Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. Н.Л. ДОБРЕЦОВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ГИН СО РАН)

УДК 553.4 (553.6, 553.2)
Рег. № НИОКТР АААА-А21-121011390003-9
Инв. № 4

УТВЕРЖДАЮ
Директор ГИН СО РАН
д.г.-м.н.
_____А.А.Цыганков
«12» декабря 2024 г.
Протокол № 14 от «12» декабря 2024 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Рудообразующие системы разновозрастных складчатых поясов южного обрамления Сибирского кратона: геолого-генетические модели месторождений благородных, редких и цветных металлов
(промежуточный, 4 этап)

Номер проекта в ИС управления НИР
FWSG-2021-0004 (рег.№ 1021062110740-1-1.5.6)

Приоритетное направление 1.5.5.1. Закономерности образования и размещения твердых полезных ископаемых в различные периоды истории Земли

Руководитель НИР,
зав. лаб., к.г.-м.н. М.О. Рампилов

Улан-Удэ 2024

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР, зав. лабораторией, Канд. геол.-мин. наук	Рампилов М.О. (введение, раздел 2, заключение)
Отв. исполнитель, вед. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук, доцент	Кислов Е.В. (раздел 1)
Отв. исполнитель, вед. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	Дамдинова Л.Б. (раздел 2)
Исполнители:	
Вед. науч. сотр., канд. техн. наук	Жалсараев Б.Ж. (раздел 3)
Ст. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	Васильев В.И. (раздел 3)
Науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	Татьков И.Г. (раздел 2)
Науч. сотр. канд. геол.-мин. наук	Рампилова М.В. (раздел 2)
Мл. науч. сотр.	Вантеев В.В. (раздел 1)
Мл. науч. сотр.	Москвитина М.Л. (раздел 2)
Исследователь	Трофимов А.В. (раздел 1)
Исследователь	Бадмажапов Б.Б. (раздел 2)
Нормоконтроль	Бугаева Н.Г.

РЕФЕРАТ

Отчет 34 с., 13 рис., 4 источн., 1 прил.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, ВОЗРАСТ, УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ, КАМНЕСАМОЦВЕТНОЕ СЫРЬЕ, СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Проведенные в 2024 году исследования являются продолжением научно-исследовательских работ в рамках рассматриваемого проекта. В этом году были изучены отдельные типы минерализации в пределах крупных рудных узлов. Проведены минералого-геохимические исследования на Гурвунурском апатит-магнетитовом месторождении. Выявлены особенности минерального состава необычных циркон-титаномагнетитовых руд на Третьяковском золото-флюоритовом месторождении и определены физико-химические условия образования руд. На месторождениях аподоломитового нефрита изучен минеральный состав, определена стадийность минералообразования, предложены модели формирования. На основе изотопно-геохимических данных установлено участие метасоматических и метаморфических флюидов. Также определены причины окраски нефритов. Продолжены разработки программного обеспечения для компьютерного моделирования геологических процессов. Закончена работа над новой комплексной моделью трёх сценариев золотого оруденения Таинского месторождения (Восточный Саян). Для физико-химического моделирования гидротермального рудообразования разработан метод расчёта баланса масс вода/порода при фильтрации водного раствора через дезинтегрированную среду. Метод был опробован при расчёте просачивания метеорных вод через отвалы отходов обогащения вольфрамового месторождения Бом-Горхон (Забайкальский край).

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

Ap – апатит

Br – самородная бронза

Cal – кальцит

Chl – хлорит

Cu – самородная медь

Di – диопсид

Dol – доломит

Fl – флюорит

Gn – галенит

Mgt – магнетит

Mol – молибденит

Mz – монацит

Phl – флогопит

Qz – кварц

Sp – сфалерит

Srp – серпентин

Tlc – тальк

Tr – тремолит

Wol – вольфрамит

Zrn – циркон

КПШ – калиевый полевой шпат

$T_г$ – температура гомогенизации

ПХП – пластично-хрупкий переход

ГФ – газовая фаза

REE (РЗЭ) – редкоземельные элементы

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Общая цель проекта – разработка концептуальных геолого-генетических моделей крупных рудных узлов и провинций, содержащих разнотипное оруденение на примере разновозрастных месторождений камнесамоцветного сырья, благородных, редких и цветных металлов в складчатых поясах южного обрамления Сибирского кратона.

На этапе 2024 г. проектом предусматривались исследования геолого-структурного положения, вещественного состава и физико-химических условий формирования редких металлов и камнесамоцветного сырья. Для уточнения условий образования и генезиса месторождений полезных ископаемых проводилось экспериментальное моделирование рудообразующих процессов, разработаны новые программные продукты, позволяющие моделировать различные эндогенные процессы. Полученные в 2024 году результаты соответствуют заявленной цели проекта – разработке геолого-генетических моделей разнотипных рудообразующих систем.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА

1.Камнесамоцветное сырье

1.1 Воймаканское месторождение аподоломитового нефрита

Исследовано Воймаканское месторождение аподоломитового нефрита с целью выяснения особенностей его формирования. Нефрит зеленовато-белый, светло-зеленый, серовато-зеленый и коричневый. Образует обособления в телах кальцит-тремолитового скарна на контакте доломитового мрамора и амфиболита, преобразованного в эпидот-тремолитовый скарн. Нефрит соответствует требованиям, предъявляемым к камнесамоцветному сырью. Развито интенсивное замещение хлоритом и, особенно, тальком, что значительно ухудшает качество сырья. Диопсидит с линзочками, прослоями нефрита может использоваться для резьбы многоцветных изделий или инкрустаций.

Минералы нефрита отнесены к парагенезисам: реликтовому (минералы амфиболита, доломита, скарнов): доломит, магнетит, уранинит, фторапатит, циркон, эпидот I; метасоматическому донефритовому: диопсид, кварц I, окерманит, оливин; метасоматическому нефритовому: кальцит I, тремолит; регрессивному метасоматическому: кварц II, серпентин, тальк, хлорит, эпидот II; вторичному: англезит, ванадинит, вульфенит, голландит (?), сильвин, уранофан, самородные бронза, медь, серебро. Минеральные ассоциации представлены на рисунке 1.

Аподоломитовая природа нефрита подтверждена по соотношению Mg и Fe, пониженному содержанию Cr, Ni, Co, повышенному содержанию F и отношению Sr к Ba, характеру распределения РЗЭ. Спектр РЗЭ нефрита, в основном, наследуется от исходных доломитов, но содержит признаки влияния процессов скарнирования основных пород.

Значение δ18O нефрита составляет -18.5 ÷ -18.8 ‰; кальцит-тремолитового скарна -17.4 ‰; эпидот-тремолитового скарна -4.4, +2.6 ‰; доломита +26.1 ‰. Источник аномально изотопно легкого кислорода нефрита – поровый флюид, вероятно метеорного происхождения, обедненный δ18O в результате декарбонатизации доломита. Гранит лишь обеспечивает региональный разогрев, активизирующий поровый флюид.

