

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 553.411(571.1/.5)

№ гос. рег. АААА-А17-117011650012-7

Инв. № 3

УТВЕРЖДЕНО

РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА

Протокол № 10 от "17" декабря 2020 г.

Председатель Ученого совета

Врио директора института, д.г.-м.н.

А.А. Цыганков



ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Проект IX.130.3.3. Рудообразующие системы Саяно-Байкальской складчатой области (благородные металлы, поликомпонентные руды, нетрадиционные типы рудной минерализации)
(заключительный)

Номер проекта в ИС управления НИР

0340-2019-0003

IX.130. Рудообразующие процессы, их эволюция в истории Земли, металлогенические эпохи и провинции и их связь с развитием литосферы. Условия образования и закономерности размещения полезных ископаемых

Программа IX.130.3. Формирование и эволюция рудномагматических систем различных геодинамических обстановок

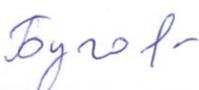
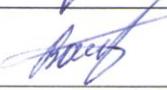
Научный руководитель,

кандидат геол.-минерал. наук, доцент

Е.В. Кислов

Улан-Удэ, 2020

Список исполнителей

Должность	Подпись	ФИО
заведующий лабораторией, кандидат геолого- минералогических наук, доцент		Кислов Е.В.
главный научный сотрудник, доктор геолого- минералогических наук		Татаринов А.В.
ведущий научный сотрудник, кандидат геолого- минералогических наук, доцент		Кислов Е.В.
ведущий научный сотрудник, доктор геолого- минералогических наук		Дамдинов Б.Б.
старший научный сотрудник, кандидат геолого- минералогических наук		Яловик Л.И.
младший научный сотрудник, кандидат геолого- минералогических наук		Гармаев Б.Л.
ведущий инженер, кандидат геолого-минералогических наук		Бугаева Н.Г.
инженер 1 категории		Сметанина Н.Г.
инженер 2 категории		Мальшев А.В.
инженер		Извекова А.Д.
инженер-лаборант		Барышникова Н.М.
инженер-лаборант		Ранжурова М.А.
лаборант		Москвитина М.Л.
лаборант		Вантеев В.В.

Реферат

Отчет 44 стр., 1 кн., 1 табл., 32 рис., 18 источн., 1 прил.

РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ, БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ, МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ ОРУДЕНЕНИЯ, МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ

Цель проекта – создание эволюционных моделей формирования рудообразующих систем Саяно-Байкальской складчатой области, продуцирующих рудную минерализацию поликомпонентного состава на основе петролого-геохимических исследований.

Работы по проекту в основном были сосредоточены в трех рудных районах Западного Забайкалья: Еравнинском (Озернинский рудный узел), Северо-Байкальском и Восточно-Саянском. Разработаны геолого-генетические модели рудообразующих систем Озерного свинцово-цинкового, Назаровского золото-цинкового и Зун-Оспинского золоторудного месторождений. Выделены типы полиметальной и нерудной минерализации Йоко-Довыренского массива в Северном Прибайкалье, сформулирована модель ее формирования различными геологическими процессами в ходе длительной эволюции, раскрыта проблема комплексного использования минерального сырья. Выделены раннепалеозойский аккреционно-коллизийный (500-400 млн. лет) и позднепалеозойский сдвиговый (380-350 млн. лет) этапы формирования золоторудного оруденения юго-восточной части Восточного Саяна. Проведена типизация золоторудных месторождений и рудопроявлений, локализованных в различных структурно-металлогенических зонах юго-восточной части Восточного Саяна. Созданы эволюционные модели формирования рудообразующих систем, продуцирующих благороднометалльную минерализацию в зеленокаменных поясах Забайкалья. Получена новая информация по геологии и вещественному составу ряда месторождений и проявлений этих рудных районов, а также центральной части Западного Забайкалья. Представлен анализ особенностей формирования и освоения минерально-сырьевого сектора Республики Бурятия, выявлены проблемы, тормозящие его развитие.

Содержание

Введение.....	5
Основная часть.....	6
Важнейшие результаты.....	6
Основные результаты блока I.....	10
Основные результаты блока II	19
Основные результаты этапа 2020 г.....	31
Заключение.....	39
Список использованных источников.....	43
Приложение А.....	45

Введение

Цель проекта – создание эволюционных моделей формирования рудообразующих систем Саяно-Байкальской складчатой области, продуцирующих рудную минерализацию (благороднометалльная) поликомпонентного состава, нетрадиционных типов на основе петролого-геохимических исследований.

Предусматривалось решение следующих основных задач:

1. Рудногеохимическая и минеральная типизация месторождений, проявлений с комплексными рудами, локализованных в разновозрастных ультрабазит-базитовых массивах и телах гранитоидов, а также в других типах пород, расположенных в ареалах их распространения.

2. Выявление геохимических индикаторов связи рудообразования с магматизмом и флюидодинамикой рудообразующих систем.

3. Установление источников вещества для различных типов комплексных руд на основе петролого-геохимических и изотопно-геохимических данных.

4. Изучение и типизация механизмов геохимической мобилизации, рассеивания, концентрирования рудного вещества на различных этапах формирования рудообразующих систем.

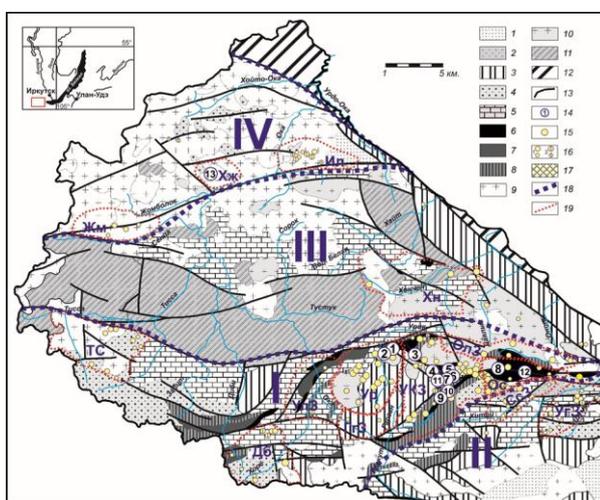
5. Металлогеническая типизация рудообразующих систем и факторы, определяющие их продуктивность.

Задание этапа 2020 г.: Выполнена генетическая, минералого-геохимическая типизация рудопроявлений нетрадиционных типов, прогнозная оценка их продуктивности.

Основная часть отчета

1. Важнейшие результаты

1.1. На основе обобщения данных по составу главных продуктивных минеральных парагенезисов проведена типизация золоторудных месторождений и рудопроявлений, локализованных в различных структурно-металлогенических зонах юго-восточной части Восточного Саяна. Выделено 8 минеральных типов месторождений: золото-полисульфидный, золото-кварцевый, золото-теллуридный, золото-тетрадимитовый, золото-антимонитовый, золото-висмут-сульфосольный, золото-пирротинный и золото-блеклорудный. Установлено, что для разных структурно-металлогенических зон, сформированных в разных тектоно-геодинамических обстановках, характерны определенные типы золотого оруденения (рис. 1).



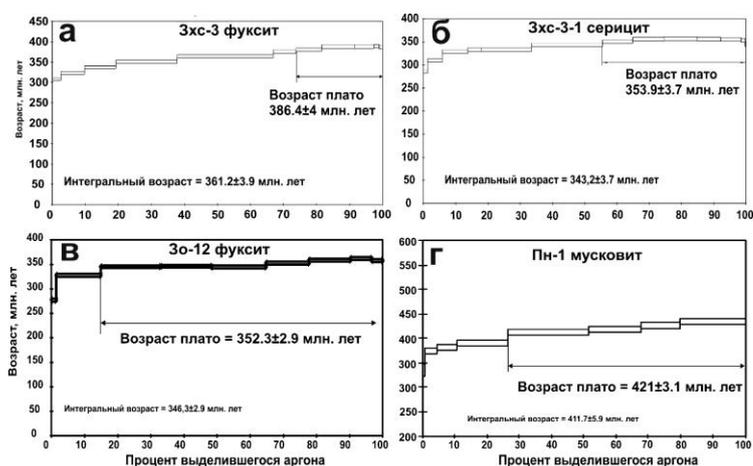
Формации континентальных моласс: 1 – угленосная (нарингольская свита, гусиноозерская серия, Mz), 2 – пестроцветная (сагансайрская свита, Pz2); Тувино-Монгольский микроконтинент: 3 – кристаллический фундамент (гранитогнейсы, амфиболиты); 4 – вулканогенная формация (илейская толща, сархойская свита); 5 – карбонатная формация (боксонская серия, монгошинская и иркутская свиты); Офиолитовый комплекс: 6 – ультрабазиты, 7 – базиты, 8 – вулканогенно-осадочные и черносланцевые отложения (дибинская, оспинская свиты, ильчирская толща); 9 – палеозойские интрузии; 10 – протерозойские интрузии; 11 – образования Окинской аккреционной призмы (окинская серия); 12 – цоколь Сибирской платформы; 13 – разломы; 14 – месторождения золота: 1 – Водораздельное, 2 – Кварцевое, 3 – Барун-Холбинское, 4 – Зун-Холбинское, 5 – Гранитное, 6 – Самаргинское, 7 – Пионерское, 8 – Зун-Оспинское, 9 – Динамитное, 10 – Зеленое, 11 – Владимирское; 12 – Таинское, 13 – Коневинское; 15 – рудопроявления золота; 16 – мелкие проявления и пункты минерализации золота (1), золота и серебра (2); 17 – группа пространственно сближенных проявлений и пунктов минерализации золота; 18 – границы структурно-металлогенических зон: I – Боксон-Гарганская, II – Ильчирская, III – Окинская, IV – Хамсаринская; 19 – границы золоторудных зон и узлов: рудные зоны – УКЗ – Урик-Китойская зона, ОлЗ – Ольгинская, ССЗ – Сагансайрская, УГЗ – Уртагольская; рудные узлы: Хл – Холбинский, Ул – Улзыгинский, Гг – Гарганский, Хж – Хужирский, Ил – Илейский, Жм – Жомболокский, Хн – Хонченский, ТС – Тисса-Сархойский, Ос – Оспинский, Дб – Дибинский, Ур – Урикский

Рисунок 1 - Схема геологического строения юго-восточной части Восточного Саяна и металлогенического районирования золоторудных объектов (составлена по материалам Окинской экспедиции ПГО “Бурятгеология”, [5, 7, 9])

Дамдинов Б.Б. Минеральные типы месторождений золота и закономерности их размещения в юго-восточной части Восточного Саяна // Геология рудных месторождений. - 2019. - Т. 61, № 2. - С. 23-38. Doi: 10.31857/S0016-777061223-38.

1.2. По данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ изотопного датирования руд орогенных золоторудных месторождений выделены раннепалеозойский аккреционно-коллизийный (500-400 млн. лет) и позднепалеозойский сдвиговый (380-350 млн. лет) этапы формирования золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна.

Полученные $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировки по фукситу и серициту тектонизированных и минерализованных зон Зун-Холбинского месторождения (рудное тело Северное-3) показали значения в интервале **353.9-386.4** млн. лет при неровном ступенчатом спектре (рис. 2 а, б). Близкая дата **352.9** млн. лет установлена при $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировании Ст-мусковита из околожильных милонитизированных лиственитов Зун-Оспинского золоторудного месторождения (рис. 2 в). В то же время датировка мусковита из рудной кварцевой жилы Пионерского золото-кварцевого месторождения, расположенного вблизи Зун-Холбинского, соответствует возрасту **421.9** млн. лет (рис. 2 г). Особенность этого месторождения - локализация в архейских гранитогнейсах, не затронутых активными тектоническими процессами.



а, б - Зун-Холбинское; в - Зун-Оспинское; г - Пионерское

Рисунок 2 - Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования слюд из руд золоторудных месторождений юго-восточной части Восточного Саяна

Дамдинов Б.Б., Жмодик С.М., Травин А.В., Юдин Д.С., Горячев Н.А. Новые данные о возрасте золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна //

1.3. Выделены типы полиметальной и нерудной минерализации Йоко-Довыренского массива в Северном Прибайкалье, образованной различными геологическими процессами, раскрыта проблема комплексного использования минерального сырья.

Обобщена информация о проявлениях различных полезных ископаемых массива, сформулирована модель ее образования (рис. 3):

1. Сульфидное платинометалльно-медно-никелевое оруденение в плагиолерцолитах подошвы и приподошвенных силлов (Байкальское месторождение).

2. Малосульфидное платинометалльное оруденение в плагиолерцолитах в зоне перехода к дунитам (ручей Большой).

3. Троилит-пентландитовая минерализация с повышенным геохимическим фоном палладия в дунитах в зонах вокруг аподоломитовых ксенолитов (ручей Большой).

4. Сульфидная минерализация в троктолитах и метасоматических жильных диопсидитах в зонах вокруг аподоломитовых и апоалевролитовых ксенолитов (ручей Белый).

5. Малосульфидная высокомедистая сульфидная минерализация в основании троктолитового горизонта (зона Конникова).

6. Малосульфидная минерализация с кобальтовым пентландитом (под тригопунктом).

7. Малосульфидная платинометалльная минерализация Главного рифа.

8. Малосульфидные платинометалльные горизонты в массивных габбро и габброноритах.

9. Сульфидная минерализация прикровлевой части массива: а) рассеянная минерализация в габброноритах, б) в телах габбро-пегматитов, в) минерализация в связи с кварцевыми (кварц-карбонатными) жилами, окварцовывающими габбронориты, г) кварц-карбонатные с резкими контактами без окварцевания габброноритами с крупными вкрапленниками халькопирита и галенита.

10. Густовкрапленные хромититы в дунитах в зонах вокруг аподоломитовых ксенолитов (ручей Большой).

11. Циркониевая минерализация в титанфассаитовых скарнах (ручей Белый).

12. Борное проявление в кварц-аксинитовых жилах в диабазах на северо-восточном выклинивании интрузива.

13. Проявление голубого диопсида в аподолмитовых скарнах (ручей Белый).

14. Магнезиальносиликатные породы – дуниты, троктолиты, оливиновые габбро, которые могут быть использованы в качестве крупного и мелкого заполнителя бетона.

