

На правах рукописи

ЛОБАНОВ Константин Васильевич

**МЕДНО-КОЛЧЕДАННОЕ ОРУДЕНЕНИЕ
ЮГО-ЗАПАДНОГО АЛТАЯ**

25.00.11 – геология, поиски и разведка
твёрдых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата геолого-минералогических наук



НОВОСИБИРСК - 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН)

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Гаськов Иван Васильевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Дергачев Александр Лукич

доктор геолого-минералогических наук
Симонов Владимир Александрович

Ведущая организация: Сибирский Федеральный
Университет Институт горного дела, геологии и
геотехнологии (г. Красноярск)

Защита состоится «13» марта 2012 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 003.067.03 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3.

факс: (383)3332792, e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН.

Автореферат разослан «10» февраля 2012 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
д.г.-м.н.



О.М. Туркина

Подписано в печать 26.01.2012
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Тираж 110 экз.
Опечатано в типографии ЗАО «Третий Печатный Дом»

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Истощение минерально-сырьевой базы Рудного Алтая уже в ближайшей перспективе требует выявления и вовлечение в отработку новых месторождений, в том числе и традиционных для этой части Алтая – колчеданных. В связи с этим особенно привлекательным является его Юго-Западная часть, степень геологической изученности которой значительно ниже, чем других районов Рудного Алтая, в пределах которых уже более 200 лет ведется отработка колчеданных объектов. Медно-колчеданные месторождения Юго-Западной части Рудного Алтая существенно отличаются по составу руд и вмещающим породам от типичных «рудноалтайских» колчеданно-полиметаллических, чем постоянно привлекают внимание исследователей. Наиболее крупное на сегодняшний день на Юго-Западном Алтае медно-колчеданное месторождение Карчигинское в течение 2007-2011 гг разведывалось компанией Orsu Metals Corporation и в настоящее время идет подготовка его к эксплуатации. Сходное по составу медно-колчеданное оруденение довольно широко распространено в Юго-Западной части Рудного Алтая, однако недостаточная изученность его геологических особенностей, вопросы генезиса, проблема возраста оруденения и его систематики не позволяют обоснованно подходить к оценке перспектив территории Рудного Алтая на этот тип колчеданного оруденения, а так же разработать надежные критерии его поиска. В связи с этим решение этих вопросов весьма важно и актуально как в научном, так и в прикладном отношении..

Цели и задачи работы. Основной целью работы является установление генетического типа медно-колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая, выяснение основных рубежей его формирования и последующего метаморфизма. Практической целью работы является разработка прогнозно-поисковых критериев и поискового комплекса для месторождений подобного типа. Для достижения поставленных целей предусматривалось решение следующих задач:

1. Определение региональной позиции и геологического строения рудного поля Карчигинского месторождения;
2. Исследование структуры Карчигинского месторождения, вмещающих пород, морфологии и строения рудных залежей, изучение минералого-геохимических и структурно-текстурных особенностей руд;
3. Выяснение возраста оруденения и возраста метаморфизма месторождения;

4. Изучение геологических условий формирования и закономерностей размещения медно-колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая, определение его генетического типа;

5. Разработка прогнозно-поисковых критериев и комплекса наиболее оперативных и эффективных методов поисков медно-колчеданных месторождений в условиях Юго-Западного Алтая.

Фактический материал и методы исследований. Фактическую основу работы составляет материал, собранный автором в процессе выполнения геологоразведочных, поисковых и рекогносцировочных работ, которые проводились компанией Orsu Metals Corp. на месторождении Карчига и других медно-колчеданных объектах на Юго-Западном Алтае в 2007-2011гг, В процессе работы изучена фондовая и опубликованная геологическая информация по всем значимым проявлениям этого типа на Рудном Алтае, при этом многие объекты были исследованы в полевых условиях.

Для решения поставленных задач использовались самые разнообразные методы исследования:

- геологические и структурно-геологические в ходе детальной разведки месторождения Карчига и поисково-рекогносцировочных работ на других участках медно-колчеданного оруденения в пределах Юго-Западного Алтая;
- минералого-геохимические, петрографические, технологические при исследовании вещественного состава пород и руд (ВНИИЦветМет, г.Усть-Каменогорск);
- изотопно-геохронологические (Ag-Ag метод (биотит), ИГМ СО РАН; U-Pb (циркон) SHRIMP, ВСЕГЕИ, г.Санкт-Петербург; Re-Os определение, Holly Stein);
- изотопно-геохимические - изотопный состав S (ИГМ СО РАН);
- методы анализа пород (ICP, Stewart Laboratories LLC, Kyrgyzstan; Au FAAS ICP, ВНИИЦветМет, г.Усть-Каменогорск; ICP-AES и ICP-MS Ultratrace Laboratories, Perth, Australia) и минералов (рентгеновский микроанализатор Camebax, ИГМ СО РАН);

В ходе исследований было проведено 3D моделирование месторождения Карчига с использованием программ DATAMINE и GEMCOM, для обработки и интерпретации геолого-геохимической и геофизической информации использовалась программа TARGET.