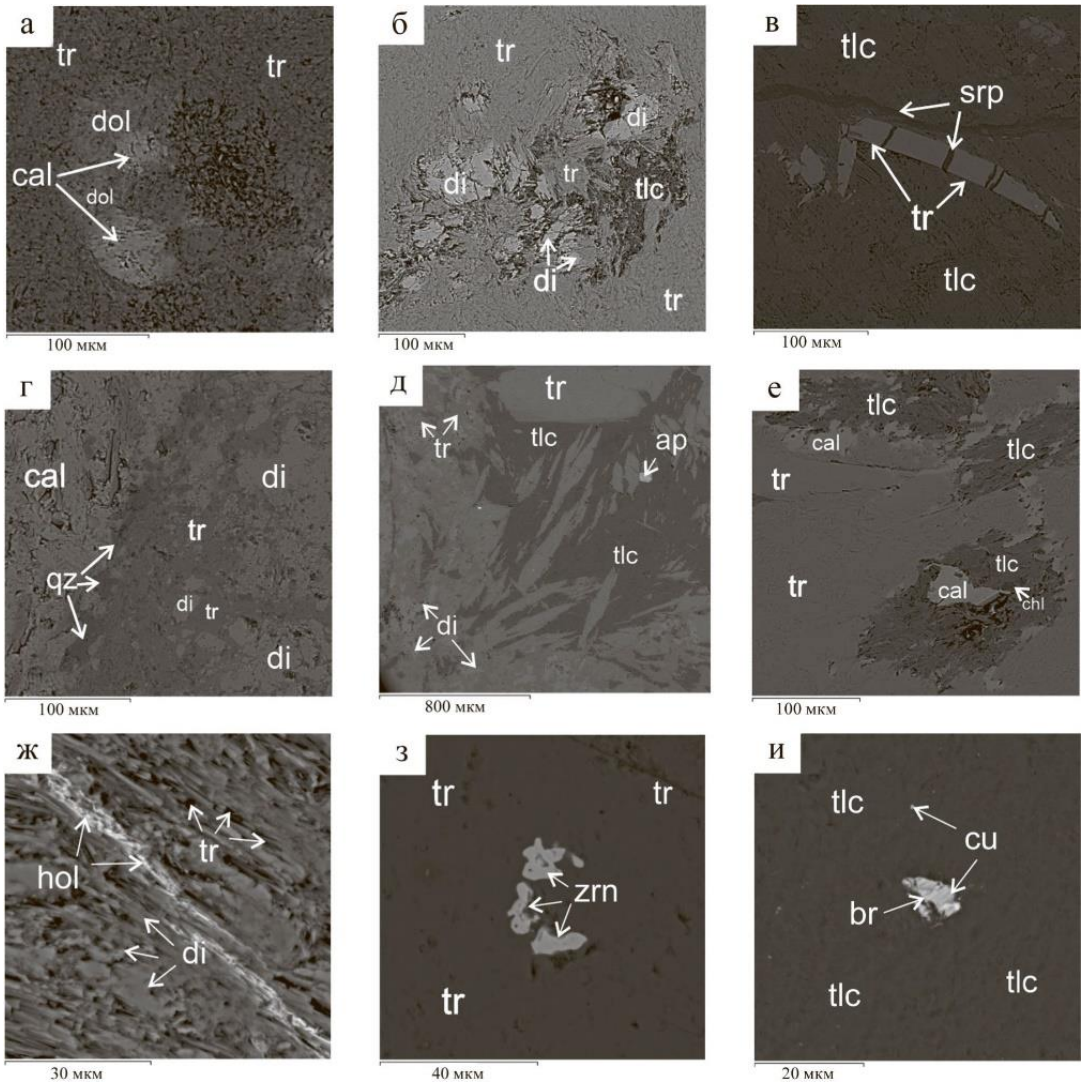

Рисунок 1 – Минеральный состав нефрита из Воймаканского месторождения. а – реликты кальцита и доломита в агрегате тремолита, V1-14; б – игольчатый кристалл и реликтовые зерна тремолита, прожилки серпентина в тальке, С-16 ПК-2; в – диопсид-кальцитовый агрегат с кварцем, замещается спутанно-волокнистым агрегатом тремолита, в зоне контакта развита талька, V1-14; г – контакт диопсидита и кальцит-тремолитового скарна, между ними мономинеральный спутанно-волокнистый агрегат тремолита, зерна кварца тяготеют к скарну, КР 6-2-13; д – игольчатые кристаллы и реликты тремолита, замещающиеся тальком, реликты диопсида, изометричный апатит, КР 5-3-7; е – агрегат тремолита замещается кальцит-тальковым парагенезисом с подчиненным хлоритом, кальцит как в центре агрегатов, так и в зальбанде, КР 5-3-4; ж – параллельно-волокнистый агрегат тремолита с реликтовыми зернами диопсида сечется прожилком голландита (?), КР 5-2-5; з – зерна циркона в тремолите, С-22 ПК-2; и – зерна самородных бронзы и меди в тальке, обр. С-2 ПК-16; Ap – апатит, Br – самородная бронза, Cal – кальцит, Cu – самородная медь, Chl – хлорит, Di – диопсид, Dol – доломит, Hol – голландит, Qz – кварц, Srp – серпентин, Tlc – тальк, Tr – тремолит, Zrn – циркон

Оптические спектры поглощения нефрита отличаются широкой полосой поглощения малой интенсивности в видимой области в районе 650-670 нм, связанной с механизмом переноса заряда Fe2+VI → Fe3+VI в соседних октаэдрических позициях. Железо в нефрите находится в виде ионов Fe3+ и Fe2+ в различных позициях в структуре

минерала, а именно 58,4 % Fe2+ располагаются в октаэдрических позициях M1-M3, 30,9 % Fe2+ - в позиции восьмерной координацией M4, 8,4 % Fe3+ располагаются в октаэдрических позициях M1-M3. Эти данные согласуются с полосами в оптических спектрах поглощения, что и создает окраску в изучаемых нефритах. Цветовые вариации нефрита представлены на рисунке 2. Электронный парамагнитный резонанс и люминесцентная спектроскопия показала, что ионы Mn2+ располагаются в двух неэквивалентных позициях. Степень зеленого оттенка нефрита усиливается с увеличением содержания Fe2+. Коричневую окраску нефрита определяет Fe3+ в структуре тремолита.

Рисунок 2 – Цветовые вариации нефрита Воймаканского месторождения: а – салатный V1-14; б - светло-салатный (А) с обособлениями кальцит-тремолитового агрегата (Б) РК 5-4-1; в – диопсидит (В) с серо-салатным нефритом (А) КР 57-1-12; г - бурый (медовый) РК 3; д) контакт эпидот-тремолитового скарна (Г) со светло-зеленым нефритом (А) КР 5-3-1; е) контакт эпидот-тремолитового скарна (Г) с коричневым (медовым) нефритом (А) РК 3; ж) контакт кальцит-тремолитового скарна (Д) с коричневым (медовым) нефритом (А) РК 4; з) доломит КР 81-1-3

Представлена модель формирования нефрита с первоначальным образованием по доломиту диопсида, его замещением тремолитом или кальцит-тремолитовым агрегатом, далее ранний призматический тремолит замещается спутанно-волокнистым скрытокристаллическим тремолитом. Кальцит скарна также может замещаться тремолитом с образованием нефрита. При продолжении регрессивного процесса тремолит замещается хлоритом или тальком в ассоциации с кальцитом.

В формировании и преобразовании нефрита принимали участие как метасоматические, так и метаморфические процессы. Формирование нефрита связано с процессами скарнирования. Тектонические напряжения вызывали дробление пород, облегчающее проникновение флюида, обеспечили формирование скрытокристаллической спутанно-волокнистой структуры нефрита. Дальнейший регрессивный метаморфизм привел к развитию хлорита и талька, ухудшивших качество нефрита.

Кислов Е.В., Гончарук И.С., Вантеев В.В. *Минеральный состав и модель формирования аподоломитового нефрита Воймаканского месторождения, Средне-Витимская горная страна // Литосфера. – 2024. – Т. 24. – № 4. С. 609-628. DOI: 10.24930/2500-302X-2024-24-4-609-628.*

Кислов Е.В., Гончарук И.С., Вантеев В.В., *Посохов В.Ф. Воймаканское месторождение аподоломитового нефрита, Средне-Витимская горная страна: условия формирования // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66. – № 6. – С. 648-667. DOI: 10.31857/S0016777024060044*

Кислов Е.В., Гончарук И.С., *Николаев А.Г., Вагизов Ф.Г.,* ***Вантеев В.В.,*** *Хасанова Н.М. Качественные характеристики и причины окраски аподоломитового нефрита Воймаканского месторождения, Средне-Витимская горная страна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 12. – С. 107-123. DOI: 10.18799/24131830/2024/12/4586.*

1.2 Кавоктинское месторождение аподоломитового нефрита

Месторождение расположено в Средне-Витимской горной стране (Западное забайкалье). Территория месторождения сложена гранитами позднепалеозойского витимканского комплекса. Гранит содержит ксеноблоки нижнепротерозойских пород сложной формы. Они представлены метапесчаниками, кристаллическими сланцами, амфиболитами и доломитовыми мраморами. Кальцит-тремолитовые и эпидот-тремолитовые скарны образовались на контакте доломита и амфиболита. Кальцит-тремолитовый скарн содержит нефритовые тела.

На месторождении выделено 3 участка, состоящих из 6 нефритоносных зон, включающих в себя залежи нефрита. Участок Прозрачный на северо-западе месторождения включает нефритоносные зоны 1 и 2. Нефритоносная зона 1 субширотного простирания находится на южном фланге участка и объединяет залежи № 1, 4, 9. Залежь № 1 - нефритовое тело с тектоническими контактами сложной морфологии с пережимами, раздувами в районе контакта доломитовых мраморов с эпидотизированными амфиболитами. Длина залежи 15 м, мощность 0,2–2,8 м, падение крутое на юго-запад под углом 60–70°. Вскрыта на глубину 15 м. Окраска нефрита серовато-белая, светло-зеленая, серовато-зеленая до зеленой и серовато-коричневой, редко до черной (рисунок 3). Структура нефрита в шлифах разнообразная часто с участками разных структур в одном шлифе: фибробластовая до гранонематобластовой, микроволокнистая до спутанно-микроволокнистой, радиально-лучистая, метельчатая, реликтовая до псевдоморфной. Текстура пятнистая, неоднородная, беспорядочная, реже массивная, сланцеватая, реликтовая решётчатая.

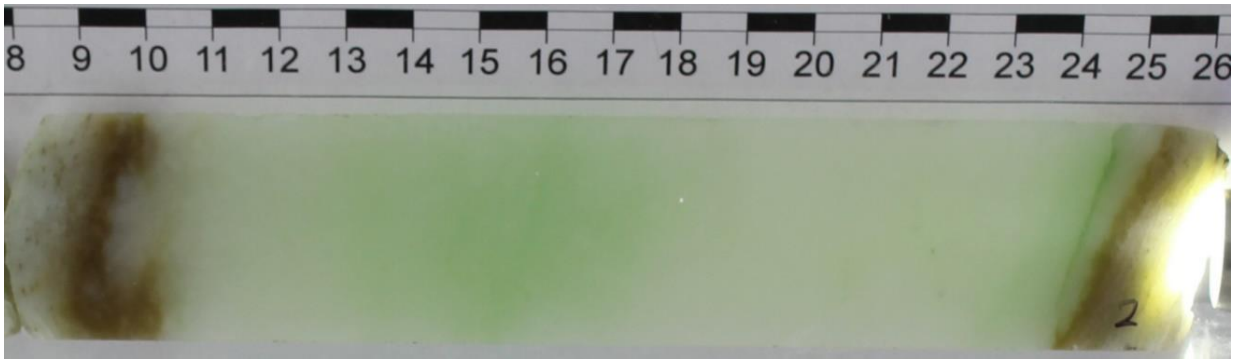

Рисунок 3 – Разнообразие окраски нефрита Кавоктинского месторождения. Образец 464501

Изучен минеральный состав 16 образцов керна залежи 1 участка Прозрачный. Идентифицировано 25 минералов (рисунок 4). Исходя из пространственно-временных

связей минералов, они отнесены к пяти парагенезам: реликтовому, метасоматическим донефритовой и нефритовой стадий, а также к гидротермальному и вторичному.

