / *Economic Geology*. 2020. V. 115. № 6. P. 1157–1172.

4. **Malitch K.N.**, Belousova E.A., Griffin W.L., Martin L., Badanina I.Yu., Sluzhenikin S.F. Oxygen-hafnium-neodymium isotope constraints on the origin of the Talnakh ultramafic-mafic intrusion (Noril'sk Province, Russia) / *Economic Geology*. 2020a. V. 115. № 6. P. 1195–1212.

5. **Malitch K.N.**, Puchtel I.S., Belousova E.A., Badanina I.Yu. Contrasting platinum-group mineral assemblages of the Kondyor massif (Russia): Implications for the sources of HSE in zoned-type ultramafic massifs / *Lithos*. 2020b. V. 376-377. 105800.

6. Баданина И.Ю., Белоусова Е.А., **Малич К.Н.**, Служеникин С.Ф. Изотопный состав кислорода цирконов промышленно-рудноносного Талнахского интрузива Норильской провинции: первые данные // *Доклады АН*. 2019. Т. 489. № 2. С. 170–173.

7. **Малич К.Н.**, Когарко Л.Н., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А. Hf-Nd изотопная систематика карбонатитов Гулинского массива (Маймеч-Котуйская провинция, Россия) / *Доклады АН*. 2018. Т. 480. № 3. С. 322–326.

8. Служеникин С.Ф., **Малич К.Н.**, Григорьева А.В. Базит-гипербазитовые дифференцированные интрузивы круглогорского типа: петрология и рудоносность (Норильский район) / *Петрология*. 2018. Т. 26. № 3. С. 282–316.

9. **Малич К.Н.**, Хиллер В.В. Результаты химического датирования монацита Талнахского промышленно-рудноносного интрузива (Россия) / *Доклады АН*. 2017. Т. 474. № 2. С. 210–213.

10. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю., Романов А.П., Служеникин С.Ф. U-Pb возраст и Hf-Nd-Sr-Su изотопная систематика Бинюдинского и Дюмталейского рудоносных интрузивов (Таймыр, Россия) / *Литосфера*. 2016. Т. 16. № 1. С. 107–128.

11. **Малич К.Н.**, Хиллер В.В., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А. Результаты датирования ториянита и бадделеита карбонатитов Гулинского массива (Россия) / *Доклады АН*. 2015. Т. 464. № 4. 464-467.

12. Баданина И.Ю., **Малич К.Н.**, Романов А.П. Изотопно-геохимические характеристики рудоносных ультрамафит-мафитовых интрузивов Западного Таймыра (Россия) / *Доклады АН*. 2014. Т. 458. № 3. С. 327–329.

13. **Malitch K.N.**, Latypov R.M., Badanina I.Y., Sluzhenikin S.F. Insights into ore genesis of Ni-Cu-PGE sulfide deposits of the Norilsk Province (Russia): evidence from copper and sulfur isotopes // *Lithos*. 2014. V. 204 P. 172–187.

14. **Малич К.Н.**, Сорохтина Н.В., Баданина И.Ю., Кононкова Н.Н. О коренных источниках благороднометаллических россыпей Гулинского массива (Полярная Сибирь): новые минералогические данные / *Доклады АН*. 2013. Т. 351. № 1. С. 87-90.

15. Митрофанов Ф.П., Баянова Т.Б., Корчагин А.У., Грошев Н.Ю., **Малич К.Н.**, Жиров Д.В., Митрофанов А.Ф. Восточно-Скандинавская и Норильская плюмовые базитовые обширные изверженные провинции Pt-Pd руд: геологическое и металлогеническое сопоставление / *Геология рудных месторождений*. 2013. Т. 55. № 5. С. 357–373.

16. **Malitch K.N.**, Belousova E.A., Griffin W.L., Badanina I.Yu. Hafnium-neodymium constraints on source heterogeneity of the economic ultramafic-mafic Noril'sk-1 intrusion (Russia) / *Lithos*. 2013. V. 164-167. P. 36-46.

17. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю., Белоусова Е.А., Туганова Е.В. U-Pb результаты датирования циркона и бадделеита ультрамафит-мафитового интрузива Норильск-1 (Россия) / *Геология и геофизика*. 2012. Т. 53. № 2. С. 163–172.