Апробация работы. Новые полученные результаты, оригинальные данные и основные положения работы были представлены на ряде международных и российских конференций: международный

симпозиум в Иркутске в августе 2011г., всероссийский симпозиум в Екатеринбурге в октябре 2011г., всероссийская конференция в Якутске в сентябре 2011г., международный семинар CERCAMS/SEG в октябре 2011г. Основные результаты исследований были использованы при составлении геологоразведочных проектов и написании отчета с подсчетом запасов по месторождению Карчига, которые в 2010 году были защищены в ГКЗ РК. По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ, из них 1 статья в рецензируемом журнале и 4 статьи в сборниках и материалах конференций, кроме того, в настоящее время 2 статьи в рецензируемых журналах находятся в процессе публикации. Автор руководил и принимал непосредственное участие в разведке месторождения Карчига, поисковых и рекогносцировочных работах по другим проектам на Рудном Алтае и в прилегающих к нему регионах.

Научная новизна. Проведенные исследования кардинально изменили представление о природе медно-колчеданного оруденения на Юго-Западном Алтае. Впервые для Рудного Алтая доказано принципиальное отличие медно-колчеданного оруденения от типичного «рудноалтайского» колчеданно-полиметаллического, что свидетельствует о гетерогенности колчеданных месторождений этой провинции, ранее относимых к единой колчеданно-полиметаллической формации. Проведена типизация медно-колчеданного оруденения, доказана его принадлежность к типу Бесси - «Besshi-Type». На основании новых данных этот тип колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая впервые комплексно охарактеризован – показаны его геолого-структурные, морфологические, минералого-геохимические, структурно-текстурные и технологические особенности. Установлены основные рубежи формирования медно-колчеданного оруденения в исследуемом регионе, включая вулканогенно-осадочный и метаморфогенный этапы. На основе новых данных по изотопному составу S сульфидов сделан вывод об основной роли эндогенных источников при формировании этого типа оруденения. Впервые сделано заключение о формировании рудноалтайских медно-колчеданных месторождений в геотектонической обстановке типа задуговых зон спрединга, которая принципиально отличается от условий энсиалической островной дуги полиметаллической части Рудного Алтая. Результаты проведенных исследований позволили существенно расширить имеющиеся представления об истории формирования Рудноалтайской колчеданоносной провинции.

Практическая значимость работы. Выявленные закономерности размещения медно-колчеданного оруденения и его основные особенности позволяют с новых позиций подойти к обнаружению новых и оценке уже имеющихся проявлений этого типа. Полученные данные по морфологии и внутреннему строению рудных тел могут быть ориентиром при поисках и прогнозной оценке аналогичных медно-колчеданных объектов. Результаты исследования уже использовались и используются в практике поисково-разведочных работ, например, при проведении детальной разведки на месторождении Карчига, в результате которой его промышленные запасы были увеличены 1,5 раза. Разработанный комплекс наиболее оперативных и эффективных методов поисков медно-колчеданных месторождений в условиях рудно-алтайского региона был успешно апробирован в 2010 году: компанией Orsu Metals Corporation в бкм от месторождения Карчига скважиной, на глубине 60 метров было пересечено абсолютно новое «слепое» рудное тело, представленное массивными медно-колчеданными рудами, параметры которого будут уточняться в ходе дальнейших работ. Результаты исследования использовались при проектировании и выборе новых площадей для проведения поисковых и оценочных работ на медно-колчеданное оруденение. В целом основные результаты работы и вытекающие из нее практические рекомендации опубликованы и приведены в производственных отчетах и могут широко использоваться.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав и заключения, и содержит 144 страницы текста, 48 рисунков, 16 таблиц. Список литературы включает 170 наименований.

Во введении определены цели, задачи работы и методы исследования, а так же сформулированы защищаемые положения. В первой главе приведен обзор современного состояния проблемы, показано положение исследуемой территории в региональных структурах, охарактеризована зональность в расположении колчеданных объектов Рудноалтайской провинции. Во второй главе дана общая структурно-геологическая характеристика и металлогения Курчумского блока высоко метаморфизованных пород, в пределах которого находятся месторождение Карчига и другие проявления медно-колчеданного оруденения. Третья глава посвящена детальному описанию геологических особенностей месторождения, морфологии и строения его медно-колчеданных залежей, вещественному составу и результатам изотопных исследований руд и, в конце главы, проведена типизация

медно-колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая. В четвертой главе дано описание метаморфических преобразований месторождения, изложены результаты исследования возраста. В пятой главе рассмотрены основные черты генезиса и приведены палеореконструкции обстановок формирования медно-колчеданных месторождений Юго-Западного Алтая. В шестой главе даны прогнозно-поисковые критерии и предложен наиболее рациональный поисковый комплекс. В заключении приведены основные выводы, вытекающие из проведенных исследований.

