

Федеральное агентство научных организаций
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УДК 550.46:553.2

№ госрегистрации 01201282372

Инв. № 4



УТВЕРЖДАЮ

Директор ГИН СО РАН

А.А. Цыганков

«15» декабря 2016 г.

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

VIII 72.3.3. Геохимия процессов рудообразования и минерогенеза
гранитоидных и ультрабазит-базитовых комплексов Забайкалья
(заключительный)

Номер проекта в ИСГЗ ФАНО
0340-2014-0004

Приоритетное направление VIII.72. 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 VIII.72.3. Геохимия процессов формирования и эволюции рудно-магматических систем в различных геодинамических обстановках Азии

Протокол Ученого совета
№ 12 от «15» декабря 2016 г.

Руководители проекта

Д.Г.-М.Н.

К.Г.-М.Н.

А.В. Татаринов

Е.В. Кислов

Улан-Удэ, 2016

Список исполнителей

Руководители проекта

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



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



Исполнители проекта

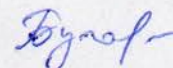
снс, к.г.-м.н. Б.Б. Дамдинов (блок 2)



снс, к.г.-м.н. Л.И. Яловик (блок 1)



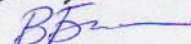
мнс, с 2016 г. - инженер к.г.-м.н. Н.Г. Бугаева (блок 2)



мнс, к.г.-м.н. Б.Л. Гармаев (блок 2)



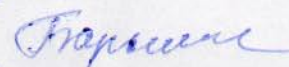
мнс, В.Г. Быкова (блок 2), до 2016 г.



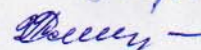
мнс, переведен в инженеры с 2016 г. А.В. Малышев (блок 2)



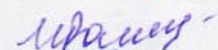
инженер Н.М. Барышникова (блок 1)



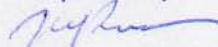
инженер Н.Г. Сметанина (блок 1)



инженер М.А. Ранжурова (блок 2)



инженер Ж.Ш. Ринчинова (блок 2), до 2016 г.



Реферат

Отчет - 24 с., 8 рис., 3 прилож.

Ключевые слова: рудообразующие системы, поликомпонентные руды, благородные металлы, грязевый вулканизм, динамометаморфизм, рудно-магматические системы, минерагения.

Исследования (2013-2016 г.г.) проводились в трех крупных рудных районах – Еравнинском (Удино-Витимская металлогеническая зона), Восточно-Саянском (одноименный офиолитовый пояс), Северо-Байкальском (Йоко-Довыренский расслоенный массив).

Для Удино-Витимской металлогенической зоны составлена геологическая основа и карта размещения рудных объектов масштаба 1:500000, представлена новая рудно-геохимическая и минеральная типизация месторождений и рудопроявлений поликомпонентных руд, обосновано выделение рудообразующей системы, продуцирующей эти руды, выявлены специфические черты ее формирования (деформационный механизм рудогенеза, коровый источник вещества). Для Озерного месторождения – самого крупного рудного объекта этой зоны установлена определяющая роль тектоно-микститовых (меланжевых) структур в размещении минерализации. Для рудных полей металлогенической зоны, включая ее юго-западный фланг, выявлена характерная полигональная деструктивно-блоковая тектоническая структура лозанжевого типа с переходами в блоковый автокластический и линзовидно-пластинчатый меланж.

Установлены особенности химического состава и геохимических характеристик, углеродистых метасоматитов, сульфидной минерализации, приуроченных к ультрабазитам, Восточно-Саянского офиолитового пояса. Разработана генетическая и минералого-геохимическая типизация золоторудных месторождений юго-восточной части Восточно-Саянского района.

В результате изучения рудоносного Йоко-Довыренского базит-ультрабазитового массива и его флангов (изотопная геохимия Sr, Nd, U и Pb), сульфидного Cu-Ni-ЭПГ и малосульфидного типов платинометалльной минерализации внесены коррективы в геолого-генетическую модель формирования рудообразующей системы.

Большое внимание уделено разработкам по совершенствованию теоретико-методологической основы для создания задела для проекта 2017-2019 г.г. продолжающего исследования темы 2013-2016 г.г. В первую очередь это касается моделей рудообразующих систем нетрадиционного грязевулканического типа оруденения.

Введение

Настоящий отчет является заключительным по проекту: VIII.72.3.3. «Геохимия процессов рудообразования и минералогения гранитоидных и ультрабазит-базитовых комплексов Забайкалья», по которому были представлены отчеты по этапам 2013, 2014, 2015 годов.

Цель проекта – создание эволюционных моделей формирования рудообразующих систем Саяно-Байкальской складчатой области, продуцирующих рудную минерализацию поликомпонентного состава 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.*

По этапу 2016 г. целью исследований являлось выявление пространственно-временные закономерности размещения рудных узлов Саяно-Байкальской складчатой области в террейнах различной геодинамической природы.

При этом по блоку 1 планировалось представить карту размещения месторождений и рудопроявлений Fe, Ti, Ni, Pb, Zn, благородных металлов Удино-Витимского рудного района, а блоку 2 – создать геолого-генетические модели формирования рудообразующих систем Хара-Нурского узла (Окинский рудный район) и Олокитской рифтогенной структуры (Северное Прибайкалье).

В завершающие этапы (2015 и 2016 г.г.) работ по Блоку 1. выяснилось, что наряду с господствующим тектоно-метаморфическим фактором формирования поликомпонентной рудообразующей системы Удино-Витимской металлогенической зоны, значительная роль

также принадлежит флюидодинамическому (грязевулканическому или флюидокластогенному).

В этой связи, были выполнены специальные исследования, которые направлены на разработку новой теоретико-методологической основы для создания моделей рудообразующих систем грязевулканического типа на примере Удинской впадины (юго-восточная ее граница), где установлены современные рудообразующие грязевулканические процессы. Кроме того, были обобщены многолетние данные авторов отчета по формированию различных грязевулканических структур, в том числе золотоносных Ленского и Бaleyского рудно-россыпных районов. Эти результаты как задел будут использованы в дальнейшем при реализации проекта 2017-2019 годов.

Из-за сокращения (в 2016 г.) численности количества научных сотрудников лаборатории геохимии и рудообразующих процессов на 4 человека, работы по Блоку, 2 по созданию геолого-генетических моделей формирования Хара-Нурского узла не были завершены. Они компенсированы частично минералого-геохимическими исследованиями, результаты которых следует рассматривать как необходимые элементы этих моделей.

Основная часть отчета

Важнейшие результаты за 2016 г. (Блок 1)

1. На основе данных фотодокументации природных плазмоедов в приземной атмосфере над структурами современной дегазации литосферы Байкальской рифтовой зоны (активные разломы, структуры латентной формы грязевого вулканизма, термальные водные источники), дополненных результатами экспериментов, доказано существование явления плазмоедная форма (феномен) “холодной” дегазации Земли. Предшествующими исследователями это явление обсуждалось на уровне гипотез и предположений. Рассмотрены различные факторы, условия плазмогенерации в литосфере и атмосфере. Создана морфоструктурная классификация зарегистрированных плазмоедов, выявлены особенности их внутреннего строения (рис. 1). Показана определяющая роль фазовых переходов воды в возникновении и структурировании литосферных плазмоедов в приземной атмосфере.

