Федеральное агентство научных организаций

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.4:553.2

№ государственной регистрации 01201282372

УТВЕРЖДЕНО
РЕШЕНИЕМ УЧЕНОГО СОВЕТА
Протокол № 12 от 26.11.2015
Председатель Ученого совета,
директор института, д.г.-м.н.
_____ А.А. Цыганков
« 26 »ноября 2015 г

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Программа VIII.72.3. Геохимия процессов формирования и эволюции рудно-магматических систем в различных геодинамических обстановках Азии

по теме

VIII.72.3.3. ГЕОХИМИЯ ПРОЦЕССОВ РУДООБРАЗОВАНИЯ И МИНЕРАГЕНИЯ ГРАНИТОИДНЫХ И УЛЬТРАБАЗИТ-БАЗИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ

(промежуточный)

Научные руководители:
д.г.-м.н. _____ А.В. Татаринов
к.г.-м.н., доцент _____ Е.В. Кислов

Улан-Удэ, 2015

Список исполнителей

Руководители проекта

гнс, д.г.-м.н. А.В. Татаринов (блок 1)

зав. лаб., к.г.-м.н., доцент Е.В. Кислов (блок 2)

Исполнители проекта

гнс-конс., д.г.-м.н., профессор А.Г. Миронов (блок 1)

снс, к.г.-м.н. Б.Б. Дамдинов (блок 2)

снс, к.т.н. Б.Ж. Жалсараев (блок 2)

снс, к.г.-м.н. Л.И. Яловик (блок 1)

мнс, к.г.-м.н. Н.Г. Бугаева (блок 2)

мнс, к.г.-м.н. Б.Л. Гармаев (блок 2)

мнс В.Г. Быкова (блок 2)

мнс А.В. Малышев (блок 2)

инженер Н.М. Барышникова (блок 1)

инженер Н.Г. Сметанина (блок 1)

инженер М.А. Ранжурова (блок 2)

инженер Ж.Ш. Ринчинова (блок 2)

Реферат

Отчет 23 с., 6 рисунок, 1 прил.

БЛАГОРОДНЫЕ И ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ, ПОЛИМЕТАЛЬНЫЕ РУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ, ОЗЕРНИНСКИЙ РУДНЫЙ УЗЕЛ, ЙОКО-ДОВЫРЕНСКИЙ МАССИВ, ВОСТОЧНЫЙ САЯН, ГУРБЕЙСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ, ЖЕЛЕЗОРУДНЫЕ МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ СКАРНЫ.

Объект исследования – металлогенические зоны Саяно-Байкальской складчатой области.

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

Сформулирована модель формирования Озернинского рудного узла (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Cd, благородные металлы и др.) основанная на том, что источниками рудного вещества были рифовые углеродистые известняки и вулканиты шошонит-латитового ряда, продукты реювинации метабазитов венд-рифейского зеленокаменного пояса при деформационном (тектоно-метаморфическим) механизме мобилизации и концентрирования рудного вещества.

Выявлена и изучена малосульфидная платинометальная минерализация в примитивных троктолитах Йоко-Довыренского расслоенного массива. На основе особенностей вещественного состава руд и генезиса месторождений проведена типизация золоторудных объектов юго-восточной части Восточного Саяна. Изучено Гурбейское золоторудное проявление (Бирюсинский рудный район). Проведено численное моделирование образования магнезиальных скарнов в рудно-магматических системах траппов юга Сибирской платформы.

Полученные результаты применимы в практике работы предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Содержание

Введение…….6
Основные результаты блока 1…….8
Основные результаты блока 2…….10
Заключение…….19
Список использованных источников……...20
Приложение А. Перечень публикаций……22

Нормативные ссылки

Настоящий отчет составлен с использованием Государственного стандарта (ГОСТ 7.32-2001).

Обозначения и сокращения

ГИН СО РАН – Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук;

гнс – главный научный сотрудник;

гнс-конс. - главный научный сотрудник – консультант;

д.г.-м.н. – доктор геолого-минералогических наук;

ИГМ СО РАН – Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук;

ИГХ СО РАН – Инстиут геохимии Сибирского отделения Российской академии наук;

к.г.-м.н. – кандидат геолого-минералогических наук;

зав. лаб. – заведующий лабораторией;

мнс – младший научный сотрудник;

снс – старший научный сотрудник;

СО РАН - Сибирское отделение Российской академии наук;

ЭПГ – элементы платиновой группы;

Pn – пентландит;

Введение

В последние десятилетия в мире, включая Россию, наметился ряд новых подходов при решении фундаментальных проблем, лежащих в основе приоритетного направления VIII.72. Практически все исследователи перешли на мобилистские концепции (плиттектоническая, расслоенности литосферы, плюмовой или глубинной геодинамики), следствием чего стал повышенный интерес к изучению геодинамических обстановок и геохимических факторов формирования месторождений. В основе исследований корреляции процессов рудообразования с геодинамическими режимами литосферы лежат данные изотопной геохимии и, в частности, изотопно-геохронологические датировки (U-Pb, Ar-Ar, Sm-Nd, Re-Os) геологических событий (магматизм, метаморфизм), широкое использование минералого-геохимических и геохимических индикаторов. Задача выявления последних успешно решается с помощью современного арсенала аналитических методов изучения горных пород и минералов.

Характерная особенность минерагении сегодняшнего времени - бурный рост исследований, направленных на прогнозирование, выявление новых и нетрадиционных типов рудной минерализации (генетических, минеральных, технологических). Особое место принадлежит месторождениям и проявлениям с комплексными (поликомпонентными) рудами, требующим детального минералого-геохимического изучения в связи с разработкой эффективных технологий обогащения, извлечения максимального числа компонентов с учётом современных экологических требований. Данная проблема одна из самых актуальных, особенно для старых горнорудных районов, минерально-сырьевая база которых уже не может быть расширена за счёт ресурсов «монометалльных» месторождений с богатыми содержаниями того или иного рудного компонента.

СО РАН (в первую очередь ИГМ, ИГХ, ГИН) принадлежит одно из ведущих мест в прогнозировании и выявлении новых нетрадиционных типов эндогенногоруденения с комплексными рудами в Центрально-Азиатском складчатом поясе, включая Саяно-Байкальский регион. На территории последнего установлено несколько новых и нетрадиционных формационно-генетических, рудно-формационных, минеральных типов рудной минерализации, изученность которых (за некоторым исключением) остаётся ещё недостаточной. Значительный вклад сделан и исполнителями проекта: выделено несколько минеральных и геохимических типов золоторудных месторождений и проявлений северной части Муйского района [Татаринов, Яловик, 2010]; для Баунтовского рудного района и его флангов выделен Курба-Витимский зеленокаменный пояс, для которого предложено новое металлогеническое районирование на благородные металлы [Татаринов, Яловик, 2012]; предложена петролого-геологическая модель формирования Сыннырско-Довыренского вулкано-плутонического комплекса и связанного сульфидно-никелевого оруденения, дана прогнозная оценка Cu-Ni сульфидных руд в 4 млн. т

густовкрапленных руд с 20% сульфидов [Арискин и др., 2008; Кислов, 2011]; сформулирована геолого-генетическая модель формирования ЭПГ-Cu-Ni-носных рифейских ультрамафит-мафитовых интрузивов, большей частью принадлежащих дунит-троктолит-габбровой формации в составе вулканно-плутонических ассоциаций [Кислов, 2009, 2012]; изучены минералого-геохимические и генетические особенности платинометалльной минерализации в метасоматитах Восточно-Саянского офиолитового пояса [Дамдинов, 2012; Миронов и др., 2008; Кислов, Дамдинов, 2011].