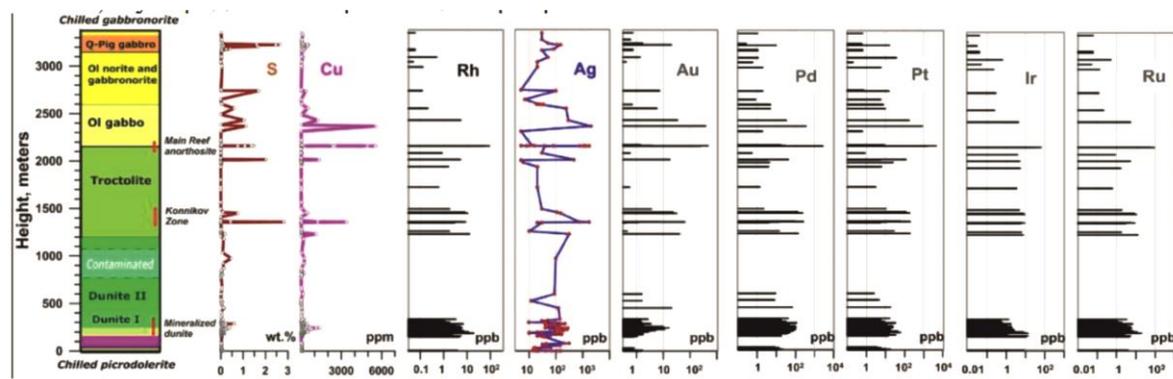


Рисунок 3 - Распределение S, Cu, ЭПГ, Au и Ag в породах по разрезу центральной части Йоко-Довыренского массива

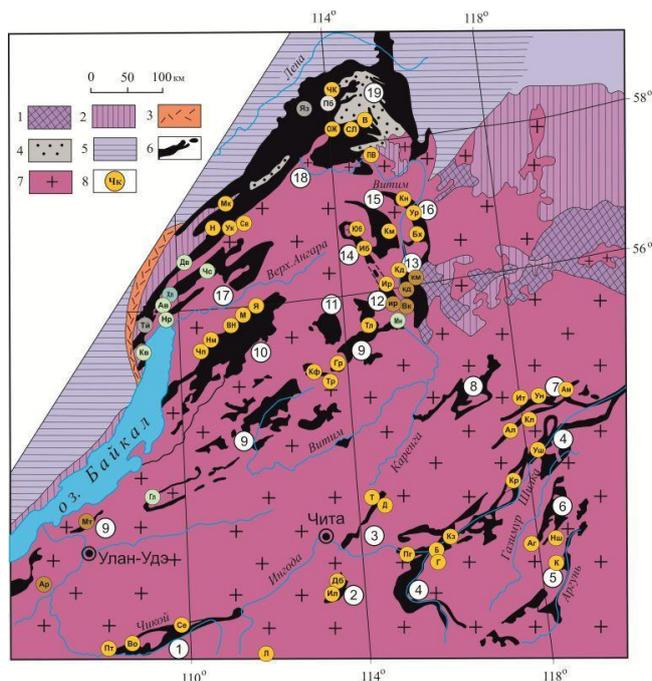
Разнотипная минерализация сформирована различными геологическими процессами в ходе длительной эволюции. Сульфидное платинометалльно-медно-никелевое оруденение и магнезиальносиликатные породы сформировались в ходе магматического этапа. Для малосульфидного платинометалльного оруденения установлены три стадии рудообразования. Включения иридистого осмия и лаурита в оливине и хромшпинелиде в результате магматической кристаллизации. Вростки интерметаллидов и теллуридов Pd-Pt и Au-Ag в продуктах отжига интеркумулусных магматических сульфидов в силикатной матрице, обычно на контакте сульфидов при постмагматическом пневматолитовом метасоматозе. Продукты замещения минералов благородных металлов двух первых типов при серпентинизации на эпигенетической метаморфогенно-гидротермальной стадии. Хромититы, циркониевая минерализация и голубой диопсид сформировались в ходе метасоматического взаимодействия магмы и ксенолитов карбонатных пород. Кварц-аксинитовые жилы и кварц-карбонатные жилы с сульфидами образовались благодаря гидротермальному процессу.

Kislov E.V., Khudyakova L.I. Yoko–Dovyren Layered Massif: Composition, Mineralization, Overburden and Dump Rock Utilization // Minerals. - 2020. - V. 10. - 682. Doi:10.3390/min10080682

II. Основные результаты блока I (д.г.-м.н. А.В. Татаринов, к.г.-м.н. Л.И. Ялович)

2.1. Созданы эволюционные модели формирования рудообразующих систем (РС), продуцирующих благороднометалльную минерализацию в зеленокаменных поясах (ЗКП) Забайкалья.

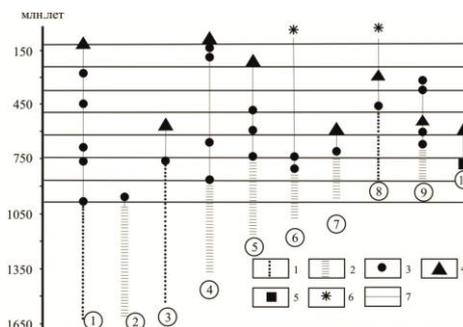
Рудообразующие системы благороднометалльного минерогенического типа венд-рифейских ЗКП Забайкалья (рис. 4) формировались в широком возрастном диапазоне от рифея до кайнозоя.



1 - гранулит-гнейсовые области; 2 - гранит-зеленокаменные области (Ag-PR₁); 3 - Аkitканский вулканоплутонический пояс (PR₁); 4 - рифейские отложения пассивной континентальной окраины; 5 - фанерозойский чехол Сибирской платформы; 6 - венд-рифейские зеленокаменные пояса (цифры в кружках): 1 - Чикойский, 2 - Туринский, 3 - Кручининский, 4 - Онон-Шилкинский, 5 - Аргунский, 6 - Газимурский, 7 - Амазарский, 8 - Каренго-Олекминский, 9 - Курба-Витимский, 10 - Баргузино-Котерский, 11 - Уакитский, 12 - Бамбукойский, 13 - Тулдуновский, 14 - Келяно-Ирокиндинский, 15 - Гукит-Парамский, 16 - Каралон-Бахтернакский, 17 - Тья-Олоkitский, 18 - Байкало-Патомский, 19 - Нечеро-Патомский; 7 -гранитоиды фанерозоя с комплексами рифтовых систем; 8 - рудные поля, месторождения, проявления полезных ископаемых: Fe - Тыйское (Тй), Язовское (Яз); Cu-Ni (±ЭПГ) - Чайское (Чс), Байкальское (Дв), Авкитское (Ав), Нюрундукаское (Нр), Кивильевское (Кв), Гольцы (Гл), Маринкинское (Мн); Ni-Co (ЭПГ?) - Правобыстринское (Пб); Fe-Ti (±V,P) - Витимконское (Вк), Ирокиндинское (Им), Кедровское (Ке), Каменное (Ка), Арсентьевское (Ар), Метешихинское (Мт); Pb-Zn - Холоднинское (Хл); Au (Ag, ±ЭПГ) - Чертово Корице (Чк), Ожерелье (Ож), голец Высочайший (В), Сухой Лог (СЛ), Первенец-Вернинское (ПВ), Мукадеевское (Мк), Северное (Св), Укучиктинское (Ук), Нерундинское (Н), Каралонское (Кр), Уряхское (Ур), Бахтернак (Бх), Каменное (Км), Юбилейное (Юб), Ирбинское (Иб), Ирокиндинское (Ир), Кедровское (Кд), Таликинтское (Тл), Горное (Гр), Карафтитское (Кф), Троицкое (Тр), Яксайское (Я), Медвежье (М), Верхне-Няндонинское (Вн), Намаминское (Нм), Чипиканское (Чп), Амазарское (Ам), Уконикское (Ун), Итакинское (Ит), Ключевское (Кл), Александровское (Ал), Ушумунское (Уш), Карийское (Кр), Новоширокинское (Нш), Алэнгуйское (Аг), Козловское (К), Казаковское (Кз), Балейское (Б), Голготайское (Г), Погромное (Пг), Талатуйское (Т), Дарасунское и Теремкинское (Д), Дыбыксинское (Дб), Илинское (Ил), Сергинское (Се), Воскресенское (Во), Петровское (Пт), Любавинское (Л)

Рисунок 4 - Схема размещения венд-рифейских зеленокаменных поясов, пространственно и генетически связанных с ними рудных месторождений Забайкалья

Благороднометалльный тип разделен на 6 подтипов РС, характеризующихся различными по длительности временными интервалами функционирования, датировками ранних и финальных этапов рудогенеза, образования рудных концентраций, коррелируемых с импульсами плюмовой активности, возрастами плюмов и суперплюмов [6]. Все подтипы объединяет общность источников рудного вещества, представленных либо одиночными, либо несколькими геохимически специализированными на тот или иной рудный элемент формациями, петротипами горных пород ЗКП: плутоно-вулканическая ультрабазит-базитовая с бонинитоподобными вулканитами, черносланцевая и диоритоиды. Эволюция РС носила унаследованный многоступенчатый характер (рис. 5), с тенденцией смены во времени рудогенерирующих, рудоконцентрирующих процессов ремобилизации и регенерации (динамометаморфизм), реювенацией [13], в данном случае – шошонит-латитовый и пикробазальтовый магматизм, грязевый вулканизм.



Цифры в кружках - минерагенические типы и подтипы РС. В скобках примеры наиболее изученных рудных объектов: 1 - няндонинский (месторождения Каменное, Намаминское, Чипиканское, Бахтернакское, Троицкое); 2 - железорудный (Тыйское, Язовское месторождения); 3 - колчеданно-полиметаллический (Холоднинское месторождения); 4 - дарасунский (Дарасунское, Карийское, Итакинское, Ключевское, Ушумунское месторождения); 5 - ирокиндинский (месторождения Ирокиндинское, Горное, Кедровское); 6 - балейский (Балейское, Тасеевское месторождения); 7 - медно-никелевый (месторождения и проявления Чайское, Байкальское, Маринкинское); 8 - бодайбинский (месторождения Сухой Лог, Чертово корыто, Первенец); 9 - ирбинский (Юбилейное, Ирбинское месторождения); 10 - железо-титановый (рудопоявления Витимконское, Ирокиндинское, Кедровское).

1-2 - изотопно-геохимические датировки рудоподготовительных этапов формирования рудной минерализации, т.е. породных комплексов с соответствующей рудногеохимической специализацией (1 - углеродистые карбонатно-терригенные формации рифтовых структур пассивной континентальной окраины; 2 - ультрабазит-базитовые комплексы зеленокаменных поясов); 3-6 - изотопно-геохимические датировки процессов рудообразования: 3 – динамометаморфический реомобилизации, 4 - динамометаморфический регенерации, 5 - пикробазальтовый и шошонит-латитовый магматизм реювенации, 6 - грязевый вулканизм; 7 - предполагаемые возрастные проявления суперплюмов [6]

Рисунок 5 - Временные интервалы формирования рудообразующих систем (РС) венд-рифейских зеленокаменных поясов (обобщение опубликованных данных)

Велика роль в образовании месторождений благородных металлов в венд-рифейских ЗКП процессов динамометаморфизма. Концентрирование Au, Ag, ЭПГ

благородных металлов до промышленных значений осуществлялось деформационным механизмом (деструкция, рекристаллизация и перекристаллизация, образование флюидов) обычно в ходе двух-трехэтапного тектонометаморфического преобразования первичных пород ЗКП. Предполагается, что высвобождение из первичных пород, перераспределение и накопление рудных компонентов происходило за счет механохимических реакций образования новых химических соединений и минералов в условиях сдвигового тектогенеза. Так, например, наиболее высокопродуктивные рудные тела с благородными металлами, возникшие в процессе динамометаморфизма пород базитового ряда ЗКП явились результатом преобразования последних по схеме: ортоамфиболиты - (катаклазиты, милониты и псевдотахилиты) - динамосланцы альбит-кварц-серицитового состава (“березиты”) - гранулированный кварц.

Формирование самых крупных месторождений Au Забайкалья (Сухой Лог, Балеysкое и Тасеевское), структурно приуроченных к невоскрытым (погребенным) участкам ультрабазит-базитовой составляющей зеленокаменных поясов (Байкало-Патомского и Онон-Шилкинского), на завершающих этапах эволюции РС характеризуется специфической формой проявления реювенации – грязевым вулканизмом с флюидо-кластогенным и флюидо-кластогенно-осадочным рудогенезом в структурах типа “труб дегазации”.

2.2. Геолого-генетическая модель рудообразующей системы Озерного месторождения поликомпонентных руд (Fe, Pb, Zn, Cd, Au и др.)

Этапы формирования рудообразующей системы (геохимического концентрирования рудного вещества) с использованием данных [1, 2, 4, 5, 11, 12]:

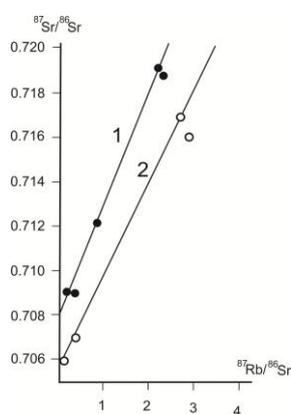
1. Рудоподготовительный 1 (рифей-венд). Формирование вулканоплутонической ассоциации Селенгино-Витимского зеленокаменного пояса, геохимически специализированной на Fe, Mn, Zn, Pb, благородные металлы и др. рудные элементы. Содержания Zn=29-40 г/т, Pb=4-18 г/т, Zn:Pb=3.5 (среднее).

2. Рудоподготовительный 2? (Є₁). Формирование вулканитов различных петрохимических типов (андезито-базальты, андезиты, дациты, риолиты и их субщелочные разновидности). Содержания Zn=50-200 г/т, Pb=10-40 г/т, Zn:Pb=4.9.

3. Рудоподготовительный 3 (S₂-D₃). Грязевулканический с функционированием термальных источников, образованием травертинов (“рифогенные известняки”, тела сидеритов) и частично гейзеритов. При активном участии в процессах минералообразования бактериальных сообществ. В существенно кальцитовых

травертинах содержатся: Zn=110-540 г/т, Pb=27-39 г/т, Zn:Pb=7.4. Сидериты обогащены Zn (до 9.2%), Pb (до 1.1%), Mn (до 6.3%).

4. Рудный 1 (C_1 – 330 млн. лет, рис. 6) – динамометаморфический с мобилизацией, перераспределением рудных компонентов и с преимущественным их отложением в зоне автокластического меланжа линзовидно-пластинчатого типа (пластичные карбонатные породы), с образованием крупных пластообразных и линзовидных скоплений промышленных руд, главным образом сульфидных галенит-сфалеритовых. При этом в более хрупких частях разреза месторождения, представленных алюмосиликатными породами (в основном вулканитами) возник синрудный автокластический меланж блокового типа, характеризующийся значительно меньшими масштабами динамогенного оруденения, локализованного в цементирующем блоке милонит-катаклазитовом субстрате.



1 – первый рудный этап (330 млн. лет), 2 – второй рудный этап (268 млн. лет)

Рисунок 6 - Rb-Sr изотопная диаграмма для рудно-породного комплекса Озерного месторождения (аналитик В.Ф. Посохов, ГИН СО РАН)

5. Рудоподготовительный 4 (C_2 - C_3). Формирование вулканогенно-плутонической ассоциации сурхэбского комплекса (базальты, андезиты-базальты, андезиты; габбро-диоритовая серия), породы которой геохимически специализированы на Fe, Mn, благородные металлы, вероятно также и на U, V, Cu.