Это явление важно для оценки флюидодинамических факторов рудогенеза. Оно является признаком (рис. 1) функционирования современной рудообразующей флюидодинамической системы грязевулканического типа, установленной на юго-западном фланге Удино-Витимской металлогенической зоны.

Здесь на юго-восточном борту Удинской впадины (полигон Медведчиков ключ), в зоне весьма активного разлома (сброс), ограничивающего впадину, исследован фрагмент грязевулканической структуры, заложенной на тектонизированных гранитах и представленной грифонными песками четвертичного возраста. В пределах песчаного массива установлено около 10 современных мелких грязевулканических песчано-иловых построек: конусообразные холмики с диаметром основания до 0,5 м и высотой 0,2-0,3 м, воронки диаметром 1,0-2,5 м и глубиной 0,8-1,7 м, кратеры с кольцевыми валами диаметром 0,4-1,5 м и глубиной 0,3-0,4 м. Над некоторыми из выявленных структур были зафиксированы небольшие горящие газовые факелы и одновременно квазисфероидные и квазикристаллические плазмоеды. На местах этих возгораний обнаружены обожженные участки илисто-песчаных грифонных отложений. При шлиховом опробовании этих участков установлены обугленные растительные остатки, сферические частицы самородного железа и стекол, фуллериты (?).

Выделены также ассоциации пирометаморфических (графит, диопсид, диопсид-геденбергит, роговая обманка, турмалин, эпидот, гранат, ильменит, рутил, гематит, циркон) и грифонно-сальзовых гидротермальных (кварц, хлорит, серицит, гидрослюда, кальцит, барит, гипс, галенит, никелевый куприт, англезит, церуссит, смитсонит, псиломелан, самородное Au) минералов. Часто встречаются частицы

самородного Au. Их размер варьирует от 0,8х0,4 мкм до 2,3х1,5 мкм. Они в виде микровключений установлены в графите, кварце, гипсе, кальците. Пробность золота – 857-800. Оно содержит примеси Ag (8,7-20,1 мас.%), иногда Bi (4,3-5,2 мас.%), Cu (1,2 мас.%), Fe (1,0-1,6 мас.%). В гематите присутствуют незначительные примеси Cr (0,38 мас.%) и V (0,27 мас.%). Обращает на себя внимание значительное количество псиломелана в песчано-иловых грифонно-сальзовых отложениях, иногда включенного в кальцитовую матрицу. (A.V. Tatarinov, L.I. Yalovik. Plasmoid Phenomenon of “Cold” Earth Degassing (The Baikal Rift Zone as Illustration) // International Journal of Science and Research. 2016. V. 5. Js. 2. p.p. 981-987).



Рис. 1. Кометоподобные плазмиды. Деталь – вытянутый сглаженный 6-угольник с “хвостом”. Контур многоугольника подчеркнут полоской фиолетовой и желтой окрасок. В головной части плазмоида – зеленый ореол. Полигон Медведчиков ключ.

2. Установлены особенности строения, минерального состава, генезиса, впервые обнаруженных биокосных травертино- и строматолитоподобных мелких- и министруктур во впадинах Байкальской рифтовой зоны. Показано, что они формировались с активным участием бактериальных сообществ в местах современной разгрузки газо-водных флюидов грязевых микровулканов. Рассмотрены последовательность и механизмы роста этих структур.

Биокосные морфоструктуры после своего образования быстро покрываются почвенно-растительной “шапкой”, т.е. в конечном счете, превращаются в фитогенные кочки (рис. 2), скрепляющие массивы грифонных песков грязевулканических структур. На примере министруктур Багдаринской впадины показана генетическая связь с ними рудной минерализации (Zn, Pb, Cu, Au)/ Для образования структур данного типа главная роль отводится флюидодинамическим процессам плюмовой природы. (Yalovik L., Tatarinov A., Danilova E., Doroshkevich S. Bio-inert Dome and Columnar Structures of Mud Microvolcanism in Baikal Rift Zone // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. 2016. V. 3. Iss. 9. p.p. 2589-2600).



Рис. 2. Последовательные стадии формирования купольных морфоструктур на примере Баунтовской впадины. Стадии: А – образование грифонной куполовидной грязевулканической постройки из флюидо-кластогенного пелито-псаммитового материала на отмелях водоемов. Покрытие ее черным илом, насыщенным микроорганизмами; Б - трансформация пелито-псаммитовой грифонной структуры в куполовидную (рост вширь и вверх) в результате активного формирования цианобактериального мата, интенсивного образования бактериальных органоминеральных агрегатов в надводной части структуры, в условиях затухания грифонного излияния вод, закупорки грифонного канала; В – преобразование куполовидной структуры в обычную болотную почвенно-растительную кочку, связанное с функционированием почвенных микроорганизмов.

3. Рассмотрены основные черты формирования литокмплексов выделенной авторами Южно-Сибирской области мезозойско-кайнозойского грязевого вулканизма (рис. 3). Установлены минеральные ассоциации, характеризующие газо-эксплозивную, нефте-газо-водо-литокластитовую и нефте-газо-водную стадии грязевулканической деятельности, механизмы минералогенеза, в т.ч. рудной минерализации. Выделены флюидодинамические режимы функционирования грязевых вулканов, различающиеся доминирующими генетическими механизмами минералообразования: корневых (очаговых) структур флюидогенерации, каналов транзита флюидопородного субстрата, каналов транзита гидротерм. Основным фактором генерации флюидов, инициирующих

грязевый вулканизм в Южно-Сибирской области является динамометаморфический, т.е. механохимический механизм, вызывающий гидратацию безводных алюмосиликатов в породах докембрийского комплекса.

Полученные результаты могут быть использованы при геологическом картировании и металлогенических исследованиях (А.В. Татаринов, Л.И. Яловик, С.В. Канакин. Особенности формирования и минеральные ассоциации литоккомплексов грязевых вулканов на юге Восточной Сибири // Вулканология и сейсмология. 2016. № 4. С. 34-49).

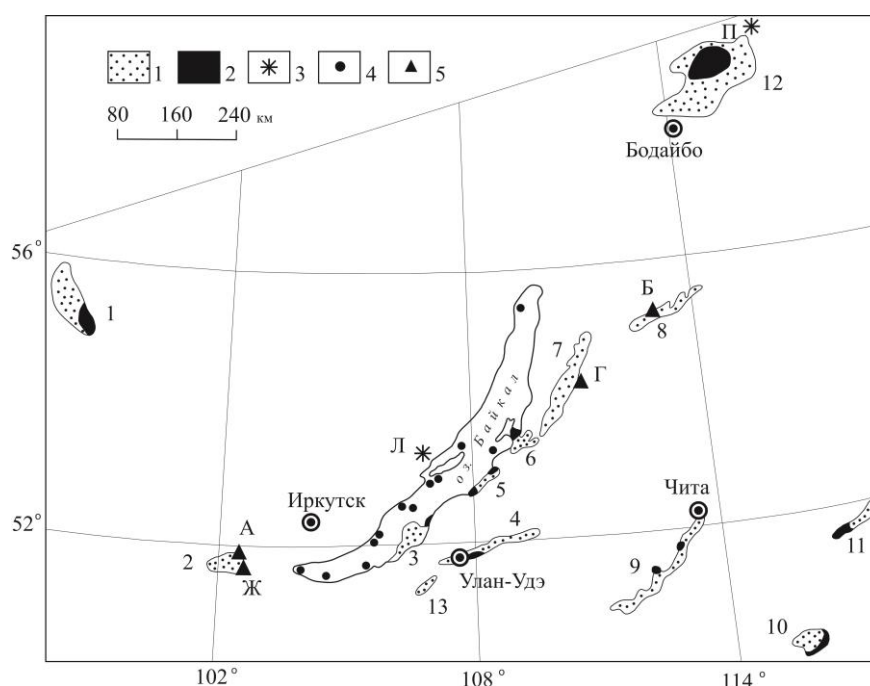


Рис. 3. Схема проявлений грязевого вулканизма на юге Восточной Сибири (Южно-Сибирская грязевулканическая область)

