

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

«15» декабря 2022 г.

Протокол № 12 от «22» декабря 2022 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, 2 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

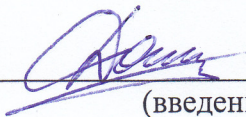
Руководитель НИР,
зав.лаб., д.г.-м.н.

Б.Б. Дамдинов

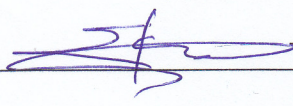
Улан-Удэ 2022

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

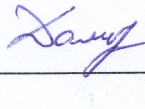
Руководитель НИР, зам. директора
по научной работе, зав. лабораторией,
д-р геол.-мин. наук _____

 Б. Б. Дамдинов
(введение, разделы 1-3, заключение)

Отв. исполнитель, вед. науч. сотр.,
канд. геол.-мин. наук _____

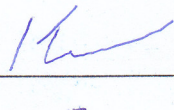
 Е. В. Кислов
(раздел 3)

Отв. исполнитель, вед. науч. сотр.,
канд. геол.-мин. наук _____

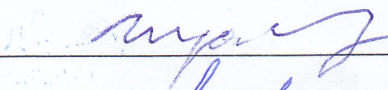
 Л. Б. Дамдинова
(разделы 1, 2)

Исполнители:

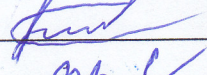
Зав. лаб., канд. геол.-мин. наук _____

 С. В. Канакин
(разделы 2, 4)

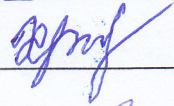
Вед. науч. сотр., канд. техн. наук _____

 Б. Ж. Жалсараев
(раздел 4)

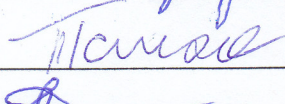
Ст. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук _____

 В. И. Васильев
(разделы 3, 4)

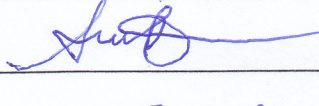
Науч. сотр. _____

 Е. А. Хромова
(разделы 1, 2, 4)

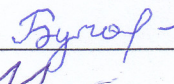
Мл. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук _____

 И. Г. Татьков
(раздел 1)

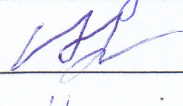
Мл. науч. сотр. _____

 А. Д. Извекова
(раздел 1)

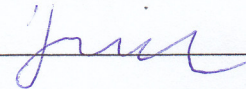
Инженер 1 кат., канд. геол.-мин. наук _____

 Н. Г. Бугаева
(раздел 1)

Инженер 1 кат. _____

 Е. В. Ходырева
(разделы 1, 2)

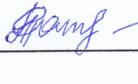
Инженер-гидрогеолог _____

 П. Г. Татьков
(раздел 4)

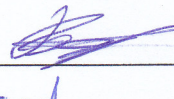
Инженер _____

 М. Л. Москвитина
(раздел 1)

Инженер _____

 Т. И. Сажина
(раздел 2)

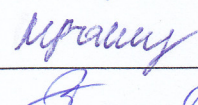
Инженер _____

 В. В. Вантеев
(раздел 3)

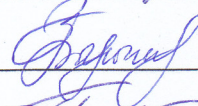
Инженер _____

 Б. Б. Бадмажапов
(раздел 1)

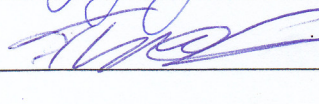
Инженер-лаб. _____

 М. А. Ранжурова
(раздел 1, 3)

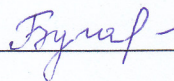
Переводчик _____

 В. Ю. Барышникова
(раздел 1, 2, 3)

Лаборант _____

 А. В. Трофимов
(раздел 3)

Нормоконтроль _____

 Н. Г. Бугаева

РЕФЕРАТ

Объем отчета 29 с., 14 рис., 5 источн., 1 прил.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА, РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ, ВОЗРАСТ, УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТЫ, БАЗИТ-УЛЬТРАБАЗИТЫ, СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ, НЕФРИТ, САПФИР, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Цель проекта – разработка концептуальных геолого-генетических моделей крупных рудных узлов и провинций, содержащих разнотипное оруденение на примере разновозрастных месторождений благородных, редких и цветных металлов в складчатых поясах. В 2022 году проведены исследования минерального состава, возраста, физико-химических условий формирования и генезиса месторождений благородных и редких металлов (золота, бериллия, вольфрама и молибдена), часть из которых относится к месторождениям мирового класса. Для решения генетических вопросов были проведены экспериментальные исследования и компьютерное моделирование процессов миграции компонентов полиметаллических руд в эндогенных условиях при повышенных Р-Т параметрах. Продолжено изучение происхождения рудных и нерудных полезных ископаемых, связанных базит-ультрабазитовыми комплексами, а также геодинамических обстановок формирования офиолитов Восточного Саяна. В конце отчета представлены результаты модернизации метода РФА, позволяющего одновременно определять концентрации около 50 элементов-примесей в породах и рудах с минимальной пробоподготовкой.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА	6
1 Исследования рудных месторождений	6
1.1 Условия формирования и генезис Зун-Холбинского золото-кварц-сульфидного месторождения (Восточный Саян)	6
1.2 Экспериментальное моделирование метаморфогенной миграции компонентов сульфидных руд в составе водно-солевых флюидов	8
2 Исследования редкометальных месторождений	11
2.1 Новые данные по изотопному возрасту Ермаковского F–Be-месторождения	11
2.2 Редкоземельно-уран-ториевая минерализация в рудах Булуктаевского молибден- вольфрамового месторождения	12
2.3 Проведены первые исследования физико-химических условий формирования руд Тамирского молибденового рудопроявления (Западное Забайкалье)	13
3 Исследования рудной и нерудной минерализации в базит-ультрабазитах	15
3.1 Петролого-геохимические исследования сульфидоносных пород придонного апофиза Йоко-Довыренского массива	15
3.2 Геохимия и геохронология Ехэ-Шигнинского офиолитового массива	17
3.3 Компьютерное моделирование формирования рудоносных родингитов	18
3.4 Изучены особенности происхождения «базальтового» сапфира	19
3.5 Предложена эмпирическая геолого-генетическая модель формирования нефрита Баженовского месторождения хризотил-асбеста, Средний Урал	20
4 Прикладные исследования	22
4.1 Разработана программа-оболочка для базы данных минералов, химических соединений и простых веществ Vladi Minerals Database Management System 1.0	22
4.2 Разработан ряд экспресс-методик РФА примесных и рудных элементов	23
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	25
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А	27

ВВЕДЕНИЕ

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

На этапе 2022 г. проектом предусматривались исследования геолого-структурного положения, вещественного состава и физико-химических условий формирования полиметаллических рудообразующих систем Западного Забайкалья. Параллельно с этими исследованиями планировалось продолжать работы и по другим типам рудных (и нерудных) месторождений, входящих в состав рудных узлов и провинций южного складчатого обрамления Сибирского кратона: золоторудным, редкометальным, медно-никелевым, а также, месторождениям нерудных полезных ископаемых, генетически связанных с базит-ультрабазитами. Исследования минералогии, геохимии и условий формирования рассматриваемых месторождений сопровождалось экспериментальным и компьютерным моделированием рудообразующих процессов. Исследования 2022 года полностью соответствуют поставленной цели и решаемым задачам настоящего проекта.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ ОТЧЕТА

1 Исследования рудных месторождений

1.1 Условия формирования и генезис Зун-Холбинского золото-кварц-сульфидного месторождения (Восточный Саян)

Зун-Холбинское золоторудное месторождение – самое крупное в юго-восточной части Восточного Саяна. Месторождение расположено в Урик-Китойской зоне Окинского рудного района и пространственно приурочено к Самарта-Холбинской зоне разломов северо-западного простирания [1]. Рудное поле месторождения локализовано в субвертикальной линзовидной структуре, образующей транспрессивный дуплекс, заполненный крупноблоковым тектоническим меланжем. В составе меланжа присутствуют блоки гранитоидов сумсунурского комплекса, архейских пород фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента (Гарганской «глыбы»), сланцево-карбонатных пород чехла (ильчирская толща, иркутная свита), офиолитов, а также единичные дайки лампрофиров.

На Зун-Холбинском месторождении известно несколько рудных тел: Дорожное, Северное, Сульфидное, Вавиловское, Перевальное и др. Все они представляют собой метасоматические кварц-сульфидные минерализованные зоны с неоднородным внутренним строением (рисунок 1). Вблизи поверхности появляются также кварцевожильные и жилообразные тела. Вертикальная зональность оруденения проявлена в относительном обогащении сульфидами Cu, Pb и Zn верхних горизонтов месторождения.

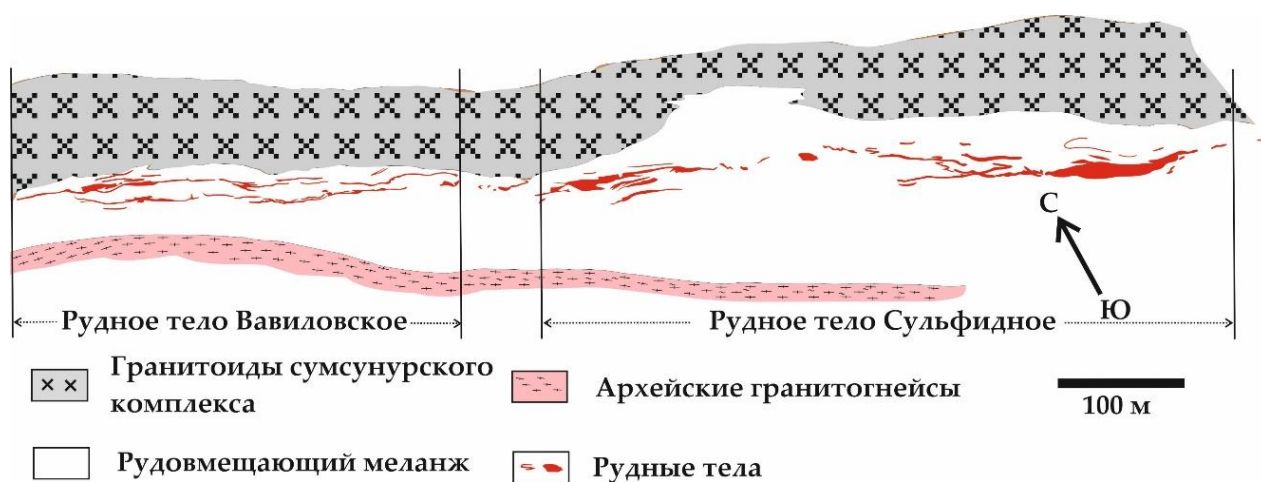


Рисунок 1 – Морфология рудных тел Вавиловское и Сульфидное на горизонте 1740 м

Главным рудным минералом является пирит, в меньшем количестве присутствуют пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, тетраэдрит, самородное золото и редко арсенопирит, гессит, самородный висмут, шеелит, тетрадимит, миллерит, викингит (рисунок 2).