6. Рудный 2 (P_1 – 286 млн. лет). Динамометаморфический, с регенерацией руд, сформированных в первый рудный этап, и образованием золотоносной, иногда с ураном, кварц-сульфидной и пиритовой минерализации по породам сурхэбского комплекса. При этом, преимущественно формируются мелкие рудные скопления, локализованные в крутопадающих сдвигах, осложняющих ранний автокластический меланж. В результате этих деформационных преобразований шарьяжно-надвиговая структура Озерного месторождения в итоге превратилась в весьма сложную тектоно-микститовую постройку

рифтогенной структуры в результате проявления деформационного механизма континентального рифтогенеза [16].

2.3. Геолого-генетическая модель рудообразующей системы Назаровского месторождения поликомпонентных руд (Fe, Mn, Zn, Pb, Au и др.) золото-железо-полиметаллической формации

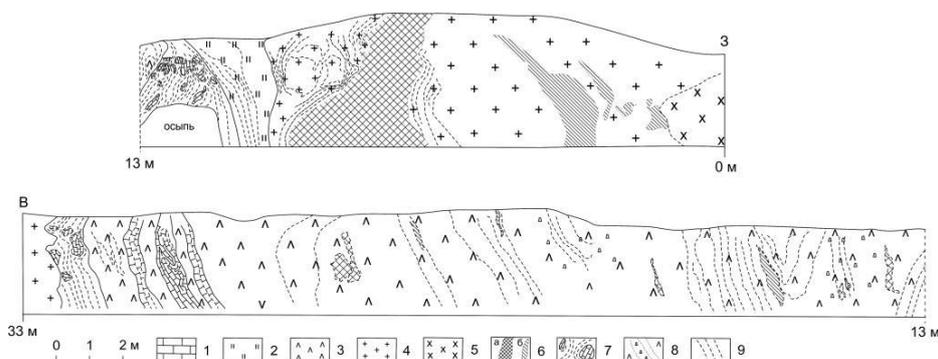
Этапы формирования рудообразующей системы (геохимического концентрирования рудного вещества с использованием данных [8, 15, 17].

1. Рудоподготовительный 1 (рифей-венд). Формирование вулcano-плутонической ассоциации Селенгино-Витимского зеленокаменного пояса, геохимически специализированной на Fe, Mn, Zn, Pb, благородные металлы и другие рудные элементы. Содержания Zn=29-40 г/т, Pb=4-18 г/т, Zn:Pb=3.5 (среднее).

2. Рудоподготовительный 2 (S₂-D₃?). “Назаровская свита”. Грязевулканический с функционированием термальных источников, образованием травертинов (“известняки”, “известковистые алевролиты”, “сидериты”). В существенно кальцитовых травертинах содержатся: Zn=94-540 г/т, Pb=27-48г/т, Zn:Pb=6.1.

3. Рудоподготовительный 3 (C₂-C₃). Формирование вулcano-плутонической ассоциации сурхэбского комплекса с рудно-геохимической специализацией на Fe, Mn, Zn, Pb (вулканы: Zn=88-200 г/т, Pb=40-45 г/т, Zn:Pb=3.3; габбро: Zn=130, Pb=45, Zn:Pb=2.9 и гранитоидов зазинского комплекса с повышенным геохимическим фоном Mo, Be, Bi, Co, Au. Повышенные содержания Au отмечены [8] в дайках долеритов (36 мг/т) и сиенитов (100 мг/т).

4. Рудный этап (P₁ – 286 млн. лет) – динамометаморфический. Проявлен в узкой субмеридиональной крутопадающей тектонической зоне сдвига. При этом, сформировалась рудоносная зона линзовидно-пластинчатого меланжа по карбонатным породам в сочетании с глыбовым по алюмосиликатной толще. В дальнейшем структура месторождения стала более хаотичной, приобретя на отдельных участках тектономикститовый характер (рис. 7).



1 – карбонатные породы неравномерно мраморизованные в зонах меланжа; 2 – слюдисто-полевошпатово-карбонатные динамосланцы; 3 – метаэффузивы измененные до карбонат-плагиоклаз-амфиболовых и хлоритовых сланцев; 4 – лейкократовые граносиениты; 5 – гранодиориты; 6: а – сфалерит-гематит-марганцевая руда (по сидеритовым травертинам), б – родонит-сидерит-лимонитовая руда; 7 – тектономикститы по травертиновым породам; 8 – динамокластиты по метаэффузивам; 9 – зоны рассланцевания

Рисунок 7 - Разрез северной стенки карьера Назаровского месторождения

2.4. Биокосная Хойто-Гольская система (термальные воды – микроорганизмы - травертины) - природная модель месторождений поликомпонентных руд типа Озерного на рудоподготовительных этапах их формирования. Установлено, что бактериальные сообщества на испарительном геохимическом барьере, освобождаясь от аккумулярованных из воды металлов-катализаторов (Cu, Zn, Pb, Fe и др.) концентрируют их в минеральные формы (рис. 8) и обогащают травертины.



1 – мирабилит (3.1), кварц (1.3), нахколит (1.2), калицинит (0.7); 2 – интерметаллид Zn-Ce (78.0), кальцит (19.6), сфалерит (2.4); 3 – интерметаллид Zn-Ce (84.6), кальцит (10.0), кварц (2.9); 4 – монацит (49.4), гидроксил-апатит (10.9), кварц (4.9)

Рисунок 8 - Минералы в био пленке пурпурных бактерий источника Хойто-Гол (в скобках %)

2.5. Обнаружены реликтовые минералы платиновой группы (МПГ) в нефрите (рис. 9) тремолит-диопсидового состава, генетически связанном с дайкой бонинитов **Горлыкгольского месторождения**, приуроченного к отрезку зоны серпентинитового меланжа в южной части Оспинско-Китойского массива ультрабазитов Восточно-Саянского офиолитового пояса. Диагностированы МПГ: рутениридосмин с примесью Ni, Fe, рутений, рутенистый Ir, иридоарсенид, омеит, лаурит. Источник МПГ -

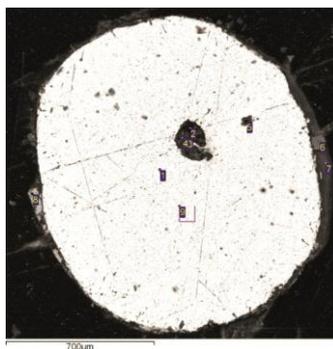
хромшпенелиды из гарцбургитов и дунитов, подвергнутые деформационным преобразованиям.



1 – ранний рутениридосмин с примесью Ni, Fe; 2 – ассоциация поздних МППГ (иридоарсенид 34, омейит 8, лаурит 2) с теллурантимонитом (31), гудмундитом (2). Нанофазы раннего Ru (23) с примесью Os (14); 3 – парагенезис позднего иридоарсенида (70) с аллемонгитом (13), теллурантимонитом (4). Реликтовые нанофазы раннего рутенистого Ir (13) состава: Ir 8, Ru 5; 4 – диопсид (диопсид 87, геденбергит 6, ферросилит 4); 5 – тремолит (тремолит 83, ферротремолит 10, примесь магнетита 3); 6 – ассоциация минералов: тремолит (60), серпентин (20), магнетит (5)

Рисунок 9 - Включения МППГ в нефрите Горлыкгольского месторождения (содержания в %)

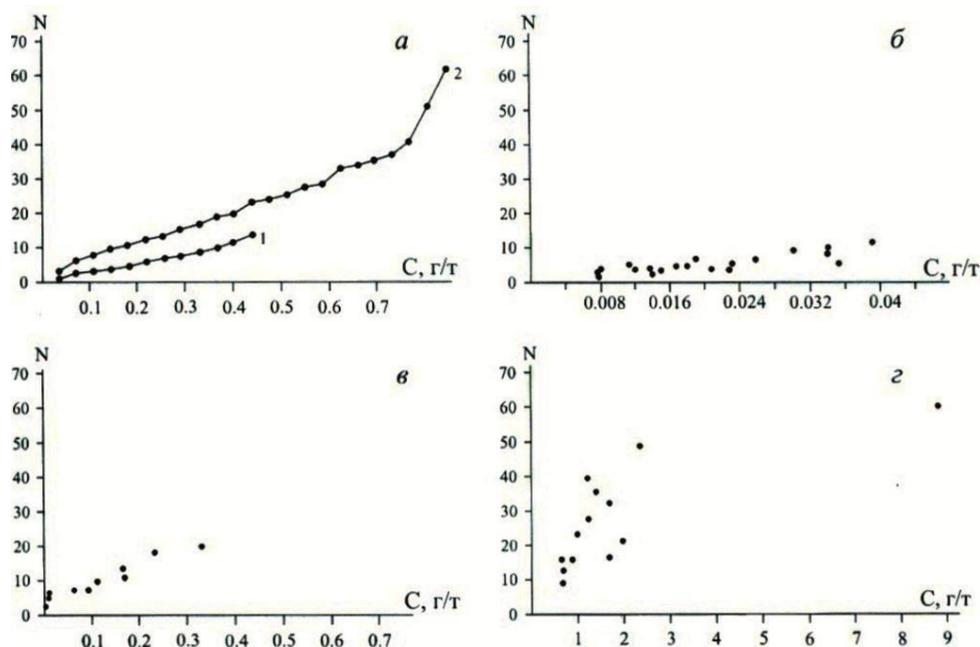
2.6. Обнаружены и изучены сферические микрочастицы - индикаторы условий функционирования рудообразующей системы Ирокиндинского месторождения золота. По строению и вещественному составу (рис. 10) они отличаются от микросферул золоторудных месторождений (Сухой Лог и Первенец Ленского района). Рассматриваемые месторождения объединяет высокая тектоническая активность среды рудообразования с нестабильным режимом температуры и давления.



1, 9 – карбид железа (1 – Fe – 87,4 мас.%, C – 9,39%; 9 – Fe – 85,2%, C – 14,05%, Al – 0,75%). Включения: 2 – графит с примесью O – 4,17%, Cl – 0,5%; 3 – кальцит – 67,8%, графит – 31,1%, кварц – 1,2%, гиббсит – 0,9%; 4 – графит – 76,7%, кальцит – 11,6%, эпсомит – 3,4%, нахколит – 3,3%, альбит – 2,7%, гиббсит – 0,6%, пирит – 0,6%, галит – 0,5%, сильвин – 0,3%, тенардит – 0,3%; 5 – графит – 60,8%, кальцит – 29,3%, эпсомит – 4,3%, альбит – 3,1%, гипс – 4%, кварц – 0,4%, сильвин – 0,4%, галит – 0,2%, нахколит – 0,1%. Оторочка сферической частицы: 6 – кварц – 39,1%, натросилит – 24,0%, альбит – 10,8%, магнезит – 9,1%, кальцит 8,6%, калицинит – 2,0; 7 – кальцит – 11,1%, графит – 8,1%, кварц – 2,1%, магнезит – 1,7%, нахколит – 1,7%, CaVg₂ – 1,3%, сильвин – 0,6%, сидерит – 0,4%, галит – 0,3%, пирит – 0,3%; 8 – магнетит – 51,3%, якобит – 22,7%, ильменит – 7,8%, графит – 7,6%, кварц – 6,8%, кальцит – 1,9%, корунд – 1,5%, хромит – 0,4%

Рисунок 10 - Сферическая частица карбида железа с минеральными включениями

2.7. На примере рудного поля Мукадек (Северное Прибайкалье) изучено геохимическое поведение золота в ходе динамометаморфического рудообразования (рис. 11). Установлено, что по сравнению с исходными породами в рудных динамометаморфитах около 40% тонкодисперсного золота подвергается укрупнению при лавинообразном росте его средних содержаний более чем в 100 раз.

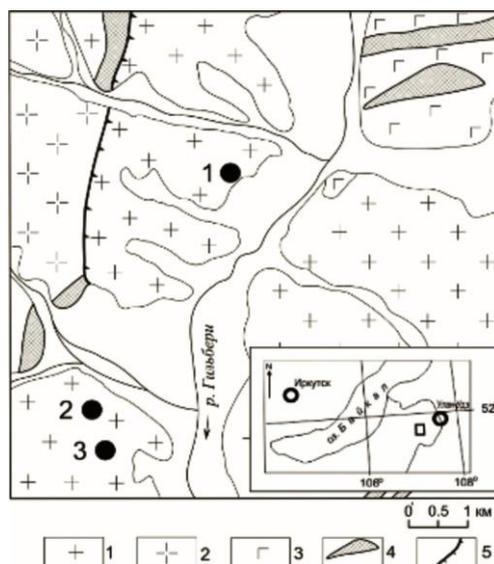


Точки на графиках – пробы. б – график корреляции между числом частиц (N) и содержаниями (C) Au по данным САЭА проб вмещающих пород; в – график корреляции между числом частиц (N) и содержаниями (C) Au по данным САЭА проб динамометаморфического комплекса рудных зон; г – график корреляции между числом (N) и содержаниями (C) Au по данным САЭА проб рудных тел

Рисунок 11 - а – тренды распределений частиц золота (N) во вмещающих породах (1) и рудных зонах (2)

2.8. В результате изучения благороднометалльно-полиметаллической минерализации показано, что первичный источник вещества Мыкерт-Санжеевской рудообразующей системы - мантийно-корový вентрифейский ультрабазит-базитовый комплекс нижней части земной коры. Установлена основная рудоконтролирующая структура рудного поля (рис. 12), представленная лозанжем, состоящим из мозаичных скоплений ромбоэдрических и тетраэдрических блоков-дуплексов, которые разделены узкими тектоническими швами. К этим мелкоблоковым швам, выполненных субвулканическими дайками шошонит-латитовой вулканоплутонической ассоциации, аподайковыми динамометаморфитами (брекчии, катаклазиты, милониты), а также механометасоматитами, приурочены скопления поликомпонентных руд. Выделено 4 этапа формирования динамометаморфитов, характеризующихся различными видовыми составами рудных

минералов, возникших в результате механохимических реакций. Предложена карбонильная модель формирования минеральных микроагрегатов, с пленками, содержащими наночастицы благородных металлов. Эволюция рудообразующей системы носила унаследованный многоступенчатый характер, с тенденцией смены во времени рудогенерирующих и рудоконцентрирующих процессов. Изотопно-геохимическим Pb-Sr методом определен возраст 233 ± 19 млн. лет рудно-породного динамометаморфического комплекса. Предполагается, что главными агентами миграции и аккумуляции рудных элементов являются летучие соединения, представленные углеводородами (метан, этан и др.), CO, CO₂, а также S, Cl, F, пары H₂O.