1 – рифтогенные впадины кайнозойского и мезозойского возраста с грязевулканическими комплексами (1 – впадины Присаянского прогиба, 2 – Тункинская, 3 – Усть-Селенгинская, 4 – Удинская, 5 – Котокельская, 6 – Усть-Баргузинская, 7 – Баргузинская, 8 – Баунтовская, 9 – Читино-Ингодинская, 10 – Торейская, 11 – Ундино-Даинская, 12 – Бодайбинская, 13 – Гусиноозерская); 2 – участки распространения грязевулканических образований, изученные авторами; 3 – кратеры газо-эксплозивного происхождения (Л – Левосарминский, П – Патомский); 4 – грязевые вулканы оз. Байкал; 5 – изученные авторами отложения термальных источников (А – Аршанский, Б – Баунтовский, Г – Гаргинский, Ж – Жемчуг).

Другие результаты за 2016 г.

Блок 1. Закономерности размещения и особенности локализации рудной минерализации в Удино-Витимской металлогенической зоне.

Границы Удино-Витимской металлогенической зоны определяются контурами Еравнинской структурно-формационной зоны Удино-Витимской складчатой системы (Руженцев и др., 2010). Рассматриваемая металлогеническая зона является крупным отрезком выделяемой Д.И. Царевым (1995) Джидино-Витимской верхнепалеозойско-мезозойской полиметаллической зоны, контролируемой одноименной зоной глубинного разлома. В свете публикации последнего времени (Гордиенко, Нефедьев, 2015), большая часть ее входит в состав Курбино-Еравнинского рудного района, формирование которого связывается с Удино-Витимской островодужной системой энсиалического типа венд-кембрийского возраста с последующей переработкой ее структур в среднем и позднем палеозое. На основании результатов трехмерного геолого-геофизического моделирования Озернинского полиметаллического узла, проведенного А.Н. Шелеховым (2010), можно считать, что основные черты глубинного строения металлогенической зоны определяются: формированием серий вулканогенно-осадочных депрессионных структур на докембрийском основании в условиях раннепалеозойской активной континентальной окраины, позднепалеозойских гранитоидов Ангаро-Витимского ареал-плутона и мезозойских рифтов.

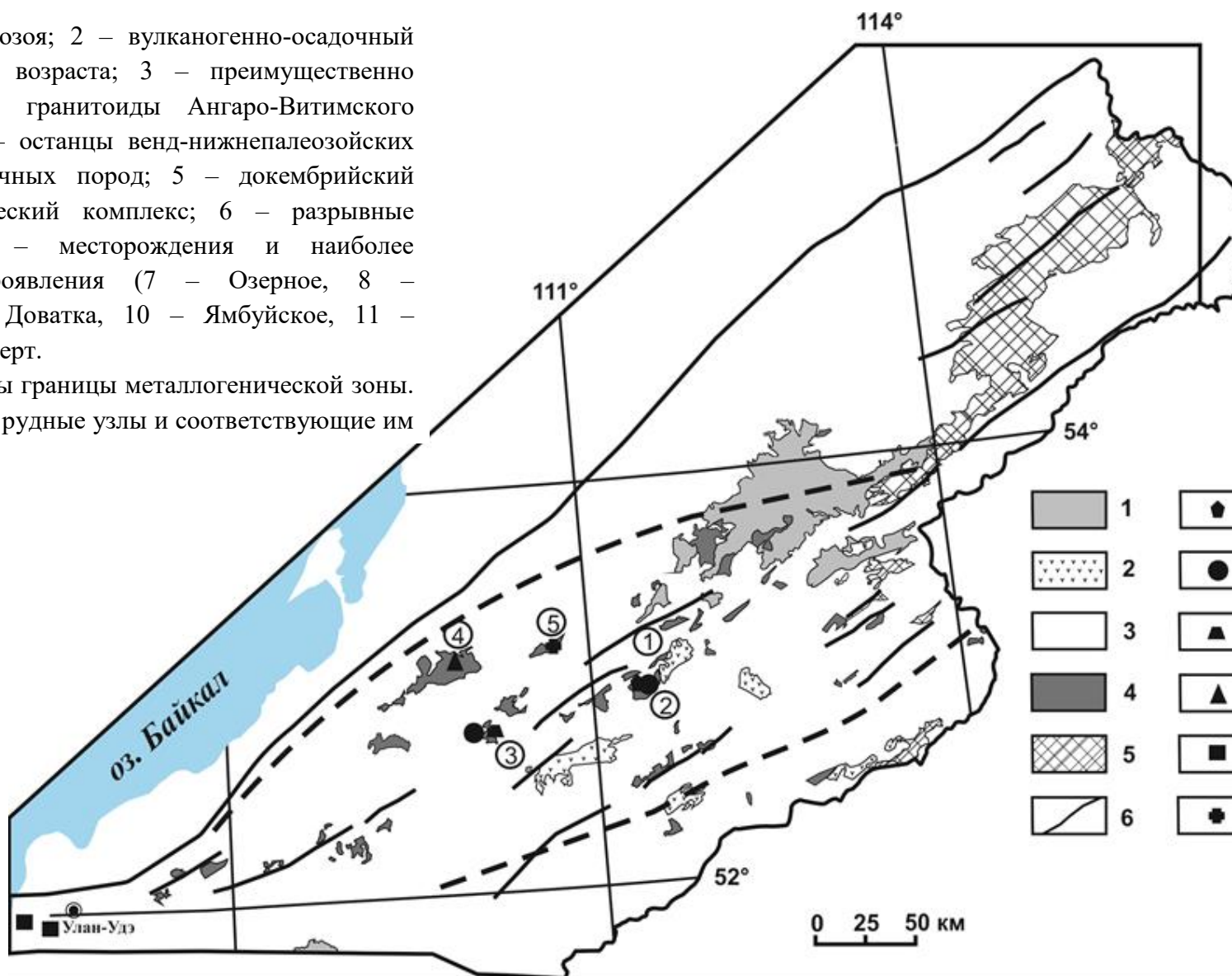
Большую часть Удино-Витимской металлогенической зоны занимают гранитоиды Ангаро-Витимского ареала, массивы которых на современном эрозионном срезе рассматриваются (Синцов, Турутанов, 2005) как корневые части гранитоидно-надвигового аллохтона. Островодужные венд-нижнепалеозойские осадочно-вулканогенные отложения сохранились в виде останцов (“провесов кровли”), возможно – тектонических окон (учитывая ассоциацию с ними в некоторых участках рифейских образований). Всего в пределах зоны закартировано более десятка таких останцов размером от первых до 20 и более км (рис. 4). Все известные месторождения и проявления поликомпонентных руд в ранге рудных узлов и полей за исключением Мыкерт-Санжеевского поля, пространственно локализованы в границах этих останцов или тектонических окон. Что касается Мыкерт-Санжеевского поля, то оно находится в поле гранитоидов, где отмечены останцы рифейских амфиболитов. Весь комплекс горных пород возрастного диапазона рифей – верхний палеозой, слагающих рудные узлы и поля Удино-Витимской зоны интенсивно дислоцирован, образуя своеобразные деструктивно-блоковые структуры, сходные с фрактальными полигональными структурами, создаваемыми эндогенными флюидно-тепловыми потоками (Горяйнов, Иванюк, 2005) и тектоническими структурами тангенциального штампового сжатия (Альтшулер, 2007) (шарьяжно-надвиговый тектонотип).