Проект выполняется в 2013-2016 гг. в лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ГИН СО РАН под научным руководством д.г.-м.н. А.В. Татаринова и к.г.-м.н. Е.В. Кислова.

Содержание работы на 2015 г.: создание моделей формирования рудообразующих систем Озернинского (Еравнинский рудный район), Оспинско-Китойского (Окинский рудный район) узлов и Олокитской металлогенической зоны (Северо-Байкальский рудный район).

Планируемый результат выполнения работы: будут созданы модели формирования рудообразующих систем Озернинского (Еравнинский рудный район), Оспинско-Китойского (Окинский рудный район) узлов и Олокитской металлогенической зоны (Северо-Байкальский рудный район).

Основные результаты блока 1

Блок 1. Полиметалльные рудообразующие системы Удино-Витимской металлогенической зоны и ее флангов: минерагения и геолого-генетические модели (ответственный исполнитель А.В. Татаринов).

1.1. Модель формирования Озернинского рудного узла (Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Cd, благородные металлы и др.).

Озернинский узел входит в состав Удино-Витимской металлогенической зоны, геологическое развитие которой на длительном отрезке времени (Rf-Kz) осуществлялось в режиме рифтогенеза (Воронцов, Ярмолюк, 2004; Дорошкевич, 2014; Татаринов, Яловик, Батышев, 2014). Интервалы рифтообразования (млн. лет): 1,7-1,1; 320-283; 225-90; 100-5. В промежутки времени между этими интервалами рассматриваемая территория развивалась в условиях коллизионной тектоники, преимущественно шарьяжно-надвигового типа. Согласно трехмерной геолого-геофизической модели (Шелехов, 2010) Озернинский рудный узел приурочен к одноименной раннекаледонской вулканогенно-осадочной депрессии северо-восточного простирания, заложенной на кристаллическом фундаменте, сложенным, по нашим представлениям, породами венд-рифейского зеленокаменного пояса. Глубина фундамента от поверхности Земли – 600-3000м.

Структура этой “впадины”, в нынешнем виде являющейся фрагментом зоны тектонического меланжа, содержащего разновозрастные блоки горных пород (рисунок 1), вероятно, неоднократно подвергалась тектоно-метаморфическим преобразованиям (рисунок 2). Основными элементами рудообразующей системы, продуцирующей поликомпонентную минерализацию, являются:

– основные источники рудного вещества: рифовые углеродистые известняки (Pb, Zn, Cd, B, P) и вулканиты шошонит-латитового ряда (Fe, благородные металлы, частично Pb и Zn); продукты реювинации (по Д.В. Рундквисту, 1993) метабазитов венд-рифейского зеленокаменного пояса;

– деформационный (тектоно-метаморфический) механизм мобилизации и концентрирования рудного вещества. Предполагается, что высвобождение из геохимически специализированных на рудные компоненты горных пород (углеродистые известняки и вулканиты шошонит-латитовой серии), перераспределение и накопление последних осуществлялось за счет механохимических реакций в условиях сдвигово-надвигового тектоногенеза.

Особенностью меланжевой структуры самого крупного Озерного месторождения является следующее. В верхней части он представлен блоковым типом, а в нижней линзовидно-пластинчатым. Наиболее богатые Pb-Zn руды, по-видимому, приурочены к линзовидно-пластинчатому меланжу.

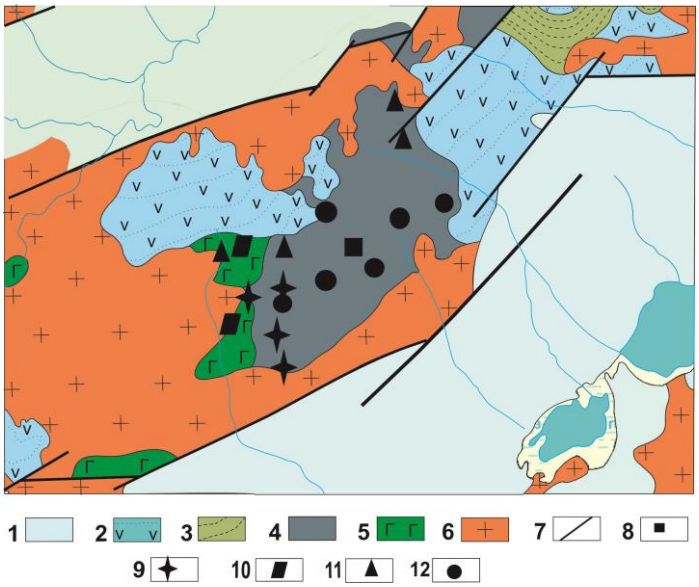

Рисунок 1. Схема размещения формационных типов поликомпонентных руд Озёрнинского узла:
1 – меловые отложения рифтогенных впадин; 2 – нерасчленённые терригенно-вулканогенные отложения (PZ3-MZ2); 3 – терригенно-осадочные отложения (O-S) рифтогенных впадин; 4 – рудоносная зона полимиктового меланжа с разновозрастными (PZ-MZ) блоками вулканогенно-осадочных пород и гранитоидов; 5 – шошонит-латитовый комплекс (PZ1); 6 – гранитоиды различных петротипов, включая щелочные; 7 – основные разломы; 8-12 - формационные типы рудной минерализации: 8 – бор-железорудный; 9 – барий-железорудный; 10 – фосфор-железорудный; 11 – железо-полиметаллический; 12 – золото-железо-полиметаллический.