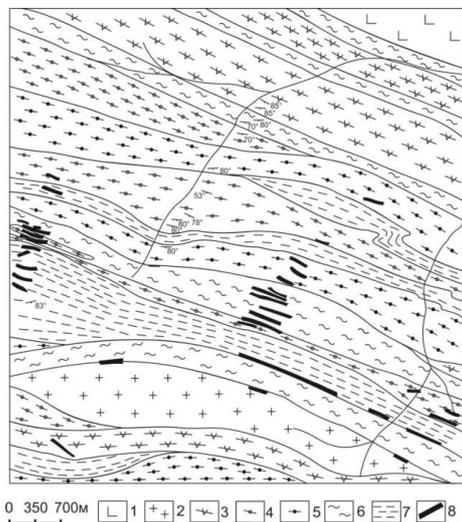


1 – гранитоиды бичурского комплекса; 2 – гранитоиды баргузинского комплекса; 3 – габброиды икатского комплекса рифейского возраста; 4 – дробленые и трещиноватые участки пород – какириты; 5 – предполагаемые надвиги. Белое поле – рыхлые четвертичные отложения. На обзорной схеме геологическая карта обозначена прямоугольником

Рисунок 12 - Геологическая карта участков Мыкерт-Санжеевского рудного поля. Залитые кружки – рудные участки (1 - Большой Мыкерт, 2 – Малый Мыкерт, 3 – Санжеевка)

2.8. Предложена динамометаморфическая модель формирования Юбилейного рудного поля. Выявлена пространственно-генетическая связь поликомпонентной рудной минерализации (Au, Ag, ЭПГ, Cu, Pb, Zn, Ni) с динамометаморфическим комплексом, сформированным по породам коматиитовой серии Келяно-Ирокиндинского зеленокаменного пояса. Рассмотрена продуктивность различных морфоструктурных типов рудной минерализации, различающихся минеральным составом и содержаниями полезных компонентов. В образовании рудной минерализации выделены три временных интервала (кембрий, девон и карбон) динамометаморфических событий, с которыми связано концентрирование рудных элементов. Показано, что ультрабазит-

базитовый комплекс и гранитоиды рифейского возраста явились источником рудного вещества, локализованного в динамометаморфитах. Установлено, что основную промышленную ценность рудного поля представляют прожилковые и вкрапленные руды с относительно бедными содержаниями полезных компонентов, образующие большеобъемные зоны (рис. 13).



1 – ортоамфиболиты по породам коматиитовой серии 2 – катаклазированные гранитоиды муйского комплекса; 3 – милониты по ортоамфиболитам; 4 – мусковит-плагиоклазовые милониты по гранитоидам муйского комплекса; 5 – плагиоклазовые милониты по гранитоидам муйского комплекса; 6-7 – прогнозируемые рудные зоны (6 – альбит-кварц-серицитовые динамосланцы, 7 – динамосланцы хлорит-серицит-альбит-кварцевого состава); 8 – золоторудные кварцевые жилы

Рисунок 13 - Геологическая карта центральной части Юбилейного рудного поля

III. Основные результаты блока II (к.г.-м.н. Е.В. Кислов, к.г.-м.н. Б.Б. Дамдинов, к.г.-м.н. Б.Л. Гармаев)

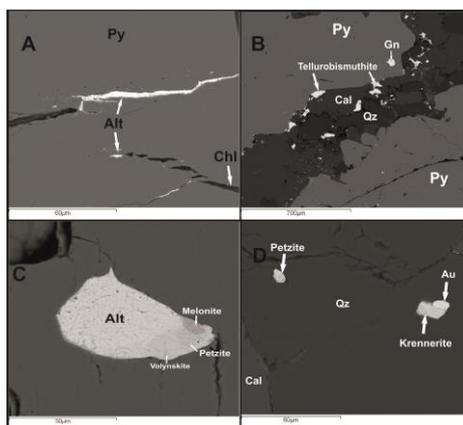
3.1. На основе результатов геологического изучения и комплексных минералого-геохимических исследований предложена новая модель формирования Зун-Оспинского золоторудного месторождения. Месторождение приурочено к сложной меланжевой тектонической структуре. В рудах выделены три последовательных минеральных ассоциации: золото-кварц-пиритовая, золото-кварц-полисульфидная и серебро-сульфосольная (рис. 14), формирование которых происходило, в интервале температур 380-170°C. Руды отлагались из низкоконцентрированных (5.2-14.2 мас. % экв. NaCl) растворов, в солевом составе которых преобладали хлориды Mg и Fe, с небольшой примесью хлоридов Na и K.

МИНЕРАЛЫ	РУДНЫЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ		
	Кварц-пиритовая	Полисульфидная	Ag-сульфосольная
Кварц	■		
Пирит1	■		
Пирит2	■		
Галенит		■	
Сфалерит		■	
Халькопирит1		■	
Халькопирит2		■	
Пирротин		■	
Пентландит		■	
Хизлевудит			■
Теннантит			■
Фрейбергит			■
Самородное золото			■
Электрум			■
Кюстелит			■
Ульманит			■
Миаргрит			■
Аргентит (акантит)			■
Полибазит			■
Стефанит			■
Маккинстриит			■

Рисунок 14 - Последовательность образования рудных минералов Зун-Оспинского месторождения

Формирование месторождения произошло в результате мобилизации и геохимического концентрирования рудных компонентов в ходе развития метаморфогенно-гидротермальной рудообразующей системы, возникшей при динамометаморфических преобразованиях пород, подверженных трехстадийному деформационному воздействию. С каждой из этих стадий, по-видимому, связано появление различных по составу рудных минеральных ассоциаций (см. рис. 8). Источники рудообразующих элементов - базит-ультрабазиты офиолитовой ассоциации.

3.2. Проведены минералогические исследования золото-кварцевого рудопроявления Надежда, расположенного в пределах Холбинского рудного поля в Восточном Саяне. Установлено, что главный рудный минерал - пирит, реже встречаются халькопирит, галенит, сфалерит. Характерная особенность руд - широкое развитие минералов теллуридной ассоциации, где диагностированы следующие минеральные виды: алтаит, петцит, калаверит, мелонит, креннерит, теллуrowисмутит, пильзенит, штютцит, волынскит (рис. 15). По геологическому положению и минералогическим характеристикам рудопроявление Надежда аналог Пионерского золоторудного месторождения, его юго-восточное продолжение.



Py - пирит, Alt - алтаит, Gn - галенит, Cal - кальцит, Qz – кварц. Снимок сделан в обратно отраженных электронах

Рисунок 15 - Морфология выделений теллуридных минералов в рудах проявления Надежда.

3.3. Изучены особенности распределения редких и второстепенных рудных минералов крупнейшего в Восточном Саяне Зун-Холбинского золоторудного месторождения. Определена общая последовательность минералообразования и установлены четыре рудные ассоциации: пирит-пирротиновая, кварц-карбонат-сульфидная, кварц-полисульфидная и сульфосольная, соответствующие дорудному этапу и трем последовательным стадиям рудообразующего процесса (рис. 16).

На дорудном этапе были сформированы рудные минералы, отнесенные к пирит-пирротиновой ассоциации: пирротин, пирит-1, в меньшем количестве – сфалерит, халькопирит, арсенопирит. Руды этой ассоциации встречаются в виде реликтов и фрагментов в минерализованных зонах. На ранней стадии рудообразования произошло формирование основного количества кварца, появление карбонатов и массовое отложение пирита-2, в меньшей степени – галенита, сфалерита, халькопирита. В небольших количествах отложились арсенопирит, пирротин, шеелит, миллерит, причем появление этих минералов обусловлено влиянием вмещающего субстрата. Руды этой кварц-карбонат-сульфидной ассоциации преобладают на месторождении. На промежуточной стадии отлагались минералы кварц-полисульфидной ассоциации: пирит-3, галенит, сфалерит, халькопирит, в меньших количествах – пирротин. Морфология зерен и характер выделений редких минералов, таких как тетраэдрит, гессит, тетрадимит, викингит, самородный висмут, свидетельствует об их отложении позже всех вышеперечисленных минеральных ассоциаций, что позволяет выделить позднюю сульфосольную ассоциацию. Появление примесных минералов связано с изменениями характера рудовмещающего субстрата.

Минералы	Дорудный этап	Ассоциации рудного этапа		
	Пирит-пирротиновая ассоциация	Кварц-карбонат-сульфидная	Кварц-полисульфидная	Сульфосольная
Кварц				
Карбонат				
Пирит-1				
Пирит-2				
Пирит-3				
Пирротин				
Галенит				
Сфалерит				
Халькопирит				
Арсенопирит				
Самородный Вi				
Гессит				
Шеелит				
Тетрадимит				
Викингит				
Тетраэдрит				
Миллерит				
Золото				

Рисунок 16 - Последовательность отложения минералов в кварц-сульфидных рудах Зун-Холбинского золоторудного месторождения

3.4. Проведены минералогические и термобарогеохимические исследования руд Третьяковского золото-флюоритового месторождения. Месторождение расположено в борту Иволгинской рифтовой впадины и представляет собой серию кварц-флюоритовых жильно-прожилковых зоны, локализованных в зонах дробления и аргиллизации сиенитов. В составе жильных ассоциаций выделены три генерации кварца и две – флюорита. В рудах впервые диагностированы собственные минеральные фазы благородных металлов – самородное золото (электрум), акантит и редкий сульфид золота и серебра – ютенбогартит (рис. 17). В ассоциации с благородными металлами присутствуют пирит, вольфрамит, гидроксиды Fe (гетит). Термобарогеохимические исследования жильных минералов Третьяковского месторождения свидетельствуют об эпитермальных условиях рудообразования. В частности, температуры гомогенизации ФВ имеют значения в интервале 130-184°C.

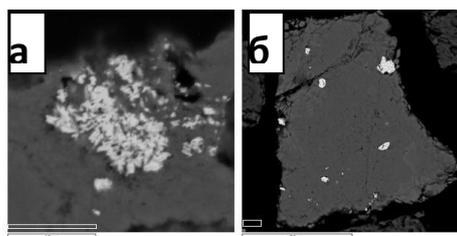
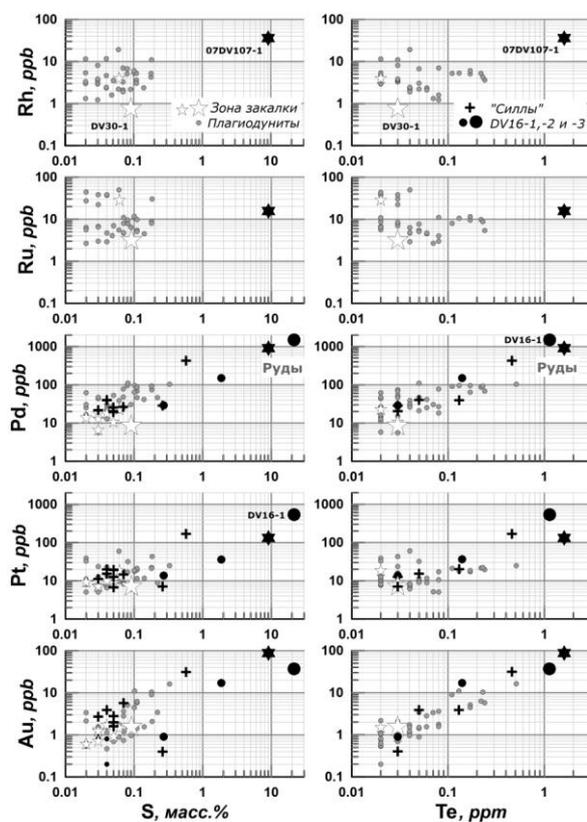


Рисунок 17 - Морфология выделений Au-Ag содержащих минералов Третьяковского месторождения: а – агрегат ютенбогартита (Ag_3AuS_2); б – зерна Se-содержащего акантита (Ag_2S) в гетите

3.5. Получены новые данные о содержаниях благородных металлов, умеренно-халькофильных элементов и халькогенов (Se, Te) в сульфидно-минерализованных породах и Cu-Ni рудах из основания Йоко-Довыренского массива (рис. 18). Положительные ковариации концентраций Pd, Pt, Au и содержаний серы и теллура в образцах указывают на отчетливый “сульфидный контроль” поведения этих элементов, связанный с перераспределением Mss-подобных сульфидных жидкостей на магматической стадии. Характер соотношений Pd, Pt, Te, Cu и S позволяет выделить две группы генетических трендов: первая включает породы зоны закалки, плагиоперидотиты и оливиновые габбронориты из подстилающих силлов в центральной части интрузива; вторая – бедные и богатые руды участка Озерный в его СВ-окончании.

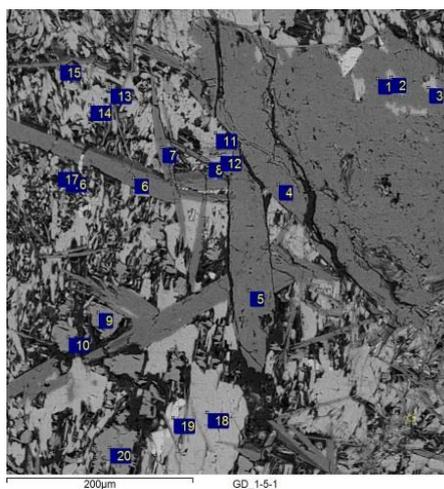


Породы включают закаленные габбронориты и пикродолериты, плагиодуниты, оливиновые габбронориты из двух силлов и Cu-Ni сульфидные руды Байкальского месторождения. Большая звезда среди пород зоны закалки представляет наименее магнезиальный образец DV30-1

Рисунок 18 - Концентрации родия, платиноидов и золота в породах и Cu-Ni сульфидных рудах Довырена в зависимости от содержаний серы и теллура.

Сделан вывод, что тренды первого типа отражают разную степень накопления наиболее примитивных сульфидных расплавов, а тренды второго типа представляют существенно обедненное Cu, Te и ЭПГ сульфидное вещество. Впервые получены данные о концентрации Fe, Ni, Cu, Co, Se, Te, Zn, Mo, Ag, Cd, Sb, Pb, ЭПГ и Au в сульфидах из закаленного габбронорита и руд Байкальского месторождения (). На основе результатов моделирования сульфидного насыщения в интеркумулусе примитивного ортокумулата (по программе КОМАГМАТ-5) проведена реконструкция состава исходной сульфидной жидкости (Cu, Pd, Pt, Au, Te). Показано, что модельные содержания благородных металлов в сульфиде на 1-3 порядка превышают концентрации в “среднем сульфиде”, оцененные посредством LA-ICP-MS. Более реальные оценки дают пересчеты состава пород на 100% сульфидной массы, которые хорошо согласуются с результатами термодинамических расчетов.

3.6. Получены новые геохимические данные по породам экзоконтакта и апокарбонатным скарнам, показавшие рудогенетическую роль углекислого флюида. На начальной стадии присутствовал существенно CO₂ флюид с высокой летучестью O (вплоть до NNO+3-4), образующийся как при частичном термическом разложении доломита, так и в результате реакции SiO₂ и карбонатов. Голубой диопсид из скарнов обогащен Pt до 0.2 г/т и V 300 г/т, в волластонитовой зоне наблюдается повышенное содержание Re (до 0.4 г/т). Редкоземельный спектр приконтактового кварцита идентичен спектрам плагиолецолитов нижнего контакта. Геохимические особенности пород связаны с переотложением вещества водно-углекислым флюидом (рис. 19).