Рис. 4. Схема размещения месторождений и проявлений поликомпонентных руд Удино-Витимской металлогенической зоны.

1 – базальты кайнозоя; 2 – вулканогенно-осадочный комплекс юрского возраста; 3 – преимущественно верхнепалеозойские гранитоиды Ангаро-Витимского ареал-батолита; 4 – останцы венд-нижнепалеозойских вулканогенно-осадочных пород; 5 – докембрийский гранит-метаморфический комплекс; 6 – разрывные нарушения; 7-12 – месторождения и наиболее изученные рудопроявления (7 – Озерное, 8 – Назаровское, 9 – Доватка, 10 – Ямбуйское, 11 – Санжеевское и Мыкерт.

Пунктиром показаны границы металлогенической зоны.

Цифры в кружках – рудные узлы и соответствующие им



Характерной особенностью локализации рудных скоплений в Удино-Витимской зоне является их приуроченность к зонам динамометаморфитов (в основном милонитов, тектонобрекчий и катаклазитов), выполняющих швы между блоками горных пород, слагающих рудные поля и узлы. Условно можно выделить две крайние разновидности рудолокализирующих структур: меланжа, который хорошо вскрыт в карьерах и расчистках Озерного месторождения (рис. 5), и лозанжа, примером которого является Санжеевское месторождение (рис. 6). Чаще всего обнаруживаются различные сочетания этих двух разновидностей тектонических структур, осложненных поздними надвигами.



Рис. 5. Линзовидно-пластинчатый меланж (месторождение Озерное, фото полотна расчистки)

1 – андезит-базальты, 2 – обохренные андезит-базальты, 3 – гематит-магнетитовая минерализация.

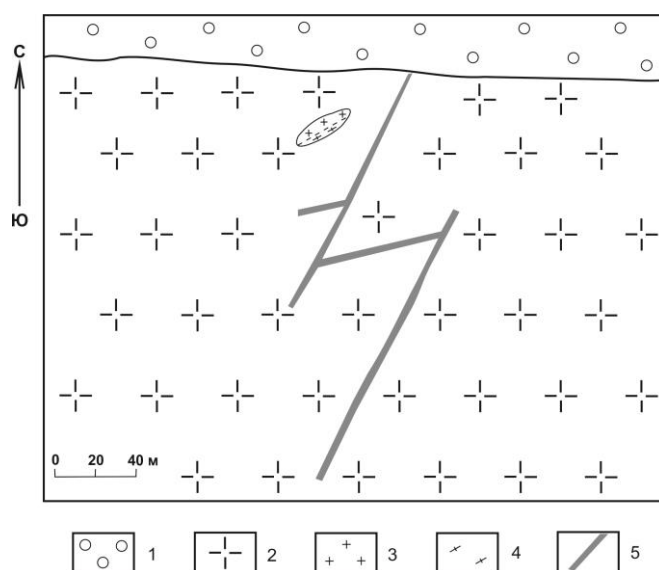


Рис. 6. Лозанжевая структура участка Северного Мыкerta Санжеевского рудного поля.

1 – аллювиальные четвертичные отложения; 2 – сиениты; 3 – катаклазированные и окварцованные “серые” гнейсы; 4 – амфиболиты; 5 – хлоритовые, гидрослюдистые, гидрослюдисто-хлоритовые динамометаморфиты по основным (ультраосновным?) щелочным породам с жильной и гнездово-вкрапленной кварц-галенитовой с серебром, золотом, Pt и Pd минерализацией.

Блок 2. Модель петро- и рудогенеза Довыренского расслоенного массива.

Исследование Йоко-Довыренского массива, который вместе с ассоциирующими перидотитовыми силлами и перекрывающими базальтами представляет рифейский ($728 \pm 3,4$ млн. лет) вулcano-плутонический комплекс, его сравнение с рифейскими платинометалльно-медь-никеленосными комплексами мира позволило сформулировать эмпирическую геолого-генетическую модель. В отчетный период она уточнялась прежде всего детализацией процесса рудообразования на фоне динамики кристаллизации Йоко-Довыренского расслоенного интрузива.

Его формирование связано с активностью мантийных плюмов в зонах континентального рифтогенеза. Исходные магмы формировались в позднем рифее из (суб)литосферного источника, который изначально оказался обогащённым мафитовым компонентом с пониженным Sm/Nd отношением и в течение ~ 2 млрд. лет был изолирован от конвектирующей мантии “MORB-типа”. Рифт обеспечивал крупным объемам продуктивной магмы достижение верхней части земной коры. Значительный объем магмы, насыщенный сульфидами, позволял сформировать крупное рудное тело. Развитие мантийных плюмов сопровождалось высокой степенью парциального плавления, так что рудные компоненты не могли оставаться в мантии. В результате этого магма содержала достаточное количество ЭПГ, Ni и Cu для формирования руды.

На ранних стадиях рифтогенеза на периферии плюмов кора прогибалась, осадки заполняли рифт. Исходный расплав в подводящих каналах и гипабиссальных камерах активно взаимодействовал с породами фундамента, рыхлыми карбонатными и терригенными осадками. Контактное взаимодействие с вмещающей толщей сыграло решающую роль в локализации сульфидного ЭПГ-Cu-Ni оруденения в подошве интрузива. Избирательная контаминация без существенной валовой ассимиляции обогащала магму водой, щелочами, S, вероятно, также Cl, SiO₂ и органическим веществом, что определило сложный состав магматического флюида. Флюидно-магматическое взаимодействие оказывало значительное влияние на процессы петро- и рудогенеза. Обогащенные хлором восстановленные флюиды экстрагировали, переносили и накапливали ЭПГ, Cu и другие компоненты, что приводило к формированию малосульфидной ЭПГ минерализации.

Малосульфидная минерализация образует несколько различных по составу горизонтов, три из которых наиболее изучены: в зоне перехода плагиодунитов к дунитам подошвы ультрамафитовой зоны, в «примитивных» троктолитах расслоенной зоны и анортозитах контакта расслоенной зоны и массивных оливиновых габбро.