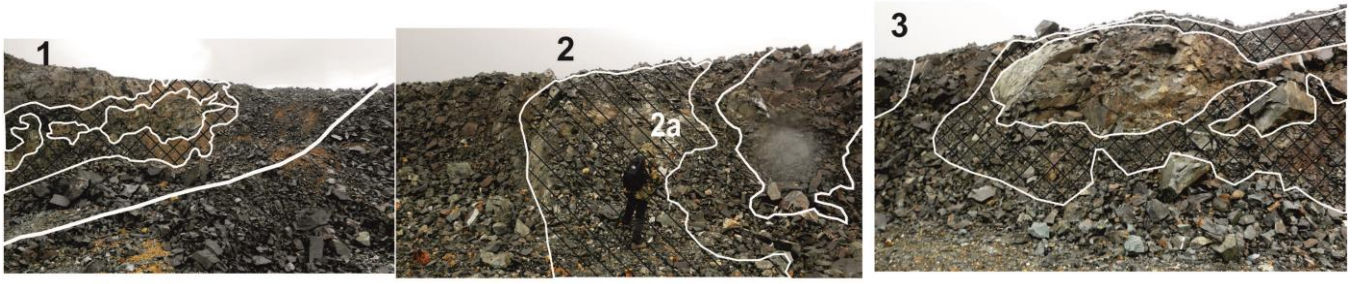

Рисунок 2. Меланжевая структура месторождения Озёрное. Фрагменты разреза восточной стенки карьера.
1 – зона меланжа с блоками базальтов в подошве позднего надвига с сидеритовой минерализацией. 2-3 – зона меланжа ранней структуры надвигового типа: 2а – пластинчатый блок карбонатных пород, расположенный между дезинтегрированными базальтами (слева) и блоком трахиандезитобазальтов (справа); 3 – блок тектонизированных трахиандезитобазальтов. Участки заштрихованные «решёткой» – дезинтегрированные до глинисто-песчано-дресвяного материала краевые части блоков базальтов и трахиандезитобазальтов.

1.2. В ходе экспедиционных работ опробованы руды и вмещающие породы Озернинского рудного узла для литолого-петрографических, минералогических (включая изотопную геохимию) исследований, определения возрастных интервалов процессов рудообразования на основе изотопно-геохимических данных. Проведена фотодокументация карьеров и отдельных канав Озернинского и Назаровского месторождений для уточнения их структурных особенностей и геолого-генетических моделей.

Проведено изучение современных процессов дегазации и связанного с ней лито- и рудогенеза в Гусиноозерской впадине для уточнения моделей формирования месторождения золота балейского типа и кайнозойских рудоносных комплексов с поликомпонентными рудами в других районах Забайкалья. В пределах Гусиноозерской впадины обнаружены совмещенные грязевулканические структуры, а также литокомплексы аналогичные балейским.

Проведена оценка щелочного комплекса палеозойского возраста, приуроченного к ранее выделенному венд-рифейскому Селенгино-Витимскому зеленокаменному поясу, на благородные металлы с целью выявления особенностей формирования благороднометалльной рудообразующей системы на завершающем этапе ее эволюции. Установлен поздний наложенный характер щелочных магматических пород относительно вмещающих рифейских габброидов Селенгино-Витимского зеленокаменного пояса.

Основные результаты блока 2

Блок 2. Геохимия процессов благороднометалльного и Cu-Ni рудообразования, минерагения офиолитовых и расслоенных ультрабазит-базитовых комплексов Саяно-Байкальского складчатого пояса (ответственный исполнитель Е.В. Кислов).

2.1. Выявлена и изучена малосульфидная платинометальная минерализация в примитивных троктолитах Йоко-Довыренского расслоенного массива, что требует внесения корректив в модель формирования платинометально-медно-никелевого оруденения.

Совместно с МГУ, ГЕОХИ РАН и Тасманийским университетом (г. Хобрат, Австралия) продолжалось изучение Йоко-Довыренского массива, который вместе с ассоциирующими перидотитовыми силлами и перекрывающими базальтами представляет рифейский (728±3,4 млн. лет) вулкано-плутонический комплекс. Оруденение интрузива представлено сульфидными платнометально-медно-никелевыми рудами в подошве (Байкальское месторождение) и анортозитами с малосульфидным платинометальным оруденением («Главный риф») на контакте расслоенной серии и оливиновых габбро.

Первые данные о развитии ЭПГ-сульфидов в троктолитах были получены в 2010 г. при LA-ICP-MS исследованиях коллекции сульфидных фаз Йоко-Довыренского массива. Один из образцов, отобранных в крупноблочном курумнике в ~120 м выше контакта троктолитов с дунитами, явно выделялся по содержаниям Pd в пентландите (91±84 г/т, n=7); максимальные концентрации этого элемента достигали 250 г/т. Эти значения оказались близки среднему содержанию Pd в Pn из анортозитов Главного рифа Йоко-Довыренского массива (235±84 г/т, n=10). Последующие исследования этого образца при помощи методов электронной микроскопии позволили обнаружить 12 зерен минералов платиновой группы (в основном – висмотеллуриды Pd) размером от 1 до 9 μm и два зерна электрума (1-8 μm). Другая аналогия заключалась в среднем составе сульфидов из этого троктолита, которые содержали 75-80% медистых минералов (Cpy+Cub) – даже выше, чем сульфиды из Главного Рифа, см. рисунок 3. По результатам этих наблюдений была поставлена задача более детального исследования сульфидной минерализации в нижней части троктолитовой зоны.

При полевых работах 2013 г. здесь были обнаружены обнажения мезократовых троктолитов, содержащие мелкие шлиры и обособления гетерогенного материала (Ol+Pl+сульфид) размером до 5-10 см. Выпилить фрагменты таких включений непосредственно из скальных обнажений не удалось, однако из примыкающих развалов были отобраны новые образцы с вкрапленностью сульфидов. Один образец содержал фрагмент относительно крупного шлира ("диаметром" ~5 см), из которого сделано два аншлифа, представляющего противоположные части этого сульфидного стяжения. Оба аншлифа (в виде шайб) были изучены методом автоматизированного определения фаз на сканирующем электронном микроскопе, в результате чего в каждом образце было обнаружено свыше 30 зерен МПГ. Размер отдельных зерен достигал 20-30 μm (рисунок 3, нижние изображения). Последующие исследования микроэлементного состава пентландита в этих образцах показали достаточно высокие содержания Pd (19.4±32.5 и 23.1±7.2 г/т), Rh (11.1±8.8 и 23.1±7.2), Ru (3.6±2.4 и 7.5±4.7), Os (2.7±1.8 и 4.2±3.3) и Ir (3.8±3.8 и 6.7±4.0 г/т). Таким образом, наблюдения богатой ЭПГ минерализации в троктолитах получили дополнительное подтверждение в повышенных содержаниях элементов платиновой группы. При этом содержания платины в исследованных зернах пентландита составляли 0.15±0.27 и 0.04±0.02, соответственно.

При экспедиционных работах 2015 г. был собран дополнительный материал сульфидной минерализации в примитивных троктолитах, а также на их продолжении по простиранию обнаружены жилообразные тела до 10 м анортозитов с малосульфидной минерализацией, в настоящее время эти образцы изучаются.