1, 4, 5 – диопсид; 9, 10 – монтичеллит, 18 - Ca₄Si₃O₁₀×2H₂O (трабзонит?), 19 - Ca₂SiO₃F
Рисунок 19 - Зона растворения и перекристаллизации

В результате реакции водно-углекислого флюида с высокомагнезиальным оливином при субсолидусной температуре 950°C и давлении 2 кбар летучесть кислорода понижается до буфера QFM-2, с чем связано появление значительных количеств CO. Согласно расчетам, низкая летучесть кислорода (около буфера QFM+0.7) также обеспечивается реакцией окисления пирротина водным и углекислым компонентами флюида при *P-T* параметрах кумулуса. В результате флюид обогащается Pt из магматических сульфидов, которая может переотлагаться в том числе и в зоне скарнообразования.

3.7. Показано, что хромититы, приуроченные к зоне развития магнезиальных скарнов в верхней части дунитового горизонта, представляют собой высокохромистые скарны магматического этапа. Детально изучен минеральный состав хромититов. Для них характерна композиционная неоднородность оливина и хромшпинели, которые обычно быстро уравниваются в магматической обстановке. Оливин более магнезиальный, содержит больше Ca, диопсид содержит больше Al, Cr, Ti, хромшпинель глиноземистая в отличие от интрузивных пород массива. Характерен метасоматический парагенезис минералов: гроссуляр, монтичеллит, везувиан, куспидин, кальцит, сидерит, мелилит, перовскит, клинтонаит, джерфшерит (рис. 20). Необычны для такой ассоциации нефелин, галит и другие хлориды. Формирование хромититов связано с реакцией пикрито-базальтового расплава с CO₂ флюидом и избыточным кальцием, экстрагированными при декарбонатизации доломитовых ксенолитов.

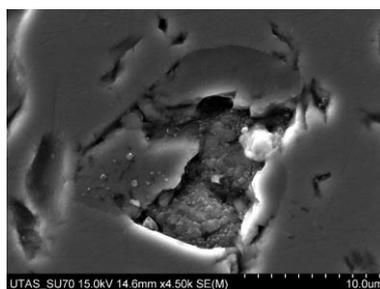


Рисунок 20 - В хромшпинели включение диопсида, галита, пентландита, мелилита, везувиана, галенита

3.8. Проведено сравнение Довыренского интрузивного комплекса (ДИК), относящегося к Восточно-Сибирской металлогенической провинции, с Франклинской крупной изверженной провинцией (LIP) северной

Лаврентии возраста 725-715 млн. лет, связанной с распадом Родинии. Диапазон концентраций несовместимых элементов (рис. 21) и ЭПГ (рис. 22), нормализованных на мантию, образцов Франклинской LIP в целом сходны с данными по закалочным фациям ДИК. Это свидетельствует в пользу общего мантийного источника. Сходство заключается также в ассимиляции вмещающих известняков, импульсах магмы с кристаллами в гетерогенную камеру, низком исходном содержании S. Две магматические провинции одновременны, но латеральные изменения состава исходной мантии, очевидно, играют доминирующую роль в определении составов исходных расплавов. Сходство с Восточно-Сибирской провинцией поддерживает перспективность Франклинской провинции на магматическую сульфидную минерализацию.

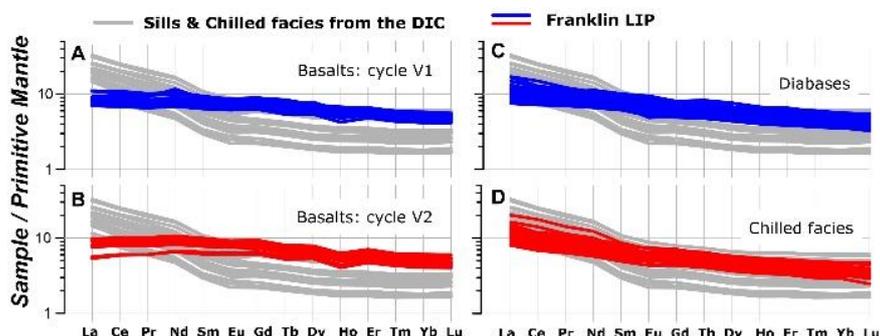


Рисунок 21 - Нормализованные на мантию диаграммы представительных составов базальтов (А, В), диабазов (С) и закаленных пород (D) Франклинской LIP в сравнении с данными силлов ДИК

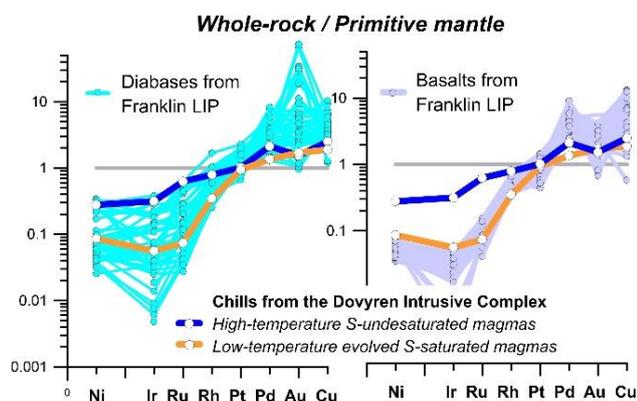


Рисунок 22 - Валовые нормализованные на мантию составы диабазов и базальтов Франклинской LIP в сравнении с данными закалочных фаций ДИК

3.8. Показано, что особенности Маринкина концентрически-зонального дунит-троктолит-габбрового массива (Средне-Витимская горная страна) свидетельствуют о многократной перекристаллизации при изменении геологических и термодинамических условий и значительном термальном и флюидном воздействии поздних гранитов, что и

сформировало медно-никелевую и хромититовую минерализацию. Сульфидная медно-никелевая минерализация и хромититы обнаружены гипсометрически высоко, на вершине гольца, что необычно для такого оруденения, для которого более характерно нахождение в придонных частях интрузивов. Изотопный состав серы пирита вмещающих амфиболитов и сульфидной медно-никелевой минерализации дунитов (+1.4...+2.2‰ $\delta^{34}\text{S}$), свидетельствует о мантийном происхождении серы. Рассеянные сульфиды ликвационного происхождения образовали жильную минерализацию в результате регенерации дунита.

Хромитовая минерализация также сформирована регенерацией дунитов. Это доказывает немагматический состав включений в хромшпинели (рис. 23), оливине и сульфидах, а также интерстициального парагенезиса: преобладают хлорит и доломит, помимо других минералов обычны галит, флогопит, аспидолит, брусит, магнетит, хлорапатит, эпидот, шпинель, другие карбонаты и хлориды. Идиоморфные включения хлорита в хромшпинели показывают, что зерна последней формировались путем собирательной перекристаллизации ламелей в оливине. Необычны реликтовый лейстоподобный серпентин и незначительная серпентинизация, неоднородный состав оливина и хромшпинели (пятнистое распределение участков разного состава до хромита и магнетита в одном зерне), клавишное погасание, ламелли хромшпинели и магнетита в оливине, идиоморфность хлорита, развитие изометричного магнетита, не содержащего Ti.

Эти особенности свидетельствуют о многократной перекристаллизации при изменении геологических и термодинамических условий и значительном термальном и флюидном воздействии поздних гранитов: в результате ультраосновные породы были регенерированы, а основные – изменены.

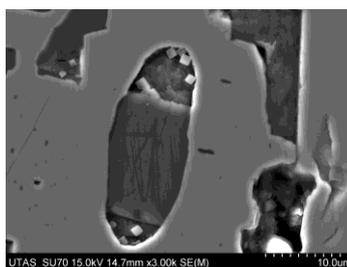


Рисунок 23 - Включения в хромшпинели доломита, галита и хлорита

3.9. Проведено сравнение данных геологоразведочных работ с результатами отработки Кавоктинского месторождения аподоломитового нефрита (Средне-Витимская горная страна). Показано, что значения расхождения коэффициента нефритоносности по отдельным залежам варьируют от -30.77 до +12.82%.

В среднем по месторождению коэффициент нефритонности изменился на -7.82%, показатель сортности нефрита остался практически неизменным. Геологическое строение нижележащих горизонтов остается столь же сложным, как и верхней его части. Осложняющие факторы помимо сложной морфологии - широкое развитие мелких разрывных нарушений, субвертикальных даек и субгоризонтальных тел кварц-микроклин-эпидотовых пород. Тем не менее, принятая на Кавоктинском месторождении плотность разведочной сети, принципы оконтуривания тел и методика подсчета в целом позволяют выявить в процессе геолого-разведочных работ запасы категории С₂. Дальнейшее изучение месторождения необходимо вести с соблюдением применяемой методики разведочных работ, подразумевающей высокую плотность буровой сети (5×5 м) и обязательное вскрытие рудных тел с поверхности. Для предотвращения ошибок необходимо более тщательно изучать литолого-петрографические особенности и вторичные изменения вмещающих пород, текстуру, структуру, минеральный состав, тектонику. Эти данные позволят более точно установить геологические границы продуктивных пород, определить их морфологию, условия залегания и оконтурить блоки подсчета запасов с поверхности и на глубину.

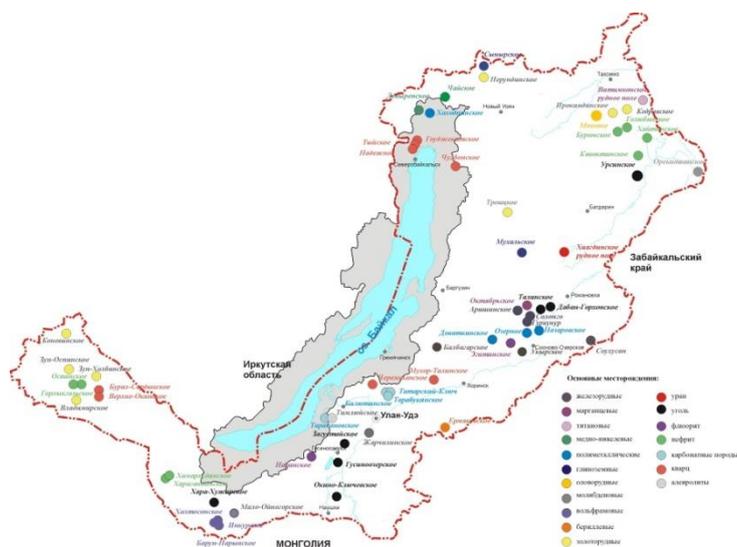
3.10. Изучены сапфиры из аллювия руч. Нарын-Гол и в пирокластике близлежащего щелочно-базальтового палеовулкана Барун-Хобол Правый (Джидинское базальтовое плато, бассейн р. Дархинтуй). Сапфиры, как в россыпи, так и в пирокластике ассоциируют с мегакристами граната, оливина, шпинели, санидина, авгита, ильменита. Обогащение камнесамоцветным материалом наблюдается в средней и приустьевой части россыпи, в слоях, содержащих продукты разрушения базальтов, независимо от особенностей сортировки материала в россыпи. Корунды Нарын-Гол окрашены в синий и голубой, зеленый, желтый, серый, коричневый и даже грязно-розовый цвет (рис. 24). Химический и микроэлементный состав их в целом типичен для «базальтовых» сапфиров – с высоким содержанием Fe, и низким - Ti и Cr. По размеру сапфир варьирует от 3 до 7 мм, достигая иногда 15 и более мм. Наиболее часто встречаются обломки/фрагменты боченковидных и столбчатых кристаллов, дипирамиды редки. Поверхность кристаллов несет следы оплавления, растворения и роста. Полевой шпат представлен санидином; гранат пироп-альмандином (Prp 0.545, Alm 0.312, Grs 0.118). Оливин – форстерит (Mg# 90.27). Шпинель представлена плеонастом, с содержанием хрома и титана 0.57 и 0.81 соответственно. Ортопироксен представлен энстатитом. Также в россыпи были обнаружены псевдоморфозы оксидов и гидроксидов

Fe по пириту. Сапфиры, как и ассоциирующие минералы, имеют содержания 4.6-6.4 ‰ $\delta^{18}\text{O}$, что указывает на магматогенное происхождение корундов из россыпей и делювия.



Рисунок 24 - Цвет и прозрачность корундов Нарын-Гол

3.11. Представлен анализ особенностей формирования и освоения минерально-сырьевого сектора Республики Бурятия, выявлены проблемы, тормозящие его развитие. Показано, что это традиционная отрасль экономики региона, обладающего большим количеством месторождений разнообразного сырья (рис. 25), но при этом их промышленное освоение недостаточно. Определено, что, наряду с неблагоприятной конъюнктурой, кризисными явлениями, недостатком средств, негативно сказываются суровый климат, сейсмичность, сложный рельеф и слабая инфраструктура. Проанализирован такой тормозящий фактор, как особые экологические требования на Байкальской природной территории. Предложен ряд мер, могущих усилить развитие минерально-сырьевого комплекса Бурятии. Показано, что в ближайшем будущем необходимы восстановление воспроизводства сырьевой базы в золотодобыче, запуск Озёрного месторождения, масштабное освоение Хиагдинского уранового рудного поля.



Центральная экологическая зона Байкальской природной территории выделена серым цветом. Месторождения: 1 - железорудные, 2 - марганца, 3 - титана, 4 - медно-никелевые, 5 - полиметаллические, 6 - глинозема, 7 - олова, 8 - молибдена, 9 - вольфрама, 10 - берилла, 11 - золоторудные, 12 - урана, 13 - угля, 14 - флюорита, 15 - нефрита, 16 - карбонатных пород, 17 - кварца, 18 – алевrolита

Рисунок 25 - Схема расположения основных месторождений на территории Бурятии

3.12. На Серебряном золоторудном проявлении изучен минеральный состав рудоносных зон катаклаза и милонитизации в гнейсо-гранитах Гарганской глыбы, золотосодержащих кварцевых жил и ассоциирующих с ними зон сульфидной минерализации. Зоны рассланцевания и катаклаза пород имеют северо-западную ориентировку, мощность их на поверхности составляет 50-60 метров при протяженности около 400 м. Гнейсо-граниты в зонах тектонических нарушений превращены в березиты. Мощность кварцевых жил – от первых см до 0.1-0.5 м. Сульфидные минералы образуют сплошные струи (полосы) в зальбандовых частях кварцевых жил (рис. 26), мощностью от 0.5 до 2-3 см. Основной рудный минерал - пирит (90%), в меньшей степени развит халькопирит (10%). Содержания золота колеблются от 2 до 6 г/т, в среднем составляя 4.5 г/т.