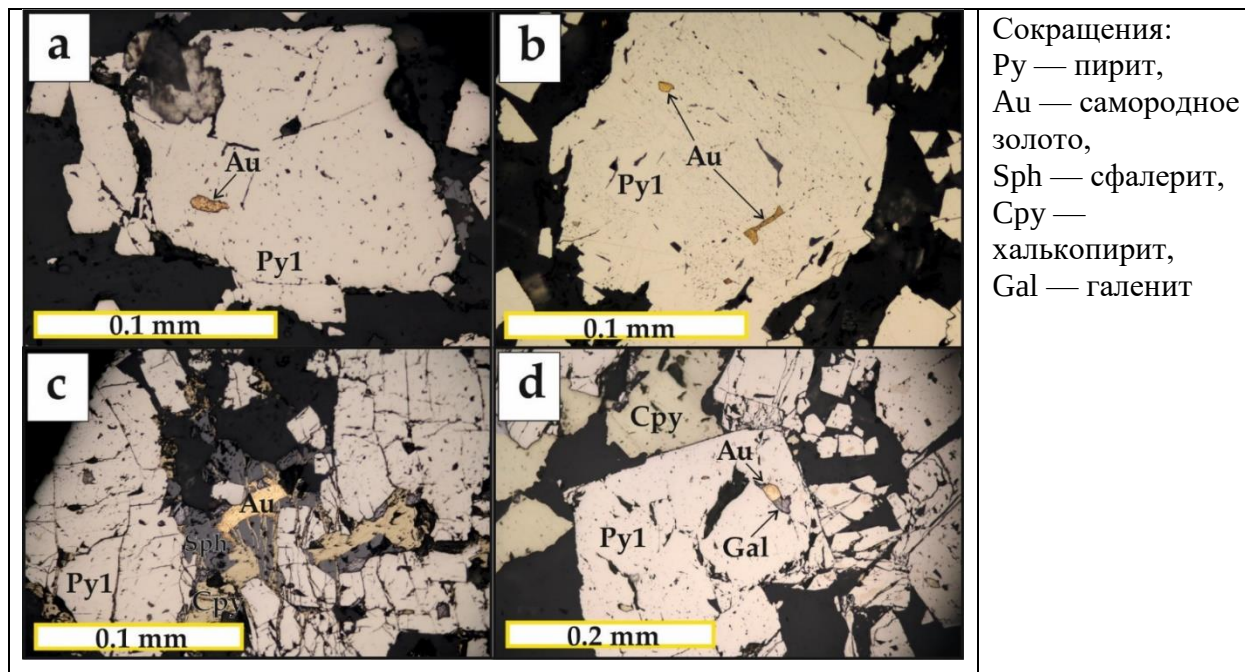


Рисунок 2 – Морфология выделений самородного золота: a, b – включения самородного золота средней пробы в пирите, c – включения низкопробного самородного золота в ассоциации со сфалеритом и халькопиритом, d – низкопробное самородное золото в ассоциации с галенитом в виде включения в пирите (отраженный свет)

С помощью различных независимых методов термобарометрии, включающих исследования флюидных включений, минеральную и изотопную термобарометрию, установлено, что образование кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского месторождения происходило при температурах от 420–433°C в наиболее глубокой части до 316 °C на верхних уровнях. Давления при рудообразовании, рассчитанные для руд, локализованных на среднем уровне (горизонт 1490 м) составили 570–950 бар. Руды отлагались из гомогенных флюидов относительно низкой солености (от 2.4 до 7.9 мас. % экв. NaCl), в солевом составе которых преобладали хлориды железа.

Изотопный состав серы, а также геохимия пирита показывают, что источником рудообразующих элементов являются блоки офиолитов, содержащие фрагменты первичных сульфидных руд (отложения древних «черных курильщиков»). Редкие реликты таких руд присутствуют в рудном поле месторождения. Значения $\delta^{18}\text{O}$ рудообразующего флюида варьируют от 8.4 – 13.1‰ на нижних и средних горизонтах, до 6‰ - на

близповерхностном уровне. Это свидетельствует в пользу метаморфогенного происхождения флюида с некоторым смешением с метеорными водами на верхних горизонтах месторождения.

Полученные данные по геолого-структурному положению месторождения, минеральному, химическому и изотопному составу руд, физико-химическим условиям минералообразования, позволяют сделать вывод о том, что генезис Зун-Холбинского золоторудного месторождения согласуется с моделью метаморфической деволатилизации, где источником рудообразующих компонентов были офиолиты, содержащие обломки сульфидных руд и частично вмещающие породы, а рудоносный флюид возник метаморфогенным путем. Это позволяет отнести месторождение к типу мезозонально-эпизональных орогенных месторождений золота.

Damdinov B.B., Goryachev N.A., Moskvitina M.L., Damdinova L.B., Izvekova A.D., Reutsky V.N., Posokhov V.F., Artemyev D.A. Zun-Kholba Orogenic Gold Deposit, Eastern Sayan, Russia: Geology and Genesis//Minerals. - 2022. - Vol. 12. 395. DOI: 10.3390/min12040395.

1.2 Экспериментальное моделирование метаморфогенной миграции компонентов сульфидных руд в составе водно-солевых флюидов

В связи с проблемой возможности метаморфогенного формирования рудных месторождений, проведено экспериментальное моделирование транспорта компонентов сульфидных руд в присутствии базальтового стекла и флюидной фазы, представленной водно-солевыми системами разного состава. Эксперименты проводились при РТ-условиях, близких к параметрам амфиболитовой фации метаморфизма: $T = 500 \div 650^{\circ}\text{C}$, $P \sim 4 - 5$ кбар, поскольку такие значения соответствуют ранее полученным нами данным по метаморфизму сульфидных руд Восточного Саяна [2]. На первом этапе были проведены предварительные опыты в термостатических условиях, с целью выяснения принципиальной возможности переотложения рудных компонентов под воздействием повышенных TP -параметров и оценки влияния состава флюида на характер образующихся парагенезисов. Для опытов использовали базальтовое стекло (восточно-тихоокеанское поднятие, обр. VTP-014) и сульфидные руды: образец 3894-9-2 – субмаринная гидротермальная сульфидная руда (гидротермальное поле Рейнбоу), в составе которой преобладает сфалерит, также присутствуют кубанит, миллерит, марказит и пирит; образец ТМ-1 – субмаринная сульфидная руда, сложенная преимущественно сфалеритом с незначительным количеством галенита. В качестве модельных флюидов использовались 1М водные растворы хлоридов Na, K и Fe с примесями C, S, N. В результате экспериментов первого этапа была показана принципиальная возможность переноса и переотложения рудообразующих компонентов (Zn, Cu, Au) водно-солевыми флюидами в эндогенных

условиях, а также выявлена зависимость состава новообразованных минеральных ассоциаций от химизма водно-солевых систем, участвующих в процессах минералогенеза.

На втором этапе исследовали транспорт вещества в термоградиентных условиях. Здесь также использовалось базальтовое стекло, однако к субмаринным сульфидам добавлялись сульфиды из медно-никелевых руд Талнахского месторождения и отдельные монофракции сульфидных минералов (халькопирит, пирит). Солевой состав модельного флюида был усложнен – к хлоридным солям добавлялись карбонаты щелочных металлов, щелочи и азотистые соединения, общая концентрация солей также была увеличена. Результаты опытов второго этапа показали, что рудное вещество, вместе с силикатным, активно транспортируется в верхнюю часть ампулы. В продуктах этих опытов встречены сростки минеральных агрегатов силикатного материала и сульфидного вещества, представляющие собой агрегаты идиоморфных кристаллов сфалерита, кварца и калиевого полевого шпата, присутствующие в разных соотношениях (рисунок 3).