Возможное происхождение. Уже первая находка богатых ЭПГ сульфидов в низах троктолитовой зоны допускала возможность, что в действительности мы имеем дело с продуктами коллювиального переноса минерализованных пород из расположенной выше зоны перехода троктолитов к оливиновым габбро (к которой приурочен Главный ЭПГ-риф Йоко-Довыренского массива). Такое допущение не находит поддержки в результатах микрозондовых исследований, которые указывают на более примитивный характер троктолитов (Fo84.6±0.2, An87.2±2.1) по сравнению с породами, вмещающими минерализованные анортозиты (Fo81-84, An84.4±0.7). Вторая гипотеза предполагает, что высокомедистая и богатая ЭПГ сульфидная жидкость могла инфильтрировать из зоны формирования Главного Рифа сквозь поровое пространство частично затвердевших троктолитовых кумулатов. Этому противоречит высоко Os-Ru-Ir состав пентландита из троктолитов: содержания этих элементов в среднем на порядок превышают концентрации в Pn из Главного Рифа. Таким образом, геологический факт обнаружения столь необычной сульфидной минерализации и ее геохимические особенности оставляют мало сомнений, что богатые ЭПГ сульфиды концентрировались также и в нижней части троктолитовой

зоны Йоко-Довыренского массива. Этот вывод может иметь важное генетическое значение для исследований ЭПГ-минерализации в других крупных расслоенных интрузивах.

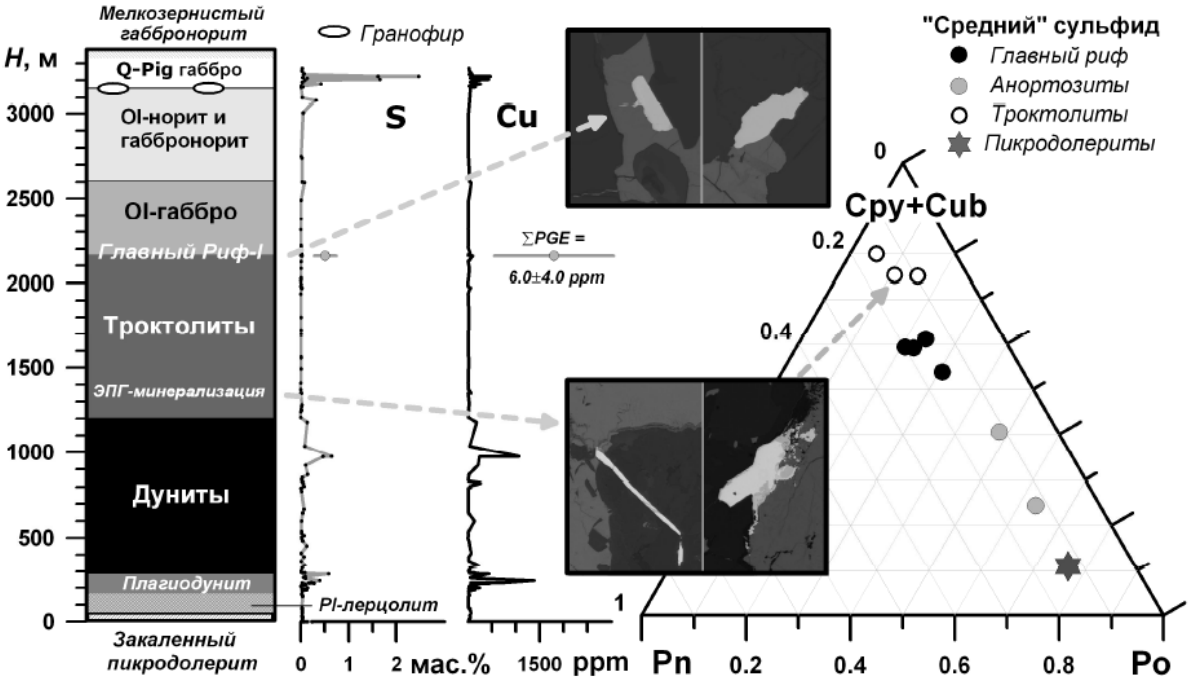

Рисунок 3. Строение Йоко-Довыренского расслоенного массива (слева), важнейшие горизонты малосульфидной минерализации (распределение S и Cu по разрезу) и средний минеральный состав сульфидов из богатых ЭПГ троктолитов, анортозитов и нижней зоны закалки (справа). BSE-изображения характеризуют ЭПГ из Главного Рифа и троктолитов.

2.2. На основе особенностей вещественного состава руд и генезиса месторождений проведена типизация золоторудных объектов юго-восточной части Восточного Саяна.

Актуальность исследований обусловлена отсутствием универсальных классификационных критериев для типизации золоторудных месторождений. Наиболее информативные критерии для месторождений юго-восточной части Восточного Саяна - особенности химического и минерального состава продуктивных рудных парагенезисов и генетическая природа оруденения. Золоторудные месторождения и проявления объединены в четыре генетических класса: плутоногенный, орогенный, метаморфогенный, телетермальный (табл. 1). В плутоногенный класс включены четыре минералого-геохимических типа: золото-теллуровый, золото-висмутовый, золото-висмут-теллуровый и золото-мышьяк-сурьмяный. Характерные черты объектов *плутоногенного класса*: пространственная и генетическая связь с островодужными и коллизионными гранитоидами плагиогранит-гранодиоритового состава разного возраста; ведущая роль полуметаллов в составе золотого оруденения; широкий разброс температурных условий рудообразования и направленность параметров рудообразующего процесса в сторону их уменьшения (остывание рудно-магматических систем). Рудные тела локализуются непосредственно в гранитоидах и представлены кварцевыми жилами, кварцево-прожилковыми

зонами, участками сульфидно-вкрапленной минерализации. *Орогенный* класс месторождений включает золото-полиметаллический минералого-геохимический тип. Месторождения этого класса (и типа) наиболее распространены и промышленно значимы в регионе. Их формирование связывается с аккреционно-коллизионными процессами в обрамлении Тувино-Монгольского палеомикроконтинента. К *метаморфогенному* классу месторождений отнесены золото-железистый колчеданный и золото-мышьяковый минералого-геохимические типы. Формирование таких месторождений связано с процессами перераспределения рудообразующих компонентов при метаморфизме вулканогенно-осадочных отложений. Объекты *телетермального* генетического класса – золото-медно-сурьмяный и золото-железистый гидротермальный типы, характеризуются низкотемпературным характером оруденения и отсутствием видимой связи с магматическими процессами. Предлагаемая классификация позволяет группировать все известные золоторудные объекты юго-восточной части Восточного Саяна по их вещественно-генетическим признакам и может быть применена для сопредельных регионов.

Таблица 1.

Типы золотого оруденения юго-восточной части Восточного Саяна

Генетический класс	**Минералого-геохимический тип**	**Типоморфные рудные минеральные ассоциации**	**Вмещающий субстрат**	**Примеры месторождений и рудопроявлений**
Плутоногенный	Золото-теллуровый	петцит, гессит, алтаит, пирит, халькопирит, пирротин, золото	Плагиограниты, гранодиориты	Пионерское, Таинское, Хорингольское, Сагангольское
	Золото-висмутовый	висмутин, галенобисмутит, арсенопирит, пирит, золото,	Лейкограниты	Пограничное
	Золото-висмут-теллуровый	тетрадимит, айкинит, пирит, галенит, сфалерит, золото, интерметалдлиды Au-Ag-Hg, колорадоит	Плагиограниты, гранодиориты	Коневинское, Обогольское
	Золото-мышьяк-сурьмяный	антимонит, арсенопирит пирит, золото	Плагиограниты, гранодиориты	Туманное
Орогенный	Золото-полиметаллический	Пирит, пирротин, халькопирит, галенит, сфалерит, блеклые руды, золото	Зоны дробления, тектонического меланжа	Зун-Оспинское, Водораздельное, Барун-Холбинское, Зун-Холбинское и др.

