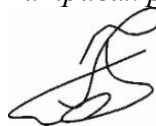


На правах рукописи



ГУЗЕВ Владислав Евгеньевич

**ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ
РАЗМЕЩЕНИЯ ЗОЛОТОГО ОРУДЕНЕНИЯ
МЕСТОРОЖДЕНИЯ МОРОЗКИНСКОЕ
(ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)**

Специальность 1.6.10. Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «Институт Карпинского»), г. Санкт-Петербург.

Научный руководитель: **Молчанов Анатолий Васильевич**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУ «Институт Карпинского», отдел металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых, заведующий отделом.

Официальные оппоненты: **Макаров Владимир Александрович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра геологии месторождений и методики разведки ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», заведующий кафедрой.

Светлицкая Татьяна Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, лаборатория рудообразующих систем, старший научный сотрудник.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», г. Москва.

Защита состоится 27 марта 2025 г. в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета 30.1.003.01 на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» по адресу: 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74., зал Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУ «Институт Карпинского»:

https://karpinskyinstitute.ru/ru/about/dissertation_council/Guzev_disser/Guzev_disser.php

Автореферат разослан «___» января 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
30.1.003.01, к.г.-м.н.



В.И. Леонтьев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Мезозойские магматические породы широко распространены на Алданском щите – крупнейшем выступе докембрийского фундамента Сибирской платформы. Магматические породы характеризуются исключительным многообразием состава изверженных пород, с которыми пространственно и генетически ассоциировано оруденение золота и ряд других полезных ископаемых (Ag, U, Cu, Pb, Zn, Mo). Магматические формации мезозойского возраста образуют несколько рудно-магматических узлов и районов, одним из которых является Центрально-Алданский. Рассматриваемый район является наиболее крупной, хорошо изученной и экономически освоенной территорией Алданского щита, в пределах которой расположен интрузивный массив сиенитов и порфириовидных сиенитов горы Рудная с недавно открытым Морозкинским золоторудным месторождением. Следует отметить, что промышленная добыча золота и систематическое изучение золотого оруденения Центрально-Алданского рудного района начались еще в 20-х годах прошлого столетия. За почти вековой период было открыто и отработано множество коренных месторождений золота, приуроченных преимущественно к породам платформенного чехла. На данный момент в пределах Центрально-Алданского рудного района существует определенный дефицит новых, в том числе нетрадиционных для региона, типов месторождений рудного золота. Открытие Морозкинского месторождения свидетельствует о высоком золоторудном потенциале мезозойских магматических пород. В связи с этим, для изучаемой территории остается актуальной проблемой дальнейшее совершенствование существующих и создание новых критериев поисков и оценки подобных объектов, а также выявление поисковых предпосылок и признаков оруденения этого типа.

Цель и задачи исследования. Целью работы является установление закономерностей локализации и особенностей формирования золоторудной минерализации месторождения Морозкинское (массив гора Рудная).

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

– подробная минералого-петрографическая характеристика вмещающих магматических пород, гидротермально-метасоматических образований и руд Морозкинского месторождения;

- выявление последовательности формирования гидротермально-метасоматических образований и их связи с золоторудной минерализацией;
- определение возраста формирования интрузивных пород и рудоносных метасоматитов;
- изучение условий формирования и источников магматических пород, а также определение их связи с рудоносными флюидами;
- разработка комплекса прогнозно-поисковых критериев золоторуднения в породах мезозойских интрузий.

Фактический материал, методы исследования, личный вклад автора. Исследование каменного материала состояло в комплексном минералого-петрографическом, петрогеохимическом и изотопно-геохимическом изучении вмещающих пород и гидротермально-метасоматических образований. Все аналитические исследования были выполнены в Центральной аналитической лаборатории и Центре изотопных исследований ФГБУ «Институт Карпинского» (г. Санкт-Петербург), за исключением определения содержания REE и других редких элементов в цирконе (Ярославский Филиал Физико-Технологического Института им. К.А. Валиева РАН (ЯФ ФТИАН РАН)).

Минералого-петрографическое изучение вмещающих магматических пород и гидротермально-метасоматических образований проводилось на микроскопе Leica DM 2500. Исследование рудной минерализации проводилось на электронном микроскопе CamScan MV 2300. Химический состав образцов на петрогенные элементы определен рентгеноспектральным флуоресцентным методом (XRF) на приборе ARL-9800, а содержание редких элементов – масс-спектрометрией с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе ELAN-6100 DRC.

Локальное датирование циркона из сиенитов U-Pb методом выполнено на ионном микрозонде SHRIMP-II. Определение содержания редкоземельных и редких элементов в цирконе осуществлялось методом SIMS на ионном микрозонде Cameca IMS-4f. Анализ Rb-Sr и Sm-Nd изотопных систем пород и минералов был выполнен методом ID-TIMS на масс-спектрометре Triton. Re-Os датирование рудоносных березитов проводилось по монофракциям пирита на масс-спектрометре Triton. Измерения изотопного состава Pb в сиенитах и монофракциях пирита выполнены на масс-спектрометре Triton.

Определение изотопного состава серы в сульфидах выполнено на масс-спектрометре Thermo Finnigan Delta.

В основу работы положена собранная автором в ходе полевых работ коллекция руд, магматических пород и гидротермально-метасоматических образований Морозкинского месторождения, насчитывающая порядка 200 образцов, а также результаты анализа и обобщения авторской геологической документации, фондовой и опубликованной информации о геологическом строении и металлогении Центрально-Алданского рудного района. Автором выполнено описание петрографических шлифов, компьютерная обработка и интерпретация петрографо-геохимических и изотопных данных, сформулированы и обоснованы научные положения. Работа выполнена в отделе металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «Институт Карпинского».

Защищаемые положения:

1. Формирование сиенитов массива горы Рудная, являющихся вмещающими породами Морозкинского месторождения, происходило около 130 млн лет назад. Близкие значения возраста сульфидной минерализации (129 ± 3 млн лет) свидетельствуют о последовательном субсинхронном процессе кристаллизации сиенитов и формирования золотого оруденения.

2. Отчетливые пространственно-временные взаимоотношения и совокупность изотопно-геохимических характеристик оруденения месторождения Морозкинское и магматических пород массива горы Рудная свидетельствуют об их структурно-парагенетической связи.

3. В пределах массива горы Рудная проявлены четыре гидротермально-метасоматические формации: фельдшпатолиты, скарны, пропилиты, распространенные локально, и березиты. Ореолы фельдшпатолитов и пропилитов маркируют экзоконтакт массива с силикатными породами, в то время как скарны приурочены к контакту сиенитов и вмещающих их карбонатных пород. Березиты, которые являются наиболее распространенным типом метасоматитов, рудоносны и формируют приуроченные к крутопадающим разрывным структурам интрузива ореолы, характеризующиеся концентрированием Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Mo, As, Bi.

Научная новизна. Установлено, что процесс кристаллизации сиенитов массива горы Рудная, формирования околорудных метасоматитов и золотого оруденения месторождения Морозкинское

происходил последовательно субсинхронно. Выявлена структурно-парагенетическая связь магматических пород массива горы Рудная и оруденения месторождения Морозкинское. Осуществлена детальная минералого-петрографическая и изотопно-геохимическая характеристика гидротермально-метасоматических образований, определен их состава и последовательность образования. Впервые охарактеризованы условия формирования месторождения Морозкинское.

Практическая значимость. Установленные в диссертационной работе закономерности локализации и особенности формирования промышленной золоторудной минерализации могут быть использованы в качестве поисковых критериев оруденения локализованного на участках интенсивной метасоматической переработки пород вдоль крутопадающих разрывных структур внутри мезозойских интрузивных массивов как Центрально-Алданского района, так и Алданской мезозойской магматической провинции в целом.

Апробация работы и публикации. Результаты исследования отражены в 11 публикациях, в том числе в 6 статьях (в журналах из перечня ВАК). Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: XXXI и XXXII молодежные научные конференции, посвященные памяти К.О. Кратца (Санкт-Петербург, 2020; Петрозаводск, 2021); X и XI Российские молодежные научно-практические школы «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, 2021 и 2022); IV молодежной научно-образовательной конференции «Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче» (Москва, 2023).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и содержит 150 страниц, 64 рисунка, 25 таблиц. Список литературы включает 152 ссылки.