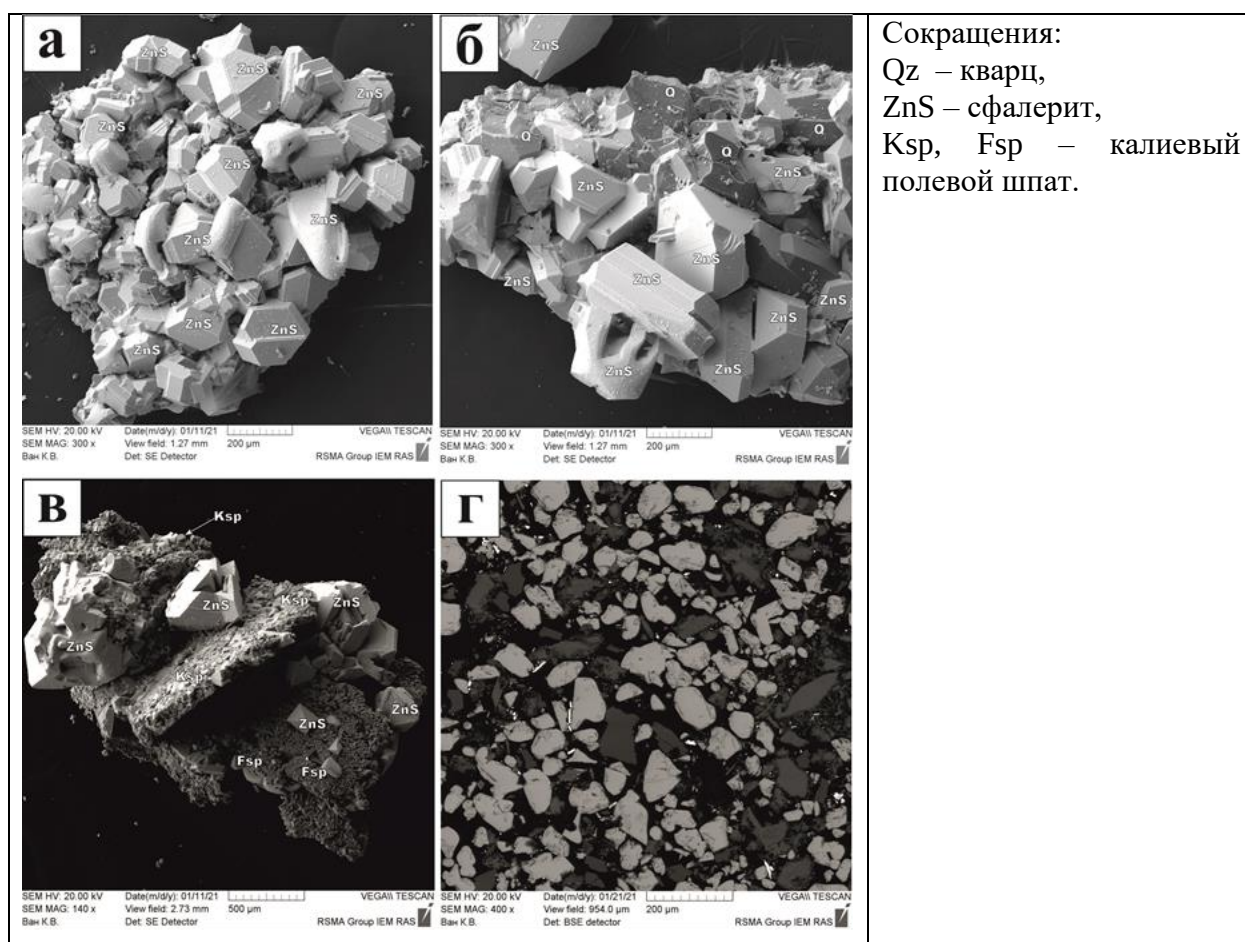


Рисунок 3 - Новообразованные минеральные агрегаты: а – опыт 7369, сросток кристаллов сфалерита; б – опыт 7369, кристаллический агрегат кварца и сфалерита; в – опыт 7369, сросток кристаллов калиевого полевого шпата и сфалерита; г – опыт 7368, минеральный агрегат, состоящий из сфалерита (серый), силикатов – кварц, альбит, клинопироксен (темно-серые) с примесью куперита (PtS, белый)

В опыте с натриевой спецификой продуктами являются агрегаты кварца, альбита, клинопироксена и сфалерита. Наличие таких сульфидно-силикатных агрегатов свидетельствует в пользу одновременного переноса как силикатного, так и рудного вещества в составе водно-солевых флюидов. Таким образом, возможность формирования золото-сульфидно-кварцевых и полиметаллических месторождений за счет миграции и переотложения рудообразующих элементов в составе концентрированных водно-солевых флюидов нашла экспериментальное подтверждение.

Дамдинов Б. Б., Котельников А. Р., Сук Н. И., Дамдинова Л. Б., Котельникова З. А., Ахмеджанова Г. М., Шаповалов Ю. Б. Экспериментальные исследования транспорта компонентов сульфидных руд в присутствии флюидной фазы при повышенных РТ-параметрах // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. - 2022. - Т. 507. - №2. - С. 209 – 216. DOI: 10.31857/S2686739722600655.

2 Исследования редкометальных месторождений

2.1 Новые данные по изотопному возрасту Ермаковского F–Be-месторождения

Крупнейшее в России и одно из крупнейших в мире Ермаковское месторождение бериллия, расположено в Западном Забайкалье. Руды месторождения весьма многообразны по своему облику и составу, основная их масса представлена апоизвестняковыми фенакит-берtrandит-флюоритовыми метасоматитами [3]. Происхождение бериллиевого оруденения связывается со штоком лейкократовых эгиринсодержащих субщелочных гранитов, возраст которых соответствует 224 – 226 млн лет, известные датировки самих руд имеют значения в интервале 225.5 – 219 млн лет и близки к возрасту рудогенерирующих гранитов [4]. Для уточнения возраста руд было проведено $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирование по калиевому полевому шпату (КПШ) и впервые непосредственно по бериллиевому минералу – милариту, калийсодержащему водному силикату бериллия $\text{KCa}_2(\text{Be}_2\text{AlSi}_{12}\text{O}_{30}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ из разных рудных тел Ермаковского месторождения (рисунок 5). В возрастном спектре миларита (образец Ер-17) выделяется устойчивое плато в высокотемпературной части спектра, состоящее из четырех последовательных ступеней, составляющих ~50% выделенного ^{39}Ar с возрастом 182.5 ± 3.0 млн лет. Датировки калиевых полевых шпатов показали согласующиеся значения в интервале 169.8 – 0.6 млн лет. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования минералов из руд Ермаковского F–Be-месторождения позволяют сделать вывод, что процессы минералообразования происходили в течение достаточно длительного периода в промежутке 225–170 млн лет назад.

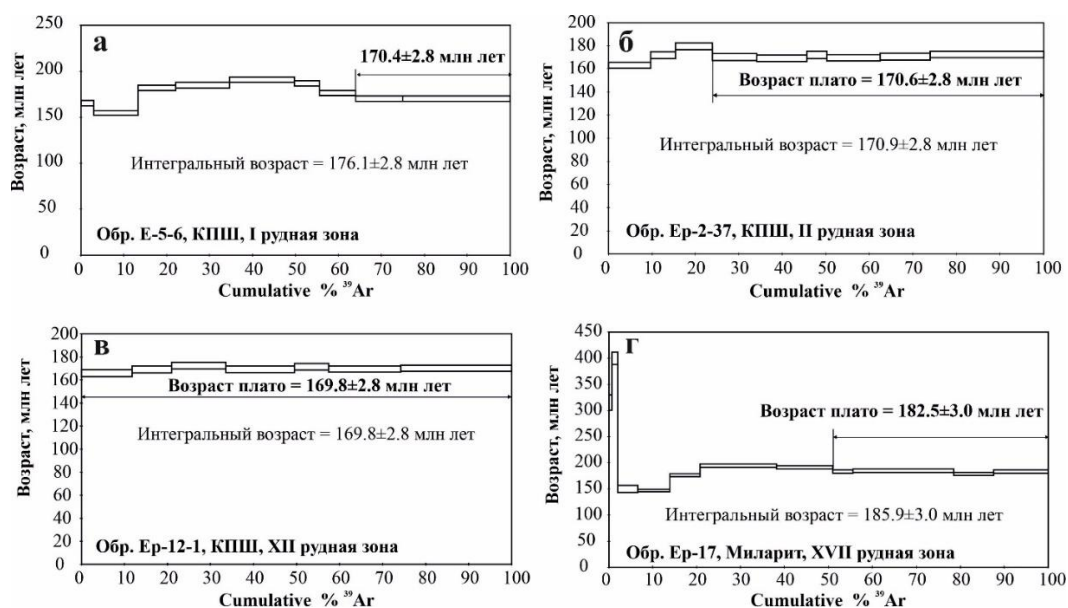


Рисунок 5 – $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -спектры минералов руд Ермаковского F–Be-месторождения: а – КПШ из руд первой рудной зоны (образец Е-5-6); б – КПШ из руд второй рудной зоны (образец Ер-2-37); в – КПШ из руд двенадцатой рудной зоны (образец Ер-12-1); г – миларит из руд семнадцатой рудной зоны (образец Ер-17)

2.2 Редкоземельно-уран-ториевая минерализация в рудах Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения

Булуктаевское месторождение считается близким аналогом W-Mo месторождений крупного Джидинского рудного поля (Юго-Западное Забайкалье, Россия), в составе которого известны Первомайское молибденовое, Инкурское и Холтосонское вольфрамовые месторождения [5]. Особенностью месторождения является его приуроченность к полимиктовой брекчии, слагающей трубообразное тело, к которому примыкает брекчиевая зона кольцевого строения с штокверковой Mo-W минерализацией. Жильные руды на месторождении имеют подчиненное значение. Характерной особенностью руд месторождения является широкое развитие и относительно большое количество U-Th-PЗЭ минералов, кроме которых в рудах присутствуют минералы, относящиеся к следующим классам: сульфиды (молибденит, пирит, галенит, халькопирит), вольфраматы (вольфрамит, шеелит), и молибдаты (повеллит, вульфенит) (рисунок 6).