Метаморфогенный	Золото-железистый колчеданный	Пирротин, халькопирит, пирит, золото	Черные сланцы	Ольгинское, Ильчирское
	Золото-мышьяковый	арсенопирит, пирит, золото	Сланцы, метаэффузивы	Верхне-хонченское
Телетермальный	Золото-медно-сурьмяный	блеклые руды, золото,	Карбонатные толщи	Динамитное, Южное, Сагансайрское, Жильное и др.
	Золото-железистый гидротермальный	гематит, золото	Карбонатные толщи	Ондольтой, Людмилинское

2.3. Изучено Гурбейское золоторудное проявление (Бирюсинский рудный район).

Установлено, что основные рудные тела проявления представлены зонами сульфидизации, тяготеющими к осевым частям линейных складок, флексурообразных изгибов субширотного плана и сплошным зонам катаклаза. Рудовмещающими породами выступают метаморфизованные сланцы биотит-амфибол-кварцевого состава с гранатом и графитом нижнерифейского возраста. Породы претерпели метаморфизм в условиях эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма, о чем свидетельствует присутствие в породах граната, ставролита и цоизита. Основными рудными минералами являются пирит, пирротин, в меньшей степени, халькопирит и игольчатый арсенопирит. Преобладает линзовидно-вкрапленный тип минерализации, реже гнездово-вкрапленный. Самородное золото характеризуется высокой пробностью (в основном не ниже 950 ‰), форма золотин в основном угловатая, комковидная и дендритовидная, цвет ярко-желтый. Размер наиболее крупных зерен составляет 0,1×0,05 мм. Встречается как в свободном виде, так и совместно с пирротином (рисунок 4). Содержания золота в сульфидизированных сланцах в среднем составляют 0,2-0,4 г/т.

Кварцево-жильный тип руд развит на проявлении в меньшей степени и представлен на единичными малосульфидными жилами в зонах катаклаза среди метаморфизованных сланцев. Морфология кварцево-жильных тел простая – линейнообразная, мощность от первых см до 1 м. Сульфидные минералы локализуются в зальбандовых частях жил и представлены пиритом (0,2 %), пирротином (0,4 %), ильменитом (1,17 %), лимонитом (0,5 %), в знаках отмечаются арсенопирит, халькопирит, очень редко галенит, сфалерит, магнетит. Содержания золота от 0,15 до 1,8 г/т.

Таким образом, рудопроявление характеризуется как золотоносные минерализованные зоны с прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией и кварцево-жильными телами в катаклазированных сланцах различного состава. Рудные тела приурочены к осевым частям складчатых структур осложненными тектоническими нарушениями. Рудовмещающие структуры хорошо выражаются геофизическими данными, как зоны смены градиента геофизических полей. Основные рудные минералы - пирротин, пирит, реже халькопирит и арсенопирит. Самородное

золото характеризуется высокой пробностью (>950 ‰), содержания которого в среднем составляют около 5 г/т. Характерные особенности проявления - прерывистость оруденения, сложность увязки рудных тел в зонах прожилково-вкрапленной минерализации, а также отсутствие у рудных тел геологических границ.

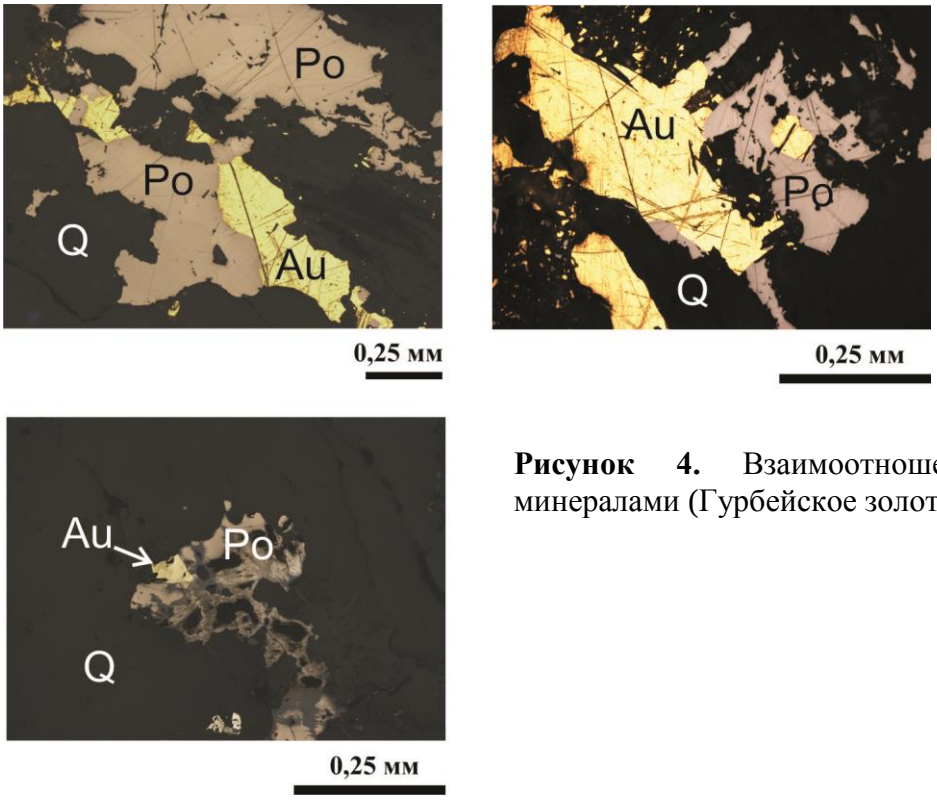

Рисунок 4. Взаимоотношение золота с другими минералами (Гурбейское золоторудное проявление).

2.4. Проведено численное моделирование образования магнезиальных скарнов в рудно-магматических системах траппов юга Сибирской платформы.

С помощью программного комплекса (ПК) «Селектор» (Карпов и др., 1994; Чудненко, 2010) исследован процесс формирования магнезиальных скарнов на контакте долеритов с карбонатно-соленосными породами. Геологической основой были материалы изучения Коршуновского, Рудногорского и других месторождений ангаро-илимского типа в южной части Сибирской платформы, где выявлено строение и размещение скарново-рудных залежей, вариации минеральных ассоциаций, микроструктуры и состав минералов физическими и химическими методами скарнов (рисунок 5, Мазуров, 1991; Мазуров и др., 1999, 2004, 2007; Шабынин и др., 1984). Параметры метасоматических процессов определены на основе анализа минеральных парагенезисов и экспериментальных данных (Мазуров и др., 2015).