В «нижних» (плагио)дунитах рассеянные сульфиды (преимущественно пентландит) обогащены Rh и Os в основании сульфидсодержащего горизонта, максимумы Pd и Ag находятся выше, но все еще ниже максимума меди. То есть фракционная сегрегация сульфидов вызывает “хроматографическое” распределение цветных и благородных металлов. В хромшпинели обнаружено 24 включения минералов ЭПГ: 14 - лаурит $(Ru,Os)S_2$, 10 - иридосмин с содержанием осмия до 55 мас.% (рис. 7). В интеркумулусе зафиксировано 5 зерен интерметаллидов Pt, Pd, Fe.

В нижней части расслоенной серии обнаружена высокомедистая малосульфидная минерализация Pt-Pd профиля с высокими содержаниями Os-Ru-Ir в пентландите, что, наряду с другими геохимическими метками, отличает ее от изученной ранее медистой малосульфидной минерализации ЭПГ в анортозитах контакта расслоенной зоны и массивных оливиновых габбро.

Таким образом, на фоне кристаллизации Йоко-Довыренского массива происходила дифференциация благородных и цветных металлов с неоднократным формированием горизонтов малосульфидного платинометалльного оруденения различного состава. Дальнейшая задача – детальное изучение этих и характеристика других локализаций сульфидов с целью воссоздания полной картины и ее численного моделирования усовершенствованной версией программы «Комагмат».

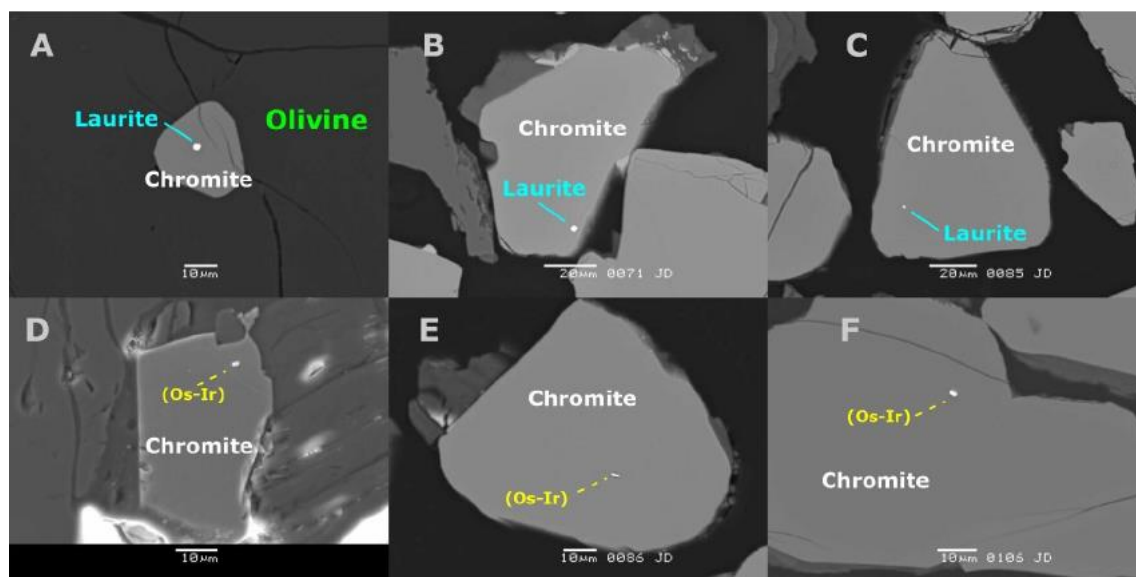


Рис.7. Включения Os-Ir-Ru фаз в хромшпинели из плагиодунитов Йоко-Довыренского массива, по результатам изучения шашек: А, D – пород (обр. 13DV547-59 и 547-16, соответственно); В, С, Е и F – хромшпинелевого концентрата 13DV547-37.

Блок 2. В юго-восточной части Восточного Саяна выделен и исследован новый для региона золото-сурьмяный тип рудной минерализации.

Золото-сурьмяная минерализация (рис. 8) слагает в регионе ряд рудопроявлений, приуроченных к массивам гранитоидов таннуольского комплекса. Возраст гранитоидов, определенный U-Pb методом по циркону – 530 млн. лет (€₁).

Рудные тела представляют собой кварцевожильные образования, обрамленные ореолами пирит-арсенопиритовой минерализации. Жильный кварц представлен тремя генерациями: крупнозернистый агрегат изометричных, часто округлых или вытянутых зерен неправильной формы (кварц₁), мелкозернистый агрегат, развитый в межзерновых пространствах кварца₁ (кварц₂) и тонкие секущие прожилки мелкозернистого кварца, ассоциирующие с карбонатом и рудными минералами (кварц₃). Кроме того, в жилах присутствуют такие минералы как флюорит и мусковит.

Выделено два типа руд, сложенных разными минеральными ассоциациями: пирит-арсенопиритовая с минералами Bi (**Au-Bi ассоциация**), приуроченная к светлым измененным лейкогранитам; кварц-антимонитовые жилы (**Au-Sb ассоциация**), локализованные в зонах катаклаза среди серых среднезернистых биотит-амфиболовых гранодиоритов. Они сложены следующими минеральными парагенезисами:

Золото-висмутовая:

- 1) Пирит + арсенопирит + (галенит-халькопирит-пирротин-сфалерит) + золото₁
- 2) Тетрадимит + кобеллит + Bi самородный + золото₂
- 3) Антимонит + цинкенил + (ауростибит)
- 4) Андорит + золото₃

Золото-сурьмяная:

- 1) Пирит + арсенопирит
- 2) Антимонит + цинкенил + халькостибит + ауростибит
- 3) Андорит + самородное золото (золото₃) + Ag-содержащий тетраэдрит.

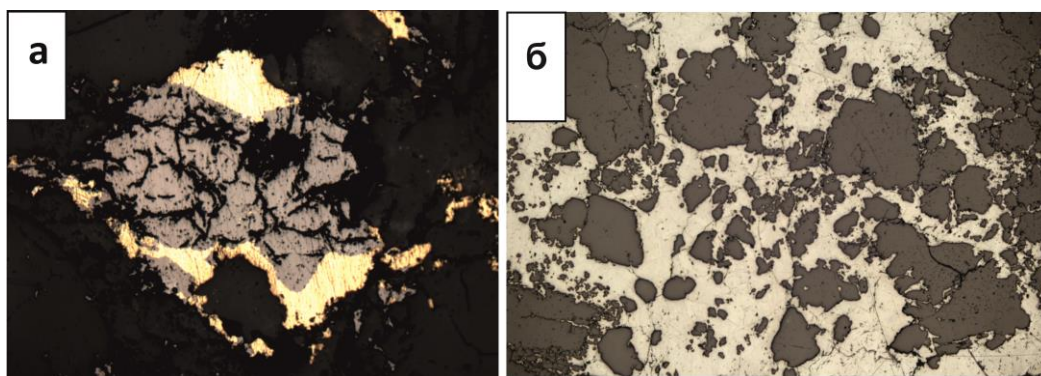


Рис. 8. Морфология выделений рудных минералов: а – сростание самородного золота с Ag-содержащим тетраэдритом; б – цементная текстура антимонитового агрегата.