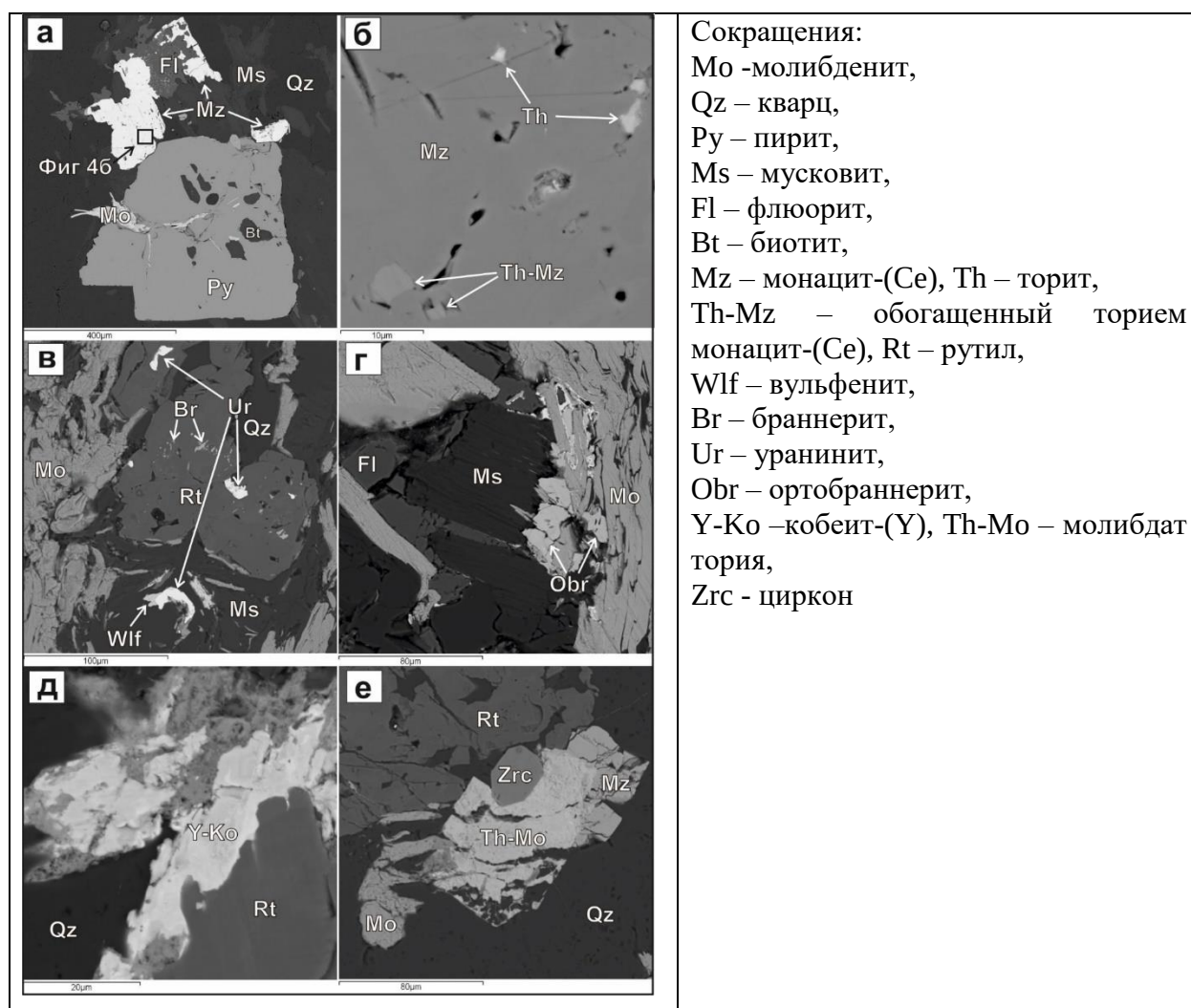


Рисунок 6 – Морфология выделения U-Th-PЗЭ содержащих минералов: а – монацит-(Ce) замещается флюоритом, содержащим тонкую вкрапленность торита. Квадратом

показано положение фиг. 4б; б – микровключения торита в монаците-(Ce), участки монацита-(Ce), обогащенные торием; в – зерно рутила, расположенное вблизи молибденитового агрегата, содержит микровключения браннерита и зерна уранинита, уранинит образует также срастание с вульфенитом; г – зерна ортобраннерита в ассоциации с мусковитом, флюоритом и молибденитом; д – неоднородный агрегат кобеита-(Y), обрастает зерно рутила, серый агрегат – вторичные минералы Ti и Nb, содержащие примеси U и Th; е – метакристалл(?) молибдата тория (Th-Mo) развит на границе зерен рутила, молибденита и монацита. Фотографии в обратно-рассеянных электронах

Среди U-Th-PЗЭ минералов диагностированы следующие фазы: торий-содержащий монацит-(Ce), браннерит, торит, уранинит, а также ранее неизвестные и редкие минералы – фторсодержащий молибдат тория, ортобраннерит и кобеит-(Y). По морфологии и взаимоотношениям уран-торий-редкоземельных минералов с окружающими рудными и породообразующими, можно сделать вывод, что все изученные U-Th-PЗЭ-содержащие минералы были сформированы гидротермальным путем. Ассоциация этих минералов с молибденитом и другими рудными минералами, свидетельствует об их совместном формировании на раннем (молибденитовом) этапе развития Булуктаевского молибден-вольфрамового месторождения, тогда как в рудах позднего (вольфрамитового) этапа эти минералы не обнаружены.

Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б., Тугутова С.З. Редкоземельно-уран-ториевая минерализация в молибденовых рудах Булуктаевского Мо-W месторождения (Западное Забайкалье, Россия)//Геология рудных месторождений. - 2022. - Т. 64. - № 5. - С. 471 - 484. DOI: 10.31857/S0016777022050045.

2.3 Проведены первые исследования физико-химических условий формирования руд Тамирского молибденового рудопроявления (Западное Забайкалье)

Тамирское молибденовое проявление является одним из перспективных объектов Селенгинского рудного района Западного Забайкалья. Рудопроявление представляет собой зону кварц-молибденитовых (с бериллом) жил и прожилков, локализованных в лейкогранитах и гранит-порфирах. Термобарогеохимическими методами изучения индивидуальных флюидных включений (ФВ) в кварце и берилле были получены первые данные об условиях формирования и солевом составе рудообразующих флюидов, сформировавших кварц-молибденитовые руды Тамирского рудопроявления. Были изучены первичные двухфазовые включения из кварца и берилла (рисунок 7).

В результате исследований установлено, что руды Тамирского проявления сформировались из относительно слабосоленых (~3.4 – 11.2 мас. % экв. NaCl) CO₂-содержащих растворов, при понижении температуры в диапазоне от 336 до 215°C.

Основными солевыми компонентами рудообразующих растворов были хлориды Ca, Na и K. По геологическому положению, минеральному составу рудных прожилков, солевому составу растворов и температурам формирования Тамирское рудопоявление может быть сопоставлено с крупнейшим в регионе Первомайским месторождением молибдена, расположенным в Джидинском рудном районе.

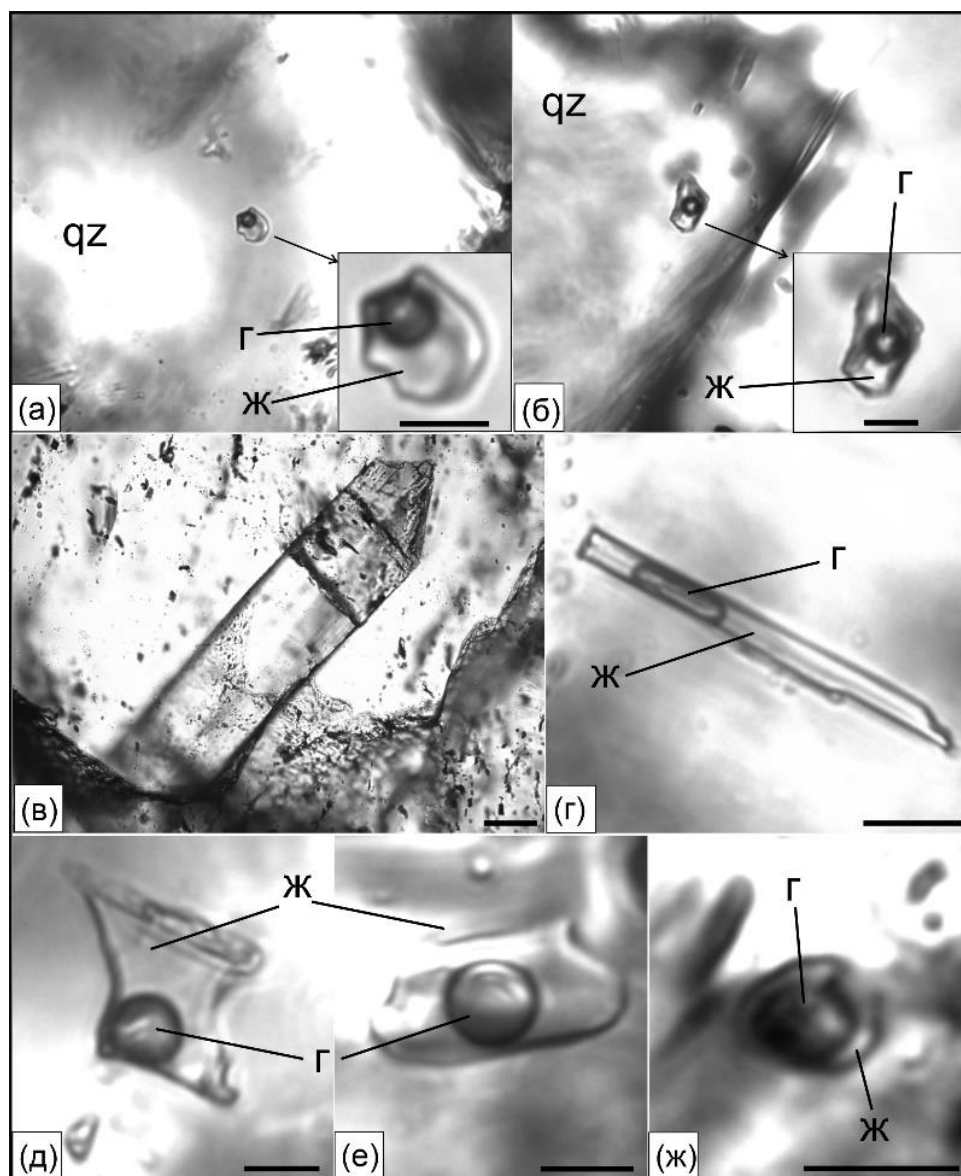


Рисунок 7 – Фотографии первичных флюидных включений в зернах кварца и берилла на Тамирском молибденовом рудопоявлении. а, б – одиночные ФВ в зернах кварца на удалении от трещин и шлейфов вторичных ФВ; в – шестоватый кристалл берилла в зерне кварца; г – удлиненное ФВ в зерне берилла; д–ж – ФВ в зернах берилла. Сокращения: Г – газ, Ж – жидкость. Длина масштабной линейки – 10 мкм, на рис. в – 50 мкм

Дамдинова Л.Б., Елбаев А.Л. Тамирское молибденовое проявление (Западное Забайкалье, Россия): первые данные о физико-химических параметрах формирования//Геология рудных месторождений. - 2022. - Т. 63. - № 6. - С. 1 - 6. DOI: 10.31857/S001677702206003X.

3 Исследования рудной и нерудной минерализации в базит-ультрабазитах

3.1 Петролого-геохимические исследования сульфидоносных пород придонного апофиза Йоко-Довыренского массива

Работы проведены в центральной части Йоко-Довыренского расслоенного дунит-троктолит-габброноритового массива в Северном Прибайкалье. Экспедиционные исследования рудоносного “силла” DV10 в междуречье руч. Большой и Магнетитовый позволили конкретизировать положение контактов тела и подтвердили, что слагающие его плагиоперидотиты и оливиновые габбронориты представляют апофиз, смыкающийся с основанием Йоко-Довыренского массива в срединной части. Впервые отобран представительный разрез апофиза от нижнего до верхнего контакта в месте его наибольшего раздува до 300 м. Он включает четыре типа Cu-Ni сульфидной минерализации в базальной зоне (снизу-вверх):

- 1) пикродолериты нижнего эндоконтакта с сульфидными глобулами;
- 2) оливиновые габбронориты с сульфидными глобулами;
- 3) рудоносные оливиновые габбронориты с неправильной формы глобулами, переходящими в домены сидеронитовой вкрапленности;
- 4) сидеронитовые (сетчатые) руды в матрице оливиновых габброноритов.