Контактово-метасоматическое минералообразование в магматическую стадию представляло собой процесс взаимодействия магматогенных флюидов с карбонатно-соленосными отложениями и заключенными в их поровом пространстве захороненными растворами, рассолами и нефтесодержащими флюидами. Образованные при этом магнезиальные скарны и магнетитовые руды образуют конформные и секущие залежи в окрестностях лакколита долеритов. Физико-

химические параметры этой стадии оценены на основе анализа минеральных парагенезисов и экспериментальных данных (Модельный анализ …, 2009).

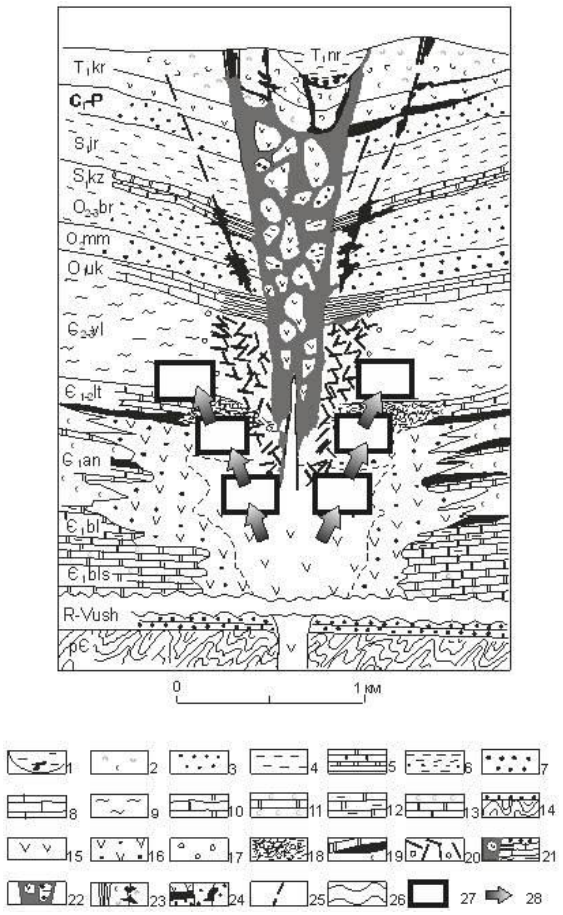

Рисунок 5. Схематизированный разрез рудоносной вулканотектонической постройки ангаро-илимского типа по М.П. Мазурову и П.М. Бондаренко (1997) с дополнениями.
1 – вулканомиктовые отложения кратерных озёр, нерюндинская свита (T_1nr); 2 – эксплозивные брекчии, потоки, покровы и пирокластические толщи, корвунчанская свита (T_1kr); 3 – угленосные слаболитифицированные отложения (C_1-P); 4 – красноцветные аргиллиты, алевролиты и мергели, с редкими прослоями песчаников, ярская свита (S_1jr); 5- песчаники с прослоями карбонатно-глинистых пород, кежемская свита (S_1kz); 6 – красноцветные аргиллиты и мергели с редкими прослоями песчаников, братская свита (O_{2-3}br); 7 – кварцевые песчаники, мамырская свита (O_2mm); 8 – известняки, усть-кутская свита (O_1uk); 9 – мергели с прослоями тонкозернистых известковистых песчаников, алевролитов, гипсов и известняков, верхоленская свита ($Є_{2-3}$vl); 10 – доломиты, литвинцевская свита ($Є_{1-2}$lt); 11 – доломиты, каменные соли с прослоями аргиллитов и алевролитов, ангарская свита ($Є_1$an); 12 – массивные доломиты, булайская свита ($Є_1$bl); 13 – доломиты, ангидриты, прослои солей, бельская свита ($Є_1$bls); 14 – песчаники, алевролиты, аргиллиты основания платформенного чехла, ушаковская свита (R-Vush) и кристаллические сланцы фундамента (pЄ); 15 – интрузивные тела траппового комплекса (силлы, лакколиты, дайки, апофизы долеритов); 16 – скарнированные долериты зоны смешения долеритов с эвапоритами; 17 – магнезиальные и известковые скарны, скарноиды, кальцифиры; 18–24 – железорудные залежи: 18 – конформные тела в магнезиальных скарнах и кальцифирах, 19 – галит-магнетитовые руды в ангарской свите, 20 – рудный штокверк в верхоленской свите, 21 – послойные кальцит-магнетитовые руды в известняках усть-кутской и кежемской свит, 22 – полихронные рудные залежи в диатремах, 23 – субвертикальные полосчатые, оолитовые и брекчиевые руды в эффузивно-пирокластических отложениях, 24 – жильные руды подсилловых залежей и выполнения поздних трещинных зон; 25 – тектонические нарушения; 26 – неизученная в отношении железооруденения глубинная часть платформенного чехла; 27 - резервуары; 28 - направление движения флюида.

Моделирование динамики минералообразования проводилось по схеме многорезервуарной динамической модели проточного реактора с учетом фактора времени, который задавался 50-ю временными шагами. При описании расчётной схемы рассматривался флюид, поступающий из внешнего резервуара, который проходил через резервуар, отвечающий по составу долериту, и далее через две последовательные цепочки проточных реакторов, первая из которых отвечала по составу смеси магнезиальных (2-12 резервуары), а вторая – карбонатных соленосных отложений (12-23 резервуары) и галита (рисунок 5). В каждой ячейке задавалась различная температура с

шагом 30°С по мере удаления от источника с постоянным давлением 1 Кбар. Выбранная схема расчета рассматривала систему из 16 независимых компонентов Si-Na-S-Ti-K-Fe-Cl-Al-Mg-Mn-Ca-F-N-C-O-H, включающую 33 твердые фазы. В качестве породы, через которую проходил рудообразующий флюид, насыщаясь петрогенными компонентами, был взят контаминированный долерит состава (мас. %) – 47.2 SiO_2, 2.25 TiO_2, 12.74 Al_2O_3, 4.07 Fe_2O_3, 11.74 FeO, 0.24 MnO, 5.47 MgO, 10.75 CaO, 3.4 Na_2O, 0.71 K_2O, 0.22 P_2O_5. Карбонатно-соленосные отложения имели состав (мас. %): 5.25 MgO, 5.34 CaO, 10.44 CO_2 (Антипов и др., 1960; Мазуров и др., 2007). Магматический газовый флюид в источнике принимался постоянным, состав его определялся следующими газами: CO_2, CO, CH_4, N_2, H_2O, H_2S, HCl, HF. Значения содержания для газовых фаз магматического рудообразующего флюида были взяты из работы (Шарапов, 2000). При выполнении модельных расчетов оценивалось прежде всего влияние изменения отношения С/Н и содержания Cl во флюиде на минеральные ассоциации в резервуарах. Эти параметры варьировались в пределах 0,01-2 моль для содержания Cl и 0,01-2 для отношения С/Н. Для всех случаев проведены расчёты и проанализирована полученная информация, но в отчет включены графики для содержания Cl 1 моль при отношении С/Н 0,1 (рисунок 6 а) и 1,33 (рисунок 6 б).