Общую последовательность минералообразования можно представить в следующем виде:

Пирит + арсенопирит(+ сульфиды) + золото1 → Vi-минералы (тетрадимит, самородный висмут и др.) + золото2 → антимонит + сульфоантимониды → Sb-сульфосоли + золото3.

Отложение рудных минеральных ассоциаций происходило в интервале температур 360 – 180°C, при уменьшении активности серы от -8 до -17.5 логарфимических единиц, что обусловило последовательное отложение ассоциаций – от простых сульфидов к сульфоантимонидам и сульфосолям, с увеличением количества отлагаемых компонентов.

Изотопный состав серы в антимоните имеет значения от -2.5 до -3.8‰, что попадает в интервал ювенильной серы. Расчет изотопного состава серы рудообразующего флюида по уравнению (Ohmoto, Rye, 1979) показывает следующие интервалы значений: для температуры 300°C – -0.2 ... -1.5‰, для температуры 200°C – -0.4 ... +0.9‰. Такие значения также соответствуют магматической сере, что свидетельствует о привносе серы из материнского магматического расплава. Значения изотопного состава кислорода в жильном кварце попадают в интервал +13.0 ... +15.8‰. Расчет изотопного состава кислорода флюида по уравнениям, представленным в работе (Zhang et al., 1989), для температуры 300°C, показывает значения в интервале +5.6...+8.4‰, что также соответствует магматическому источнику. Следует отметить, что значения $\delta^{18}\text{O}$ в кварце утяжеляются с формированием более поздних ассоциаций (от 13.0‰ в кварце, содержащем раннюю пирит-арсенопиритовую ассоциацию, до 15.8‰ в кварце из кварц-антимонитовых жил).

Таким образом, полученные в ходе проведенных исследований геолого-минералогические и изотопно-геохимические данные, свидетельствуют о том, что золото-сурьмяное оруденение юго-восточной части Восточного Саяна относится к плутоногенно-гидротермальному типу и связано со становлением раннепалеозойских надсубдукционных гранитоидов таннуольского комплекса.

Итоговое обобщение результатов исследований по проекту 2013-2016 гг.

По каждому из 5 сформулированных в проекте задач, подлежащих решению, и направленных для выявления основных элементов моделей формирования рудообразующих систем, продуцирующих рудную минерализацию поликомпонентного состава, получены следующие основные результаты:

1. Рудногеохимическая и минеральная типизация месторождений.

Рудная минерализация рудообразующей системы Удино-Витимской металлогенической зоны сгруппирована в 12 минеральных и рудногеохимических (в скобках) типов:

людвигит-магнетитовый (Fe, B, Mn, Zn, Au, Mo), халькопирит-пирит-магнетитовый (Fe, Ba, Cu, Au), апатит-магнетитовый (Fe, P, TR, V, Ti, Co, Ni, Zn), золото-пирит-галенит-сфалеритовый (Fe, Pb, Zn, Cd, Ag, Au, Pt, Ru), барит-сидеритовый (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Ag), галенит-сфалерит-магнетитовый (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Sn, Cd, Ag, Pt, Ru, Au), золото-пирит-сфалеритовый (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Cd, Bi, Au, Ag), золото-сульфидный (Fe, Au, Pb, Zn), галенит-сфалеритовый (Zn, Pb, Ag, Au, Pt, Ru), золото-браннеритовый (Au, U, Te, Bi), золото-уранинит-настурановый (Au, U), халькопирит-магнетитовый.

Для золоторудных объектов различных генетических классов Восточного Саяна (Окинский рудный район) предложена минералого-геохимическая типизация, включающая золото-теллуrowый, золото-висмутовый, золото-висмут-теллуrowый, золото-мышьяк-сурьмяный, золото-полиметаллический типы, отличающиеся видовым составом рудных минеральных ассоциаций.

2. Геохимические индикаторы связи рудообразования с магматизмом

Для рудообразующей системы (РС) Удино-Витимской металлогенической зоны: (Fe, Mn, Cr, Ni, Co, Au, Ag, Pt и Ru) – рифейские ультрабазит-базитовые комплексы; геохимические индикаторы РС гранитоидов – W, Mo, Bi, TR, частично Au (габбро-диорит-гранитные и шошонит-латитовой серии).

3. Источники вещества для различных типов комплексных руд

Удино-Витимская зона

Основные источники рудного вещества: рифовые углеродистые известняки (Pb, Zn, Cd, B, P) и вулканиты шошонит-латитового ряда (Fe, благородные металлы, частично Pb и Zn).

Йоко-Довыренский массив

Основной источник – магматический расплав ($< 10\% \text{ MgO}$) со значительным количеством интрателлурического оливина Fo_{85-87} .

Восточно-Саянский район

Основной источник – островодужные гранитоиды габбро-диорит-гранитной серии, восстановленные глубинные флюиды.

4. Механизмы геохимической мобилизации и концентрирования рудного вещества

Удино-Витимская зона

Деформационный (тектоно-метаморфический), за счет механохимических реакций в условиях сдвигового и шарьяжно-надвигового тектоногенеза.

Йоко-Довыренский массив

Основной механизм – флюидно-магматический.

Восточно-Саянский район

Основной механизм – флюидно-гидротермальный.

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

Удино-Витимская зона

Выделено 9 рудно-формационных типов поликомпонентных рудообразующих систем: бор – железорудная, барий – железорудная, фосфор – железорудная, железо – полиметаллическая, благороднометалльно – железо – полиметаллическая, золото – железо – полиметаллическая, благороднометалльно – полиметаллическая, золото – урановая, золото – молибден – меднопорфировая.

Основные факторы рудопроductивности: повышенный геохимический фон рудных компонентов в петротипах горных пород рудовмещающей толщи и степень их тектоно-метаморфической переработки.

Йоко-Довыренский массив

Определена его принадлежность к благороднометалльно-медно-никелевому рудно-формационному типу.

Основные факторы рудопроductивности: степень дифференциации исходного магматического расплава, избирательная контаминация вмещающих пород, высокий уровень флюидно-магматического взаимодействия.

Восточно-Саянский район

Перечисленные выше 9 минералого-геохимических типов поликомпонентных руд, сгруппированных в 4 генетических класса месторождений и проявлений (плутоногенный, орогенный, метаморфогенный и телетермальный) следует относить к соответствующим рудно-формационным типам.

Основные факторы рудопроductивности этих типов: вещественный состав и степень тектонической переработки вмещающих толщ, состав рудообразующих флюидно-гидротермальных систем.

Заключение

В результате реализации проекта установлены основные черты моделей формирования трех генетических классов рудообразующих систем, продуцирующих комплексную (поликомпонентную) минерализацию: флюидно-магматического (Йоко-Довыренский расслоенный ультрабазит-базитовый массив в Северном Прибайкалье), флюидно-гидротермально-метасоматического (Восточно-Саянский или Окинский рудный район) и динамометаморфического (динамогенного по А.Д. Щеглову, 2007) (Удино-Витимская металлогеническая зона в центральной части Западного Забайкалья). Осуществлена рудно-геохимическая, минеральная и рудно-формационная типизация поликомпонентной минерализации, для Удино-Витимской зоны выявлены основные закономерности размещения рудных узлов и полей, локализации залежей. Установлены факторы продуктивности рудообразующих систем различных генетических классов.