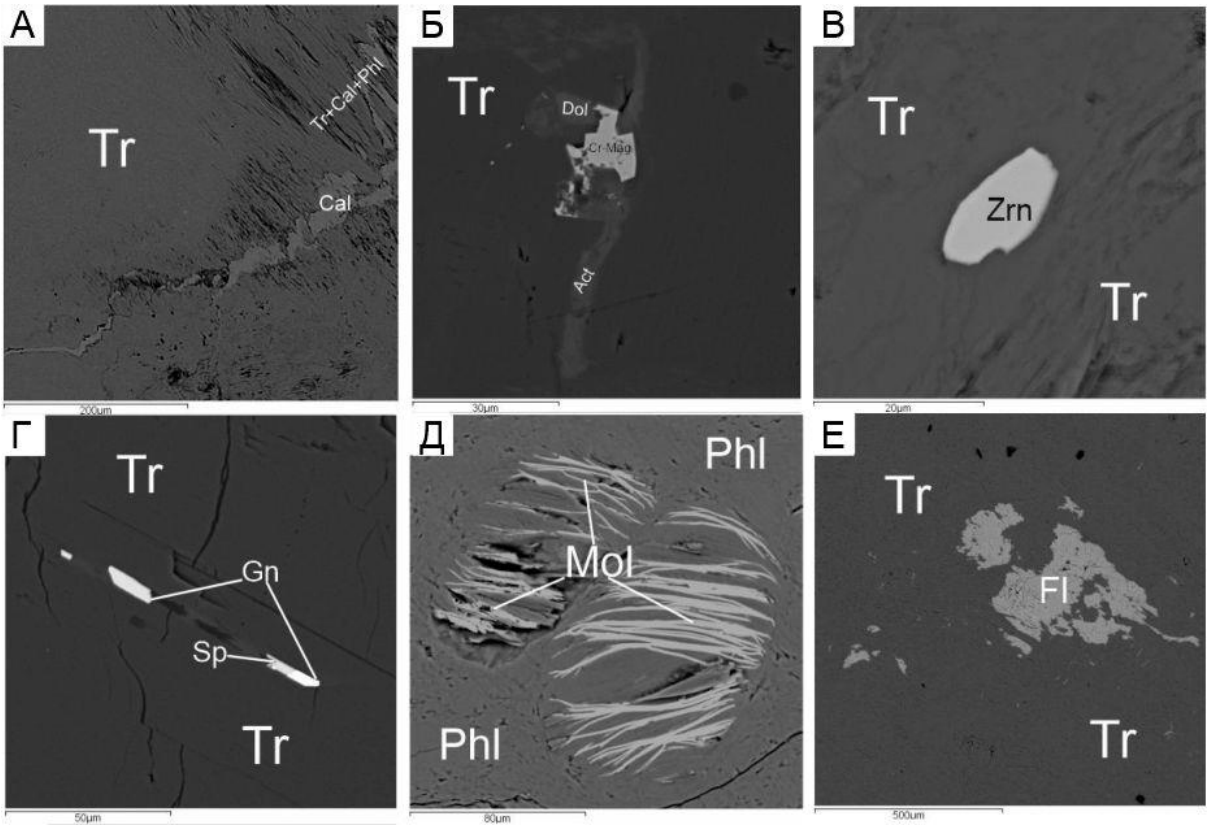

Рисунок 4 – Минеральный состав нефрита Кавоктинского месторождения. А – вторичный кальцит сечет тремолит и переслаивание флогопита, кальцита и тремолита, 519703; Б – зерна хроммагнетита, актинолита и прожилки доломита и тремолита, 916202; В – зерно циркона в тремолите, 917001; Г – вытянутые зерна галенита и сфалерита в тремолите, серпентин вдоль трещины, 464501; Д – пластинчатые зерна молибденита во фторфлогопите, 915902; Е – агрегат агрегат флюорита в тремолите, 465401. Tr – Тремолит, Dol – доломит, Zrn – циркон, Gn – галенит, Sp – сфалерит, Mol – молибденит, Phl – флогопит, Fl – флюорит

Высокое содержание F в аполомитовом нефрите месторождения объяснено широким развитием фторапатита и фторфлогопита. Интенсивность зеленого цвета нефрита объясняется примесью Fe в тремолите, а черный цвет - переходом его в актинолит в зонах контакта с эпидот-тремолитовым скарном по амфиболиту.

Представлена модель образования нефрита: развитие диопсида по доломиту, замещение диопсида тремолитом или кальцит-тремолитовым скарном, замещение призматического тремолита спутанно-волокнистым тремолитом. В некоторых случаях тремолит может развиваться непосредственно по доломиту или замещать форстерит, развиваться по кальцит-тремолитовому скарну. Впоследствии тремолит замещается хлоритом и кальцитом. Гранит непосредственно не участвует в образовании нефрита, но

нагревает метеоритный флюид, что необходимо для метасоматических реакций. Участие амфиболита в образовании нефрита обусловливает разнообразие его окраски. Роль метаморфизма сводится к тектонической фрагментации, способствующей проникновению флюидов; стресс обеспечивает спутанно-волокнистую скрытокристаллическую текстуру.

Kislov E.V. *Kavokta Deposit, Middle Vitim Mountain Country, Russia: Composition and Genesis of Dolomite Type Nephrite // Geosciences. – 2024. – V. 14. – 303. https://doi.org/10.3390/geosciences14110303*

1.3 Сапфироносная россыпь Нарын-Гол

Вулканические породы района сапфироносной россыпи Нарын-Гол (бассейн р. Джиды, Западное Забайкалье), слагающие основную часть территории россыпи, изучены с целью установления источников минералов россыпи. В геологическом строении района принимают участие аллювиальные и делювиальные отложения, сложенные гравийно-галечным материалом, продукты извержения стратовулкана Барун-Хобол Правый, долинные площадные базальты неоген-четвертичного возраста. Вулканиты района подразделены на два типа: «вершинные» – фонотефриты, «долинные» – базальты и трахибазальты (рисунок 5).

Все вулканиты известково-щелочного ряда и высококалиевые, что характерно для вулканитов континентальных рифтов. Кроме того, на основании полученных результатов было установлено, что вулканиты района россыпи Нарын-Гол принадлежат к известково-щелочной серии. В вулканитах района устанавливается эволюция составов, с ростом SiO_2 происходит падение TiO_2 и CaO при увеличении Al_2O_3 и значений общей щелочности. «Долинные» вулканиты содержат более высокое количество TiO_2, чем «вершинные». Эта же тенденция наблюдается и со значениями CaO. Вершинные» вулканиты по отношению к «долинным» более обогащены FeO, обратная тенденция наблюдается с Fe_2O_3.

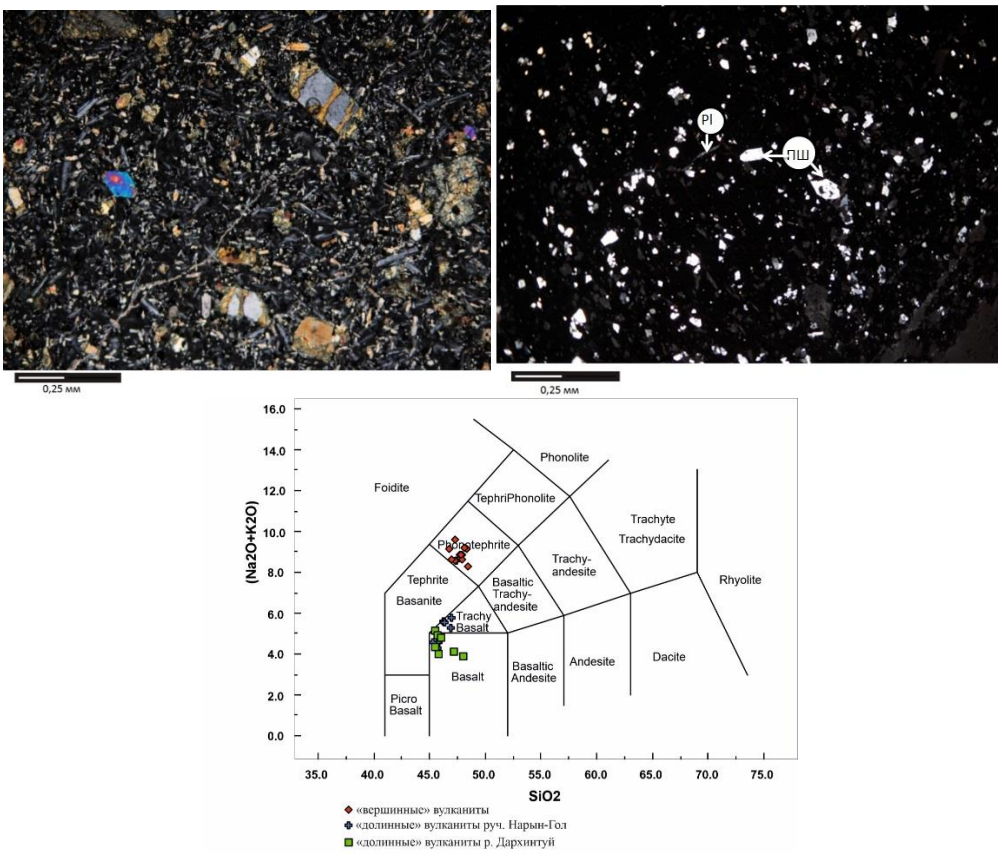

Рисунок 5 – Структурные особенности «долинных» (базальт) и «вершинных» (фонотефрит) вулканитов и их химический состав. Фото шлифа, николи скрещены

В ходе изучения минеральных включений в «вершинных» и «долинных» вулканитах района россыпи Нарын-Гол выделены три ассоциации минералов. Мегакристы в результате взаимодействия с транспортирующей базальтовой магмой подверглись коррозии, затекам расплава по трещинам, обрастанием минералами другого состава. В ксенолитах лерцолитов помимо оливина и пироксена зафиксированы шпинель, хромшпинель различного состава, титаномагнетит, также подвергшиеся дезинтеграции, коррозии и обрастанию. Кристаллизация собственно базальтовых минералов происходила непосредственно из базальтового расплава по мере его охлаждения. На основании полученных данных сделан вывод о том, что основная часть минералов россыпи – мегакристы, захваченные базальтовым расплавом в пределах верхней мантии и вынесенные на поверхность Земли. Визуально установлено, что «вершинные» вулканиты – источник сапфира и санидина, а «долинные» – сапфира, оливина, санидина, пироксена, шпинели и ильменита. Источник граната – расположенный выше по течению руч. Нарын-Гол вулкан Болдосок.