18. Merkle R.K.W., **Malitch K.N.**, Grasser P.P.H., Badanina I.Yu. Native osmium from the Guli Massif, Northern Siberia (Russia) / *Mineralogy and Petrology*. 2012. V. 104. № 1–2. P. 115–127.

19. Mitrofanov F.P., **Malitch K.N.**, Bayanova T.B., Korchagin A.U., Zhiron D.V. Comparison of East-Scandinavian and Norilsk large plume mafic igneous provinces of PGE ores / *Proceedings of the Murmansk State Technical University*. 2012. V. 15. № 2. P. 380–394.
20. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю., Костоянов А.И. Начальный изотопный состав осмия Os-Ir-Ru сплавов ультраосновных массивов Полярной Сибири / *Доклады АН*. 2011а. Т. 440. № 3. С. 397–402.
21. **Малич К.Н.**, Кадик А.А., Баданина И.Ю., Жаркова Е.В. Окислительно-восстановительные условия формирования минералов осмия Гулинского массива, Россия / *Геохимия*. 2011б. Т. 49. № 7. С. 767–771.
22. **Малич К.Н.**, Когарко Л.Н. Вещественный состав платиноидной минерализации Бор-Урахского массива (Маймеча-Котуйская провинция, Россия) / *Доклады АН*. 2011. Т. 440. № 6. С. 806–810.
23. **Малич К.Н.**, Ефимов А.А., Баданина И.Ю. Контрастные минеральные ассоциации платиноидов хромититов Нижне-Тагильского и Гулинского массивов (Россия): состав, источники вещества, возраст / *Доклады АН*. 2011в. Т. 441. № 1. С. 83–87.
24. **Malitch K.N.**, Latypov R.M. Re-Os and S-isotope constraints on timing and source heterogeneity of PGE-Cu-Ni sulfide ores: a case study at the Talnakh ore junction (Russia) / *Canadian Mineralogist*. 2011. V. 49. № 6. P. 1653–1677.
25. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю., Туганова Е.В. Магматическая эволюция ультрамафит-мафитовых интрузивов Норильской провинции (Россия): вещественные и геохронологические данные / *Литосфера*. 2010. Т. 10. № 5. С. 37–63.
26. Соболев А.В., Соболев С.В., Кузьмин Д.В., **Малич К.Н.**, Петрунин А.А. Механизм образования сибирских меймечитов и природа их связи с траппами и кимберлитами / *Геология и геофизика*. 2009. Т. 50. № 12. С. 1293–1334.
27. **Malitch K.N.**, Belousova E.A., Griffin W.L., Badanina I.Yu., Pearson N.J., Presnyakov S.L., Tuganova E.V. Magmatic evolution of the ultramafic-mafic Kharaelakh intrusion (Siberian Craton, Russia): insights from trace-element, U-Pb and Hf-isotope data on zircon / *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2010. V. 159. № 6. P. 753–768.
28. **Malitch K.N.** Osmium isotope constraints on contrasting sources and prolonged melting in the Proterozoic upper mantle: evidence from ophiolitic Ru-Os sulfides and Ru-Os-Ir alloys / *Chemical Geology*. 2004. V. 208. № 1–4. P. 157–173.
29. **Malitch K.N.**, Auge T., Badanina I.Yu., Goncharov M.M., Junk S.A., Pernicka E. Os-rich nuggets from Au-PGE placers of the Maimecha-Kotui Province, Russia: a multi-disciplinary study / *Mineralogy and Petrology*. 2002. V. 76. P. 121–148.
30. **Malitch K.N.**, Thalhammer O.A.R. Pt-Fe nuggets derived from clinopyroxenite-dunite massifs, Russia: a structural, compositional and osmium-isotope study / *Canadian Mineralogist*. 2002. V. 40. P. 395–418.
31. **Малич К.Н.**, Костоянов А.И. Модельный Re-Os-возраст платиноидной минерализации Гулинского массива (север Сибирской платформы, Россия) / *Геология рудных месторождений*. 1999. Т. 41. № 2. С. 143–153.
32. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю. Природные поликомпонентные твердые растворы системы Ru-Os-Ir-Pt-Fe, их генетическое и прикладное значение / *Доклады АН*. 1998. Т. 363. № 1. С. 93–96.
33. **Малич К.Н.**, Малич Н.С., Симонов О.Н., Лопатин Г.Г., Науменко Н.Г. Иридиево-осмиевые россыпи Маймеча-Котуйской провинции – новый российский источник тугоплавких платиноидов / *Отечественная геология*. 1998. № 3. С. 30–34.
34. **Малич К.Н.**, Оже Т. Состав включений в минералах осмия – индикатор условий образования Гулинского ультраосновного массива / *Доклады АН*. 1998. Т. 361. № 6. С. 812–814.
35. **Малич К.Н.**, Лопатин Г.Г. Новые данные о металлогении уникального Гулинского клинопироксенит-дунитового массива (Северная Сибирь, Россия) / *Геология рудных месторождений*. 1997. Т. 39. № 3. С. 247–257.