Во введении обсуждаются актуальность работы, ее цели, задачи и сформулированы защищаемые положения. Глава 1 содержит общие сведения о геологическом строении, истории геологического развития, выделяемых геолого-промышленных типах месторождений и закономерностях их размещения в пределах Центрально-Алданского рудного района. В главе 2 рассмотрены аналитические методики, использованные в диссертационной работе. Глава 3 посвящена геологическому строению, возрасту, условиям формирования магматических пород и рудной минерализации Морозкинского

месторождения (массив горы Рудная). В главе 4 изложены результаты минералого-петрографических исследований гидротермально-метасоматических образований и их петрогеохимических особенностей. В главе 5 охарактеризованы условия формирования Морозкинского месторождения и предложены прогнозно-поисковые критерии выявления и локализации схожего оруденения в пределах рассматриваемой территории. Выводы диссертации представлены в заключении.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своему научному руководителю А.В. Молчанову и высоко ценит оказанную им всестороннюю помощь и поддержку на всех этапах подготовки диссертации.

Автор глубоко признателен С.Г. Скублову, А.В. Терехову, В.И. Леонтьеву и Б.В. Беляцкому за их неоценимый вклад в исследовательскую деятельность автора и поддержку его научных идей. Автор благодарен В.В. Шатову и А.В. Козлову за ценные советы, консультации и проявленный интерес к работе. За предоставленную возможность участвовать в полевых работах и помощь в сборе фактического материала автор выражает благодарность отделу металлогении и геологии месторождений полезных ископаемых ФГБУ «Институт Карпинского». Автор благодарит за проведение аналитических исследований Р.Ш. Крымского, Н.В. Родионова, Т.А. Назарову, Е.Л. Грузову, В.Н. Кириллова, В.Л. Кудряшова (ФГБУ «Институт Карпинского»); С.Г. Симакина и Е.В. Потапова (ЯФ ФТИАН РАН).

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Алданский щит представляет собой выступ докембрийского кристаллического фундамента Сибирской платформы, в пределах которого в позднемезозойское время широко проявился магматизм, сформировавший т.н. Алданскую мезозойскую магматическую провинцию. Одним из золоторудных районов этой провинции является Центрально-Алданский, к которому принадлежит интрузивный массив сиенитов горы Рудная, включающий недавно открытое Морозкинское золоторудное месторождение с запасами 17.3 т золота и 29.5 т серебра.

Для района характерно многоярусное строение (рисунок 1). Кристаллический фундамент представлен тоналит-грандьемитовыми ортогнейсами западно-алданского (3.3 млрд лет) комплекса и гра-

нитоидами тимптонского (2.0 млрд лет) комплекса, а также супра-крустальными образованиями курумканской (2.3-2.0 млрд лет) и федоровской (2.0 млрд лет) толщ. Эти породы смяты в складки и рассечены многочисленными разломами, гранитизированы в условиях гранулитовой фации, прорваны интрузиями гранитогнейсов, гранитов и чарнокитов (2.0-1.9 млрд лет). Кристаллический фундамент перекрыт венд-нижнекембрийскими карбонатными и юрскими терригенными породами, имеющими субгоризонтальное залегание. В позднемезозойское время район испытал тектоно-магматическую активизацию (150-115 млн лет), связанную с многостадийным магматизмом, сопровождавшимся интенсивной гидротермально-метасоматической деятельностью. Мезозойские магматические породы характеризуются исключительным многообразием: высокощелочные, щелочные, умереннощелочные, от ультраосновных до кислых. С интрузивными породами пространственно и генетически ассоциировано оруденение золота и ряда других полезных ископаемых (Ag, U, Cu, Pb, Zn, Mo).

Интрузивный массив горы Рудная вместе с Морозкинским золоторудным месторождением расположен вблизи поселка Лебединый (Лебединский рудный узел) (рисунок 2). Интрузия имеет форму лакколита, максимальная мощность которого в центральной части достигает 180 м. Сложен массив преимущественно сиенитами при подчиненном распространении порфириовидных сиенитов. Породы массива прорваны дайками и sillами сиенит-порфиров и известково-щелочных лампрофиров, протяженность которых достигает 1 км при мощности в несколько метров. Интрузия прорывает породы федоровской толщи и гранитоиды палеопротерозойского возраста, а маломощные пласты венд-нижнекембрийских доломитов (до 10 м) вскрыты скважинами в основании интрузии и частично подстилают массив в северо-восточной части. Формирование массива завершилось гидротермально-метасоматическими процессами: фельдшпатизации, пропилитизации, скарнирования и березитизации. Промышленное золотое оруденение приурочено к ореолам березитизации на участках интенсивной метасоматической переработки пород вдоль крутопадающих нарушений преимущественно внутри массива, реже в породах кристаллического фундамента. В пределах ореолов березитизации развита сульфидная прожилково-вкрапленная и жильная минерализация, с которой генетически связано золото.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Формирование сиенитов массива горы Рудная, являющихся вмещающими породами Морозкинского месторождения, происходило около 130 млн лет назад. Близкие значения возраста сульфидной минерализации (129 ± 3 млн лет) свидетельствуют о последовательном субсинхронном процессе кристаллизации сиенитов и формирования золотого оруденения.

Сиениты и порфиоровидные сиениты, участвующие в строении массива горы Рудная, характеризуются гипидиоморфнозернистой, порфировой структурой и массивной текстурой. Они состоят из калиевого полевого шпата (50–70 %), плагиоклаза (до 15 %), роговой обманки (до 10 %) и часто содержат мелкие зерна бурого биотита (1–5 %). Содержания кварца колеблются от 2 до 15 % и зависят от степени гидротермально-метасоматической проработки пород. Вторичные минералы представлены карбонатом, хлоритом, эпидотом, серицитом и мусковитом, к которым приурочены скопления сульфидной минерализации (пирит, галенит и др.); акцессорные – цирконом, апатитом, гематитом, титанитом и магнетитом.

В петрогеохимическом отношении сиениты и порфиоровидные сиениты демонстрируют близость состава, как по петрогенным, так и по редким элементам. Состав пород характеризуется высоким содержанием калия ($K_2O = 6.25\text{--}10.0$ мас. %) с низким содержанием магния ($MgO = 0.14\text{--}0.86$ мас. %) и титана ($TiO_2 = 0.29\text{--}0.89$ мас. %). Наблюдается преобладание калия над натрием ($K_2O/Na_2O = 1.27\text{--}2.60$) при сумме щелочей от 10.8 до 12.8 мас. %. Графики распределения редкоземельных (REE) и редких элементов тождественны для всех исследованных образцов. Так, для всех спектров нормированного распределения REE наблюдается преобладание LREE над MREE (La/Sm от 3.7 до 14.8) и значительное преобладание LREE над HREE (La/Yb от 14.7 до 39.6). Породы характеризуются высоким содержанием крупноионных (Rb, Ba, Sr) и некоторых высокозарядных (Zr, U) элементов, с аномально низким содержанием – Ti, Nb и Ta. Указанные геохимические особенности пород массива не отличаются от соответствующих характеристик сходных по составу интрузивных пород Алданской мезозойской магматической провинции.

Локальному датированию U-Pb методом (SHRIMP-II) подверглось 41 зерно циркона (49 определений для 4 обр.), в которых отсутствуют участки перекристаллизации или они выражены незна-

чительно (рисунок 3, а, в, д). По циркону из трех образцов (1212, 1214 и GR-1) U-Pb методом было определено значение возраста сиенитов массива горы Рудная около 130 млн лет (рисунок 3, б, г, е). Редкие и редкоземельные элементы были проанализированы в цирконе из двух образцов – 1212 и 1214. Анализ редкоэлементного состава циркона показал наличие двух контрастных по составу и облику, но одновозрастных разновидностей циркона. Тождественность спектров REE указывает на генетическую связь этих разновидностей. Возможно, предположить, серый в CL-изображении циркон является первично магматическим, кристаллизовавшимся непосредственно из сиенитового расплава. Образование темных в CL зерен циркона в рассмотренных образцах происходило при активном участии флюидной фазы, на что указывают геохимические признаки: повышенное содержание U, Th и ряда неформульных элементов (LREE, Ca, Ti, Sr).