Поставленные задачи по НИР в целом большей частью решены. Однако некоторые аспекты формирования рудообразующих систем, касающиеся изотопно-геохимических возрастных датировок общей длительности и отдельных этапов их функционирования остались недоизученными. При рассмотрении механизмов рудогенеза не нашли отражения механо-электрические, тектоногенно-электрохимические, электрогеохимические, плазмохимические явления и процессы, происходящие в ходе деструкции земной коры, флюидно-динамической активизации недр. Однако при выполнении НИР, отобраны, подготовлены и сданы пробы на определения Ag-Ag методом возрастов оруденения, которые будут использованы при реализации проекта 2017-2019 г.г. Относительно упомянутых механизмов рудообразования также получен фундаментальный научный задел (см. выше важнейшие результаты 2016 г.) для продолжения дальнейших исследований рудообразующих систем по новому проекту.

Полученные результаты по проекту 2013-2016 г.г. рекомендуется использовать при планировании прогнозно-поисковых и геологоразведочных работ в рудных районах, узлах и полях Саяно-Байкальской складчатой области. Прежде всего, необходимо осуществить переоценку рудного потенциала Озерного месторождения и одноименного узла в целом, Йоко-Довыренского расслоенного массива, а также составить прогнозно-металлогеническую карту масштаба 1:500000 на территорию Окинского района, с выделением площадей в ранге рудных полей для постановки специализированных поисково-оценочных работ.

Список использованных источников

Альтшулер М.И. Тектоногенно-электрохимическая дифференциация вещества земной коры как механизм рудогенеза // Разведка и охрана недр. 2007. № 1. С. 30-38.

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.

Гордиенко И.В., Булгатов А.Н., Орсов Д.А. Геодинамические обстановки и металлогения Саяно-Байкальской горной области // Отечественная геология. 2013. № 3. С. 7-15.

Горайнов П., Иванюк Г.Ю. Поможет ли синергетика “теории” тектоники плит? // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 93-102.

Прудовский Э.Л., Детягин В.С., Грудинин М.И. Габброидная формация Центральной Бурятии // Палеозойские магматические формации Саяно-Байкальской горной области. (Тр. отдела геологии, вып. 4). Улан-Удэ, 1972. С. 109-125.

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.

Царев Д.И. Джидино-Витимская верхнепалеозойско-мезозойская полиметаллическая зона (Западное Забайкалье) // Проблемы рудообразования, поисков и оценки минерального сырья (Матер. Всерос. конфер., посвященной 100-летию академика С.С. Смирнова). Новосибирск. Изд-во СО РАН, 1996. С. 36-49.

Шелехов А.Н. Трехмерное геолого-геофизическое моделирование Озернинского полиметаллического рудного узла по результатам комплексной геологической интерпретации геофизических данных. Дисс. на соискание уч. степени кандидата геолого-минералогических наук. СПб., государственный горный институт, 2010.

Приложение А. Публикации по проекту за 2016 год.

Количество научных публикаций в журналах, индексируемых в российских и международных информационно-аналитических системах научного цитирования (Web of Science, Scopus, MathSciNet, Российский индекс научного цитирования, Google Scholar, European Reference Index for the Humanities и др.) по проекту за 2016 год:

Дамдинов Б.Б., Жмодик С.М., Рошектаев П.А., Дамдинова Л.Б. Минеральный состав и генезис Коневинского золоторудного месторождения (Восточный Саян, Россия) // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58, №2. С. 154-170. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25845137>

Дамдинов Б.Б. Благороднометальное оруденение юго-восточной части Восточного Саяна: типы, состав и генезис // Металлогения древних и современных океанов – 2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 181-185. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25963714>

Дамдинова Л.Б., Дамдинов Б.Б., Брянский Н.В. Состав растворов, сформировавших флюорит-лейкофан-мелинофан-эвдидимитовые руды Ермаковского F-Be месторождения (Западное Забайкалье), по данным LA-ICP-MS // Металлогения древних и современных океанов – 2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 264-267. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25963748>

Кислов Е.В., Арискин А.А., Данюшевский Л.В., Николаев Г.С., Малышев А.В. Малосульфидное платинометальное оруденение в дунитах и троктолитах Йоко-Довыренского массива (Северное Прибайкалье, Россия) // Металлогения древних и современных океанов – 2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 233-236. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25963735>

Малышев А.В., Кислов Е.В. Комплексирование геологических и геофизических методов при поисках и разведке апокарбонатного нефрита на примере Гарандаканского месторождения, Республика Бурятия // Металлогения древних и современных океанов – 2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 268-271. <http://elibrary.ru/item.asp?id=25963749>

Татаринов А.В., Яловик Л.И., Канакин С.В. Особенности формирования и минеральные ассоциации литокомплексов грязевых вулканов на юге Восточной Сибири // Вулканология и сейсмология. 2016, № 4. С. 34-49. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26368275>

Татаринов А.В., Яловик Л.И., Шумилова Т.Г., Канакин С.В. Газонефтяные флюиды в формировании травертинов Байкальской рифтовой зоны // Доклады Академии наук. 2016. Т. 469, № 1. С. 78-81. <http://elibrary.ru/item.asp?id=26499888>

Татаринов А.В., Яловик Л.И., Ванин В.А. Сферические микрочастицы из золоторудных кварцевых жил Ирокиндинского месторождения (Западное Забайкалье) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2016. Т. 7. № 4. С. 651-662. <http://elibrary.ru/item.asp?id=27655274>

Яценко А.С. Роль мелкой трещиноватости вмещающих пород в локализации золотого оруденения в Холбинском поле (Восточные Саяны) // *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2016. № 8. С. 99-104. <http://elibrary.ru/item.asp?id=27648265>

Ariskin A.A., **Kislov E.V.**, Danyushevsky L.V., Nikolaev G.S., Fiorentiny M., Gilbert S., Goemann K., Malyshev A. Cu-Ni-PGE fertility of the Yoko-Dovyren layered massif (Northern Transbaikalia, Russia): from original sulfide mineralogy towards thermodynamic modeling of the sulfide geochemistry in poorly mineralized dunites // *Mineralium Deposita*. 2016. V. 51, N. 8. P. 993-1011.

doi:10.1007/s00126-016-0666-8 <http://link.springer.com/article/10.1007/s00126-016-0666-8>

Tatarinov A.V., Yalovik L.I. Plasmoid Phenomenon of “Cold” Earth Degassing (The Baikal Rift Zone as Illustration) // *International Journal of Science and Research*. 2016. V. 5, N 2. P. 981-987. <https://www.ijsr.net/archive/v5i2/NOV161281.pdf>

Yalovik L., Tatarinov A., Danilova E., Doroshkevich S. Bio-inert Dome and Columnar Structures of Mud Microvolcanism in Baikal Rift Zone // *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*. 2016. V. 3, N 9. P. 2589-2600. http://www.ijarset.com/upload/2016/september/2_IJARSET_tatarinova.pdf

Тезисы, материалы и труды конференций

Кислов Е.В. Минерально-сырьевая база нефрита Республики Бурятия // *Промышленные минералы: проблемы поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: материалы Международной научно-практической конференции*. 9-13 ноября 2015 г. Казань: ЗАО «Издательский дом «Казанская недвижимость». 2015. С. 135-138 (не вошла в отчет 2015 г.).