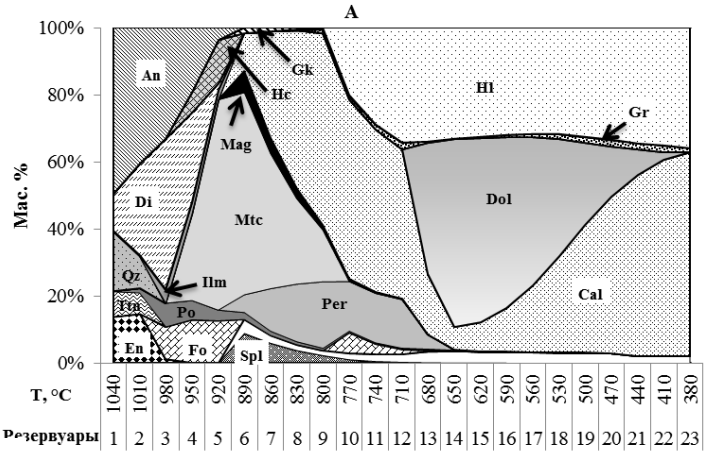

Рисунок 6а. Распределение минералов по резервуарам для содержания Cl 1 моль, отношения С/Н 0,1.

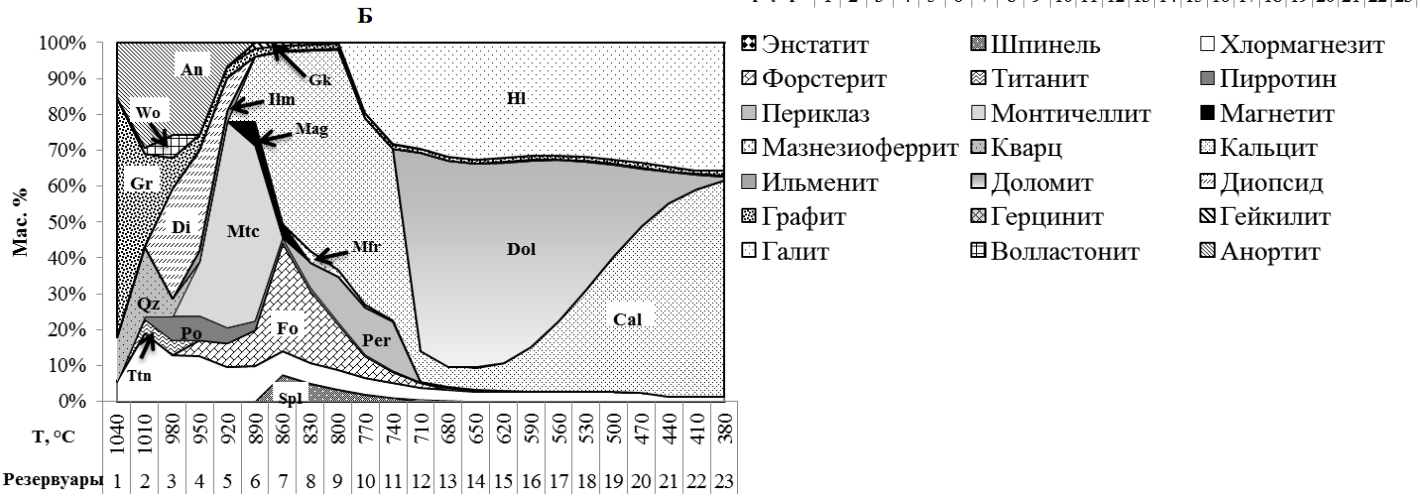

Рисунок 6б. Распределение минералов по резервуарам для содержания Cl 1 моль, отношения С/Н 1,33.

Проведенный впервые модельный анализ динамики минералообразования на контакте долеритов с карбонатно-соленосными отложениями чехла юга Сибирской платформы подтвердил, что главные факторы минеральных равновесий - состав долеритов и газов высокотемпературного флюида.

По результатам моделирования обособляются виртуальные минеральные ассоциации, отвечающие парагенезисам безводных магнезиальных скарнов, гидратированных магнезиальных скарнов и сложных оксидов, входящих в состав рудных минералов (рисунок 6 а, б). Результаты моделирования позволили выделить в составе метасоматической колонки определенные ассоциации, отвечающие следующим температурным интервалам: 1) 1040-980°С – диопсид, энстатит, анортит, кварц, ильменит, герцинит, пирротин; 2) 980-710°С – монтичеллит, форстерит, магнетит, гейкилит, периклаз, шпинель, кальцит, графит; 3) 710-380°С – кальцит, доломит, флогопит, галит, графит (рисунок 6 а). Первая минеральная ассоциация отвечает ближе всего магнезиальным скарнам магматической стадии, вторая – магнезиальным скарнам послемагматической стадии. Для них агентом контактово-метасоматических процессов служит флюид, представленный газовой смесью. Последняя стадия скарнообразования маркируется появлением доломита и галита; процесс рудоотложения контролируется солевым раствор-расплавом. Эта область относится к преобразованным магнезиальным скарнам. Силикаты в высокотемпературной области представлены диопсидом и энстатитом, далее при понижении температуры они сменяются монтичеллитом и форстеритом. Таким образом, определено место монтичеллита в парагенезисах минеральных скарнов.

Кроме того, была отмечена последовательная смена титаносодержащих минералов (от титанита для высокотемпературной стадии скарнообразования до ильменита и гейкилита, устойчивых в среднетемпературной области). Минералы группы шпинели подразделяются на парагенезисы высоких температур скарнообразования (магнетит + герцинит) и средних (магнезиоферрит + шпинель). Также получены результаты по термодинамическим условиям образования галита (770°С) для данной системы. Температурные ступени в целом соответствуют известным оценкам по экспериментальным данным и природным наблюдениям. Численное моделирование подтвердило положение волластонита в тыловой зоне метасоматической колонки (резервуары 2-3 при Т=980-101 °С для содержания Cl 1 моль и отношения С/Н 1,33) магнезиальных скарнов. В этом состоит одно их существенных отличий от известковых скарнов, где волластонит приурочен к передовой зоне метасоматической колонки (Шабынин и др., 1984).

Заключение

Изложенные в промежуточном отчете по научному проекту VIII.72.3.3. «Геохимия процессов рудообразования и минерагения гранитоидных и ультрабазит-базитовых комплексов Забайкалья» данные, полученные в 2015 г. в лаборатории геохимии и рудообразующих процессов ГИН СО РАН под научным руководством д.г.-м.н. А.В. Татаринова и к.г.-м.н. Е.В. Кислова, определяют факторы продуктивности и служат базой для разработки эволюционных геолого-генетических моделей различных металлогенических типов рудообразующих систем Саяно-Байкальской складчатой области, продуцирующих поликомпонентные рудные объекты, применимы в практике работы предприятий минерально-сырьевого комплекса.