Изучение Rb-Sr-изотопной системы рудоносного березита Морозкинского месторождения проводилось по мономинеральным фракциям новообразованного калиевого полевого шпата, серицита и валовой пробы образца 1214/1. Образец представляет собой кварц-серицит-анкеритовый метасоматит с пиритом и халькопиритом, развитый по брекчированному сиениту. На основании полученных результатов была построена трехточечная эрохрона, наклон которой соответствует возрасту 132 ± 1 млн лет с начальным изотопным составом 0.7073 ± 0.0020 при величине СКВО (среднеквадратичное отклонение), равном 129 (рисунок 4).

Re-Os датирование рудоносных березитов проводилось по монофракциям пирита из представительного образца ГР-1. Начальный изотопный состав осмия изученных сульфидов указывает на смешанный, мантийно-коровый, источник вещества сульфидной минерализации. Для пирита образца ГР-1 Re-Os изохрона построена по всем пяти выполненным анализам, величина СКВО равна 2.1, начальное изотопное отношение осмия $(^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os})_0$ 0.3176 ± 0.0052 , наклон изохроны соответствует возрасту 129 ± 3 млн лет (рисунок 5).

Подводя итоги проведенного исследования, можно констатировать, что *формирование сиенитов массива горы Рудная согласно результатам U-Pb датирования циркона происходило около 130 млн лет назад, что соответствует времени проявления основной стадии магматизма Алданской мезозойской магматической про-*

винции (150-115 млн лет назад). Близкие значения возраста около-рудных метасоматитов (132 ± 1 млн лет), сульфидной минерализации (129 ± 3 млн лет) и присутствие двух контрастных по составу и облику, но одновозрастных разновидностей циркона, свидетельствуют о последовательном субсинхронном процессе кристаллизации сиенитов массива горы Рудная, формирования околорудных метасоматитов и золотого оруденения месторождения Морозкинское.

Второе защищаемое положение. Отчетливые пространственно-временные взаимоотношения и совокупность изотопно-геохимических характеристик оруденения месторождения Морозкинское и магматических пород массива горы Рудная свидетельствуют об их структурно-парагенетической связи.

Рудные тела Морозкинского месторождения локализованы в участках интенсивной метасоматической переработки пород, развитых вдоль крутопадающих нарушений преимущественно внутри массива горы Рудная, реже в породах кристаллического фундамента (рисунок 6, а, б). Помимо зон дробления, рудные тела размещаются в различных структурно-вещественных неоднородностях (вблизи контакта интрузии с карбонатными породами и породами фундамента, горизонтальные зоны трещиноватости в толще карбонатных пород). В структурно-тектоническом плане месторождение локализовано в пределах Томмотской магмо- и рудоконтролирующей зоны разломов, которая, вероятно, служила подводящим каналом для магматических расплавов в позднемезозойское время. Рудные тела представлены сближенными прожилками и жилами $Pu-Qz$ состава мощностью от первых мм до 20 см (в отдельных случаях до 0.8 м), реже линейными телами брекчий мощностью 0.2-0.6 м. Для рудоносных участков жил характерны, в основном, прожилковые, массивные, брекчиевые и кавернозные текстуры.

Ведущим и имеющим промышленный интерес полезным компонентом Морозкинского месторождения служит золото (с серебром). Содержания сопутствующих компонентов находятся на уровнях ниже минимально значимых промышленных кондиций. Промышленное золотое оруденение приурочено к ореолам березитизации и представлено сульфидной прожилково-вкрапленной и жильной минерализацией, с которой генетически связано золото (рисунок 7, а-г). Главным рудообразующим минералом является пирит, к второстепенным относятся халькопирит и галенит; редкие минералы –

арсенопирит, золото, гематит, сфалерит, рутил, титанит, магнетит, ильменит, титаномагнетит, монацит, ферриторит, шеелит, висмутин, галеновисмутин, тетрадимит и теллуровисмутит. Золото представлено каплевидными включениями в пирите и халькопирите или вытянутыми формами в их трещинах (рисунок 7, *д, е*). Значительно реже встречается в свободной форме в кварцевых прожилках. Золото представляет собой небольшие выделения неправильной формы (очертания границ извилистые), размер которых варьирует от первых микрон до 400 мкм (при среднем 70 мкм) (рисунок 7, *ж*). По химическому составу самородное золото представляет собой золото-серебряный сплав с незначительными примесями Cu (до 0.93 мас. %), пробыность которого в среднем составляет 862 ‰.

В непосредственной близости с интрузией в ореоле мраморизованных и скарнированных доломитов спорадически фиксируются золоторудные тела Au-сульфидного типа. Мощность их изменяется от 0.1 до 1 м, ширина от 0.5 до 2 м при длине первые десятки метров. Большинство рудных тел частично или полностью окислено. Основная часть золота и серебра присутствующих в рудах представлена свободными самородными выделениями неправильной формы.

В пределах Морозкинского месторождения, развита достаточно мощная зона окисления, распространенная на глубину до 30 м. Гипергенные изменения руд выражены в полном или частичном замещении сульфидов. Пирит замещается новообразованными гидроксидами Fe и Mn; халькопирит – малахитом, азуриком, борнитом, халькозином, ковеллином и купритом; а галенит – церруситом. Гипергенные минералы образуют натечные формы, псевдоморфно замеща первичные минералы сульфидов железа.

По данным сравнительного сопоставления Морозкинского месторождения с другими порфировыми объектами (Рябиновое (южная Якутия), Лоррейн и Галор Крик (провинция Британская Колумбия, Канада)), установлена конвергентность главных параметров с месторождениями Oxidized Intrusion Related Group (золото-медно-порфиновый тип). Тем не менее, из-за низкого содержания меди в рудах, оно не может быть отнесено к указанному выше типу, а является собственно Au-порфировым.

Изотопный состав серы в сульфидах из рудоносных метасоматитов Морозкинского месторождения изменяется от –2.3 до +0.6 ‰, при этом интервал вариаций $\delta^{34}\text{S}$ пирита от –2.3 до +0.6 ‰, халько-

пирита -0.9 до $+0.3$ ‰, и арсенопирита от -0.4 до $+0.5$ ‰ (рисунок 8). В целом, вариации изотопного состава серы в изученных сульфидах незначительны. И это говорит в пользу гомогенного состава очага рудоносных магм и о магматическом источнике серы в рудах. По условиям формирования рудной минерализации Морозкинское месторождение занимает промежуточное положение среди золоторудных объектов Центрально-Алданского рудного района, что определяет и состав участвующей в процессе минералообразования серы, и преимущественно магматический характер ее источника.

Изучение изотопного состава свинца проводилось в четырех образцах сиенита и в трех монофракциях пирита из рудоносных метасоматитов Морозкинского месторождения. Изученный изотопный состав свинца в сиенитах и монофракциях пирита позволяет охарактеризовать источник вещества магматических расплавов и сопутствующих им рудных компонентов. Линейный тренд, показанный на Pb-Pb изотопных диаграммах (рисунок 9), свидетельствует о гетерогенном изотопном составе свинца и существенной роли в формировании магматических пород свинца мантии и нижней коры. Изотопный состав свинца пирита имеет близкий к сиенитам мантийный источник вещества, что позволяет предполагать доминирующую роль магматических флюидов в формировании оруденения.

Таким образом, отчетливые пространственно-временные взаимоотношения околорудных метасоматитов и вмещающих магматических пород, а также вся совокупность полученных изотопно-геохимических характеристик (Re-Os, Pb и $\delta^{34}\text{S}$) сульфидных минералов руд указывают на структурно-парагенетическую связь сиенитовых расплавов массива горы Рудная и рудоносных флюидов, сформировавших золотое оруденение Морозкинского месторождения.

Третье защищаемое положение. В пределах массива горы Рудная проявлены четыре гидротермально-метасоматические формации: фельдшпатолиты, скарны, пропилиты, распространенные локально, и березиты. Ореолы фельдшпатолитов и пропилитов маркируют экзоконтакт массива с силикатными породами, в то время как скарны приурочены к контакту сиенитов и вмещающих их карбонатных пород. Березиты, которые являются наиболее распространенным типом метасоматитов, рудоносны и формируют приуроченные к крутопадающим раз-

рывным структурам интрузива ореолы, характеризующиеся концентрированием Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Mo, As, Bi.