Кислов Е.В., Худякова Л.И., Войлошников О.В. Дуниты – перспективное минеральное сырье для производства строительных материалов // *Промышленные минералы: проблемы поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: материалы Международной научно-практической конференции*. 9-13 ноября 2015 г. Казань: ЗАО «Издательский дом «Казанская недвижимость». 2015. С. 139-142 (не вошла в отчет 2015 г.).

Малышев А.В., Кислов Е.В. Геолого-геофизические методы поиска нефрита на примере Улан-Ходинского месторождения апоультрамафитового нефрита, юго-восточная

часть Восточного Саяна // Промышленные минералы: проблемы поисков, оценки и инновационные технологии освоения месторождений: материалы Международной научно-практической конференции. 9-13 ноября 2015 г. Казань: ЗАО «Издательский дом «Казанская недвижимость». 2015. С. 155-158 (не вошла в отчет 2015 г.).

Арискин А.А., Данюшевский Л.В., Николаев Г.С., **Кислов Е.В.**, Япаскурт В.О. Новые типы ЭПГ-минерализации в троктолитах и плагиодунитах Йоко-Довыренского массива // Труды Всероссийского ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии. Москва, 19–20 апреля 2016 г. М: ГЕОХИ РАН, 2016. С. 26.

Кислов Е.В. Северо-Байкальская платинометалльно-медь-никеленосная провинция: геодинамика и перспективы // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания. Вып. 14. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2016. С. 109-111.

Кислов Е.В., Худякова Л.И., Войлошников О.В. Ультрасосновные и основные породы: пути использования для производства новых строительных материалов // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы Всероссийской научно-практической конференции, 6-8 апреля 2016 г. / отв. ред. Л.И. Полуфунтикова. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2016. С. 367-371.

Татаринов А.В. Изучение ресурсного потенциала нефти и газа Забайкалья с целью создания российско-китайского нефтегазового комплекса // Страны БРИКС: стратегия и механизмы взаимодействия и сотрудничества в изменяющемся мире. Тр. I Междунар. научно-практ. конф. / ИНИОН РАН. Отдел науч. сотрудничества. М., 2016. С. 453-457.

Ariskin A., Danyushevsky L., Nikolaev G., Gilbert S., Fiorentini M.L., **Kislov E.**, Barmina G. Geochemical evolution of PGM-bearing sulfides in low-mineralized rocks from the Yoko-Dovyren layered intrusion, Russia // Minerals, rocks and fluids: alphabet and words of planet Earth. 2nd European mineralogical conference, Rimini, Italy, 11-15 September, 2016. Book of abstracts. Rimini, 2016. P. 558.

Damdinov B.B. Geochemical types of intrusion-related gold deposits in the south-eastern part of East Sayan (Russia) // Goldschmidt-2016 meeting, abstract # 2531.

Damdinova L.B., Damdinov B.B., Bryansky N.V. The Metal Contents of Solutions Formed Fluorite-Leucophanite-Melinophane-Eudidymite Ores of Ermakovka Beryllium Deposit Using LA-ICP-MS (West Transbaikalia, Russia) // Goldschmidt-2016 meeting, abstract # 3339.

Damdinova L.B., Damdinov B.B. Conditions of beryllium ores formation of Aunik and Amandak deposits (Western Transbaikalia) // 6th International Asian Current Research on fluid inclusions. Mumbai. India. 2016.

Damdinov B.B. Composition and formation conditions of Au-Sb ores in East Sayan (Russia) // 6th International Asian Current Research on fluid inclusions. Mumbai. India. 2016.

Kislov E., Ariskin A., Danyushevsky L., Goemann K., Nikolaev G., Malyshev A. PGE-mineralogy of the main reef and sulfide-poor troctolite from the Yoko-Dovyren massif (Northern Baikal region) // Minerals, rocks and fluids: alphabet and words of planet Earth. 2nd European mineralogical conference, Rimini, Italy, 11-15 September, 2016. Book of abstracts. Rimini, 2016. P. 571.

Kislov E.V. North Baikal PGE-Ni-Cu Province // The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (13-24 June 2016, Novosibirsk, Russia). IGM SB RAS, IPPG SB RAS, NSU: Novosibirsk. 2016. P. 208-209.

Приложение Б. План НИР 2013-2016 гг.

Год	Содержание работы	Ожидаемый результат
2013	Петролого-геохимические исследования рудо-образующих систем Саяно-Байкальской складчатой области.	Будет выполнена рудно-геохимическая и минеральная типизация месторождений, проявлений комплексных руд, локализованных в разновозрастных ультрабазитовых и гранитоидных массивах Удино-Витимской металлогенической зоны и ее флангов. Будут изучены особенности вещественного состава золоторудных месторождений золото-кварцевой и золото-сульфидной формаций Восточного Саяна, оценена роль базит-ультрабазитового магматизма в формировании благороднометалльного оруденения.
2014	Выявление геохимических индикаторов связи рудообразования с магматизмом и флюидодинамикой рудообразующих систем в рудных районах Саяно-Байкальской складчатой области.	Будут выявлены геохимические индикаторы и признаки поликомпонентного рудообразования, указывающие на связь с ультрабазит-базитовым и гранитоидным магматизмом Восточно-Саянского, Северо-Байкальского, Еравнинского рудных районов.
2015	Создание региональных эволюционных моделей формирования рудообразующих систем Саяно-Байкальской складчатой области, продуцирующих рудную минерализацию поликомпонентного состава.	Будут созданы модели формирования рудообразующих систем Озернинского (Еравнинский рудный район), Оспинско-Китойского (Окинский рудный район) узлов и Олокитской металлогенической зоны (Северо-Байкальский рудный район).
2016	Выявить пространственно-временные закономерности	Карта размещения месторождений и рудопроявлений Fe, Ti, Ni, Pb, Zn,

	размещения рудных узлов Саяно-Байкальской складчатой области в обстановках различной геодинамической природы.	благородных металлов Удино-Витимского рудного района. Создана геолого-генетическая модель формирования рудообразующих систем Хара-Нурского узла (Окинский рудный район) и Олоkitской рифтогенной структуры (Северное Прибайкалье).
--	---	--

Приложение В.

индикатор	Ед. измерения	Всего за 2013-2016 гг.	2013	2014	2015	2016
Количество публикаций в ведущих российских и международных журналах по результатам исследований, полученных в процессе реализации проекта	единиц	40	8	10	10	12
Количество публикаций в мировых научных журналах, индексируемых в базе данных «Сеть науки» (WEB of Science)	единиц	12	2	2	3	5
Число охраняемых объектов интеллектуальной собственности: зарегистрированных патентов в России	единиц	5	5	-	-	-