Рисунок 26 - Распределение сульфидной минерализации в кварцевых жилах в виде сплошных полос/струй на рудопроявлении Серебряное

3.13. Оценено влияние даек барунхолбинского комплекса на распределение золотого оруденения в рудном теле «Валентина» Владимирского месторождения золота. Установлен минеральный состав рудоносных кварцевых жил до и после контакта с барунхолбинской дайкой (рис. 27). При их сравнении отмечается следующие основные черты. В рудных жилах кварц серый, в безрудных – более светлый, до белого, в обоих случаях минерал трещиноватый. В безрудных кварцевых жилах заметно увеличивается количество карбонатного минерала и хлорита. В рудных жилах среди рудных минералов заметно преобладает пирит (халькопирит встречается редко), в безрудных жилах количество халькопирита выше, хотя и незначительное. Судя по сульфидизации, прожилковому окварцеванию и карбонатизации даек, зона гидротермальных изменений пересекает дайку. Резкие снижения содержаний золота (с 18 до 0.8 г/т) до и после контакта с дайкой свидетельствует о том, что дайки были экраном для золотого оруденения.

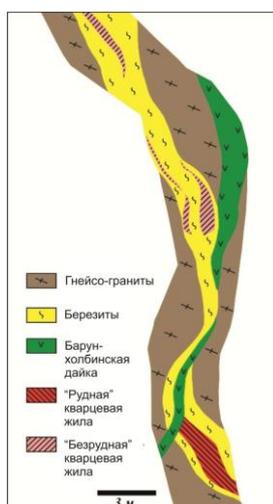
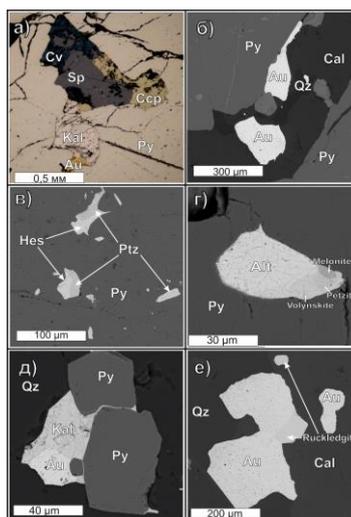


Рисунок 27 - Фрагмент подземной горной выработки по рудному телу «Валентина», месторождение Владимирское

IV. Основные результаты этапа 2020 г.:

4.1. Изучены минералого-геохимические особенности золото-теллуридного оруденения Пионерского кварцевожильного месторождения (Восточный Саян). Золото-кварцевые рудные тела Пионерского месторождения представляют собой малосульфидные пирит-кварцевые и карбонат-пирит-кварцевые прожилки и жилы, приуроченные к зонам дробления, милонитизации и рассланцевания в архейских породах фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента, представленных преимущественно гранитогнейсами, в меньшей степени, мигматитами и амфиболитами, с мелкими линзовидными телами (ксенолитами?) лиственитов. Жилы малосульфидные, из

рудных минералов преобладает пирит, реже встречаются халькопирит, пирротин, галенит, теллуриды, самородное золото и единичные зерна блеклой руды. В кварцевых жилах, залегающих в телах лиственитов, кроме перечисленных, присутствуют минералы Ni-Co – кобальтин, аллоклазит, герсдорфит, пентландит. В составе теллуридов диагностирован целый ряд минеральных видов: алтаит, петцит, гессит, калаверит, мелонит, теллуровисмутит, пильзенит, колорадоит, раклиджит, волынскит, цумоит и тетрадимит (рис. 28).



а – зерно сфалерита в пирите, частично замещенное ковеллином, которое обрастает халькопирит; б – кальцитовый прожилок с зернами золота и реликтами кварца; в – зерна петцита в ассоциации с гесситом в пирите; г – полифазное включение теллуридов: мелонит-петцит-волынскит-алтаит; д – зерно калаверита обрастает золото и пирит по краям; е – зерна золота в сростании с раклиджитом на контакте кварца и кальцита

Рисунок 28 - Взаимоотношения теллуридных минералов в рудах Пионерского месторождения

Самородное золото, ассоциирующее с теллуридами имеет относительно высокую пробность (816-973‰), встречаются также единичные зерна низкопробного (700‰) золота в ассоциации с галенитом и сфалеритом. Выделения золота присутствуют в рудах в виде мелких прожилков и зерен неправильной формы в кварце и в пирите, часто образуют сростания с теллуридными минералами. В рудах выделены три рудные минеральные ассоциации: кварц-пиритовая, кварц-полисульфидная и золото-теллуридная. В ходе формирования этих ассоциаций последовательно снижалась фугитивность серы и повышалась фугитивность теллура. Исследования флюидных включений и минеральная термометрия позволили установить общий интервал температур минералообразования от 285 до 225°C, причем формирование золото-теллуридной ассоциации происходило в интервале температур 225-227°C. Изотопные составы серы в пирите и равновесном флюиде имеют значения, характерные для ювенильной серы. Исследования изотопного

состава кислорода свидетельствуют об участии метеорных вод в рудообразовании. На основе проведенных исследований установлено, что формирование Пионерского золото-кварцевого месторождения происходило по модели метаморфической деволатилизации, где источником рудообразующих элементов были архейские гранитогнейсы с прослоями амфиболитов и мигматитов, содержащие фрагменты пород офиолитовой ассоциации.

4.2. Проведены петрогеохимические и термохронологические исследования гранитоидов, вмещающих Таинское золото-порфировое месторождение. Таинский гранитоидный шток прорывает ультрабазиты Оспинско-Китойского офиолитового массива и входит в состав аллохтонной пластины, надвинутой на породные комплексы архейского фундамента Тувино-Монгольского микроконтинента. Полученные тремя независимыми методами (U-Pb, Re-Os, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$) согласующиеся значения изотопного возраста в интервале 850-860 млн. лет подтверждают неопротерозойский возраст гранитоидного магматизма, а также генетическую связь магматизма с золото-(медно)-порфировым оруденением (табл. 1).

Геохимические особенности и возраст гранитоидов позволяют отнести их к неопротерозойской Дунжугурской энсиматической островной дуге. Полученные результаты позволяют предполагать, что магматизм в Дунжугурской островной дуге продолжался в период от более 1 млрд. до 850 млн. лет, т.е. время существования этой островной дуги оценивается в ≥ 200 млн. лет. Значения изотопного возраста, определенные Rb-Sr и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методами, характеризующимися относительно низкими температурами закрытия изотопных систем, позволяют выделить несколько возрастных групп, отражающих разные этапы развития Восточно-Саянского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (см. табл. 1):

1. 650 млн. лет – коллизия Сархойской островной дуги с Тувино-Монгольским микроконтинентом.

2. 435 млн. лет – раннепалеозойский орогенез, приведший к становлению континентального режима в регионе.

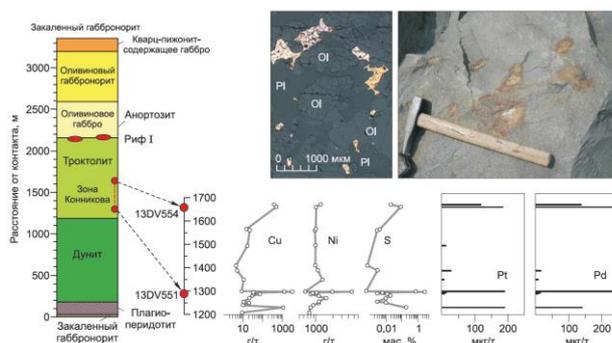
3. 339–333 млн. лет и 280–223 млн. лет – два этапа позднепалеозойских сдвиговых деформаций, обусловленных позднепалеозойскими событиями, приведшими к формированию современного облика Евразийского континента.

Таблица 1. Результаты изотопного датирования гранитоидов Таинского штока

№ обр.	Проанализированный минерал	Возраст, млн. лет	Источник
Ок-26	Циркон из кварцевых диоритов	853±5	Свои данные
Вс-652	Роговая обманка из углеродизированных гранитоидов	855.8±5.1	Так же
Вс-652	Калиевый полевой шпат из углеродизированных гранитоидов	650.1±4.7	--/--
Вс-653	Роговая обманка из диоритов	644.1±4.2	--/--
Тн-330	Роговая обманка из диоритов	435.2±9.0	--/--
Вс-45-46	Светлый мусковит из углеродизированных гранитоидов	339.0±3.2	--/--
Вс-45-46	Темный мусковит из углеродизированных гранитоидов	333.8±3.1	--/--
Тн-329	Роговая обманка из диоритов	280.4±4.1	--/--
Вс-45-46	Калиевый полевой шпат из углеродизированных гранитоидов	223.5±1.6	--/--
Rb-Sr изохрона	Измененные граниты Таинского штока	670±20	[18]
TN-2	Молибденит в измененном граните порфирирового штока	~ 860	[18]
TN-1	Включение молибденита в кварце	~ 550	[18]

4.3. Изучены обнажения, структура, минералогия и состав сульфидоносных троктолитов зоны Конникова Йоко-Довыренского расслоенного массива. Этот участок характеризуется проявлениями пегматоидных пойкилитовых сульфидов и рассеянной сульфидной вкрапленности с разнообразной ЭПГ-минерализацией (рис. 29). В составе первых преобладают пирротин-троилитовые продукты распада моносльфидного твердого раствора (mss), вторых - ассоциации

кубанита и халькопирита, производные от промежуточного Ni-Cu-Fe раствора (iss). Положительные ковариации содержаний серы и халькогенов (Se, Te), а также сублинейный тип зависимости концентраций Pd, Pt, Au и Cu от теллура указывают на сульфидный контроль распределения этих элементов в троктолитовых кумулатах. При нормировке их концентраций в породах на сульфидную массу средние составы «100%-х сульфидов» в образцах подразделяются на две группы - резко обедненные платиноидами, Au, Cu и Tl и в 10-50 раз обогащенные. Причем такое деление согласуется с морфологическими и минералогическими различиями. Генетическое значение имеет то, что составы mss-ассоциаций несколько беднее платиноидами и Te по сравнению с примитивными сульфидами из базальной зоны Довырена; составы с преобладанием сульфидов меди заметно богаче. Этот вывод подкреплен данными LA-ICP-MS исследований микроэлементного состава сульфидных фаз. Установленные особенности указывают на ограниченные масштабы фракционирования несмесимых сульфидов по мере затвердевания троктолитовых кумулатов. Тогда как формирование богатых ЭПГ и Te ассоциаций можно связать с последовательностью кристаллизации сульфидного прекурсора, близкого наиболее примитивной жидкости. Это согласуется с известными законами кристаллизации сульфидных систем, в том числе объясняя аномально высокие отношения S/Te в богатых продуктами mss пегматоидных троктолитах. Таким образом, в качестве агента, транспортирующего благородные металлы и халькогены в толще троктолитовых кумулатов, выступали сульфидные расплавы.

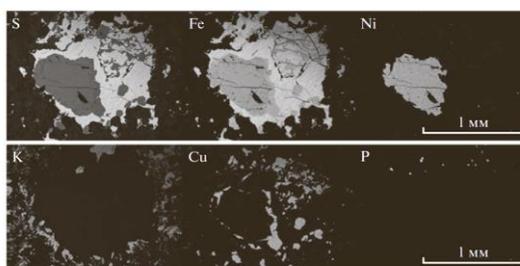


На врезке слева микрофотография шлифа обр. 07DV403-1 (желтая фаза - халькопирит) и фотография коренного обнажения троктолитов со шлирами сульфидной вкрапленности

Рисунок 29 - Положение зоны Конникова в Йоко-Довыренском массиве, распределение Cu, Ni, S, Pt и Pd в нижней половине троктолитовой зоны

4.4. Исследованы сульфидные глобулы из пикродолеритов придонного апофиза Йоко-Довыренского массива. Структурные особенности пород указывают на кристаллизацию в условиях быстрого остывания магмы, а их состав близок к составу закаленных оливиновых габроноритов нижнего контакта массива. Используя методы

рентгеновской компьютерной томографии, в одном из образцов было обнаружено множество каплевидных глобул размером от 2 до 15 мм. Наиболее крупная глобула была выбурена и изучена детально. Это позволило уточнить ее строение, которое включает основной сфероид и окружающее гало тонкой сульфидной вкрапленности. Используя средние составы главных сульфидных фаз и их относительные пропорции, установлены существенные различия среднего химического состава главной капли и окружающего гало, более богатого медью (рис. 30). Средневзвешенный (с учетом гало) состав можно рассматривать как аппроксимацию исходной сульфидной жидкости, формировавшейся вблизи зоны закалки габброноритового апофиза из главной интрузивной камеры. Содержание меди в исходном сульфиде отвечает результатам термодинамического моделирования геохимии примитивных сульфидов в ультрамафитах основания массива по программе COMAGMAT-5. Различия в составе гало и основной капли указывают на возможность локальной миграции (в масштабе первых мм) остаточных сульфидных жидкостей, обогащенных медью на этапе дифференциации протосульфидного расплава. В качестве физического механизма формирования гало предполагается отжим наиболее поздней сульфидной фракции в поровое пространство быстро кристаллизующихся оливиновых ортокумулатов.



Нижняя левая часть капли сложена пентландитом, гало – халькопиритом, глобула окружена зернами флогопита

Рисунок 30 - Элементные карты содержаний S, Fe, Ni, Cu, K, P для одного из сечений обр. 16DV627-1-2

4.5. Показана возможность использования некондиционного нефрита для производства строительных материалов на примере Улан-Ходинского месторождения апоультрамафитового нефрита. Оно находится на юго-востоке Холбын-Хаирханского ультрамафитового массива (юго-восточная часть Восточного Саяна). Интенсивное развитие разломов северо-западного и северо-восточного простирания разобщило массив на отдельные блоки. Вмещающие тела нефритов серпентиниты трещиноваты до полной раздробленности из-за интенсивного развития разрывных нарушений. В связи с этим для жил нефрита характерно развитие

трещиноватых, рассланцованных разностей табачно-зеленого цвета вдоль контактов и трещин. Кондиционный нефрит светло-молочно-зеленого оттенка слагает только центральную часть жил (рис. 31). В связи с этим максимальный выход сортового нефрита составляет 20-25 %. Установлено, что щебень из некондиционного нефрита имеет высокое качество, устойчив против всех видов распадов и стоек к воздействию окружающей среды. Изучено использование некондиционного нефрита в качестве гидравлической добавки в составе композиционных материалов. Получены цементные вяжущие композиции с добавкой некондиционного нефрита, изучены их физико-механические свойства. Определены технологические параметры получения тяжелых бетонов с использованием нефрита.