В ходе петрографических исследований гидротермально-метасоматических образований измененных пород массива горы Рудная установлено более 25 новообразованных минералов. Установленные минералы проявлены во вмещающих породах Морозкинского месторождения, образуя устойчивые минеральные парагенезисы, которые подразделяются на четыре гидротермально-метасоматические формации: фельдшпатолиты (фации F_1 , F_2), скарны (S_1 , S_2), пропилиты (P_1 , P_2 , P_3) и березиты (B_1 , B_2 , B_3 , B_4) (таблица 1).

Вначале, после внедрения интрузивного тела, температура и давление флюидов в области контактового воздействия интрузива интенсивно возрастали. Это способствовало образованию в ближайшем околоинтрузивном пространстве ореолов фельдшпатолитов и локальных тел скарнов. Фельдшпатолиты сохранились в своем «первозданном» виде исключительно в периферийной части изучаемой площади, на некотором удалении от массива горы Рудная (среди раннедокембрийских кристаллических пород фундамента), а в околоинтрузивном пространстве они во многом затушевывались за счет наложения на них более поздних пропилитовых новообразований. Фельдшпатолиты представлены двумя фациальными разновидностями, которые слагают линзовидные и пластообразные тела мощностью не более 12 м.

Скарны в пределах массива горы Рудная занимают резко подчиненное положение и встречаются крайне ограниченно в зоне контактово-метасоматического воздействия интрузии на вендинжекембрийские доломиты (наследуя геометрию и морфологию слагаемых ими геологических тел) и раннедокембрийские кристаллические породы фундамента. Скарны представлены двумя фациальными разновидностями. Границы зон скарнирования с вмещающими породами достаточно четкие (десятки сантиметров – первые метры), однако нередко вышеописанные скарновые парагенезисы встречаются в виде маломощных разноориентированных прожилков или рассеянной вкрапленности.

Вслед за высокотемпературными гидротермально-метасоматическими образованиями формировались пропилиты, которые проявились в более поздних и низкотемпературных условиях во внешней зоне приконтактных изменений со стороны интрузив-

ного тела. Пропилиты, развиваясь по фельдшпатолитам, образуют внешнюю наиболее удаленную от контакта с породами интрузии зону приконтактовых гидротермально-метасоматических изменений, обусловленных процессом внедрения и длительного становления пород массива. Пропилиты представлены тремя фациальными разновидностями. Пропилиты фаций P_1 и P_2 преимущественно проявлены в породах раннедокембрийского кристаллического фундамента, в то время как фация P_3 развита в околоинтрузивном пространстве массива.

Березиты являются наиболее поздней формацией в гидротермальной системе массива горы Рудная, которая наиболее приближена во времени к процессу рудообразования. Березиты получили широкое распространение на участках интенсивной метасоматической переработки пород вдоль крутопадающих разломных структур внутри интрузии и занимают резко подчиненное положение в породах раннедокембрийского кристаллического фундамента. Форма метасоматических ореолов отличается крайней неоднородностью и обусловлена в основном анизотропией поля проницаемости пород, участвующих в строении массива.

Гидротермально-метасоматическая зональность березитов, развивающихся по сиенитам массива горы Рудная (от внешних зон к внутренним) представлена в таблице 2. Во внешней зоне, в связи с раскислением плагиоклаза, замещением амфибола (роговая обманка) и биотита карбонат-серицитовая минеральная ассоциация происходит вынос Na, Mg, Fe и Ca (рисунок 10). Привнесенный K фиксируется в сериците, а P в апатите. В промежуточной зоне в связи с неустойчивостью альбита и биотита происходит вынос Na, Mg, Ca и Al. Привнос K, Fe и Si связан с развитием кварц-серицит-карбонатной пиритсодержащей ассоциацией. Во внутренней зоне привнос Si, вероятно, связан с развитием кварцевых прожилков, наложенных на более ранние метасоматические ассоциации, а привнос Fe, Ca, Mg и Mn с сульфидной минерализацией в карбонат-серицитовых минеральных ассоциациях.

Березиты, как околорудные метасоматиты, характеризуются концентрированием, прежде всего, Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Mo, As, Bi и в меньшей степени Ta, W и Co при деконцентрации Nb, Zr, Sr, Sc, Th, Be, Rb, Ni, V и всех трех групп редкоземельных элементов (LREE, MREE, HREE) (таблица 3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований диссертантом дана комплексная минералого-петрографическая, петрогеохимическая и изотопно-геохимическая характеристика вмещающих магматических пород и гидротермально-метасоматических образований Морозкинского месторождения, а также охарактеризована геологическая позиция, история геологического развития и геолого-структурные условия локализации золотого оруденения.

Установлено, что интрузивный массив горы Рудная сложен преимущественно сиенитами с подчиненным количеством порфировидных сиенитов, которые прорваны более поздними дайками и силлами сиенит-порфиров и известково-щелочных лампрофиров. Формирование сиенитов массива горы Рудная, являющихся вмещающими породами Морозкинского месторождения, происходило ~ 130 млн лет назад, что соответствует времени проявления основной стадии магматизма (150-115 млн лет назад) Алданской мезозойской магматической провинции. По петрогеохимическим и изотопно-геохимическим характеристикам изученные породы не отличаются от пород аналогичного состава из других массивов Алданской мезозойской магматической провинции, что свидетельствует о широком латеральном распространении обогащенной мантии ЕМ I типа под изучаемым регионом. Геодинамический режим формирования позднемезозойских сиенитов дискуссионен, тем не менее в первом приближении рассматриваемые породы могут быть отнесены к магматическим породам, образовавшимся в окраинно-континентальных условиях.

После внедрения интрузивного тела, произошло формирование контактово-метасоматических и гидротермально-метасоматических ассоциаций, которые сформировались в различных физико-химических обстановках. В пределах массива горы Рудная проявлено четыре гидротермально-метасоматические формации: фельдшпатолиты, скарны, пропилиты и березиты. Ореолы фельдшпатолитов и пропилитов маркируют экзоконтакт массива с силикатными породами, в то время как скарны приурочены к контакту сиенитов и вмещающих их карбонатных пород. Березиты, которые являются наиболее распространенным типом метасоматитов, рудоносны и формируют приуроченные к крутопадающим разрывным структурам интрузива ореолы, характеризующиеся концентрированием Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Mo, As, Bi. Вся совокупность полученных изотопно-

геохимических характеристик сульфидных минералов руд указывает на структурно-парагенетическую связь сиенитовых расплавов массива горы Рудная и рудоносных флюидов, сформировавших золотое оруденение Морозкинского месторождения. Близкие значения возраста околорудных метасоматитов (132 ± 1 млн лет) и сульфидной минерализации (129 ± 3 млн лет) свидетельствуют о последовательном субсинхронном процессе кристаллизации сиенитов массива горы Рудная, а также формирования околорудных метасоматитов и золотого оруденения Морозкинского месторождения.

Принимая во внимание приведенный выше анализ результатов исследований автором охарактеризованы условия формирования месторождения Морозкинское (рисунок 11) и предложены прогноз-но-поисковые критерии выявления и локализации схожего оруденения в регионе изучения (таблица 4).

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРАЦИИ

Guzev, V.E. Morozkinskoye gold deposit (southern Yakutia): age and ore sources / **V.E. Guzev**, A.V. Terekhov, R.Sh. Krymsky, B.V. Belyatsky, A.V. Molchanov // Journal of Mining Institute. 2021, 252 (6), P. 801–813.

Guzev, V.E. The First Data on the U–Pb Ages and Compositions of Zircons from Ore-Bearing Syenites of Gora Rudnaya (South Yakutia) / **V.E. Guzev**, A.V. Terekhov, S.G. Skublov, V.I. Leontiev, A.V. Molchanov // Russian Journal of Pacific Geology. 2021, 15 (6), P. 570–582.

Гузов, В.Е. Геохимические и изотопные характеристики магматических пород массива Гора Рудная (Южная Якутия): источники и условия формирования / **В.Е. Гузов**, В.И. Леонтьев, Б.В. Беляцкий, А.В. Терехов, А.В. Молчанов // Георесурсы. 2024. 26 (2), С. 22–35.

Гузов, В.Е. U–Pb возраст Джелтулинского щелочного массива (южная Якутия) по результатам датирования циркона и бадделеита / **В.Е. Гузов**, А.В. Терехов, А.В. Молчанов, С.Г. Скублов, Д.С. Ашихмин, Д.С. Козлов // Записки Российского минералогического общества. 2021, 150 (4), С. 115–134.