Список использованных источников

Воронцов А. А. Северо-Монгольская – Забайкальская полихронная рифтовая система (этапы формирования, магматизм, источники расплавов, геодинамика) / А. А. Воронцов, В. В. Ярмолюк // Литосфера. - 2004. - № 3. - С. 17-32.

Дорошкевич А. Г. Геохронология Гулхенского массива Витимской щелочной провинции, Западное Забайкалье [Текст] / А. Г. Дорошкевич, Г. С. Рипп, И. А. Избродин, С.А. Сергеев, А.А. Травин // Доклады АН. - 2014. - Т. 457, № 6. - С. 687-691.

Карпов И. К. Селектор (программное средство расчета химических равновесий минимизацией термодинамических потенциалов). / И. К. Карпов, К. В. Чудненко, В. А. Бычинский // Иркутск: ИГХ СО РАН, 1994. - 123 с.

Мазуров М. П. Минералогические критерии локального прогноза скарново-магнетитовых руд. / М. П. Мазуров // Новосибирск: ОИГГМ СО АН СССР, 1991. - 108 с.

Мазуров М. П. Структурно-генетическая модель рудообразующей системы ангаро-илимского типа / М. П. Мазуров, П. М. Бондаренко // Геология и геофизика. – 1997. - Т. 38, №10. - С. 1584-1593.

Мазуров М. П. Эволюция флюидов и рудообразующих процессов в контактах траппов Сибирской платформы с карбонатно-соленосными отложениями / М. П. Мазуров, С. Н. Гришина, В. Г. Быкова, А. Т. Титов, А. В. Шихова // Материалы всероссийского совещания «Флюидный режим эндогенных процессов континентальной литосферы». Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. - С. 106-108.

Мазуров М. П. Магнетиты из магнезиальных скарнов на контактах долеритов с каменной солью / М. П. Мазуров, С. Н. Гришина, А. Т. Титов // Геология и геофизика. – 2004. - Т. 45, №10. - С. 1198-1207.

Мазуров М. П. Метасоматизм и рудообразование в контактах долеритов с соленосными отложениями чехла юга Сибирской платформы / М. П. Мазуров, С. Н. Гришина, В. Е. Истомин, А. Т. Титов // Геология рудных месторождений. – 2007. Т. 49, №4. - С. 306-320.

Мазуров М. П. Магнезиальные скарны из участков послойных инъекций базитовой магмы в эвапориты платформенного чехла / М. П. Мазуров, А. Т. Титов // Геология и геофизика. – 1999. - Т.40, №1. - С. 82-89.

Модельный анализ развития континентальных мантийно-коровых рудообразующих систем / В.Н. Шарапов и др.; отв. ред. Г.В. Поляков. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. - 409 с.

Рундквист Д. В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение / Д. В. Рундквист // Геология рудных месторождений. - 1993. - Т. 35, № 6. - С. 467-480.

Татаринов А. В. Благороднометалльная рудообразующая система венд-рифейского Селенгино-Витимского зеленокаменного пояса [Текст] / А. В. Татаринов, Л. И. Яловик, В. Г. Батышев // Отечественная геология. - 2014. - № 3. - С. 17-25.

Чудненко К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения [Текст] / К. В. Чудненко // Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010, 287 с.

Шабынин Л. И. Вопросы образования рудоносных скарнов доломитовых контактов [Текст] / Л. И. Шабынин, Н. Н. Перцев, И. А. Зотов // М.: Наука, 1984. 105 с.

Шелехов А. Н. Трехмерное геолого-геофизическое моделирование Озернинского полиметаллического рудного узла по результатам комплексной геологической интерпретации геофизических данных [Текст]: дисс… канд. геол.-минерал. наук. Спб., 2010. 100 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Перечень публикаций

Научные публикации в российских и международных журналах, индексируемые в Web of Science, Scopus, РИНЦ:

Арискин А.А., Данюшевский Л.В., Маас Р., Костицын Ю.А., Мак-Нил Э., Меффре С., Николаев Г.С., **Кислов Е.В.** Довыренский интрузивный комплекс (Северное Прибайкалье, Россия): изотопно-геохимические маркеры контаминации исходных магм и экстремальной обогащенности источника // Геология и геофизика. 2015. Т. 56, № 3. С. 528-556.

Будяк А.Е., Паршин А.В., **Дамдинов Б.Б.**, Реутский В.Н., Спиридонов А.М., Волкова М.Г., Брюханова Н.Н., Брянский Н.В. Новые результаты геохимических и геофизических исследований зоны Хадаткандского разлома (Северное Забайкалье) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34, №5. С. 54-64.

Дондоков З.Б.-Д., Потапов Л.В., **Кислов Е.В.** Минерально-сырьевой комплекс Республики Бурятия: состояние, проблемы и перспективы // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 6.

Кислов Е.В. Минерально-сырьевая база северных и восточных районов Бурятии: воспроизводство и освоение // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 156-163.

Кислов Е.В. Сульфидное платинометально-медно-никелевое и малосульфидное платинометальное оруденение Йоко-Довыренского интрузива, Северное Прибайкалье: отличия состава и генезиса // Металлогения древних и современных океанов – 2015. Месторождения океанских структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 128-132.

Малышев А.В., Кислов Е.В. Геология Улан-Ходинского месторождения апоультрамафитового нефрита (юго-восточная часть Восточного Саяна) // Металлогения древних и современных океанов – 2015. Месторождения океанских структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 220-223.

Силаев В.И., **Дамдинов Б.Б.**, Смолева И.В., Голубева И.И., Симакова Ю.С. Конденсированное углеродистое вещество в серпентинитах и альбититах Оспино-Китойского офиолитового массива (Восточный Саян) // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь, 2015. Вып. 18. С. 301-327.

Якимов Т.С., **Малышев А.В., Кислов Е.В.** Состав и условия образования позднепротерозойских ультрабазит-базитовых плутонов Западного Забайкалья // Металлогения древних и современных океанов – 2015. Месторождения океанских структур: геология, минералогия, геохимия и условия образования. Миасс: ИМин УрО РАН, 2015. С. 17-22.

Яценко А.С., Яценко Р.И. Особенности процессов высвобождения золота на склонах разных экспозиций как критерий прогноза локализации крупных россыпей (на примере Верхнекаралонского месторождения в Забайкалье) // Геоморфология. 2015. № 1. С. 36-40.

Tatarinov A.V., Yalovik L.I., Danilova E.V. Areas of Bacterial Communities of Aquatic/ Mud Volcanic Depositions in Lake Baikal Region // Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering // 2015. V. 4, № 3. P. 236-241.