Вантеев В.В., Кислов Е.В. *Вулканические породы района сапфироносной россыпи Нарын-Гол (бассейн р. Джида, Западное Забайкалье) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2024. – № 2. – С. 67-81. DOI 10.21440/2307-2091-2024-1-67-74*

2 Исследования редкометальных и благороднометальных рудообразующих систем

2.1 Гурвунурское апатит-магнетитовое месторождение расположено в пределах Озёрнинского рудного узла в Западном Забайкалье. Особенностью данного объекта является наличие редкоземельной минерализации в рудах. К основным минералам-концентраторам РЗЭ относятся монацит, алланит, апатит и эпидот (рисунок 6). Один из главных концентраторов РЗЭ – апатит, где содержание суммы РЗЭ достигает 2,6 мас. %, наличие которых обусловлено эмульсионной вкрапленностью монацита. По составу он соответствует фторапатиту (ср. 3,3 мас. % F), содержит примесь FeO (до 0,94 мас. %). Одна из особенностей состава апатита – наличие в нём хлора с содержанием до 0,45 мас. %. Редкоземельные элементы представлены в основном лёгкими лантаноидами; преимущественно распространены La до 1,8 мас. % и Ce до 2,08 мас. %. Конфигурации спектров распределения РЗЭ в апатитах схожи со спектрами кислых интрузивных и эффузивных пород, изменённых в результате наложенных метасоматических процессов [1]. Значения Sr/Y и Sr/Mn отношений в апатите, согласно, ложатся в поле апатита, характерного для гранитоидов [2]. Такие характеристики апатита свидетельствуют о его генетической связи с гранодиоритами, что косвенно подтверждает скарновую природу апатитового оруденения.

Монацит-(Ce) встречается в виде эмульсионной вкрапленности и образуется в процессе рафинирования апатита, в котором он часто слагает более крупные зёрна и прожилки по краям зёрен апатита. В составе монацита преобладают лёгкие лантаноиды (Ce_2O_3 до 37,47, La_2O_5 до 22,34 мас. %).

Эпидот установлен в гнёздах и прожилках скарновых минералов. Минерал содержит в основном лёгкие лантаноиды (La до 5,11 мас. %, Ce до 2,47 мас. %) и образует постепенные переходы в алланит, который, в свою очередь, встречается также в виде самостоятельных выделений, либо в составе агрегатов эпидот-алланитового состава. Наличие повышенных концентраций РЗЭ и постепенные переходы в алланит свидетельствуют об относительной обогащённости скарнирующих растворов лёгкими лантаноидами (La до 2,17, Ce до 1,14 мас. %).

Алланит характеризуется неоднородным составом и зональностью, которая выражается в повышении содержания La от центра к периферии зёрен. В составе алланита также преобладают лёгкие лантаноиды с содержаниями La до 9,16 мас. %, Ce до 14,35 мас. %. Наиболее часто алланит встречается среди скоплений апатита, по отношению к которому является более поздним. Алланит корродирует зёрна апатита, развивается по трещинам и обрастает их по периферии.

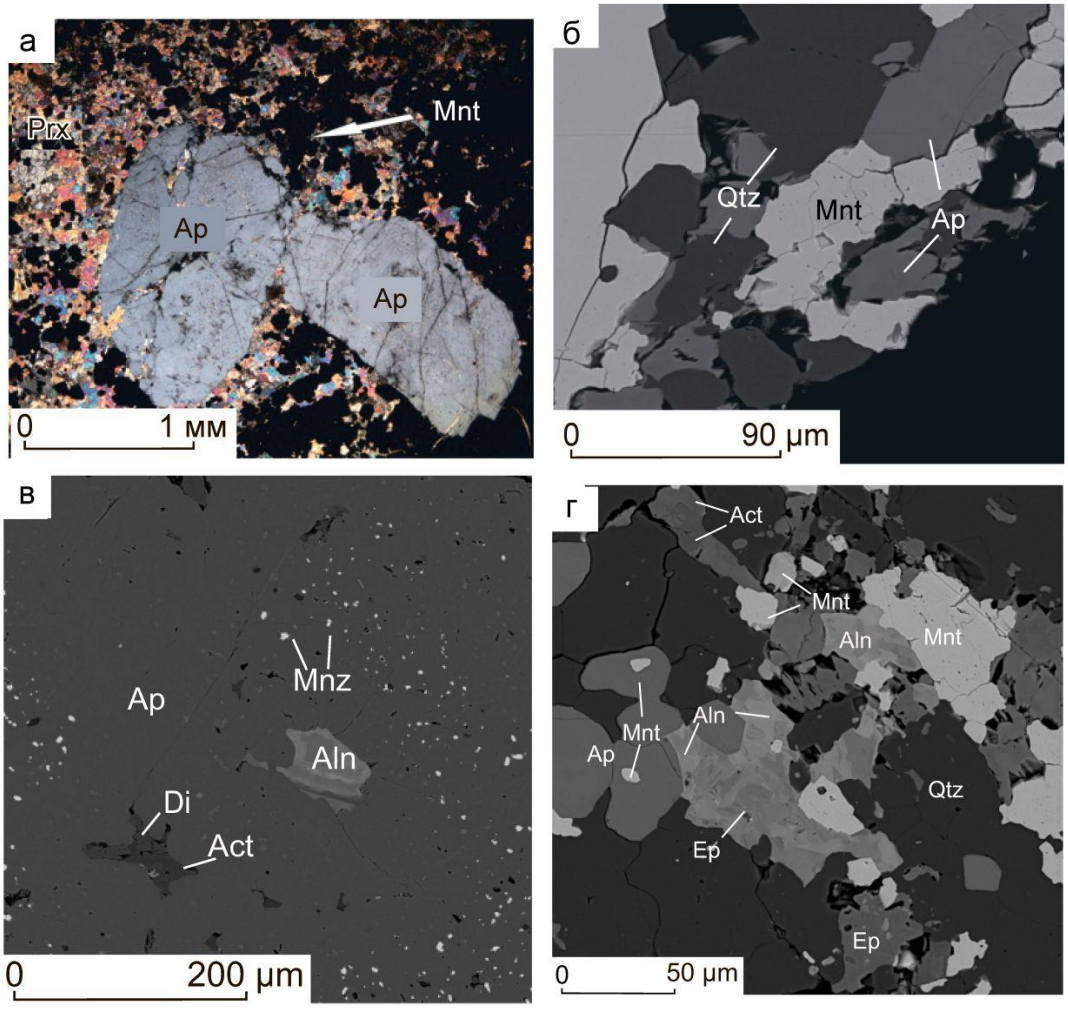

Рисунок 6 – а) кристаллы апатита в пироксен-апатит-магнетитовой руде (шлиф, николи скрещены); б) типичная минеральная ассоциация апатита, магнетита и кварца; в) эмульсионная вкрапленность монацита в апатите, алланит и агрегат амфибол-пироксенового состава; г) выделения алланита и эпидота в кварц-магнетитовой руде (алланит образует ксеноморфные зёрна с пятнистой текстурой, обусловленной переходом в эпидот. Ap – апатит, Prx – пироксен, Mnt – магнетит, Qtz – кварц, Mnz – монацит, Aln – алланит, Di-Act – амфибол-пироксеновый агрегат, Ep – эпидот

Изучение минерального состава и распределения РЗЭ в рудах и минералах позволяет сделать вывод о том, что редкоземельная минерализация в рудах Гурвунурского апатит-магнетитового месторождения образовалась в результате скарнирования пород карбонатсодержащей вулканогенно-осадочной толщи, а источником редкоземельной минерализации явились гранодиориты витимканского интрузивного комплекса. а руды образовались в процессе скарнирования карбонатно-вулканогенно-осадочных пород и первичных магнетитовых руд.

*Извекова А.Д., **Дамдинов Б.Б., Рампилов М.О.** Редкоземельная минерализация в рудах Гурвунурского апатит-магнетитового месторождения (Озёрнинский рудный узел, Западное Забайкалье//Руды и металлы. – 2024. – № 2. – С. 55-68. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10009*

2.2 Третьяковское золото-флюоритовое месторождение

Продолжено изучение руд необычного циркон-титаномагнетитового состава, которые были обнаружены в пределах рудного поля Третьяковского золото-флюоритового месторождения, входящего в состав Гильберинского золото-серебро-флюорит-редкометального рудного узла (Западное Забайкалье). Кварц-флюоритовые жилоподобные тела (жильные зоны), образующие месторождение, представляют собой участки сплошной метасоматической аргиллизации, флюоритизации и окварцевания мощностью порядка 0.3–1 м, редко до 2.3 м. Особенностью кварц-флюоритовых руд Третьяковского месторождения является их повышенная золотоносность. Согласно данным разведочных работ, содержание золота в рудах варьирует от 0.3 до 19.5 г/т при среднем значении 3 г/т, серебра – 1.9–18.6 г/т при среднем значении 7 г/т.

Необычные циркон-титаномагнетитовые руды обнаружены в виде неокатанных обломков в делювиальных свалах вблизи кварц-флюоритовых жил. Руды сложены агрегатом Fe–Ti-минералов с редкими тонкими прожилками кварц-хлоритового состава, содержащим многочисленные выделения идиоморфных кристаллов циркона и редкую вкрапленность относительно апатита, кварца и монацита. При этом следует отметить, что минеральные агрегаты, вмещающие титаномагнетитовые и флюоритовые руды весьма схожи по морфологическим особенностям и минеральному составу (рисунок 7), что позволяет сделать вывод о генетической связи этих двух типов минерализации, развитых в пределах Третьяковского месторождения.

Среди Fe–Ti-минералов основную массу слагает магнетит, содержащий пластинчатые вростки (структуры распада твердого раствора) титансодержащих минералов разного состава – мангано-ильменита, рутила, псевдорутила, титаномагнетита в ассоциации с кристаллами циркона, содержание которых в породе достигает 10–15 об. %, также присутствует апатит (3–5 об. %).