Гузов, В.Е. Чаро-Синский дайковый пояс (среднее течение р. Лена): локальный U–Pb возраст циркона и петролого-геохимические особенности / **В.Е. Гузов**, Г.А. Козлов, А.В. Терехов, А.В. Молчанов, И.О. Лебедев, Ю.Л. Светлова // Региональная геология и металлогения. 2021, 87, С. 28–41.

Молчанов, А.В. Алдано-Вилуйская провинция – новая рудно-россыпная золотоносная территория на востоке России / А.В. Молчанов, О.В. Петров, В.И. Леонтьев, В.В. Шатов, Г.А. Козлов, А.В. Терехов, И.О. Лебедев, Е.И. Хорохорина, Д.С. Ашихмин, Д.С. Артемьев, К.А. Кукушкин, Г.Б. Лебедева, **В.Е. Гузев**, О.Л. Соловьев, Д.Ю. Титов // Региональная геология и металлогения. 2021, 88, С. 39–64.

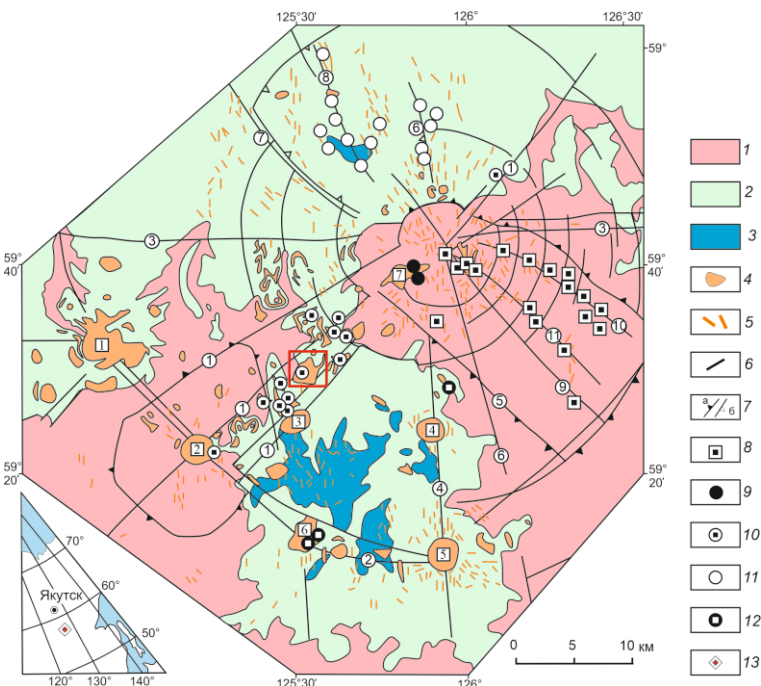


Рисунок 1. Геолого-структурная схема Центрально-Алданского рудного района (Максимов и др., 2010). 1 – раннекембрийский кристаллический фундамент; 2 – венд-нижнекембрийский платформенный чехол; 3 – терригенные отложения нижней и средней юры; 4, 5 – мезозойские магмопроявления: интрузии (4) и дайки (5); 6 – разломы; 7 – границы блоков: а – поднятий, б – впадин; 8-12 – геолого-промышленные типы месторождений: Au-U (эльконский) (8), Au-Cu порфировый (рябиновский) (9), Au-сульфидный (лебединский) (10), куранахский (Au) (11), самолазовский (Au) (12); 13 – положение Центрально-Алданского рудного района на врезке. Наиболее крупные интрузивные массивы (цифры в квадратах): 1 – Инаглинский, 2 – Томмотский, 3 – Якутский, 4 – Джекондинский, 5 – Ыллымахский, 6 – Юхтинский, 7 – Рябиновский. Наиболее крупные линейные разломы (цифры в кругах): 1 – Томмотский, 2 – Юхтино-Пуриканский, 3 – Северо-Алданский, 4 – Джекондинский, 5 – Юхтинский, 6 – Байанай-Ыллымахский, 7 – Куранахский, 8 – Центрально-Куранахский, 9 – Юкунгринский, 10 – Южный, 11 – Сох-Солоохский. Красным квадратом отмечена рассматриваемая в работе территория (массив гора Рудная)

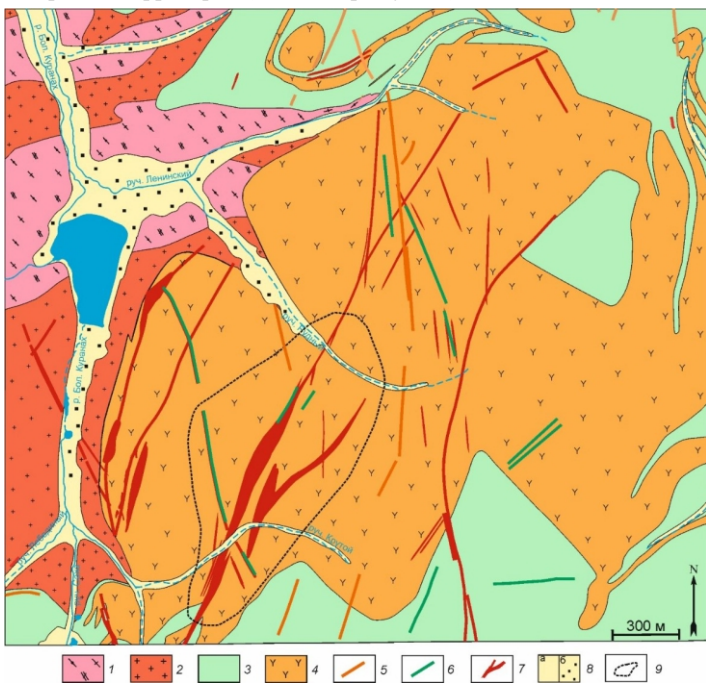


Рисунок 2. Схема геологического строения массива горы Рудная (Гузев и др., 2021). 1 – кристаллические сланцы, плагитогнейсы и кальцифированные сланцы Федоровской толщи; 2 – палеопротерозойские граниты; 3 – венд-нижнекембрийские доломиты; 4 – сиениты и порфировидные сиениты; 5-6 – дайки и силлы: 5 – сиенит-порфиры, 6 – известково-щелочные лампрофиры (преимущественно вогезиты и минетты); 7 – золоторудные крутопадающие жилы и субгоризонтальные лентовидные и пластообразные залежи; 8 – отложения речных долин: а) аллювиальные, б) техногенные; 9 – граница Морозкинского золоторудного месторождения

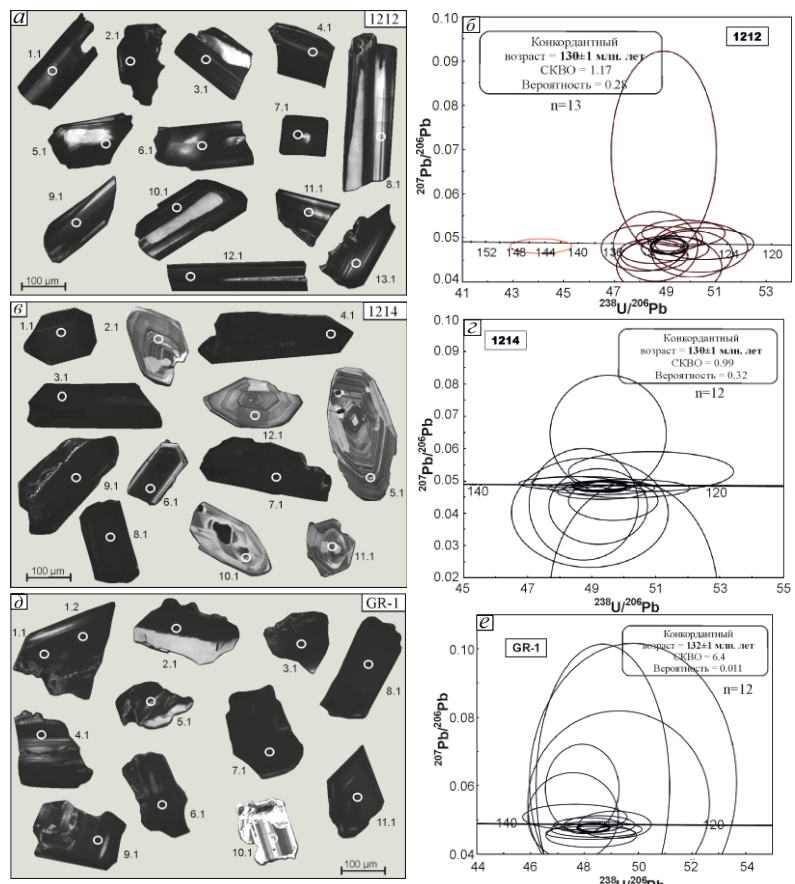


Рисунок 3. Результаты U-Pb датирования циркона из сиенитов массива горы Рудная: а, б, д – изображение изученных зерен циркона в режиме CL с местоположением точек анализа; б, г, е – графики с конкордиями для циркона из сиенитов