Пикродолериты встречаются в нижней зоне апофиза в стратиграфическом интервале до 30 м от нижнего контакта. Петрографические характеристики этих пород отвечают оливиновым орто- и мезокумулатам, за исключением закалочных пикродолеритов с офитовой структурой основной массы. Ассоциация магматических сульфидов (пирротин, халькопирит, пентландит и кубанит) также выдержана по составу, наблюдается относительное снижение доли халькопирита в пропорции этих минералов в образцах, содержащих более 5% сульфидов.

Проведены детальные исследования рудоносных габброноритов и сульфидных руд методами рентгеновской компьютерной томографии. При этом установлено увеличение степени связанности сульфидного материала от 25 до 95% – по мере повышения содержания сульфидов в породах. Минимальной связанности отвечают сульфидные капли близ нижнего контакта, в то время как богатые сидеронитовые руды представляют фактически непрерывную сеть взаимосвязанных сульфидов в оливиновых кумулатах. Эти характеристики, в сочетании с визуальным анализом 3D-моделей, позволяют выделить структурно-морфологический тренд от пород-капельников к сидеронитовым рудам. Зафиксированы переходные типы пород, в которых крупные сульфидные глобулы сопряжены с субсантиметровыми и более крупными доменами сидеронитовой структуры.

Впервые получены данные по хемотратиграфии пород апофиза для элементов платиновой группы (ЭПГ) и теллура. Установлены прямые корреляции концентраций Au, Pt и Pd в породах с серой и теллуром, которые указывают на общий сульфидный носитель этих элементов, который, вероятно, образовался на магматической стадии – как результат силикатно-сульфидной несмесимости в оливиновых протокумулятах. Результаты пересчета концентраций Cu, Au, Pt, Pd и Te в породах на 100%-сульфид позволили установить, что наиболее примитивные и богатые ЭПГ+Au сульфиды отвечают каплям из нижней части апофиза, в то время как сульфиды сидеронитовых руд беднее этими элементами. Эти выводы подкреплены термодинамическим моделированием при помощи программы КОМАГМАТ-5, это позволило подтвердить первичный характер сульфидных капель из зоны эндоконтакта и оценить вероятный состав наиболее примитивного протосульфидного расплава для магмы апофиза DV10 и средние содержания в протосульфидном расплаве (в ppm): 2.9 Au, 14.4 Pt, 25.1 Pd, 44.3 Te. Результаты геохимических исследований сульфидных фракций из сидеронитовых руд указывают на неоднородный состав рудных образцов, проявленный в виде участков минерализации в масштабе первых десятков сантиметров, относительно богатых медью (рисунок 8), ЭПГ и теллуром по сравнению с преобладающей матрицей пирротин-троилитового состава. Это свидетельствует о возможности отделения и миграции более медистых дериватов протосульфидной жидкости в интеркумулусном пространстве в масштабе первых десятков сантиметров.

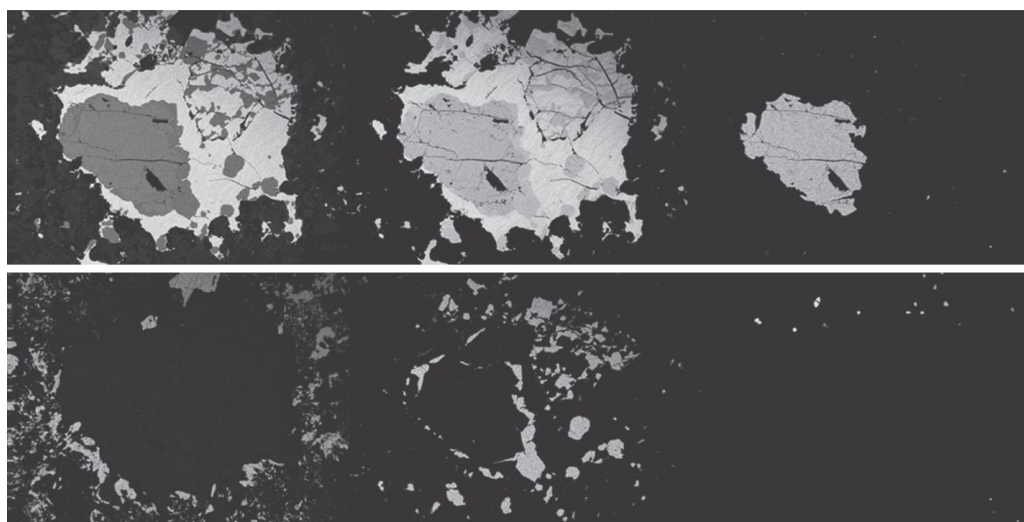


Рисунок 8 – Элементные карты содержаний (слева направо) для одного из сечений образца 16DV627-1-2: S, Fe, Ni (верхний ряд), Cu, K, P (нижний ряд)

Пшеницын И.В., Арискин А.А., Николаев Г.С., Корост Д.В., Япаскурт В.О., Кислов Е.В., Соболев С.Н., Кубракова И.В., Тютюнник О.А. Геохимия и петрология протосульфидных расплавов в рудоносном апофизе Йоко-Довыренского интрузива// Геохимия. - 2022. - Т. 67. - № 3. - С. 205 - 226. DOI: 10.31857/S0016752522030062.

3.2 Геохимия и геохронология Ехэ-Шигнинского офиолитового массива

Получены новые результаты минералого-геохимических и геохронологических исследований пород Ехэ-Шигнинского офиолитового массива, расположенного в Тувино-Монгольском микроконтиненте в северной части Центрально-Азиатского складчатого пояса (Восточный Саян). Ехэ-Шигнинский ультрабазитовый массив входит в состав Бельско-Дугдинского офиолитового пояса. Офиолитовый массив сложен серпентинизированными дунитами и гарцбургитами, подстилаемыми серпентинитовым меланжем. Гарцбургиты частично преобразованы в серпентин-пироксеновые и серпентин-амфиболовые породы. В серпентинитовом меланже встречаются участки тальк-карбонатных и хлоритовых пород. Габброиды слагают округлое в плане тело в центральной части массива, а также дайки мощностью от нескольких десятков метров до полукилометра в поперечнике. Габброиды, в основном, представлены амфиболовыми габбро различной зернистости и габбро-диоритами. На контактах даек габброидов и ультрамафитов расположены зоны дробления, сложенные тальково-карбонатными, хлорит-цоизит-амфиболовыми породами. Результаты U-Pb и Ar-Ar датирования пород Ехэ-Шигнинского массива позволяют предположить, что начало формирования офиолитов Бельско-Дугдинского пояса произошло около 805 млн лет назад. В период с 805 по 687 млн лет габброиды были подвержены деформациям, в связи с эпигенетическими тектоно-термальными событиями, что нашло отражение в наличии соответствующих Ar-Ar (736 млн лет) и U-Pb (687,5 млн лет) датировок. Геохимические характеристики габбро указывают на их формирование в обстановке задугового бассейна. Таким образом, структурное положение, возраст и геохимические характеристики базит-ультрабазитов Ехэ-Шигнинского массива указывают на их формирование в обстановке задугового бассейна Шишхидской энсиматической островной дуги, развивавшегося в период 810-750 млн лет (рисунок 9).

Предполагается, что вместе с одновозрастными образованиями Окинской аккреционной призмы и Сархойской активной окраины офиолиты Шишхидской островной дуги образовались на конвергентной окраине суперконтинента Гондвана. Фундамент этого суперконтинента представлен архейско-раннедокембрийскими кристаллическими породами и карбонатным чехлом («Гарганская глыба»).

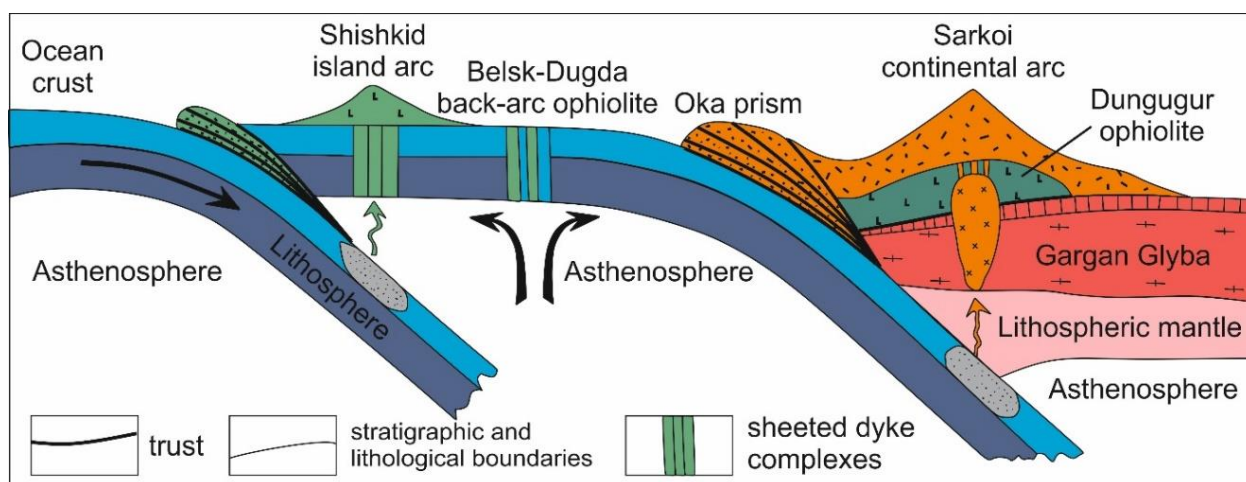


Рисунок 9 – Палеогеодинамическая реконструкция комплексов Тувино-Монгольского микроконтинента на период 810-750 млн лет

Zhmodik S.M., Buslov M.M., Damdinov B.B., Mironov A.G., Khubanov V.B., Buyantuyev M.D., Damdinova L.B., Airiyants E.V., Kiseleva O.N., Belyanin D.K. *Mineralogy, Geochemistry, and Geochronology of the Yehe-Shigna Ophiolitic Massif, Tuva-Mongolian Microcontinent, Southern Siberia: Evidence for a Back-Arc Origin and Geodynamic Implications*//*Minerals*. - 2022. - Vol. 12. 390. DOI: 10.3390/min12040390.