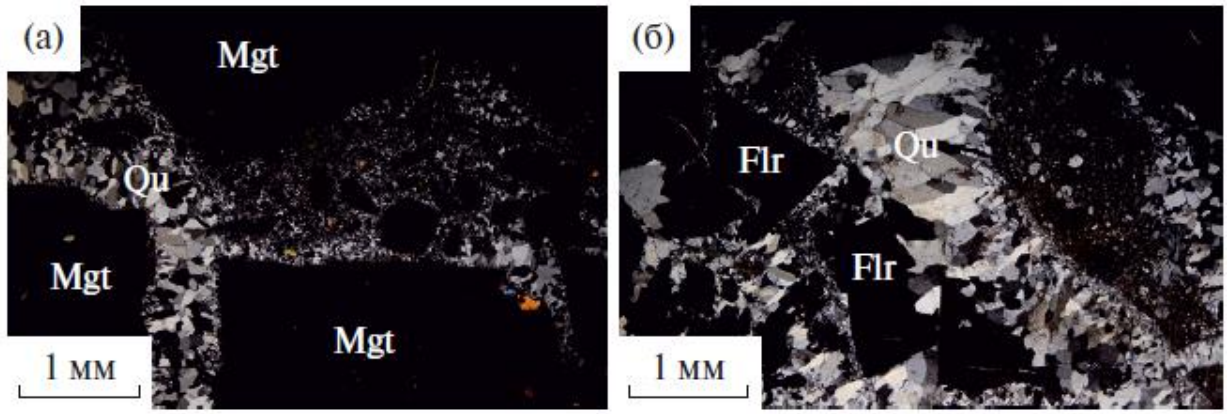

Рисунок 7 – Фотографии шлифов циркон-титаномагнетитовой (а) и кварц-флюоритовой (б) руд. Mgt – магнетит, Qu – кварц, Flr – флюорит

Магнетит практически всегда содержит примесь TiO2 (0.33–3.92 мас. %). Примерно в половине проанализированных зерен отмечается Al2O3 (0.45–1.06 мас. %). Содержания MnO в манганоильмените варьируют в интервале 7.6–10.4 мас. %. В единичных случаях отмечаются примеси Al2O3 (до 1.08 мас. %), MgO (до 1.06 мас. %), V2O3 (до 0.63 мас. %). Отношение Ti/Fe варьируют в пределах 1.11–1.36.

Титаномагнетит характеризуется относительно низким содержанием TiO2 (до 31.09 мас. %), следовательно, имеет низкое значение Ti/Fe отношения (0.22–0.42). Минерал также содержит примесь MnO (1.27–1.37 мас. %).

Псевдорутил по химическому составу отличается от ильменита пониженным содержанием Fe, значения Ti/Fe-отношения относительно повышены, 1.46–1.76. В составе минерала всегда присутствует примесь марганца (MnO = 0.85– 2.66 мас. %). В некоторых случаях установлена примесь Al2O3 (до 0.57 мас. %) и V (до 0.68 мас. %).

Рутил практически всегда содержит примеси FeO (1.04–6.68 мас. %). В одном случае зафиксирована примесь MnO (0.84 мас. %).

По данным ильменит-магнетитовой термобарометрии (программа ILMAT), температуры образования пар ильменит-магнетит показали значения 379 и 404°C, соответствующие относительно низкотемпературным условиям кристаллизации Fe–Ti-минералов, что может являться одним из индикаторов немагматического происхождения циркон-титаномагнетитовой минерализации Третьяковского месторождения.

Термобарогеохимическими методами (термо-, криометрия) были изучены первичные флюидные включения в зернах флюорита и кварца (рис. 3). Установлены температуры гомогенизации (рисунок 8), соответствующие минимальным температурам образования, которые варьируют в интервале ≥183-100°C. Температуры эвтектики соответствуют значениям ~-38…-36°C. Кроме этого, в диапазоне температур +0.1…+2.4°C происходит плавление слабовыраженных фаз, по всей видимости клатратов. Состав газовой фазы методом КР-спектроскопии определить не удалось в связи с высокой флюоресценцией флюорита.

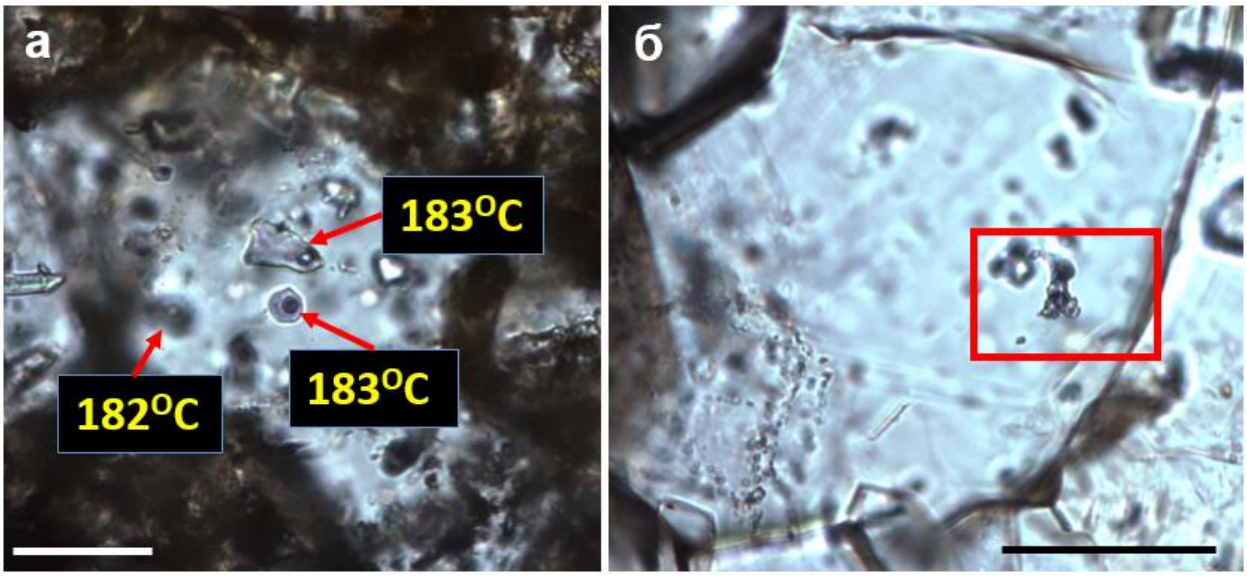

Рисунок 8 – Фотографии первичных флюидных включений в зернах флюорита (а) и кварца (б). Цифрами показаны температуры гомогенизации.
Длина масштабной линейки 50 мкм

Для изучения геохимических особенностей магнетита был проведен локальный анализ микроэлементного состава магнетита методом LA-ICP-MS. Установлено, что магнетиты Третьяковского месторождения, характеризуются значительно повышенными содержаниями Ti (2.43 – 8.78 мас.%). Кроме титана, в значимых содержаниях на уровне десятых долей мас.% в магнетите установлены примеси Mn (0.43 – 0.903 мас.%), Si (0.506 мас.%), Al (0.367 – 0.54 мас.%), Zn (0.23 – 0.49 мас.%). В концентрациях на уровне сотен г/т присутствуют Mg (145 – 644 г/т) и Mo (18 – 224 г/т). Уровни содержаний в десятки г/т характерны для V (61 - 95 г/т), Ga (51 - 81 г/т), Sn (16 – 36 г/т), Co (8 - 13 г/т), в некоторых случаях – Nb (4 – 71 г/т). Ge, Sc, Pb, As, Zr и Y имеют содержания в первые г/т. Редкоземельные элементы характеризуются концентрациями в пределах первых десятых долей г/т, редко достигающими 1-4 г/т (Ce). Характерными примесями в магнетите Третьяковского месторождения являются Ti, Mn, Zn, Si и Al. Такой высокотитанистый магнетит характерен преимущественно для магматогенных титаномагнетитовых, порфировых и IOCG месторождений [3]. Известно, что крупное месторождение типа IOCG – Олимпик-Дамм в Австралии, характеризуется наличием ореола флюорит-содержащих жил в краевой части рудно-магматической системы, кроме того, флюорит является одним из относительно широко распространенных минералов в рудах этого месторождения [4]. Наличие комплексной золото-кварц-флюоритовой и связанной с ней, предположительно гидротермальной, циркон-титаномагнетитовой минерализации на Третьяковском месторождении определяет принципиальную возможность обнаружения в этом районе месторождений типа IOCG.

Для оценки эффективности геофизических методов и обучения персонала для выполнения работ по поискам и оценке золоторудных объектов на Третяковском месторождении проведен комплекс геофизических методов: площадные исследования методов наземной и БПЛА-магниторазведки, магнитной градиентометрии в режиме непрерывной регистрации и поточечном режиме; съемки методами срединного градиента (СГ), симметричного (СЭП), дипольного (ДЭП), комбинированного электропрофилирования в модификации вызванной поляризуемости (ВП); электротомография с дипольной (dipole-dipole) и комбинированной (pole-dipole) установками; наземную гамма-спектрометрию, радиометрию с датчиками α-, β-, γ-излучения; профильные многоразносные зондирования с дипольной (МДЭП) и симметричной (МСЭП) установками в движении; частотные электромагнитные зондирования; испытания георадаров Око и Лоза-М; варианты 2D и 3D-зондирования методом переходных процессов (ЗМПП, ЗСБ) (рисунок 9).

Современный комплекс методов показал более высокую эффективность получения отклика в физических полях от геологических структур по сравнению с результатами 1960-х годов в основном за счет возросшего качества повторяемости результата регистрации и детализации системы наблюдения, а также появления таких вторичных параметров физических полей, как вызванная поляризуемость или градиент магнитного поля. Главным выводом по итогам работ является отсутствие целесообразности применения установок с шагом более 5 м для работ в данных условиях, поскольку прирост информации о геологическом строении разреза незначителен относительно роста трудозатрат на выполнение работ и позволяет ограничить реальную глубинность применения метода электротомографии с шагом 5 м и длиной косы 240 м для задач картирования субвертикальных рудных структур глубиной 25 м. Сходная ситуация с локализацией рудных объектов в зонах тектонического нарушения наблюдается и при сравнении результатов площадных картировочных работ методами магниторазведки и гамма-спектрометрии в режимах записи в движении и замера на месте с различным шагом наблюдений. В результате Третьяковское месторождение является одним из наиболее подготовленных объектов для использования в качестве эталонного геофизического полигона с рудно-геофизической направленностью.