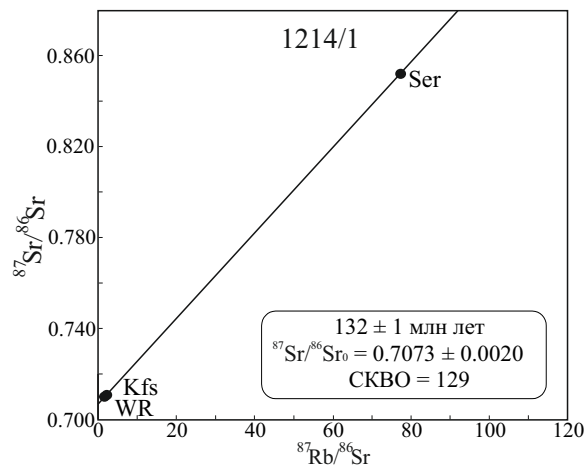


Рисунок 4. Rb-Sr изохронная диаграмма для рудоносного метасоматита (березит) Морозкинского месторождения. WR – порода в целом, Kfs – калиевый полевой шпат, Ser – серицит

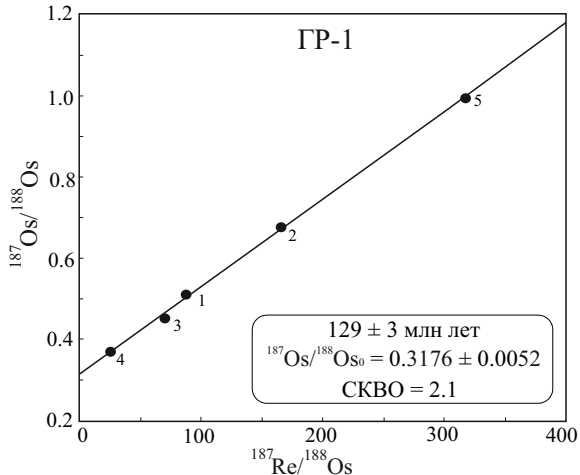


Рисунок 5. Изохронная Re-Os диаграмма для изученных монофракций пирита Морозкинского месторождения

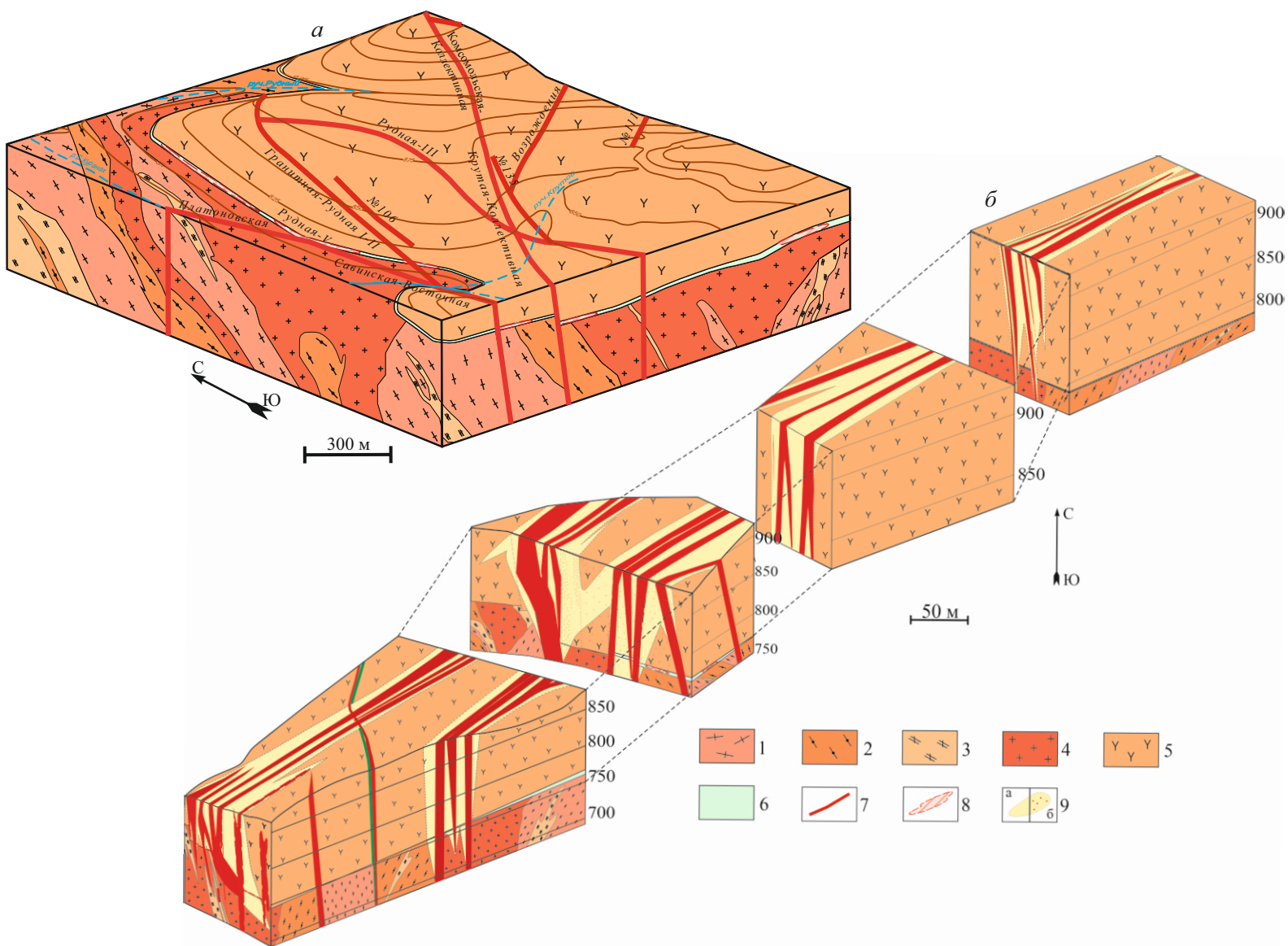


Рисунок 6. Блок-диаграмма геологического строения месторождения Морозкинское (а) и схема геологического строения рудоносной зоны Крутая-Коллективная (б). 1-3 породы федоровской толщи: 1 – кристаллические сланцы, 2 – плагиогнейсы, 3 – кальцифиры; 4 – полеопротеро-зойские граниты; 5 – сиениты и порфиридные сиениты; 6 – венд-нижнекембрийские доломиты; 7 – золоторудные крутопадающие жилы и субгоризонтальные лентовидные и пластообразные залежи; 8 – субгоризонтальные золоторудные тела Au-сульфидного типа; 9 – рудоносные гидротермально-метасоматические образования: а – зоны березитизации, б – зоны интенсивно березитизированных и брекчированных пород