36. **Малич К.Н.** Об оценке платиноносности зональных клинопироксенит-дунитовых массивов / *Доклады АН*. 1996. Т. 347. № 5. С. 653–657.
37. **Малич К.Н.** Платиноидная россыпь реки Ингарингда (север Восточной Сибири) / *Доклады АН*. 1996. Т. 348. № 5. С. 652–656.
38. **Малич К.Н.**, Баданина И.Ю., Гончаров М.М., Лопатин Г.Г., Науменко Н.Г., Туганова Е.В. Маймеч-Котуйский регион – новая платинометальная провинция России / *Доклады АН*. 1996. Т. 348. № 2. С. 232–235.
39. **Малич К.Н.** Распределение платиноидов в ультрабазитах Гулинского массива как индикатор их генезиса / *Записки ВМО*. 1995. № 5. С. 16–30.
40. Балмасова Е.А., Смольская Л.С., Лопатина Л.А., Лопатин Г.Г., Лазаренков В.Г., **Малич К.Н.** Самородный осмий и иридосмин Гулинского массива / *Доклады АН*. 1992. т. 323. № 4. С. 748–751.
41. **Малич К.Н.**, Рудашевский Н.С. О коренной минерализации платиноидов хромититов Гулинского массива / *Доклады АН*. 1992. Т. 325. № 5. С. 1026–1029.
42. **Малич К.Н.** О формационной принадлежности платиноносных ультрабазитов концентрически-зональных массивов Сибирской платформы / *Доклады АН СССР*. 1991. Т. 318. № 6. С. 1452–1457.
43. Туганова Е.В., **Малич К.Н.** К вопросу о платиноносности интрузий норильского типа / *Доклады АН СССР*. 1990. Т. 313. № 1. С. 178–183.
- Статьи в рецензируемых журналах (в печати):*
1. **Malitch K.N.** Forecasting criteria for sulphide PGE-copper-nickel deposits of the Noril'sk province / *Литосфера*. 2021. Т. 21. № 5.

Апробация работы.

Основные выводы и рекомендации, полученные в ходе выполнения работы, апробированы на практике при поисково-оценочных работах ПГП "Норильскгеология" АО "Норильский ГМК" в Норильской и Маймеч-Котуйской провинциях, а также в рамках геологосъемочных работ масштаба 1:50 000 с сопутствующим структурным колонковым бурением скважин до глубины 1200 м на Гулинском массиве в Маймеч-Котуйской провинции.