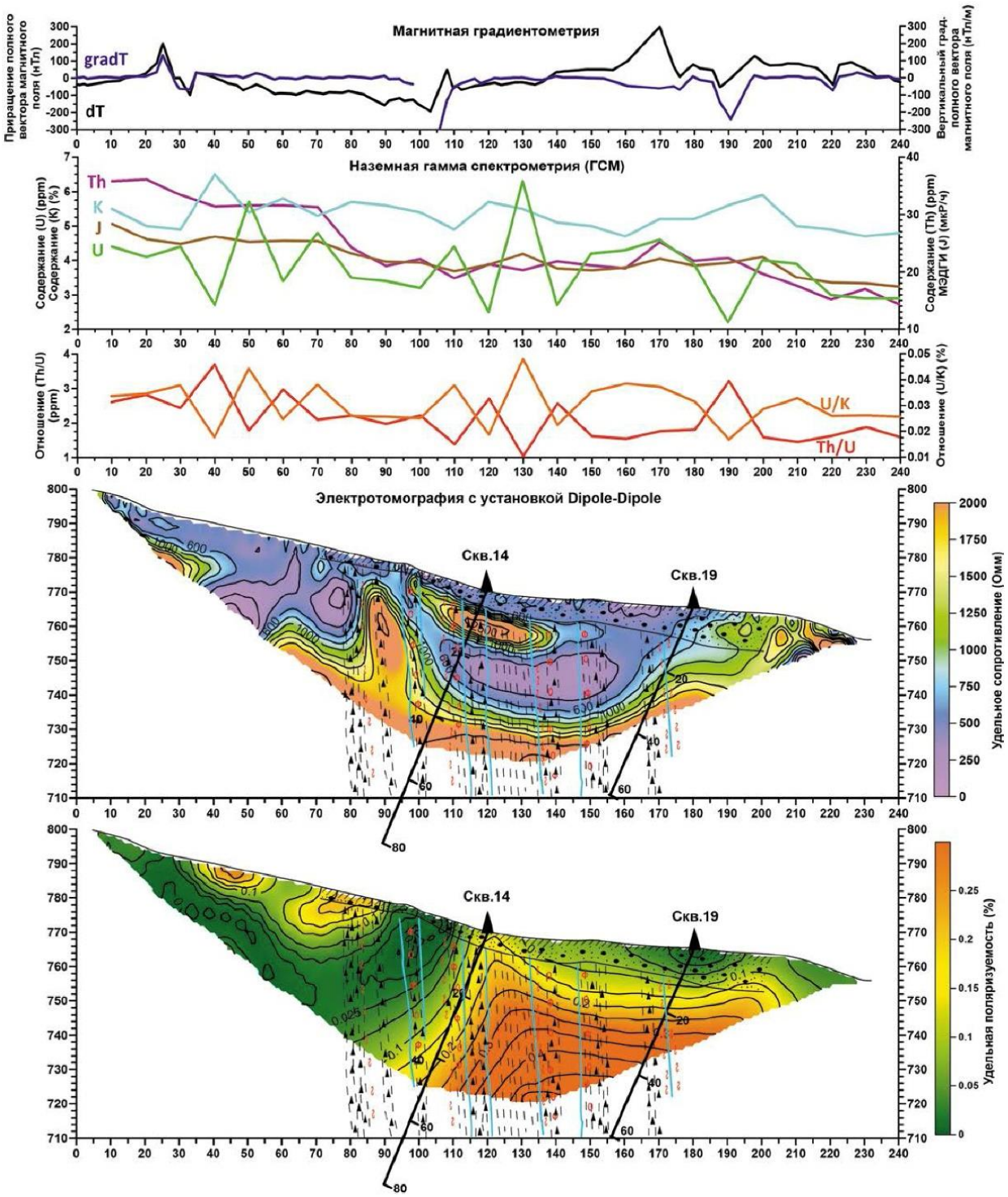

Рисунок 9 – Результаты профильных работ методами ГСМ, ГММ электротомографии с установкой Dipole-Dipole по буровой линии

Дамдинов Б.Б., Хубанов В.Б., *Горячев Н.А.,* ***Дамдинова Л.Б.,*** *Извекова А.Д. Состав и возраст необычных циркон-титаномагнетитовых руд Третьяковского золото-флюоритового месторождения (Западное Забайкалье) // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2024. – Т. 514. – №2. – С. 237-245. DOI: 10.31857/S2686739724020069*

Татьков И.Г., Дамдинов Б.Б. *Третьяковское золото-флюоритовое месторождение — новый эталонный геофизический полигон на территории Забайкалья // Разведка и охрана недр. – 2024. – № 5. – С. 87-97. DOI: 10.53085/0034-026X_2024_5_87*

2.3 Сундалинское молибден-вольфрамовое месторождение

Этыкинское рудное поле расположено в Восточном Забайкалье и представляет собой уникальный геологический объект, характеризующийся многообразием типов редкометальной минерализации, развитых в пределах относительно небольшого участка. В составе рудного поля объединены Этыкинское Nb-Ta, Этыкинское Sn, Этыкинское Li и Сундалинское штокверковое Mo-W месторождения.

Объектом исследований 2024 года послужили руды молибден-вольфрамового штокверка, расположенного в южном экзоконтакте Этыкинского массива амазонитовых гранитов, выделяемого как Сундалинское Mo-W месторождение. Рудная минерализация этого месторождения сосредоточена в кварцевых прожилках (рисунок 10), сопровождающихся грейзенизацией вмещающих метатерригенных пород; последние преобразованы в слюдисто–кварц-полевошпатовые метасоматиты, развитые по ороговикованным алевропесчаникам. Средняя мощность рудных жил и прожилков 5-7 мм, в раздувах до 1 -1,5 см, редко до 3-5см.

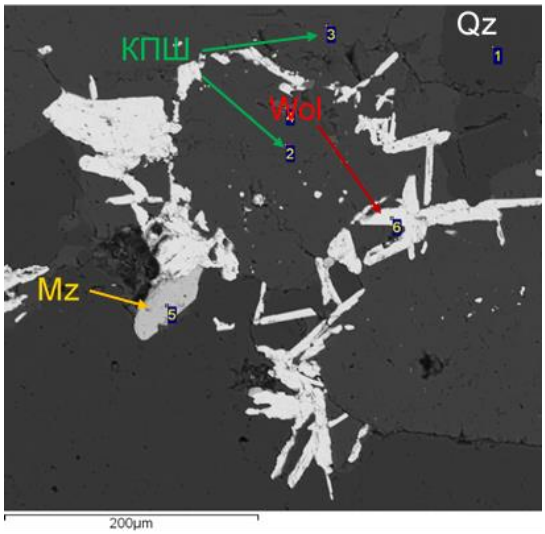

Рисунок 10 – Кристаллы вольфрамита в ассоциации с монацитом и микроклином в кварцевом прожилке. Qz – кварц, Mz – монацит, Wol – вольфрамит, КПШ – калиевый полевой шпат

Среди жильных минералов главную роль играют кварц и слюды (мусковит и биотит), в меньшей степени флюорит и полевые шпаты. В зависимости от присутствия тех или иных главных рудных минералов прожилки – существенно молибденитовые, вольфрамитовые или молибденит – вольфрамитовые. Главный рудный минерал – вольфрамит по химическому составу соответствует фербериту. Кроме него в рудах распространены такие минералы как молибденит, шеелит, галенит, колумбит, пирит, в подчиненном количестве присутствуют пирит, пирротин, к редким относятся самородный висмут, уранинит, ильменит, барит.

Вольфрамовые руды характеризуются высокими содержаниями W до 72000 г/т (7.2 мас. %, по данным анализа штуфных проб). Кроме того, в отдельных пробах отмечаются повышенные содержания следующих элементов: Sn до 1764 г/т, Rb до - 5298, Pb до - 8000, Nb до - 2298, Ta до – 3199.

Термобарогеохимическими методами (термо-, криометрия, в то числе раман-спектроскопия) были изучены первичные флюидные включения (рисунок 11) из кварца прожилков, которые имеют двухфазовый состав (Ж>Г) и, как правило, небольшие размеры (≤2-10 мкм, в редких случаях достигают ~15 мкм).

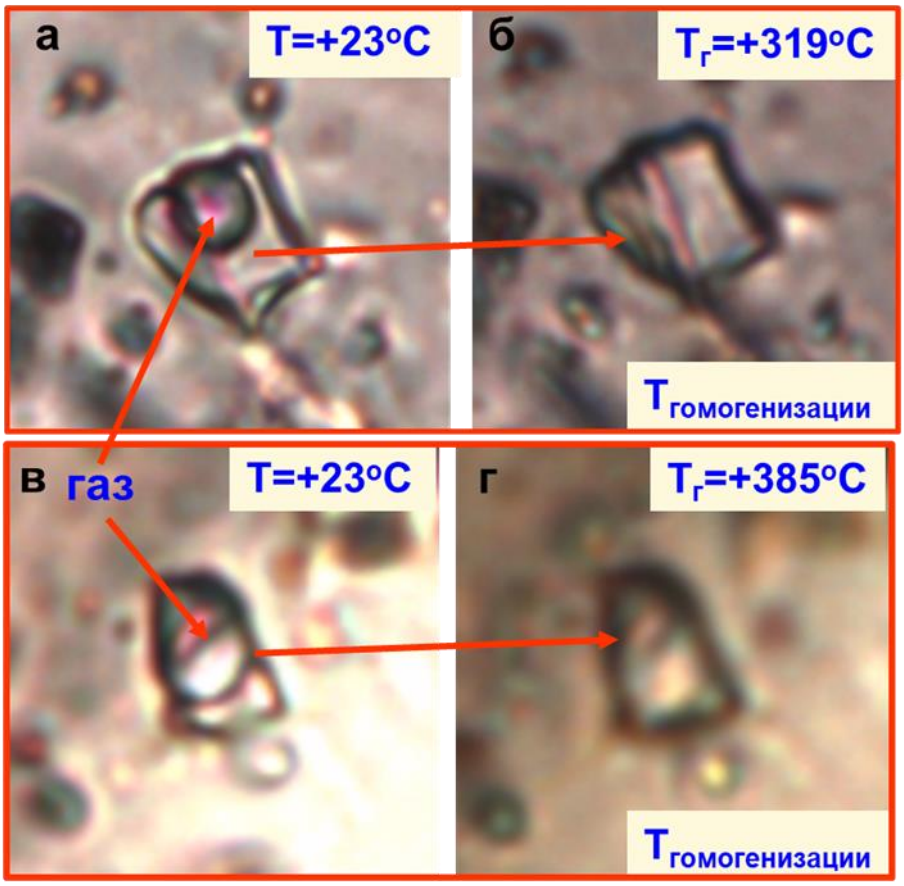

Рисунок 11 – Первичные флюидные включения в зернах кварца

Диапазон температур гомогенизации, установленный с помощью изучения первичных включений в кварце, варьирует в пределах ~390-242°C. В одном ФВ определена температура гомогенизации 480°C (гомогенизация в газовую фазу). Общая соленость рудообразующих растворов варьирует в диапазоне 10.5-3.4 мас. % экв. NaCl. В связи с небольшими размерами флюидных включений температуры эвтектики удалось определить только в некоторых включениях, они соответствуют в основном -37… -36°C. Соответственно, главные солевые компоненты растворов вероятнее всего были

представлены хлоридами Fe и Na. По данным КР-спектроскопии в газовой фазе изученных флюидных включений из кварца идентифицируется CO2 и CH4.