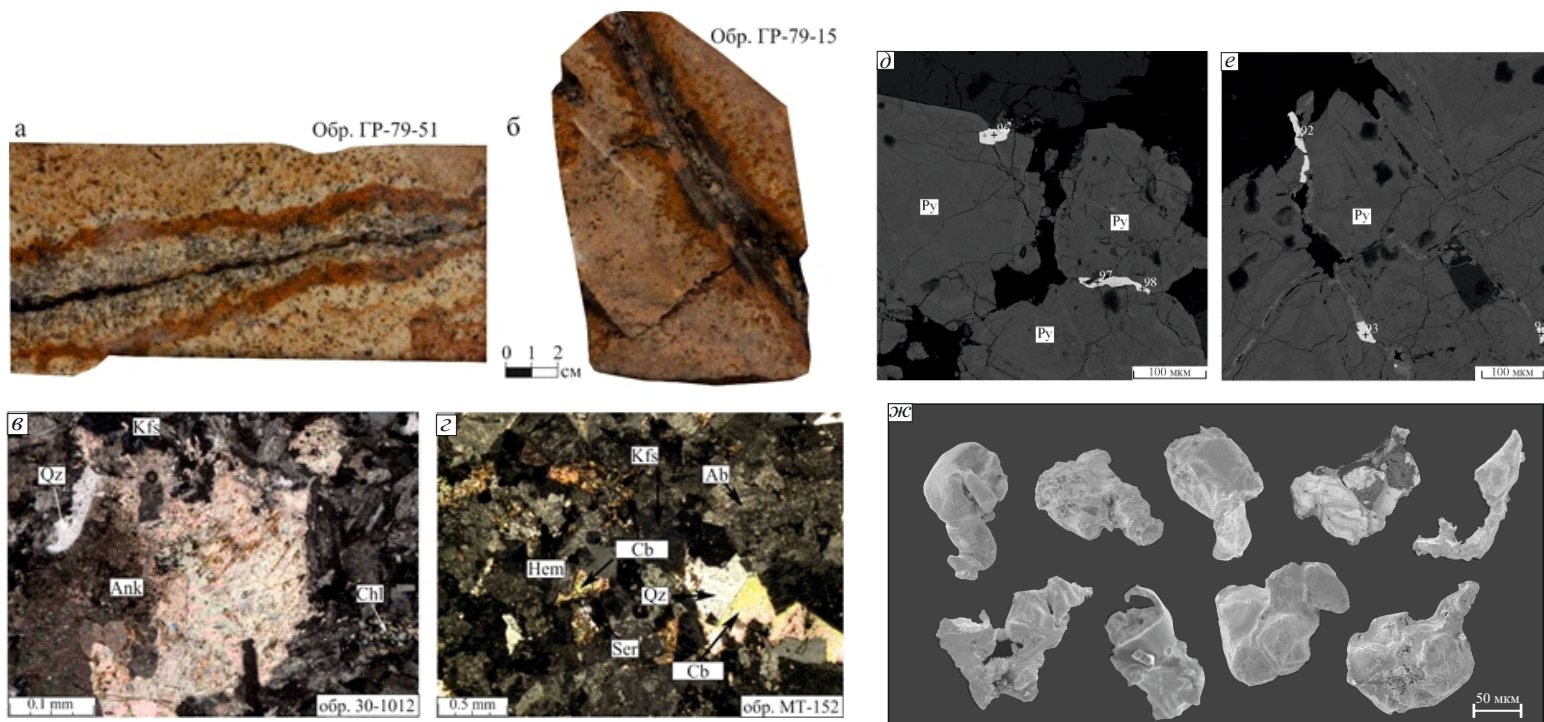


Рисунок 7. Характер проявления процесса березитизации (а, б) по сиенитам массива горы Рудная с микрофотографиями шлифов (с анализатором) (в, д), микрофотографиями (BSE-изображение) золоторудной минерализации (е, ф) и микрофотографиями (SE-изображение) морфологических особенностей золота (г)

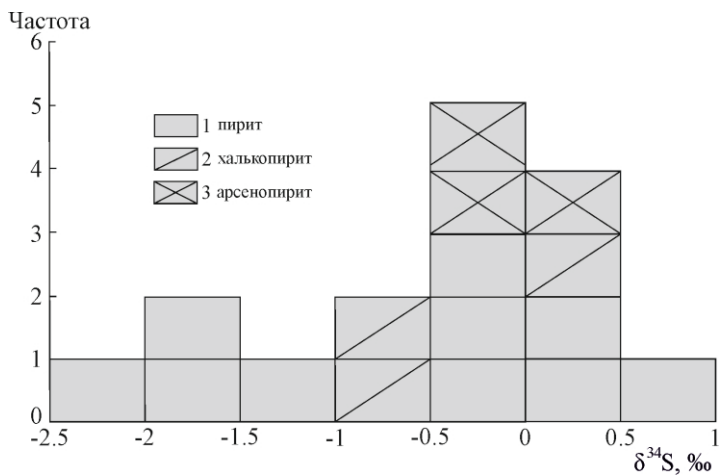


Рисунок 8. Изотопный состав серы в сульфидах месторождения Морозкинское

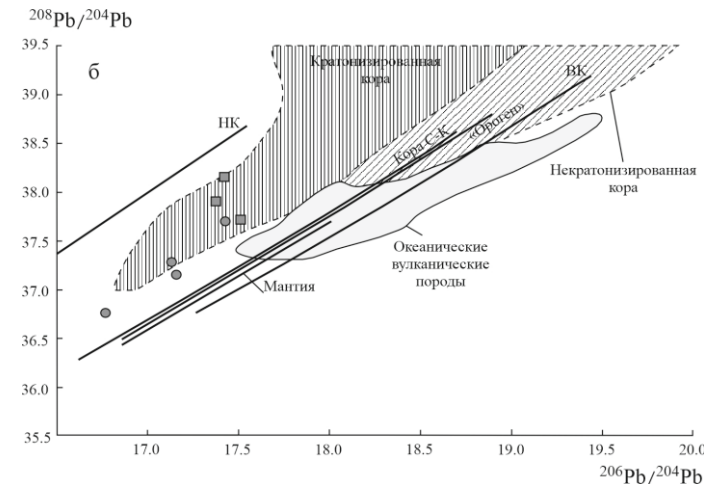
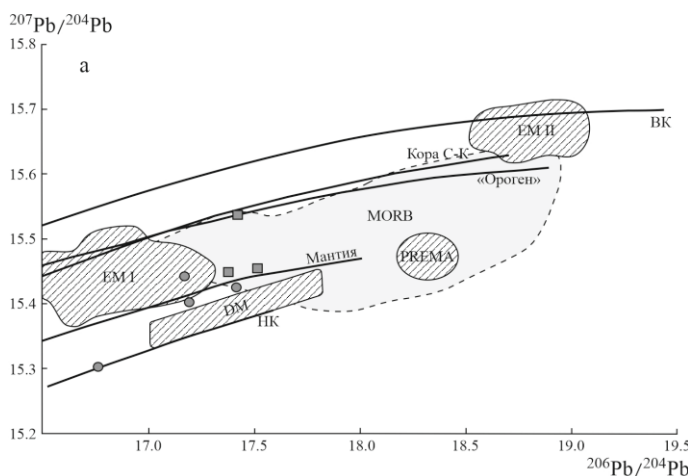


Рисунок 9. Диаграммы зависимости начальных изотопных составов $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (а) и $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ от $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (б) для сиенитов и сульфидов (пиритов) Морозкинского месторождения. Серыми кружками показан изотопный состав Pb в сиенитах, квадратами – в сульфидах

Таблица 1. Распространенность ГМ-ассоциаций и ГМ-фаций в пределах массива горы Рудная

ГМ-ассоциация	Индекс ГМ-фаций	Состав ГМ-фаций	Распространенность ГМ-ассоциаций
Березиты	B ₁	qz+ser+ms ± hem,cb,py	61 %
	B ₂	qz+ser(ms)+ank(cb)+py ± hem,chl	
	B ₃	qz+chl+cb(ank)+ser(ms) ± py,ap	
	B ₄	chl+ank(cb)+ser+qz ± py, bt,ep,prh	
Пропилиты	P ₁	ep+chl+cb+qz ± ab,ser	17 %
	P ₂	act+ep+chl+cb+qz ± ab,ser,tr,tlc	
	P ₃	tr+tlc+srp+phl ± cb	
Скарны	S ₁	cpx+ep+amp	2 %
	S ₂	cpx+scp+ves+grt ± phl,cb,ep	
Фельдшпатолиты	F ₁	ab/kfs+qz ± chl	16 %
	F ₂	kfs/ab+qz ± chl	

Примечания. Ab – альбит, Act – актинолит, Amp – амфибол, Ank – анкерит, Ap – апатит, Bt – биотит, Cb – карбонат, Chl – хлорит, Cpx – клинопироксен, Ep – эпидот, Grt – гранат, Hem – гематит, Kfs – калиевый полевой шпат, Ms – мусковит, Phl – флогопит, Prh – пренит, Py – пирит, Qz – кварц, Scp – скаполит, Ser – серицит, Srp – серпентин, Tlc – тальк, Tr – тремолит, Ves – везувиан