3.3 Компьютерное моделирование формирования рудоносных родингитов

Для выяснения происхождения рудоносных родингитов, известных в метаморфизованных офиолитовых породах Восточного Саяна, проведено компьютерное моделирование условий и форм растворения, отложения и переноса Cu, Pb, Zn и сопутствующих Hg, Te, As, Sb при образовании апопироксенитовых родингитов в условиях избытка воды в системе Si–Ti–Al–Fe–Mg–Ca–Na–K–H–O–S–Cl–Au–Ag–Pt–Pd–Hg–Cu–Pb–Zn–Te–As–Sb– $\bar{e}$. Расчёт на ПК «Селектор» показал, что в узкой по температуре области существования равновесной родингитовой ассоциации (350 – 400°C и 2 – 8 кбар) Cu осаждается в количестве до ~81 отн. %: при давлениях 2 – 3 кбар – в виде борнита, а при более высоких – в виде халькозина (рисунок 10, а). В растворе по всей системе Cu переносится преимущественно в свободной (2.64×10^{-2} мг/л) и хлоридных формах (до $n \times 10^{-3}$ мг/л), а также в форме оксид- и гидроксид-ионов (до $n \times 10^{-5}$ мг/л). Pb в этих условиях осаждается только в виде галенита (до ~92 отн. %) на всём интервале модельных давлений (рисунок 10, б); в растворе равновесен в оксидной форме PbO^0 (до 3.53×10^{-1} мг/л), в виде хлорид-, оксид- и гидроксид-ионов (до $n \times 10^{-2}$ мг/л), а также гидросульфид-ионов (до $n \times 10^{-3}$ мг/л). Zn равновесен с модельным родингитом в виде сфалерита (с постепенным уменьшением от 100 отн. % при 2 кбар до ~18 отн. % при 7 кбар) и виллемита (до ~30 отн. % при 6–7 кбар); в растворе – в виде оксид- и гидроксид-ионов (до n мг/л), в хлорид-ионах (до $n \times 10^{-1}$ мг/л), а также в виде Zn^{+} (до 8.0×10^{-4} мг/л).

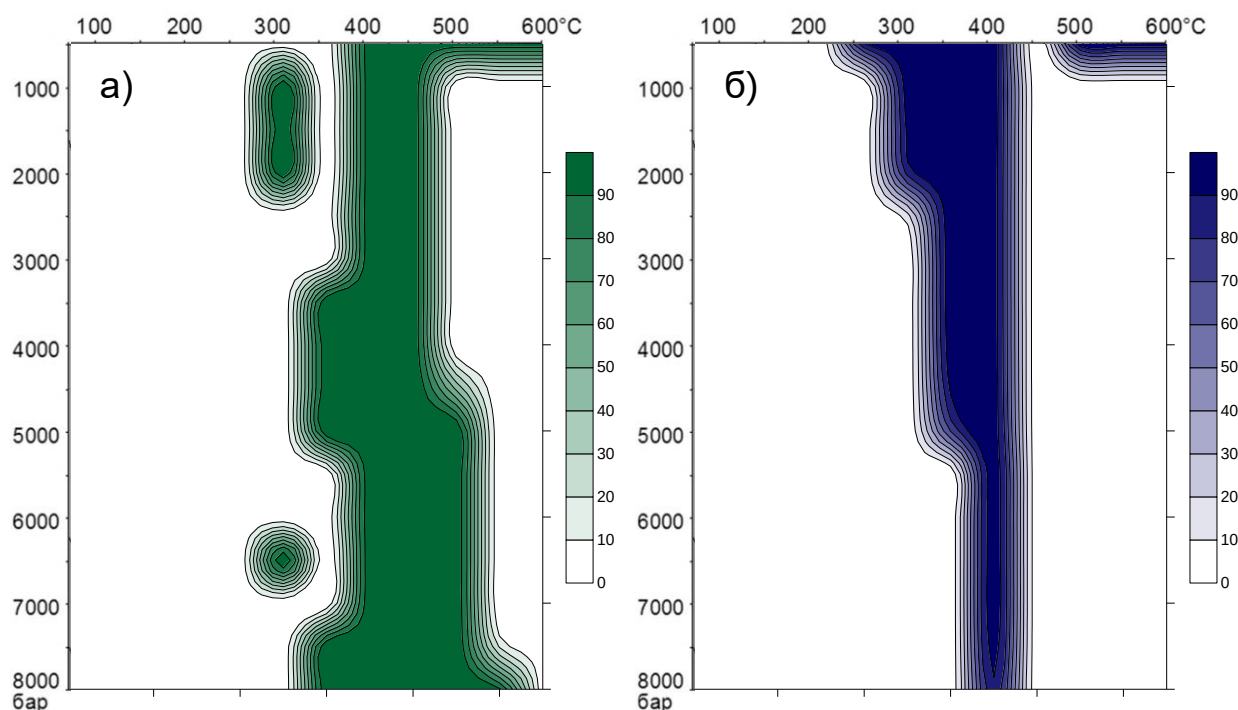


Рисунок 10 – Доля осаждённого компонента от исходной его массы (%):
а - Cu в виде халькозина Cu_2S ; б - Pb в виде галенита PbS

Таким образом, определены не только условия генезиса данной родингитовой ассоциации (андрадит+клинохлор+диопсид), но и механизмы переноса и осаждения полиметаллов при её формировании, что может являться поисковым и оценочным признаком.

Васильев В.И., Дамдинов Б.Б. Полиметаллическое оруденение в родингитах Восточного Саяна (физико-химическая модель) // Тезисы докладов XVIII Российского совещания по экспериментальной минералогии / г. Иркутск, (сентябрь 2022 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022 – С. 20–21.

3.4 Изучены особенности происхождения «базальтового» сапфира

Охарактеризовано месторождение сапфира в россыпи ручья Нарын-Гол Джидинского вулканического поля (Западное Забайкалье). Окраска голубая, светло-голубая, зеленая, желтая, серая, коричневая, розовая при преобладании голубых и светло-голубых тонов. Обычна зональная и пятнистая окраска, в том числе секторальная (трапиче, рисунок 11) – вторая находка в России, первая находка в России «базальтового» трапиче сапфира – редкой ювелирной разновидности корунда. Сапфир ассоциирует с крупными кристаллами граната, шпинели, авгита, оливина, энстатита, ильменита, титаномагнетита и щелочного полевого шпата.

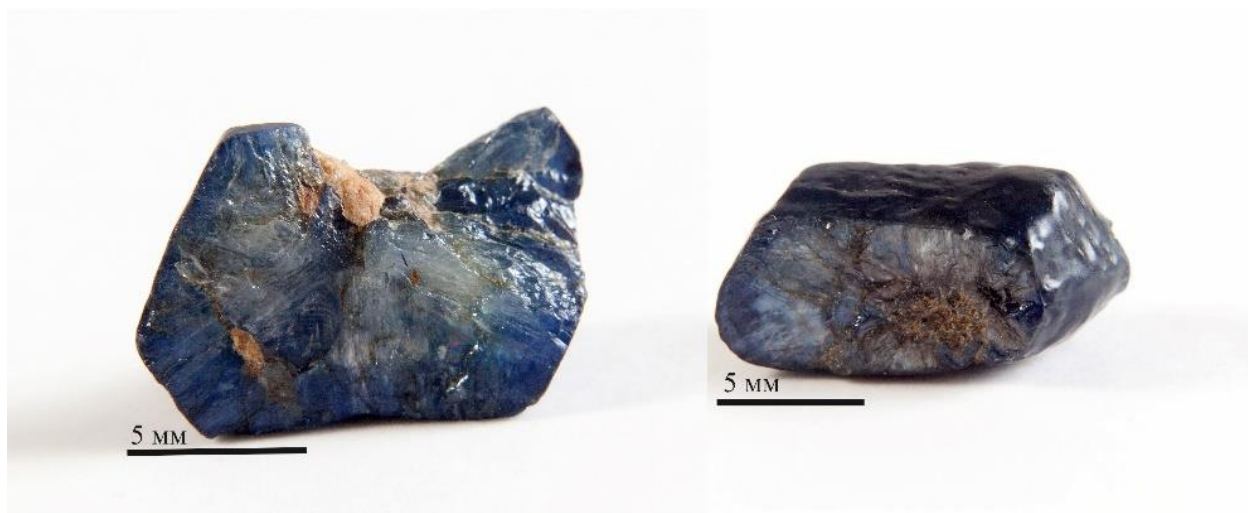


Рисунок 11 – Трапиче сапфиры: слева – сколотый по отдельности крупный призматический кристалл со сколами и индукционными поверхностями совместного роста с другими кристаллами, оплавленный и корродированный, с включениями измененного полевого шпата; справа – уплощенный призматический кристалл с оплавленными и корродированными гранями

Сапфиры из россыпи идентичны кристаллам из расположенных поблизости «вершинных» фонотефритов кайнозойского щелочно-базальтового вулкана Барун Хобол Правый и «долинных» базальтов и трахибазальтов. Химический состав сапфира в целом типичен для «базальтового» корунда: он богат Fe и беден Ti и Cr. Значения SMOW $\delta^{18}\text{O}$ корунда и других мегакристаллов колеблются от 4,6 до 6,8 ‰, что соответствует изотопной метке магматических пород. Травление и коррозия поверхности сапфира и других мегакристаллов указывают на то, что они были в неравновесии с транспортирующими щелочными базальтами. Летучие компоненты, в частности CO_2 , сыграли значительную роль при образовании сапфира, что подтверждается составом газовых включений. Предположено, что «вершинные» вулканиты - источник сапфира и санидина, а «долинные» — сапфира, пироксена и граната. Мегакристы не кристаллизовались из базальтовых расплавов, а лишь транспортировались ими из верхней мантии.

Kislov E.V., Aseeva A.V., Vanteev V.V., Sinyov A.Yu., Eliseeva O.A. Naryn-Gol Creek Sapphire Placer Deposit, Buryatia, Russia/Minerals. - 2022. - Vol. 12. 509. DOI: 10.3390/min12050509.

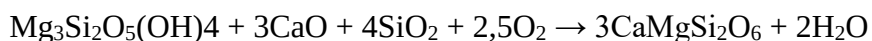
3.5 Предложена эмпирическая геолого-генетическая модель формирования нефрита Баженовского месторождения хризотил-асбеста, Средний Урал

На Баженовском месторождении хризотил-асбеста выявлены тела апоультрамафитового нефрита, относящиеся к наиболее продуктивному генетическому типу – жилам в контакте апогаббровых родингитов с серпентинитами. Окраска нефрита однородная до неоднородной, насыщенная зеленая до яблочно-зеленой, травяно-зеленой, шпинатно-зеленой, серовато-зеленой, светло-зеленой, белесой. Иногда отмечаются пятна,

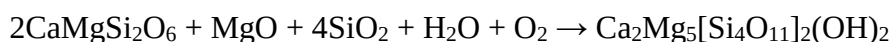
прожилки, линзочки яркого синевато-зеленого или, наоборот, светло-зеленого цвета. Нефрит состоит преимущественно из тремолита, хромит ухудшает качество поделочного камня, но его замещает хромистыйgrossуляр, придающий нефриту более яркую зеленую окраску.