Таким образом, изучение руд Сундалинского молибден-вольфрамового месторождения показало, что наряду с главными компонентами – вольфрамом и молибденом, в штокверковых рудах присутствуют такие попутные компоненты как Nb, Ta, Rb, Bi и др. Наличие редких высокотемпературных ФВ, с температурой гомогенизации ~480°C, позволяет считать, что условия формирования руд были достаточно высокотемпературными, что не противоречит ранее сделанным предположениям о том, что молибден-вольфрамовый штокверк представляет самый ранний этап Этыкинской рудно-магматической системы, в результате эволюции которой сформировались несколько типов редкометальной минерализации.

3 Моделирование процессов рудообразования

3.1 Таинское золоторудное месторождение

Закончена работа над новой комплексной моделью трёх сценариев золотого оруденения Таинского месторождения (Восточный Саян) (рисунок 12). В первом сценарии модели перенос происходил через границу пластично-хрупкого перехода земной коры: под действием литостатического давления снизу и гидростатического давления – сверху. Для равновесия андезит – вода в условиях 800°C и 4.5 кбар установлено, что флюид находится в надкритическом состоянии и может полностью смешиваться с окружающей средой, что объясняет большие концентрации в нём некоторых компонентов. В этом сценарии формируется золото-порфировый тип оруденения со средним содержанием самородного золота ~2 г/т. Из флюида осаждается примерно 40.7% от растворённого Au; в виде борнита – 96.8% меди; в виде сфалерита – 80.3% цинка. После ПХП количество осаждённого золота падает почти на 10%, а количество серебра возрастает с 78 до 91%. Практически вся медь осаждается в виде халькопирита. Таким образом, ГФ преодолевает два геохимических барьера. Первый – смена андезитовой зоны при 800°C и 4549 бар на гранитоидную при 487°C и 3194 бар. Он характеризуется переходом флюида из надкритического состояния в двухфазное (водный раствор + газ). Второй барьер – декомпрессионный со сменой давления флюида от литостатического до гидростатического. Далее флюид смешивается с метеорными водами, изменёнными по второму и третьему сценариям. Во втором сценарии метеорные воды просачиваются через гипербазиты. В ходе него образуется кварц-пирротиновый тип оруденения. Золото находится в нескольких формах; в верхней части нисходящей ветви оно представлено в растворе в виде $Au(HS)2–$, в твёрдой фазе – в виде анюйита $AuPb2$, а в нижней части и в восходящей ветви – в виде аурикуприда $AuCu3$. Отмечается присутствие троилита. В третьем сценарии метеорный раствор просачивается через терригенно-карбонатную толщу. В процессе этого сценария образуется кварцево-жильный эпитермальный тип руд. В нижней части нисходящей ветви до 99.774% золота представлено в самородном виде. В восходящей ветви – золото равновесно преимущественно в сульфидной форме.

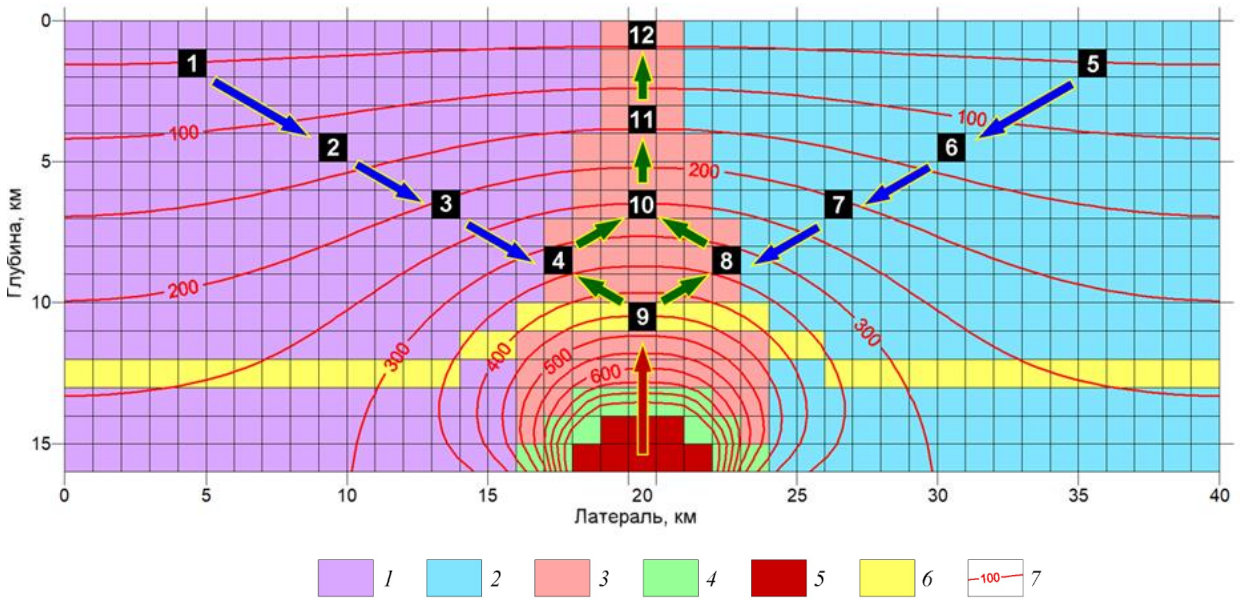

Рисунок 12 – Схема комплексной модели разреза Таинского месторождения. Условные обозначения: 1 – гипербазитовая модельная зона; 2 – модельная зона терригенно-карбонатных пород; 3 – модельная зона гранитоидного штока; 4 – модельная зона переходного слоя андезитового состава; 5 – глубинный источник тепла и флюида; 6 – зона пластично-хрупкого перехода (ПХП); 7 – изотермы, рассчитанные на физическом этапе для стационарного распределения температурных полей. Чёрным закрашены и пронумерованы подсистемы, являвшиеся физико-химическим резервуарами на динамическом этапе моделирования. Стрелками показаны потоки подвижной группы фаз на динамическом этапе моделирования

Васильев В.И., *Дамдинов Б.Б., Васильева Е.В. Таинское месторождение (Восточный Саян): новая комплексная модель трёх типов золотого оруденения//Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: Материалы XXV Международной конференции. – Москва: ИГЕМ РАН, 2024. – С. 42–45.*

3.2 Бом-Горхонское вольфрамовое месторождение

Для физико-химического моделирования гидротермального рудообразования разработан метод расчёта баланса масс вода/порода при фильтрации водного раствора через дезинтегрированную среду. Получены регрессионные зависимости плотности и вязкости водного раствора от температуры и общей минерализации (рисунок 13):

$$\rho_T^0 = -1.2732 \cdot 10^{-7}T^4 + 4.0650 \cdot 10^{-5}T^3 - 7.4754 \cdot 10^{-3}T^2 + 4.9006T + 999.8,$$
$R^2 = 0.9999;$

где ρ_T^0 – плотность чистой воды (кг/м3) при температуре T (°C), R^2 – достоверность аппроксимации;

$$\rho_T^M = \rho_T^0 - 8.6445 \cdot 10^{-4}M^2 + 8.2104 \cdot 10^{-1}M,$$
$R^2 = 0.9997;$

где ρ_T^M – плотность воды (кг/м3) с общей минерализацией M (г/л) при температуре T (°C);

$$\eta_T^0 = 6.5534 \cdot 10^{-11}T^5 + 3.2722 \cdot 10^{-8}T^4 - 1.0706 \cdot 10^{-5}T^3 + 1.0983 \cdot 10^{-3}T^2 - 5.7398 \cdot 10^{-2}T + 1.7885,$$
$R^2 = 0.9978;$

где η_T^0 – динамическая вязкость чистой воды (Па·с) при температуре T (°C);

$$\eta_T^M = \eta_T^0 + 1.8896 \cdot 10^{-11}M^5 - 7.9546 \cdot 10^{-9}M^4 + 1.1521 \cdot 10^{-6}M^3 - 6.6058 \cdot 10^{-5}M^2 + 4.3479 \cdot 10^{-3}M,$$
$R^2 = 0.9998.$

где η_T^M – динамическая вязкость воды (Па·с) с общей минерализацией M (г/л) при температуре T (°C).

Метод был опробован при расчёте просачивания метеорных вод через отвалы отходов обогащения вольфрамового месторождения Бом-Горхон (Забайкальский край). В самом многоводном месяце августе расчётное содержание раствора составило ~3.72 мас. %, а в самом маловодном месяце апреле ~ 1.51 мас. %.