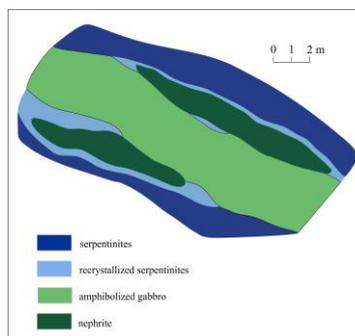


Рисунок 31 - Схема локализации жил нефрита Улан-Ходинского месторождения по [14]

4.5. Изучены морфология и вещественный состав Барун-Холбинского золоторудного месторождения в Урик-Китойской зоне Восточного Саяна. Исследования проходили в штольне, пройденной по рудной зоне Центральная (рис. 32). Установлено, что рудное тело зоны представляет собой серию сульфидно-кварцевых жил с линзами березитов, локализованных в архейских гнейсо-гранитах Гарганской глыбы. Кварцевые жилы, сливаясь с березитами, образуют сплошные золотоносные минерализованные зоны. Протяженность их составляет 110-140 м, при средней мощности 2.5-4 м. В кварцевых жилах отмечаются две минеральные ассоциации – пиритовая и галенит-сфалеритовая. При этом повышенные содержания золота (4.7-8.6 г/т) характерны для галенит-сфалеритовых руд. В пиритовых рудах оно составляет 1.5-3.4 г/т, во вмещающих березитах – 1-4.1 г/т. Предлагается рассматривать месторождение не как кварцево-жильное, а как минерализованную зону по аналогии с Зун-Холбинским. При объединении разрозненных рудных кварцевых жил в единое рудное тело, изменении кондиций в сторону понижения бортового содержания с 5 г/т до 1 г/т и минимального промышленного содержания с 15 г/т до 5 г/т, Центральное рудное тело становится более

выдержанными по сплошности оруденения и мощности. При этом запасы месторождения увеличиваются в 1.8-2 раза.

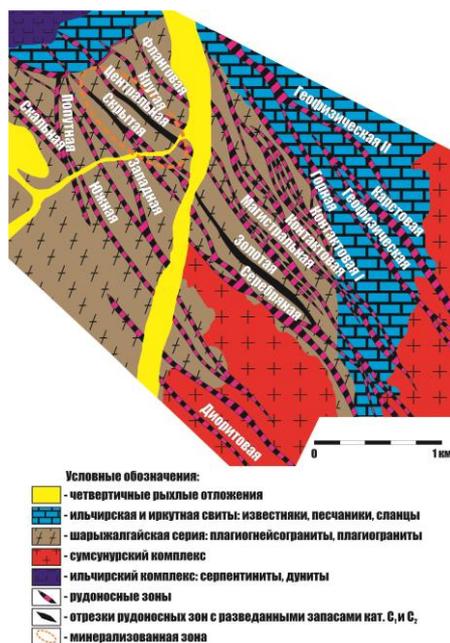


Рисунок 32 - Месторождение Барун-Холбинское – схема рудоносных зон с использованием [7]

Заключение

С 2017 г. основное направление научных исследований по проекту IX.130.3.3 – создание геолого-генетических моделей рудообразующих систем локальных типовых рудных объектов в ранге месторождений и рудных полей благородных металлов, поликомпонентных руд, а также нетрадиционных по структурно-вещественным признакам рудопроявлений. В этой связи, на первый план выдвинулись следующие аспекты моделей: источники вещества, примеси и механизмы его геохимического концентрирования на рудоподготовительных и рудных этапах формирования рудообразующих систем, изотопно-геохимические датировки основных вех их развития. Важнейшие результаты, приведенные в отчете, как раз и посвящены решению этих актуальных вопросов.

Одним из основных объектов выполнения проекта был Озернинский рудный узел в Западном Забайкалье. Разработаны геолого-генетические модели рудообразующих систем Озерного свинцово-цинкового и Назаровского золото-цинкового месторождений. В качестве природной модели месторождений на рудоподготовительных этапах их формирования использована биокосная Хойто-Гольская система (термальные воды – микроорганизмы - травертины). В результате обобщения большого массива данных созданы эволюционные модели формирования рудообразующих систем, продуцирующих благороднометалльную минерализацию в зеленокаменных поясах Забайкалья.

В результате изучения золоторудных объектов Северного Прибайкалья обнаружены и изучены сферические микрочастицы - индикаторы условий функционирования рудообразующей системы Ирокиндинского месторождения золота. На примере рудного поля Мукадек изучено геохимическое поведение золота в ходе динамометаморфического рудообразования. Предложена динамометаморфическая модель формирования Юбилейного рудного поля.

Продолжено изучение золоторудных объектов юго-восточной части Восточного Саяна. Предложена новая модель формирования Зун-Оспинского золоторудного месторождения в результате мобилизации и геохимического концентрирования рудных компонентов в ходе развития метаморфогенно-гидротермальной рудообразующей системы при трехстадийном деформационном преобразовании пород. Показано, что золото-кварцевое рудопроявление Надежда в пределах Холбинского рудного поля – аналог Пионерского золоторудного месторождения, его юго-восточное продолжение. На Зун-Холбинском золоторудном месторождении установлены четыре рудные ассоциации: пирит-пирротиновая, кварц-карбонат-сульфидная, кварц-полисульфидная и

сульфосольная, соответствующие дорудному этапу и трем последовательным стадиям рудообразующего процесса. На Серебряном золоторудном проявлении изучен минеральный состав рудоносных зон катаклаза и милонитизации в гнейсо-гранитах Гарганской глыбы, золотосодержащих кварцевых жил и ассоциирующих с ними зон сульфидной минерализации. Оценено влияние даек барунхолбинского комплекса на распределение золотого оруденения в рудном теле «Валентина» Владимирского месторождения золота: резкие снижения содержаний золота (с 18 до 0.8 г/т) до и после контакта с дайкой свидетельствует о том, что дайки были экраном для золотого оруденения. Установлено, что формирование Пионерского золото-кварцевого месторождения происходило по модели метаморфической деволатилизации, где источником рудообразующих элементов были архейские гранитогнейсы с прослоями амфиболитов и мигматитов, содержащие фрагменты пород офиолитовой ассоциации. Для гранитоидов, вмещающих Таинское золото-порфировое месторождение, получен неопротерозойский возраст (850-860 млн. лет), обоснована островодужная природа, доказана генетическая связь золотого оруденения. Термохронологически выделены возрастные рубежи этапов тектонической эволюции Восточно-Саянского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса. Изучены морфология и вещественный состав Барун-Холбинского золоторудного месторождения в Урик-Китойской зоне: предлагается рассматривать месторождение не как кварцево-жильное, а как минерализованную зону. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ методом датированы руды орогенных золоторудных месторождений, выделены раннепалеозойский аккреционно-коллизийный (500-400 млн. лет) и позднепалеозойский сдвиговый (380-350 млн. лет) этапы формирования золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна. На основе обобщения состава главных продуктивных минеральных парагенезисов проведена типизация золоторудных месторождений и рудопроявлений юго-восточной части Восточного Саяна в 8 минеральных типов, характерны для разных структурно-металлогенических зон, сформированных в разных тектоно-геодинамических обстановках.

Продолжилось изучение Йоко-Довыренского расслоенного массива в Северном Прибайкалье. Получены новые данные о содержаниях благородных металлов, умеренно-халькофильных элементов и халькогенов (Se, Te) в сульфидно-минерализованных породах и Cu-Ni рудах из основания интрузива, указывающие на “сульфидный контроль” их поведения, связанный с перераспределением Mss-подобных сульфидных жидкостей на магматической стадии. Исследование сульфидоносных троктолитов зоны Конникова показало, что в качестве агента, транспортирующего благородные металлы и халькогены в

толще троктолитовых кумулатов, выступали сульфидные расплавы. Исследованы сульфидные глобулы из пикродолеритов придонного апофиза, показавшие миграцию в масштабе первых мм остаточных сульфидных жидкостей, обогащенных медью на этапе дифференциации протосульфидного расплава, путем отжима наиболее поздней сульфидной фракции в поровое пространство быстро кристаллизующихся оливиновых ортокумулатов. Новые геохимические данные по породам экзоконтакта и апокарбонатным скарнам показали рудогенетическую роль углекислого флюида, обогащающегося Pt из магматических сульфидов, которая может переотлагаться в том числе и в зоне скарнообразования. На основании изучения минерального состава, в том числе включений в хромшпинели, показано, что хромититы, приуроченные к зоне развития магнезиальных скарнов в верхней части дунитового горизонта, представляют собой высокохромистые скарны магматического этапа. Выделены типы полиметальной и нерудной минерализации: сульфидной медно-никелевой, малосульфидной платинометальной на нескольких уровнях, хромитовой, циркониевой, борной, голубого диопсида и магнезиально-силикатных пород; сформулирована модель формирования минерализации различными геологическими процессами в ходе длительной эволюции; раскрыта проблема комплексного использования минерального сырья. Проведено сравнение Довыренского интрузивного комплекса с Франклинской крупной изверженной провинцией северной Лаврентии возраста 725-715 млн. лет, связанной с распадом Родинии, поддерживающее перспективность Франклинской провинции на магматическую сульфидную минерализацию.

Показано, что особенности Маринкина концентрически-зонального дунит-троктолит-габбрового массива (Средне-Витимская горная страна) свидетельствуют о многократной перекристаллизации при изменении геологических и термодинамических условий и значительном термальном и флюидном воздействии поздних гранитов, что и сформировало медно-никелевую и хромититовую минерализацию.

Изучались месторождения нефрита. Обнаружены реликтовые минералы платиновой группы в нефрите Горлыкгольского месторождения (Восточный Саян). Показана возможность использования некондиционного нефрита для производства строительных материалов на примере Улан-Ходинского месторождения апоультрамафитового нефрита (Восточный Саян). Сравнение данных геологоразведочных работ с результатами отработки Кавоктинского месторождения апокарбонатного нефрита (Средне-Витимская горная страна) показало, что принятая плотность разведочной сети,

принципы оконтуривания тел и методика подсчета в целом позволяют выявить в процессе геолого-разведочных работ запасы категории С₂.

Исследованиями были затронуты объекты центральной части Западного Забайкалья. В составе жильных ассоциаций Третьяковского золото-флюоритового месторождения выделены три генерации кварца и две – флюорита; диагностированы самородное золото (электрум), акантит и ютенбогартит, показаны эпиптермальные условия рудообразования при 130-184°C. Изучены сапфиры из аллювия руч. Нарын-Гол и пирокластике щелочно-базальтового палеовулкана Барун-Хобол Правый (Джидинское базальтовое плато, бассейн р. Дархинтуй); сапфиры ассоциируют с мегакристами граната, оливина, шпинели, санидина, авгита, ильменита; сапфиры, как и ассоциирующие минералы, имеют $\delta^{18}\text{O}$ 4.6-6.4 ‰, что указывает на магматогенное происхождение. В результате изучения благороднометалльно-полиметаллической минерализации показано, что первичный источник вещества Мыкерт-Санжеевской рудообразующей системы - мантийно-коровый венд-рифейский ультрабазит-базитовый комплекс нижней части земной коры.

Представлен анализ особенностей формирования и освоения минерально-сырьевого сектора Республики Бурятия, выявлены проблемы, тормозящие его развитие; показано, что в ближайшем будущем необходимы восстановление воспроизводства сырьевой базы в золотодобыче, запуск Озёрного месторождения, масштабное освоение Хиагдинского уранового рудного поля.

Поставленные задачи выполнены в полной мере: изучено значительное число месторождений и проявлений Западного Забайкалья и Восточного Саяна, для ряда объектов предложены геолого-генетические модели. Полученные результаты имеют значительный практический интерес для поисков, разведки и оптимальной отработки месторождений полезных ископаемых. Уровень выполненной работы в целом соответствует мировому уровню: результаты опубликованы в 35 статьях в рецензируемых журналах и 2 в сборниках Web of Science, включая 28 статей в изданиях Web of Science, 4 статьи в изданиях Q₁-Q₂ Web of Science (Приложение А).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев И.Л. Геология Еравнинского рудного поля (стратиграфия, фации осадков и палеогеография). – Новосибирск: Изд-во “Наука”, Сиб. отд. 1977. - 126 с.
2. Гордиенко И.В., Нефедьев М.А. Курбино-Еравнинский рудный район Западного Забайкалья: Геолого-геофизическое строение, типы рудных месторождений, прогнозная оценка и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. - 2015. - Т. 57. - № 2. - С. 114-124.
3. Гордиенко И.В. Климук В.С., Филимонов А.В. Вулканизм Удино-Витимской островодужной системы (Западное Забайкалье) // Геотермические и минеральные ресурсы областей современного вулканизма (матер. Междунар. полевого Курило-Камчатского семинара 16 июля – 6 августа 2003 г.). - Петропавловск-Камчатский: “Оттиск”, 2005. - С. 257-265.
4. Гордиенко И.В., Булгатов А.Н., Руженцев С.В. и др. История развития Удино-Витимской островодужной системы Забайкальского сектора Палеоазиатского океана в позднем рифее-палеозое // Геология и геофизика. - 2010. - Т. 51. - № 5. - С. 589-614.
5. Гордиенко И.В., Рощектаев П.А., Гороховский Д.В. Окинский рудный район Восточного Саяна: геологическое строение, структурно-металлогеническое районирование, генетические типы рудных месторождений, геодинамические условия их образования и перспективы освоения // Геология рудных месторождений. - 2016. - Т. 58. - №5. С. 405-429.
6. Добрецов Н.Л. Эволюция структур Урала, Казахстана, Тянь-Шаня и Алтае-Саянской области в Урало-Монгольском складчатом поясе (Палеоазиатский океан) // Геология и геофизика. - 2003. - Т. 44. - № 1-2. - С. 5-27.
7. Золото Бурятии. Кн. 1. Структурно-металлогеническое районирование, геологическое строение месторождений, ресурсная оценка / Рощектаев П.А., Миронов А.Г., Дорошкевич Г.И. и др. - Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2000. - 460 с.
8. Ковалев К.Р., Баулина М.В., Акимцев В.А., Аношик Г.Н. Стратиформные цинково-колчеданные руды и золоторудная минерализация на Назаровском месторождении (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. - 2003. - Т. 44. - № 10. - С. 963-978.
9. Конкин В.Д. Карты золотоносности Саяно-Прихубсугульского региона масштаба 1:500 000 и детальнее для отдельных перспективных площадей с оценкой прогнозных ресурсов золота по категориям P_3 , P_2 в пределах территории Республика Бурятия // Отчет по теме 029д. - М.: ЦНИГРИ, 2002. - 175 с.