Нефрит Баженовского месторождения отвечает требованиям, предъявляемым к поделочному камню. Качество нефрита снижают примеси серпентина и талька, трещиноватость из-за проведения буровзрывных работ. Особенность нефрита Баженовского месторождения – постоянное присутствие никелина, маухерита и уваровита. Зеленая окраска связана с ионами Fe^{2+} . Хромистыйgrossуляр, замещающий хромит, вызывает появление локальных ярких голубовато-зеленых пятен (рисунок 12).

Формирование нефрита проходило в два этапа. На прогрессивном этапе серпентинит замещался диопсидитом:



На регрессивном этапе диопсидит замещался нефритом:



Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что в происхождении нефрита Баженовского месторождения сочетались тектонические и метасоматические процессы. Модель применима и к месторождениям зеленого нефрита, широко распространенным в офиолитовых поясах Саяно-Байкальской складчатой области.



Рисунок 12 – Шар из нефрита Баженовского месторождения, диаметр 5 см

Кислов Е.В., Ерохин Ю.В., Попов М.П., Николаев А.Г. Нефрит Баженовского месторождения хризотил-асбеста, Средний Урал//Геосферные исследования. - 2022. - № 3. - С. 40 - 59. DOI: 10.17223/25421379/24/3.

4 Прикладные исследования

4.1 Разработана программа-оболочка для базы данных минералов, химических соединений и простых веществ Vladi Minerals Database Management System 1.0

Программа позволяет создавать, редактировать, сохранять и удалять записи в текстовой базе данных минералов, химических соединений и простых веществ. Каждая запись содержит название вещества, его химическую формулу и описание (каждое поле может иметь размер до 1024 символов). При вводе химическая формула проверяется на правильность, для вещества автоматически рассчитывается молекулярная (атомная) масса и содержание в нём химических элементов в массовых процентах. Реализованы возможность сортировки записей по названию, химической формуле и молекулярной массе как по возрастанию, так и по убыванию, а также возможность поиска записей в базе по любому полю. Содержащиеся в веществе химические элементы и их массовые проценты также выводятся в виде таблицы с возможностью сортировки по названию и по содержанию в веществе. Программа работает в Microsoft Windows 98/Me/XP/Vista/7/8/10 (рисунок 13).

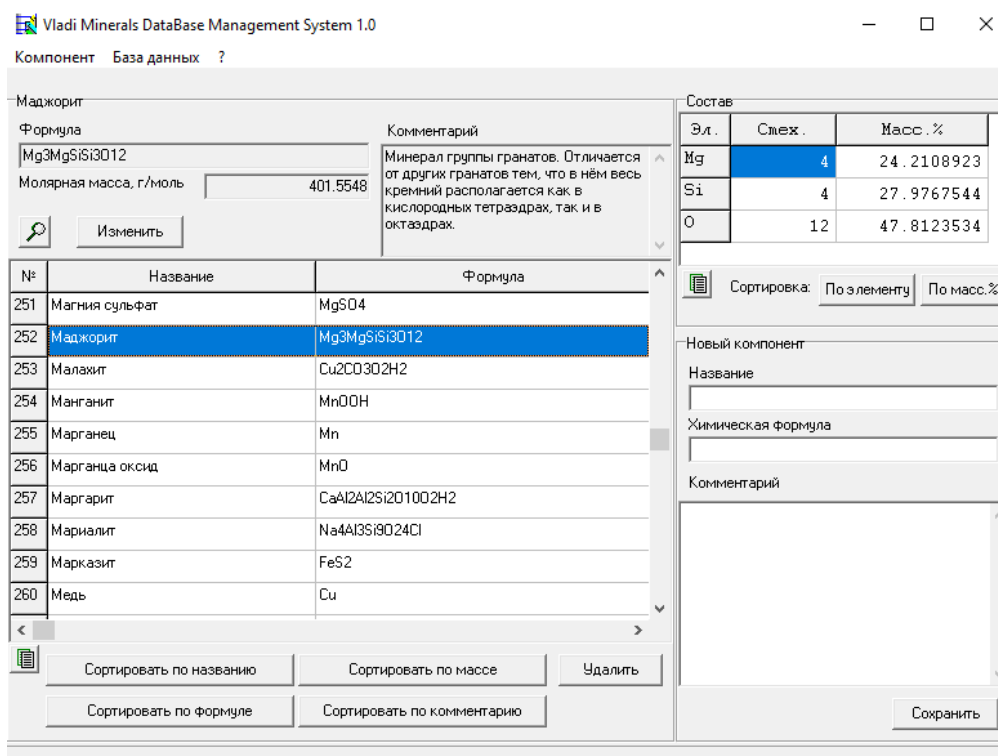


Рисунок 13 – Внешний вид главного окна программы Vladi Minerals Database Management System 1.0

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022663510. Российская федерация. Vladi MinDBMS – программа-оболочка для базы данных минералов, химических соединений и простых веществ / Васильев В.И.; правообладатель ГИН СО РАН (RU). – №2022662740; заявл. 01.07.2022; зарегистр. 15.07.2022; опубл. 15.07.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 7.

4.2 Разработан ряд экспресс-методик РФА примесных и рудных элементов

Отлаженные методики РФА позволяют анализировать около 50 элементов в горных породах и рудах, почвах и техногенных отвалах, донных отложениях и золах: из примесных Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Th, U с нижними пределами определения (НПО) 2 – 4 ppm; Cu, Zn, Ga, Ge, Se, As, Br, Hf, Ta, W, Pb, Bi выше 5 – 6 ppm; Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, Ce, Hg выше 10 – 12 ppm. При экспресс-анализах пробы засыпаются в кюветы с дном из тонкой пленки и уплотняются, при этом загрязнения и расход навески практически исключены.

На патентованном и разработанном нами поляризационном спектрометре ЭДПС-1 пределы обнаружения для элементов от Pd, Ag до Ba были порядка 0.5 – 2 ppm.

В одной из методик за 10 – 12 минут определяются 25 вмещающих, примесных и рудных элементов: порообразующие от Na до Fe, дополнительно S, Cl, Zn, As, Sb, Pb с высокими содержаниями (в пиритах, сфалеритах, галенитах, карбонатах, титаномагнетитах, донных осадках, конкрециях и концентратах), а также La, Cs, Ba, Sb, Sc, V, Cr, Co, Ni с относительно малыми содержаниями.

Одновременный анализ 25 элементов позволил лучше учесть характерные для РФА спектральные искажения и матричные эффекты. Число аддитивных и мультипликативных коэффициентов влияния и объем работ при градуировке возросло в геометрической прогрессии при включении большого числа элементов и фоновых точек в одну методику. Градуировочные графики строились с использованием около 150 стандартных образцов горных пород, руд, почв и донных отложений.

В ряде проб редкометальных и сульфидных руд месторождений Забайкалья были обнаружены пробы с повышенными содержаниями Ag, Cd, Sn, Sb, Bi, Hg (часто ассоциированных с золотом), а также таких редких элементов, как Sc, Ge, Se, In, Te.

Известный способ стандарта – фона позволяет косвенно учесть изменение поглощающей способности матрицы. Однако способ плохо работает при наличии в пробе элементов с концентрацией выше 2 – 3% на участке спектра между реперной и аналитической линиями, так как коэффициенты поглощения в образце излучении выше и ниже потенциала возбуждения отличаются на величину скачка поглощения, т.е. в несколько раз при высоких содержаниях. Поэтому способ стандарта – фона нами был модифицирован, в результате чего были получены следующие преимущества:

1) Продублированы градуировки ряда элементов по абсолютным интенсивностям и по способу стандарта – фона, причем для элементов от Ca и выше в качестве реперных линии выбрали неупруго рассеянное излучение K – серии и линию L – серии родия с большим и малым весовыми коэффициентами. При анализе легких компонент бралось обратное соотношение весов. Разные калибровки и, по сути, разные методики анализа, с

разными коэффициентами влияния на Ca, Ti, V, Cr и Fe дали практически совпадающие результаты;

2) Как и ожидалось, способ стандарта – фона уменьшает погрешности при больших содержаниях фтора, кислорода, углерода и других не определяемых легких элементов. В ряде случаев графики градуировки становятся практически линейными;

3) При РФА без оценки потерь при прокаливании (ППП) содержания CaO в кальцитах и в карбонатных породах с высокими содержаниями углерода не ложатся на одну кривую. Поэтому содержания кальция до 15-20% и выше определялись по разным градуировкам (рисунок 14);

4) В пробах с содержаниями, определенными в пересчете на Fe_2O_3 , часто сумма превышает 100% в сульфидных рудах, титаномагнетитах и породах с высоким содержанием FeO. Заказчик анализа, зная тип руды, может оценить по полученным данным содержание пирита (FeS_2) в сульфидах или пересчитать CaO на CaF_2 в флюоритах.