Результаты исследований докладывались и обсуждались на Ученых Советах ВСЕГЕИ, ИГТ УрО РАН, на НТС Норильской КГРЭ, Заполярной КГРЭ, Территориального агентства по недропользованию по Таймырскому (Долгано-Ненецкому) автономному округу (все Норильск), Управления по недропользованию по Красноярскому краю (Красноярск), Научном совете РАН по проблемам геохимии (Москва), а также в Институте Макса Планка (Маинц, 2004), Университете Оулу (Оулу, 2011), Университете Макуори (Сидней, 2013) и Санкт-Петербургском горном университете (2012, 2015). Основные результаты диссертации были также представлены лично на многочисленных всесоюзных, российских и международных совещаниях (более 70 докладов), в том числе на Всесоюзном совещании «Эндогенные процессы в зонах глубинных разломов» (Иркутск, 1989), VI, VII, VIII, IX, X и XII Международных Платиновых симпозиумах (Перт, 1991; Москва, 1994; Рустенбург, 1998; Биллингс, 2002; Оулу, 2005; Екатеринбург, 2014), Совещания «Геология и генезис месторождений платиновых металлов» (Москва, 1992), VIII съезде Всероссийского минералогического общества (Санкт-Петербург, 1992), Втором международном симпозиуме «Минерально-сырьевые ресурсы России» (Санкт-Петербург, 1994), X и XI Международных совещаниях по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (Москва, 1994, 1997), Региональном симпозиуме «Благородные металлы и алмазы севера Европейской части России» (Петрозаводск, 1995), Международном симпозиуме "Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов: проблемы генезиса и освоения" (Санкт-Петербург, 1996), XVII съезде Международной Минералогической Ассоциации (Торонто, 1998), Международной конференции к 100-летию Н.А. Елисеева «Проблемы генезиса магматических и

метаморфических пород» (Санкт-Петербург, 1998), 2-м семинаре «Высоко сидерофильные элементы в земных образцах и метеоритах: значение для планетарной дифференциации и магматических процессов» (Нанси, 2002), III, IV, VI и VII Российских конференциях по изотопной геохронологии (Москва, 2006, 2018; Санкт-Петербург, 2009, 2015), Генеральной Ассамблее Европейского сообщества наук о Земле (EGU Вена, 2006, 2007, 2008, 2011–2014), Международных геохимических конференциях (Goldschmidt-2006, Мельбурн; Goldschmidt-2007, Кёльн; Goldschmidt-2015, Прага; Goldschmidt-2019, Барселона), 33-м Международном геологическом конгрессе (Осло, 2008), 3-й Международной конференции «Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей и связанные с ними месторождения», Екатеринбург, 2009), XXVI и XXVII Международных конференциях «Геохимия магматических пород» (Москва, 2009, 2010), 13-м симпозиуме Международной ассоциации по генезису рудных месторождений «Гигантские рудные месторождения Down-Under» (Аделаида, 2010), Всероссийской конференции «Самородное золото: типоморфизм минеральных ассоциаций, условия образования месторождений, задачи прикладных исследований» (Москва, 2010), Всероссийской научной конференции к 100-летию С.Н. Иванова (Екатеринбург, 2011), XV Чтениях памяти академика А.Н. Заварицкого (Екатеринбург, 2012), Годичном собрании Российского минералогического общества и Федоровской сессии (Санкт-Петербург, 2012), VI, VII и IX ежегодных научных чтениях им. Г.П. Кудрявцевой (Москва, 2012, 2013, 2015); XVIII Всероссийской научной конференции «Уральская минералогическая школа – 2012», посвященной благородным металлам (Екатеринбург, 2012), Всероссийской научной конференции «Дни наук о Земле на Урале: Горно-металлургический комплекс Урала – современные проблемы» (Екатеринбург, 2012), Всероссийской молодежной научной конференции «Минералы: строение, свойства, методы исследования» к 100-летию Л.Н. Овчинникова (Екатеринбург, 2013), Всероссийской конференции «Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений» к 100-летию акад. Н.А. Шилов (Москва, 2013), 9-й Международной конференции по анализу геологических и экологических материалов (Geonalysis-2015, Леобен), Международной научной конференции, посвященной 300-летию Минералогического музея имени А.Е. Ферсмана РАН (Москва, 2016), Уральском научном форуме (Екатеринбург, 2017), 14-м Международном Ni-Cu-ЭПГ симпозиуме памяти Т. Налдретта (в ZOOM формате, 2020).

Диссертация Малича Крешимира Ненадовича «Комплексные платинометалльные месторождения Полярной Сибири (состав, источники вещества и условия образования)» на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.11 «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения» рекомендована к защите.

Заключение принято на заседании Ученого Совета ИГГ УрО РАН, протокол № 9 от 7 сентября 2021 г.

Главный научный сотрудник
Лаборатории геохимии и рудообразующих
процессов ИГГ УрО РАН, доктор
геолого-минералогических наук



В.В. Мурзин