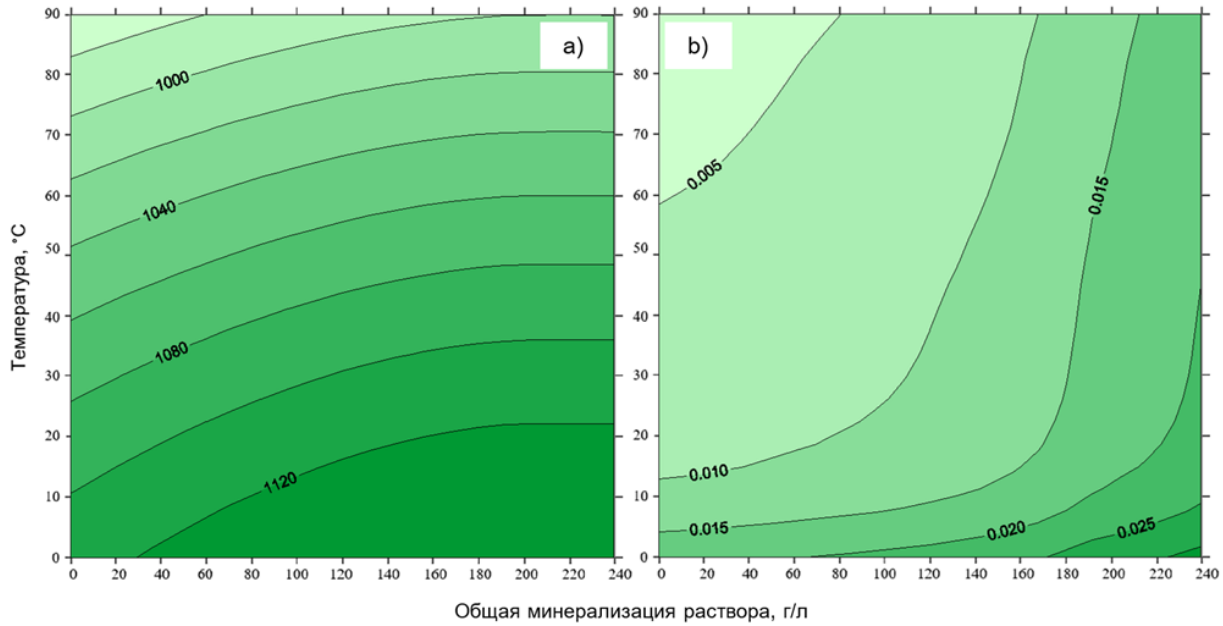

Рисунок 13 – Расчётные плотности и кинематические вязкости водных растворов в силикатных породах при температурах 0–90°C и минерализации растворов 0–240 г/л. Полученные значения применимы только для водных растворов, насыщенных кремнезёмом, особенно это касается области высокой минерализации

Васильев В.И., *Васильева Е.В. Расчёт массовых соотношений между водным раствором и вмещающей дезинтегрированной средой при моделировании техногенного влияния на природные водотоки//Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле: Материалы XXV Международной конференции. – Москва: ИГЕМ РАН, 2024. – С. 38–41.*

Васильев В.И. *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024691131. Российская Федерация. Vladi FSURB – программа для расчётов поверхностного и подземного стока неизученных рек бассейна озера Байкал / Васильев В.И. Правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН (RU). – № 2024690459; заявл. 12.12.2024; зарегистр. 19.12.2024; опубл. 19.12.2024. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», №12.*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в 2024 году исследования являются продолжением научно-исследовательских работ в рамках рассматриваемого проекта. Изучены объекты камнесамоцветного сырья. Исследовано Воймаканское месторождение аподоломитового нефрита с целью выяснения особенностей его формирования. Выделены парагенетические ассоциации: реликтовая, метасоматическая донефритовая, метасоматическая нефритовая, регрессивноая метасоматическая, вторичная. На основе изотопных данных установлен источник аномально изотопно легкого кислорода нефрита – поровый флюид, вероятно метеорного происхождения, обедненный δ18O в результате декарбонатизации доломита, тогда как гранит лишь обеспечивает региональный разогрев, активизирующий поровый флюид.

Изучен минеральный состав аподоломитового нефрита Кавоктинского месторождения, предложена модель его формирования. Исходя из пространственно-временных связей минералов, они отнесены к пяти парагенезам: реликтовому, метасоматическим донефритовой и нефритовой стадий, а также к гидротермальному и вторичному. Интенсивность зеленого цвета нефрита объясняется примесью Fe в тремолите, а черный цвет - переходом его в актинолит в зонах контакта с эпидот-тремолитовым скарном по амфиболиту. Представлена модель образования нефрита: развитие диопсида по доломиту, замещение диопсида тремолитом или кальцит-тремолитовым скарном, замещение призматического тремолита спутанно-волокнистым тремолитом. В некоторых случаях тремолит может развиваться непосредственно по доломиту или замещать форстерит, развиваться по кальцит-тремолитовому скарну. Впоследствии тремолит замещается хлоритом и кальцитом.

На россыпном месторождении сапфиров Нарын-Гол (бассейн р. Джиды, Западное Забайкалье), установлен источник минералов россыпи. Выявлено, что «вершинные» вулканиты являются источником сапфира и санидина, а «долинные» – сапфира, оливина, санидина, пироксена, шпинели и ильменита.

В результате детальных минералого-геохимических исследований Гурвунурского апатит-магнетитового месторождения установлено, что особенностью является наличие редкоземельной минерализации в рудах. Образовалась она в результате скарнирования пород карбонатсодержащей вулканогенно-осадочной толщи, а источником редкоземельной минерализации явились гранодиориты витимканского интрузивного комплекса. а руды образовались в процессе скарнирования карбонатно-вулканогенно-осадочных пород и первичных магнетитовых руд. На Третьяковском золото-флюоритовом месторождении термобарогеохимическими методами (термо-, криометрия) изучены

первичные флюидные включения в зернах флюорита и кварца. Установлены температуры гомогенизации, соответствующие минимальным температурам образования.

Разработана новая комплексная компьютерная модель трёх сценариев золотого оруденения Таинского месторождения. На примере просачивания метеорных вод через отвалы отходов обогащения вольфрамового месторождения Бом-Горхон (Забайкальский край) протестирован метод расчёта баланса масс вода/порода при фильтрации водного раствора через дезинтегрированную среду.

Полученные в 2024 году результаты соответствуют заявленной цели проекта – разработке геолого-генетических моделей разнотипных рудообразующих систем. В течение года по теме проекта опубликовано 7 статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в зарубежных и российских информационно-аналитических системах научного цитирования, в том числе 1 статья в изданиях, входящих во второй квартиль (Q2) в международных базах данных (WoS, Scopus и др.), получено свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Рипп Г. С., Ходырева Е. В., Изброди́н И. А., Рампилов М. О., Ласточкин Е. И., Посохов В. Ф. Генетическая природа апатит-магнетитовых руд Северо-Гурвунурского месторождения (Западное Забайкалье //Геология рудных месторождений. – 2017. – № 5. – С. 419–433.

2 Jami M., Dunlop A. C., Cohen D. R. Fluid inclusion and stable isotope study of the Esfordi apatitemagnetite deposit, Central Iran//Economic geology. – 2007. – 102 (6). – P. 1111–1128.

3 Nadoll, P., Angerer, T., Mauk, J.L., French, D., Walshe, J. The chemistry of hydrothermal magnetite: a review//Ore Geology Reviews. – 2014. – Vol. 61. – P. 1-32.

4 Ehric K., McPhie J., Kamenetsky V. Geology and mineralogical zonation of the Olympic Dam iron oxide Cu-U-Au-Ag deposit, South Australia//Economic Geology. Special Publication. 2012. – Vol. 16. – P. 237-267.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Список научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2024 год:

Kislov E.V. Kavokta Deposit, Middle Vitim Mountain Country, Russia: Composition and Genesis of Dolomite Type Nephrite // Geosciences. – 2024. – V. 14. – 303. https://doi.org/10.3390/geosciences14110303

Вантеев В.В., Кислов Е.В. Вулканические породы района сапфироносной россыпи Нарын-Гол (бассейн р. Джида, Западное Забайкалье) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2024. – № 2. – С. 67-81. DOI 10.21440/2307-2091-2024-1-67-74

Дамдинов Б.Б., Хубанов В.Б., Горячев Н.А., **Дамдинова Л.Б.,** Извекова А.Д. Состав и возраст необычных циркон-титаномагнетитовых руд Третьяковского золото-флюоритового месторождения (Западное Забайкалье) // Доклады РАН. Науки о Земле. – 2024. – Т. 514. – №2. – С. 237-245. DOI: 10.31857/S2686739724020069

Извекова А.Д., **Дамдинов Б.Б., Рампилов М.О.** Редкоземельная минерализация в рудах Гурвунурского апатит-магнетитового месторождения (Озёрнинский рудный узел, Западное Забайкалье // Руды и металлы. – 2024. – № 2. – С. 55-68. DOI: 10.47765/0869-5997-2024-10009

Кислов Е.В., Гончарук И.С., Вантеев В.В. Минеральный состав и модель формирования аподоломитового нефрита Воймаканского месторождения, Средне-Витимская горная страна // Литосфера. – 2024. – Т. 24. – № 4. С. 609-628. DOI: 10.24930/2500-302X-2024-24-4-609-628

Кислов Е.В., Гончарук И.С., Вантеев В.В., Посохов В.Ф. Воймаканское месторождение аподоломитового нефрита, Средне-Витимская горная страна: условия формирования // Геология рудных месторождений. – 2024. – Т. 66. – № 6. – С. 648-667. DOI: 10.31857/S0016777024060044

Кислов Е.В., Гончарук И.С., Николаев А.Г., Вагизов Ф.Г., **Вантеев В.В.,** Хасанова Н.М. Качественные характеристики и причины окраски аподоломитового нефрита Воймаканского месторождения, Средне-Витимская горная страна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 12. – С. 107-123. DOI: 10.18799/24131830/2024/12/4586.

Татьков И.Г., Дамдинов Б.Б. Третьяковское золото-флюоритовое месторождение — новый эталонный геофизический полигон на территории Забайкалья // Разведка и охрана недр. – 2024. – № 5. – С. 87- 97. DOI: 10.53085/0034-026X_2024_5_87

Результаты интеллектуальной деятельности:

Васильев В.И. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024691131. Российская Федерация. Vladi FSURB – программа для расчётов поверхностного и подземного стока неизученных рек бассейна озера Байкал / Васильев В.И. Правообладатель ФГБУН ГИН СО РАН (RU). – № 2024690459; заявл. 12.12.2024; зарегистр. 19.12.2024; опубл. 19.12.2024. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», №12.