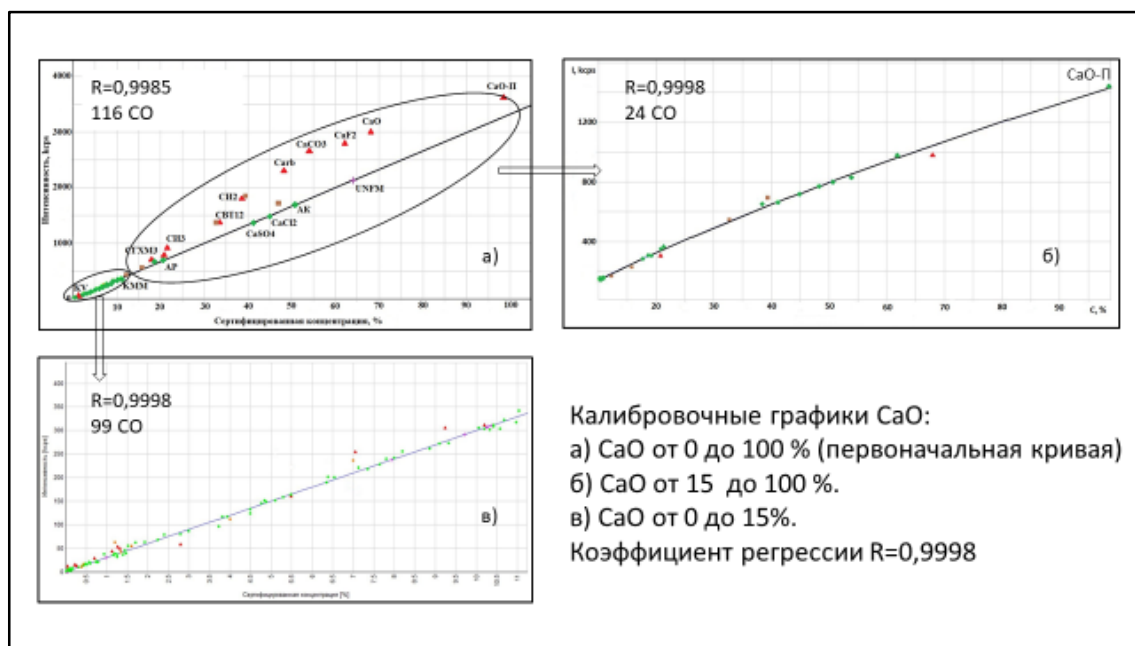


Рисунок 14 – Калибровочные графики для расчета концентраций CaO

Канакин С.В., Хубанов В.Б., Жалсараев Б.Ж., Посохов В.Ф., Дампилова Б.В., Хромова Е.А., Хубанова А.М., Лыгденова Б.Б. Центр коллективного пользования «ГЕОСПЕКТР» Геологического института СО РАН//Геодинамика и тектонофизика. - 2022. - Т. 13. - № 2. - С. 1 - 5. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0583.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На этапе 2022 года исследования по проекту были сосредоточены на изучении месторождений благородных, редких и цветных металлов. Установлены физико-химические условия формирования крупнейшего в Восточном Саяне Зун-Холбинского золото-кварц-сульфидного месторождения, что в совокупности с данными по геологическому положению, вещественному составу и изотопно-геохимическим характеристикам руд позволило предложить новую модель его генезиса. Проведены минералогические и термобарогеохимические исследования вольфрам-молибденовых месторождений Западного Забайкалья – региона, где известны объекты мирового уровня – месторождения Джидинского рудного поля. Получены новые данные об изотопном возрасте одного из крупнейших в мире, Ермаковского фтор-бериллиевого месторождения, что позволило сделать вывод о длительной эволюции рудообразующих процессов на этом объекте. Продолжены исследования базит-ультрабазитов разной формационной принадлежности, развитых в пределах Саяно-Байкальской складчатой области, и связанных с ними месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых. Для понимания условий и механизмов формирования полиметаллического оруденения проведены экспериментальные исследования и компьютерное моделирование процессов гидротермальной миграции компонентов сульфидных руд в эндогенных условиях при повышенных Р-Т параметрах. Модернизирована методика рентгено-флюоресцентного анализа для экспрессного одновременного определения 50 элементов-примесей в горных породах и рудах. Все полученные в 2022 году результаты соответствуют заявленной цели проекта – разработке геолого-генетических моделей разнотипных рудообразующих систем. В течение 2022 года по теме проекта опубликовано 13 статей в рецензируемых изданиях, индексируемых в зарубежных и российских информационно-аналитических системах научного цитирования, в том числе 3 статьи в изданиях, входящих во второй квартиль (Q2) в международных базах данных (WoS, Scopus и др.). Получено три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Миронов А.Г., Жмодик С.М. Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) //Геология рудных месторождений. – 1999. – Т.41. – № 1. – С.54 – 69.
- 2 Дамдинов Б. Б., Дамдинова Л. Б., Жмодик С. М., Миронов А. Г. Состав и условия формирования золотоносных пирротиновых руд Восточного Саяна (на примере рудопроявления Ольгинское) //Геология и геофизика. 2019. – Т. 60. – №5. – С. 666 – 687.
- 3 Куприянова И.И., Шпанов Е.П., Гальченко В.И. Ермаковское флюорит-бериллиевое месторождение (Западное Забайкалье, Россия). – М.: ВИМС, 2009. – 309 с.
- 4 Лыхин Д.А., Ярмолук В.В. Западно-Забайкальская бериллиевая провинция: месторождения, рудоносный магматизм, источники вещества. – М.: ИГЕМ РАН, ГЕОС, 2015. – 256 с.
- 5 Гордиенко И.В., Гороховский Д.В., Смирнова О.К., Ланцева В.С., Бадмацыренова Р.А., Орсов Д.А. Джидинский рудный район: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования, прогнозы и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. – 2018. – Т. 60. – № 1. С. 3 – 37.

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 2022 год:

- 1 Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б., Тугутова С.З. Редкоземельно-уран-ториевая минерализация в молибденовых рудах Булуктаевского Мо-W месторождения (Западное Забайкалье, Россия) //Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 64. – № 5. – С. 471 – 484. DOI: 10.31857/S0016777022050045.
- 2 Дамдинов Б.Б., Дамдинова Л.Б., Юдин Д.С. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -датирования руд Ермаковского F–Ве-месторождения (Западное Забайкалье, Россия) //Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 505. – № 1, С. 18 – 23. DOI: 10.31857/S2686739722070064.
- 3 Дамдинов Б. Б., Котельников А. Р., Сук Н. И., Дамдинова Л. Б., Котельникова З. А., Ахмеджанова Г. М., Шаповалов Ю. Б. Экспериментальные исследования транспорта компонентов сульфидных руд в присутствии флюидной фазы при повышенных РТ-параметрах //Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2022. – Т. 507. – №2. – С. 209 – 216. DOI: 10.31857/S2686739722600655.
- 4 Дамдинова Л.Б., Елбаев А.Л. Тамирское молибденовое проявление (Западное Забайкалье, Россия): первые данные о физико-химических параметрах формирования//Геология рудных месторождений. – 2022. – Т. 63. – № 6. – С. 1 – 6. DOI: 10.31857/S001677702206003X.
- 5 Дамдинова Л.Б., Сажина Т.И., Дамдинов Б.Б. Минералогия и условия формирования руд Холтосонского вольфрамового месторождения//Науки о Земле и недропользование. – 2022. – Т. 45. № 1. – С. 34 – 49. DOI: 10.21285/2686-9993-2022-45-1-34-49.
- 6 Канакин С.В., Хубанов В.Б., Жалсараев Б.Ж., Посохов В.Ф., Дампилова Б.В., Хромова Е.А., Хубанова А.М., Лыгденова Б.Б. Центр коллективного пользования «ГЕОСПЕКТР» Геологического института СО РАН//Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 2. – С. 1 – 5. DOI: 10.5800/GT-2022-13-2-0583.
- 7 Кислов Е.В., Ерохин Ю.В., Попов М.П., Николаев А.Г. Нефрит Баженовского месторождения хризотил-асбеста, Средний Урал//Геосферные исследования. – 2022. – № 3. – С. 40 – 59. DOI: 10.17223/25421379/24/3.
- 8 Пшеницын И.В., Арискин А.А., Николаев Г.С., Корост Д.В., Япаскурт В.О., Кислов Е.В., Соболев С.Н., Кубракова И.В., Тютюнник О.А. Геохимия и петрология

протосульфидных расплавов в рудоносном апофизе Йоко-Довыренского интрузива// Геохимия. – 2022. – Т. 67. – № 3. – С. 205 – 226. DOI: 10.31857/S0016752522030062.

9 Цыпукова С.С., Перепелов А.Б., Демонтерова Е.И., Иванов А.В., Дриль С.И., Кузьмин М.И., Травин А.В., Щербаков Ю.Д., Пузанков М.Ю., Канакин С.В. Два этапа кайнозойского щелочно-базальтового вулканизма Дархатской впадины (Северная Монголия) – геохронология, геохимия и геодинамические следствия//Геодинамика и тектонофизика. – 2022. – Т. 13. – № 3. – С. 1 – 15. DOI: 10.5800/GT-2022-13-3-0613.

10 Damdinov B.B., Goryachev N.A., Moskvitina M.L., Damdinova L.B., Izvekova A.D., Reutsky V.N., Posokhov V.F., Artemyev D.A. Zun-Kholba Orogenic Gold Deposit, Eastern Sayan, Russia: Geology and Genesis//Minerals. – 2022. – Vol. 12. 395. DOI: 10.3390/min12040395.

11 Karmanov, N. S., Kanakin, S. V., Lavrent'ev, Y. G. Integral bremsstrahlung energy as an inbuilt standard in energy-dispersive electron probe microanalysis//X-Ray Spectrometry. – 2022. – Vol. 51. No. (5-6). – P. 444 – 453. DOI: 10.1002/xrs.3301.

12 Kislov E.V., Aseeva A.V., Vanteev V.V., Sinyov A.Yu., Eliseeva O.A. Naryn-Gol Creek Sapphire Placer Deposit, Buryatia, Russia//Minerals. – 2022. – Vol. 12. 509. DOI: 10.3390/min12050509.

13 Zhmodik S.M., Buslov M.M., Damdinov B.B., Mironov A.G., Khubanov V.B., Buyantuyev M.D., Damdinova L.B., Airiyants E.V., Kiseleva O.N., Belyanin D.K. Mineralogy, Geochemistry, and Geochronology of the Yehe-Shigna Ophiolitic Massif, Tuva-Mongolian Microcontinent, Southern Siberia: Evidence for a Back-Arc Origin and Geodynamic Implications//Minerals. – 2022. – Vol. 12. 390. DOI: 10.3390/min12040390.

Результаты интеллектуальной деятельности:

1 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022618956. Российская федерация. Vladi GRDConverter – программа конвертации текстовых таблиц в формат Golden Software Surfer / Васильев В.И.; правообладатель ГИН СО РАН (RU). – №2022617880; заявл. 28.04.2022; зарегистр. 18.05.2022; опубл. 18.05.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 5.

2 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022663510. Российская федерация. Vladi MinDBMS – программа-оболочка для базы данных минералов, химических соединений и простых веществ / Васильев В.И.; правообладатель ГИН СО РАН (RU). – №2022662740; заявл. 01.07.2022; зарегистр.

15.07.2022; опубл. 15.07.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 7.

3 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022682346. Российская федерация. Vladi Cluster Q – программа, реализующая алгоритм кластерного Q-анализа / Васильев В.И.; правообладатель ГИН СО РАН (RU). – №2022681716; заявл. 14.11.2022; зарегистр. 22.11.2022; опубл. 22.11.2022. – Официальный бюллетень «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем», № 12.