10. Миронов А.Г., Жмодик С.М., Очиров Ю.Ч., Боровиков А.А., Попов В.Д. Таинское золоторудное месторождение (Восточный Саян, Россия) – редкий тип золото-порфировой формации // Геология рудных месторождений. - 2001. - Т. 43. - № 5. - С. 395-413.
11. Постников А.А., Журавлева И.Т., Терлеев А.А. Стратиграфия кембрийских отложений Озернинского рудного узла (Западное Забайкалье) // Геология и геофизика. - 1997. - Т. 38. - № 3. - С. 608-619.
12. Руженцев С.В., Минина О.Р., Аристов В.А., Голионко Б.Б., Ларионов А.Н., Лыхин Д.А., Некрасов Г.Е. Геодинамика Еравнинской зоны (Удино-Витимская складчатая система Забайкалья): геологические и геохронологические данные // Доклады Академии наук. - 2010. - Т. 434. - № 3. - С. 361-364.
13. Рундквист Д.В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геология рудных месторождений. - 1993. - Т. 35. - № 6. - С. 467-490.
14. Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С., Секерина Н.В. Месторождения нефрита. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. - 377 с.
15. Феофилактов Г.А. О генетическом родстве и связи разнотипного оруденения Озернинского рудного узла с тектономагматической активизацией // Тектоника и металлогения областей орогенной активизации. - Иркутск, 1986. - С. 127-136.
16. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики: Учебник. - М.: КДУ, 2005. - 560 с.
17. Царев Д.И., Фирсов А.П. Проблемы формирования колчеданных месторождений (на примере Забайкалья). - М.: Наука, 1988. - 144 с.
18. Mironov A.G., Stein H., Zimmerman A., Zhmodik S.M. Dating of gold occurrences in the Sayan-Baikal Fold Belt, Southern Siberia, Russia // Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. Ed. by J. Mao, F. P. Bierlein. Proceed. 8th SGA Meeting, Beijing, China, 18-21 Aug., 2005. - Springer, Berlin-Hedelberg, Germany, 2005. - Ch.7. - P. 797-799.

Статьи в рецензируемых зарубежных и отечественных журналах

2017 г.:

1. Будяк А.Е., Паршин А.В., Спиридонов А.М., Реутский В.Н., Дамдинов Б.Б., Волкова М.Г., Тарасова Ю.И., Абрамова В.А., Брюханова Н.Н., Зарубина О.В. Геохимические особенности формирования Au-U месторождений типа «несогласия» (Северное Забайкалье) // Геохимия. - 2017. - № 2. - С. 149-160. *DOI:10.7868/S00167525170100 46.*

2. Ванин В.А., Татаринов А.В., Гладкочуб Д.П., Мазукабзов А.М., Молочный В.Г. Роль динамометаморфизма в формировании золоторудного поля Мукадек (Северное Прибайкалье) // Геодинамика и тектонофизика. - 2017. - Т. 8. - № 3. - С. 643-653. *DOI:10.5800/GT-2017-8-3-0310.*

3. Мазуров М.П., Быкова В.Г. Моделирование процесса формирования неизотермической зональности магнезиальных скарнов в рудно-магматических флюидных системах интрузивных трапсов юга Сибирской платформы // Геология и геофизика. - 2017. - Т. 58. - № 5. - С. 661-673. *DOI:10.15372/GiG20170501.*

4. Татаринов А.В., Яловик Л.И., Кашкак Е.С., Данилова Э.В., Хромова Е.А., Хахинов В.В., Намсараев Б.Б. Минералого-геохимические особенности бактериальных матов и травертинов термального источника Хойто-Гол (Восточные Саяны) // Геология и геофизика. - 2017. - Т. 58. - № 1. - С. 60-73. *DOI:10.15372/GiG20170105.*

5. Татаринов А.В., Яловик Л.И., Канакин С.В., Зяблицев А.Ю. Первая находка нефрита с аксессуарными минералами платиновой группы // Доклады РАН. - 2017. - Т. 473. - № 2. - С. 201-204. *DOI:10.7868/S0869565217080217.*

2018 г.:

1. Арискин А.А., Николаев Г.С., Данюшевский Л.В., Фиорентини М.Л., Кислов Е.В., Пшеницын И.В. Геохимические свидетельства фракционирования платиноидов иридиевой группы на ранних стадиях дифференциации довыренских магм (Северное Прибайкалье, Россия) // Геология и геофизика. - 2018. - Т. 59. - № 5. - С. 573-588. *DOI:10.1016/j.rgg.2018.04.001.*

2. Бардухинов Л.Д., Spezius З.В., Кислов Е.В., Иванов А.С., Монхоров Р.В. Парагенезисы гранатов в алмазах из кимберлитов Якутии по данным рамановской и ИК-спектроскопии // Записки РМО. - 2018. - № 2. - С. 25-35. *DOI:10.30695/zrmo/2018.1472.01.*

3. **Бардухинов Л.Д.**, Специус З.В., Монхоров Р.В. Сингенетические и протогенетические включения оливина в алмазах из кимберлитов Якутии по данным КР- и ИК-спектроскопии // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. - 2018. - № 8. - С. 13-19. *DOI:10.19110/2221-1381-2018-8-13-19.*

4. Григорьева А.В., **Дамдинов Б.Б.**, Служеникин С.Ф. Рудная минерализация в ультрабазитах и метасоматитах Оспинско-Китойского массива (Восточный Саян) // Геология рудных месторождений. - 2018. - Т. 60. - № 2. - С. 141-163. *DOI:10.7868/S0016777018020028.*

5. **Дамдинов Б.Б.**, Дамдинова Л.Б. Зун-Оспинское золоторудное месторождение (Восточный Сан): особенности геологического строения, состав руд и генезис // Геология рудных месторождений. - 2018. - Т. 60. - № 3. - С. 274-300. *DOI:10.7868/S0016777018030048.*

6. **Дамдинов Б.Б.**, Жмодик С.М., Травин А.В., Юдин Д.С., Горячев Н.А. Новые данные о возрасте золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна // Доклады Академии наук. - 2018. - Т. 479. - №5. - С. 532-535. *DOI:10.7868/S0869565218110129.*

7. Спиридонов Э.М., Арискин А.А., **Кислов Е.В.**, Коротаева Н.Н., Николаев Г.С., Пшеницын И.В., Япаскурт В.О. Лаурит и иридийный осмий плагиоклазовых лерцолитов Йоко-Довыренского гипербазит-базитового интрузива (Северное Прибайкалье) // Геология рудных месторождений. - 2018. - Т. 60. - № 3. - С. 241-250. *DOI:10.1134/S1075701518030078.*

8. **Татаринов А.В.**, **Ялович Л.И.**, Ялович Г.А. Прогнозная оценка на алмазы и золото олондинского зеленокаменного пояса (Забайкальский край) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. - 2018. - Т. 41. - № 2. - С. 29-40. *DOI:10.21285/2541-9455-2018-41-2-29-40.*

9. Ariskin A., Danyushevsky L., Nikolaev G., **Kislov E.**, Fiorentini M., McNeill A., Kostitsyn Yu., Goemann K., Feig S., **Malyshev A.** The Dovyren Intrusive Complex (Southern Siberia, Russia): Insights into dynamics of an open magma chamber with implications for parental magma origin, composition, and Cu-Ni-PGE fertility // Lithos. - 2018. - V. 302-303. - PP. 242-262. *DOI:10.1016/j.lithos.2018.01.001.*

10. Ariskin A.A., **Kislov E.V.**, Danyushevsky L.V., Nikolaev G.S., Fiorentini M.L., Gilbert S., Goemann K., **Malyshev A.V.** Erratum to: Cu-Ni-PGE fertility of the Yoko-Dovyren layered massif (northern Transbaikalia, Russia): thermodynamic modeling of sulfide

compositions in low mineralized dunite based on quantitative sulfide mineralogy // *Mineralium Deposita*. - 2018. - V. 53. - № 1. - PP. 153-153. *DOI:10.1007/s00126-017-0741-9*.

11. Ariskin A.A., Nikolaev G.S., Danyushevsky L.V., Fiorentini M., **Kislov E.V.**, Pshenitsyn I.V. Genetic Interpretation of the Distribution of PGE and Chalcogens in Sulfide-Mineralized Ultramafic Rocks from the Yoko-Dovyren Layered Intrusion // *Geochemistry International*. - 2018. - V. 56. - № 13. - PP. 1322-1340. *DOI:10.1134/S0016702918130025*.

12. **Tatarinov A, Yalovik L.** Minerals in Bacterial Mats from the Transbaikalia Mud-Volcanic Deposits // *Modern Applications of Bioequivalence and Bioavailability*. - 2018. - V. 3. - № 1. - 555604. – PP. 1-6. *DOI:10.19080/MABB.2018.03.555604*.

2019 г.:

1. **Дамдинов Б.Б.** Минеральные типы месторождений золота и закономерности их размещения в юго-восточной части Восточного Саяна // *Геология рудных месторождений*. - 2019. - Т. 61. - № 2. - С. 23-38. *DOI:10.31857/S0016-777061223-38*.

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. *DOI:10.15372/GiG2019028*.

3. Дондоков З.Б.-Д., Потапов Л.В., **Кислов Е.В.** Состояние, проблемы и основные направления развития минерально-сырьевого сектора Республики Бурятия // *География и природные ресурсы*. - 2019. - № 1. - С. 137-145. *DOI:10.21782/GIPR0206-1619-2019-1(137-145)*.

4. Симакин А.Г., **Кислов Е.В.**, Салова Т.П., Шапошникова О.Ю., Некрасов А.Н. Восстановленный углекислый флюид как фактор рудогенеза на примере аподоломитовых скарнов Йоко-Довыренского массива // *Петрология*. - 2019. - № 1. - С. 4-18. *DOI:10.31857/S0869-59032714-18*.

5. Худякова Л.И., **Кислов Е.В.**, Войлошников О.В. Основные породы рудоносных ультрамафит-мафитовых комплексов и их практическое использование // *Горный журнал*. - 2019. - № 10. - С. 25-30. *DOI:10.17580/gzh.2019.10.02*.

6. **Bardukhinov L.D.**, Spetsius Z.V., **Kislov E.V.**, Ivanov A.S., Monkhorov R.V. Parageneses of Garnet Inclusions in Diamonds From Yakutia Kimberlites Based on Raman and Ir Spectroscopy Data // *Geology of Ore Deposits*. - 2019. - № 7. - PP. 606-612. *DOI:10.1134/S1075701519070031*.

7. **Yalovik L.I., Tatarinov A.V.** Characterization of Yubileyny Field Ore Potential Based on New Structure – Substance Information // *Geomaterials*. - 2019. - V. 9. - N 1. - P. 1-16. *DOI:10.4236/gm.2019.91001*.

2020 г.:

1. Арискин А.А., Данюшевский Л.В., Фиорентини М., Николаев Г.С., **Кислов Е.В.**, Пшеницын И.В., Япаскурт В.О., Соболев С.Н. Петрология, геохимия и происхождение сульфидоносных и ЭПГ-минерализованных троктолитов из зоны Конникова в Йоко-Довыренском расслоенном интрузиве // *Геология и геофизика*. - 2020. - Т. 61. - № 5-6. - С. 748-773. *DOI:10.15372/GiG2019185*.

2. **Дамдинов Б.Б.**, Дамдинова Л.Б., Хубанов В.Б., Юдин Д.С., Травин А.В., Буянтуев М.Д. Золото-сурьмяное рудопроявление Туманное (Восточный Саян, Россия): минералогия, флюидные включения, изотопы S и O, U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ // *Геология рудных месторождений*. – 2020. - Т. 62. - №3. - С. 247-271. *DOI:10.31857/S001677702003003X*.

3. **Дамдинов Б.Б.**, Жмодик С.М., Хубанов В.Б., **Миронов А.Г.**, Травин А.В., Дамдинова Л.Б. Возраст и обстановки формирования неопротерозойских золотоносных гранитоидов Восточного Саяна // *Геотектоника*. – 2020. - № 3. - С. 82-93. *DOI:10.31857/S0016853X20020034*

4. **Москвитина М.Л.**, **Дамдинов Б.Б.**, Дамдинова Л.Б., **Извекова А.Д.** Минеральные ассоциации кварц-сульфидных руд Зун-Холбинского золоторудного месторождения, Восточный Саян // *Руды и металлы*. – 2020. - № 2. - С. 33-46. *DOI:10.24411/0869-5997-2020-10012*

5. Пшеницын И.В., Арискин А.А., Николаев Г.С., **Кислов Е.В.**, Корост Д.В., Япаскурт В.О., Соболев С.Н. Морфология, минералогия и состав сульфидных капель в пикродолеритах из придонных апофиз Йоко-Довыренского расслоенного интрузива // *Петрология*. - 2020. - Т. 28. - № 3. - С. 280-297. *DOI:10.31857/S0869590320030061*.

6. Худякова Л.И., **Кислов Е.В.**, Палеев П.Л., **Малышев А.В.** Комплексное использование некондиционного нефрита // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. - 2020. - Т. 331. - № 8. - С. 68-76. *DOI:10.18799/24131830/2020/8/2769*.

7. **Kislov E.V.**, Kamenetsky V.S., **Malyshev A.V.**, **Vanteev V.V.** Concentrically-Zoned Mafic-Ultramafic Marinkin Massif, Middle Vitim Highland, Baikal Region, Russia: Inclusions in Chrome Spinel - Key to Mineral Formation Processes // *Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation Proceedings of the 10th All-Russian Youth Scientific Conference (S. Votyakov,*

D. Kiseleva, V. Grokhovsky. Yu. Shchapova, Eds.). - Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - 2020. - P. 111-118. *DOI:org/10.1007/978-3-030-49468-1_15*.

8. **Kislov E.V.**, Khudyakova L.I. Yoko-Dovyren Layered Massif: Composition, Mineralization, Overburden and Dump Rock Utilization // Minerals. - 2020. - V. 10. - N 682. - P. 1-13. *DOI:10.3390/min10080682*.

9. Khudyakova L.I., **Kislov E.V.**, Paleev P.L., Kotova I.Yu. Nephrite-bearing mining waste as a promising mineral additive in the production of new cement types // Minerals. - 2020. - V. 10. - N 394. - P. 1-13. *DOI:10.3390/min10050394/*

10. Sotnikova V.F., Nikolaev A.G., **Kislov E.V.**, **Vanteev V.V.**, Aseeva A.V. Crystal Chemical Features and Color Nature of Sapphire from the Naryn-Gol Deposit (Buryatia) // Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation Proceedings of the 10th All-Russian Youth Scientific Conference (S. Votyakov, D. Kiseleva, V. Grokhovsky. Yu. Shchapova, Eds.). - Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. - 2020. - P. 243-249. *DOI:org/10.1007/978-3-030-49468-1_31*.

11. **Tatarinov A.V.**, **Yalovik L.I.** Ore Forming Systems (Fe, Ti, Ni, Pb, Zn, Noble Metals) of the Transbaikalia Neoproterozoic Greenstone Belts // Geomaterials. – 2020. - V. 10. – P. 66-90. *DOI:10.4236/gm.2020.103005*

12. **Tatarinov A.V.**, **Yalovik L.I.**, **Mironov A.G.**, Posokhov V.F. Mykert-Sanzheevka Field of Polycomponent Ores (Pb, Zn, Ag, Au, PGE): Geologic-Substance Characteristics and Formation Features of Ore-Forming System // Geomaterials. - 2020. - V. 10. - PP. 1-23. *DOI:10.4236/gm.2020.101001*.

13. Timofeeva S.S., **Kislov E.V.**, Khudyakova L.I. Yoko-Dovyren layered dunite-troctolite-gabbro massif, Northern Baikal region, Russia: structure, composition and use of mineral raw materials // Earth Science Frontiers. - 2020. - V. 27. - N 5. - C. 262-279. *DOI:10.13745/j.esf.sf.2020.8.2*.