Таблица 2. Гидротермально-метасоматическая зональность березитов, развивающихся по сиенитам массива горы Рудная (от внешних зон к внутренним)

0	kfs+ab+hbl+bt+qz	Исходный сиенит
1	kfs+ab+bt+qz+ser+ank(cb)	Внешняя зона серицитизации и карбонатизации
2	kfs+ab+bt+qz+ser+ank(cb)	Промежуточная зона кварц-серицит-карбонатного изменения
3	qz+ser+ank(cb)	
4	qz+ser	Внутренняя зона кварц-серицитового изменения
5	qz+ser ± py, ank(cb)	Кварц-серицитовый пирит-содержащий березит

Таблица 3. Привнос-вынос микроэлементов в процессе березитизации сиенитов массива горы Рудная

Гидротермально-метасоматические образования	Привнос			Вынос	
	> +500 %	+500 – +100	+100 – +10	-10 – -50	< -50 %
Березиты	Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Mo, As, Bi	Ta, W, Co	Sb, Li, U	Th, Be, Rb, Ni, V	Nb, Zr, Sr, Sc, REE

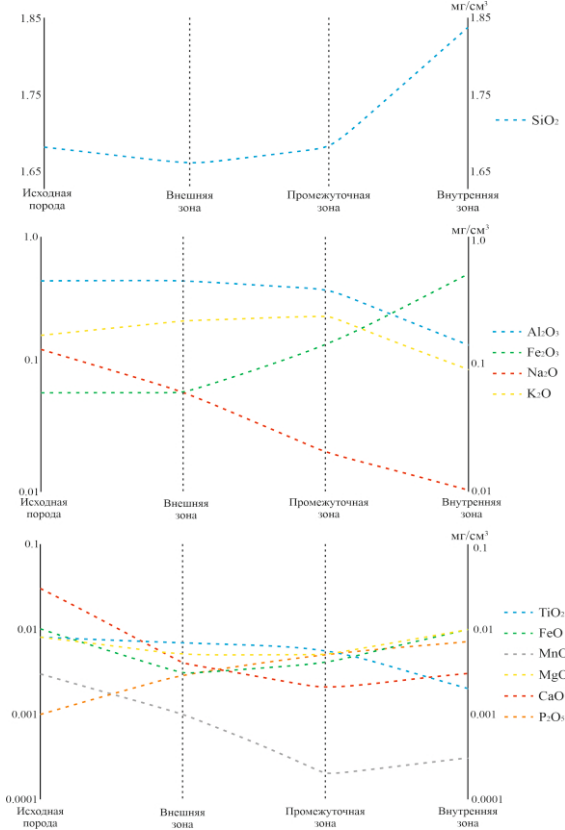


Рисунок 10. Химические преобразования сиенитов массива горы Рудная в процессе березитизации

Таблица 4. Прогнозно-поисковые критерии Au-порфирового (морозкинского) типа в пределах Центрально-Алданского рудного района

Критерии	Au-порфировый (морозкинский) тип оруденения
1. Формационно-петрологические 1.1 Продуктивная формация 1.2 Рудовмещающие формации	Мезозойские интрузии монцонит-сиенитовой формации Крутопадающие разрывные структуры внутри мезозойских интрузивных массивов, реже в породах кристаллического фундамента
2. Структурные	Мезозойские магматические тела контролируются системой глубинных разломов (Эльконский, Куранахский и Томмотский). Золотое оруденение локализовано вдоль крутопадающих нарушений внутри мезозойских интрузий и занимает резко подчиненное положение в породах раннедокембрийского кристаллического фундамента
3. Гидротермально-метасоматические	Широкое развитие ореолов березитов кварц-серицит-анкерит-пиритового состава
4. Геохимические	Высококонтрастные аномалии Au, Ag, Pb, Cu, Zn, Mo, As, Вi и в меньшей степени Ta, W и Co в первичных и вторичных ореолах рассеяния
5. Минералогические 5.1 Типоморфные минералы ру 5.2 Типоморфизм золота 5.3 Текстуры руд	Пирит, халькопирит, арсенопирит, гематит, галенит, сфалерит, магнетит, кварц, серицит, анкерит Золото в первичных рудах представлено каплевидными (в среднем 70 мкм) включениями в пирите и халькопирите или вытянутыми формами в их трещинах. По химическому составу самородное золото представляет собой золото-серебряный сплав с незначительными примесями Cu (до 2.0 мас. %), пробность которого в среднем составляет 862 ‰ Прожилковые, массивные, брекчиевые и кавернозные текстуры
6. Изотопно-геохимические	Изотопный состав серы сульфидов имеет отчетливо магматогенный характер

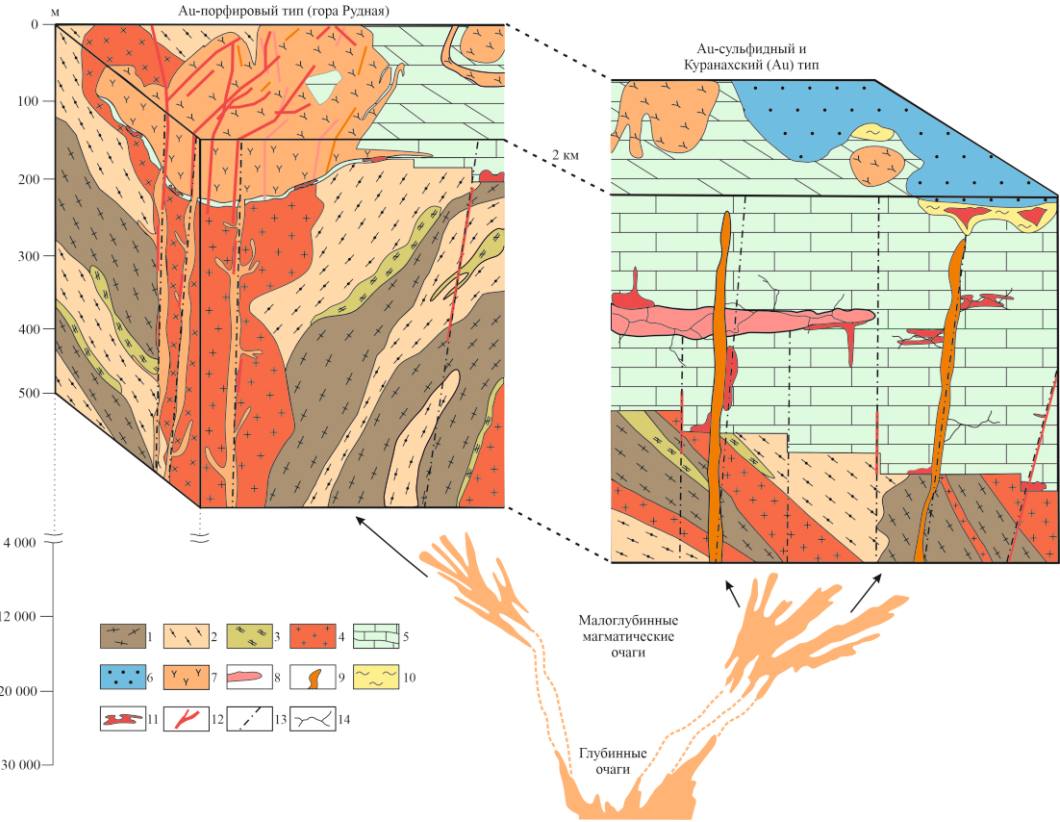


Рисунок 11. Схематическое изображение формирования Морозкинского месторождения. 1–3 породы федоровской толщи: 1 – кристаллические сланцы, 2 – гнейсы, 3 – плагиогнейсы; 4 – граниты и гранитогнейсы нерасчлененного комплекса; 5 – доломиты; 6 – терригенные отложения нижней и средней юры; 7 – сиениты и порфировидные сиениты; 8–9 дайки и силлы; 8 – сиенит-порфиры, 9 – известково-щелочные лампрофилы (преимущественно вогзеты и минетты); 10 – делювиально-элювиальные отложения; 11 – субгоризонтальные золоторудные тела Au-сульфидного типа и золото-содержащие песчано-глинистые карстовые полости с обломками карбонатных пород и реликтами первичных руд; 12 – золоторудные крутопадающие жилы и субгоризонтальные лентовидные и пластообразные залежи; 13 – разломы; 14 – трещинные структуры.