Благодарности. Итоговая подготовка работы была выполнена в лаборатории рудно-магматических систем и металлогении Института геологии и минералогии СО РАН. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю д.г.-м.н. И.В.Гаськову и д.г.-м.н. А.С.Борисенко за постоянную поддержку и ценные советы, направленные на улучшение работы. Большая благодарность сотрудникам Алтайского отдела АН Казахстана Г.Д.Ганженко, Е.М.Сапаргалиеву, В.С.Новоселову и, особенно, Н.В.Полянскому, с которым автор неоднократно обсуждал самые разнообразные вопросы геологии и металлогении Рудного Алтая. Автор благодарит Ф.Г.Давыдова, Р.С.Миназова и других работников ТОО Геос, а также сотрудников ВНИИЦветМет В.Д.Борцова, Н.В.Сулаквелидзе и Л.Б.Кушакову, способствовавших выполнению этой работы. Сердечную признательность автор выражает Д.Дмитриенко, С.Шматову, В.Кругловой и другим работникам ГРК МЛД, а так же M.Boyes (Orsu Metals Corp) за дружественную рабочую атмосферу в ходе совместных полевых и камеральных работ в течение 2008-2011гг. За содействие в проведении исследований и организационной подготовке диссертации автор выражает благодарность К.Р.Ковалеву, А.А.Боровикову, А.Э.Изох, П.А.Неволько, И.Г.Третьяковой, Е.С.Ларионовой, А.В.Наставко и другим сотрудникам ИГМ СО РАН. Особая благодарность Е.А.Наумову за его постоянную дружескую помощь и поддержку. Автор благодарит за содержательное общение при подготовке работы И.В.Викентьева, В.А.Макарова, R.Herrington, J.Clifford, F.Pirajno, R.Sillitoe, В.В.Масленникова, В.В.Авдонина и многих других. Большую помощь в работе с графическими материалами при оформлении диссертации оказал М.И.Курочкин. За оказанную помощь в реализации работы, советы и активное обсуждение работы в ходе ее подготовки автор особо благодарен А.С. Якубчуку.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Рудный Алтай входит в число крупнейших колчеданосных провинций мира (Дергачев и др., 2004; Полянский и др., 2008; Еремин и др., 2010), исследование которой было начато еще в первой половине XVIII века, с момента открытия в ее пределах первых месторождений. Она протягивается в виде полосы северо-западного простирания длиной более 500км при наибольшей ширине около 100км, расположенной в пределах Иртыш-Зайсанского складчатого пояса. На сегодня общий установленный рудный потенциал этой провинции составляет более 1 млрд. тонн руды (накопленная добыча + запасы) в 58 месторождениях.

К настоящему времени накоплен огромный объем материалов по геологическому строению и металлогении этого региона. В последних по времени обобщающих публикациях охарактеризована Центральная часть Рудного Алтая (Попов и др., 1995; Беспаяв и др., 1997; Щерба и др., 2000; Викентьев, 2004), его Северо-Западная часть (Гаськов, 2002), а так же колчеданные месторождения в китайской части Алтая (Wang D., 2003; Wang J. et al., 2003).

Результаты проведенных исследований касаются медно-колчеданных объектов, развитых в Юго-Западной части Рудного Алтая, которые существенно отличаются по составу руд и вмещающим породам от типичных «рудноалтайских» колчеданно-полиметаллических месторождений, чем постоянно привлекают внимание исследователей.

Целенаправленное изучение геологических особенностей медно-колчеданного оруденения было проведено в течение 2007-2011гг. на месторождении Карчига, самом крупном на сегодняшний день на Юго-Западном Алтае месторождении этого типа. В этот же период были в различной степени исследованы Вавилонское месторождение и медно-колчеданные проявления в Курчум-Кальджирском рудном районе.

Проведенные исследования в корне изменили представление о природе колчеданных месторождений этого типа на Рудном Алтае и позволили выработать надежные критерии для поисков подобных объектов. Кроме того, на основании всей совокупности полученной информации, с учетом новых данных по тектонике и металлогении Алтайского региона, сделана попытка по новому взглянуть на особенности геологического строения и развития исследуемой территории и, в том числе, на место медно-колчеданного оруденения в ее истории.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение: *месторождения и проявления медно-колчеданного оруденения юго-западной части Рудного Алтая принципиально отличаются от колчеданно-полиметаллических месторождений Рудноалтайской провинции по своему пространственному положению, ассоциирующим с ними вулканогенным образованиям, вещественному составу руд, морфологии рудных залежей, составу вмещающих пород, характеру околорудных изменений, по спектру элементов-примесей.*

В распределении колчеданных месторождений Рудного Алтая существует линейная зональность, отмечаемая многими исследователями (Иванкин и др., 1961; Атлас..., 1978; Колчеданные..., 1983; Кузубный и др., 1991; Попов и др., 1995; Беспяев и др., 1997; Металлогения..., 1999; Щерба и др., 2000; Авдонин и др., 2010). Она связана с глубинным строением этого региона и заключается в закономерном увеличении в юго-восточном направлении доли медной составляющей в рудном потенциале колчеданных месторождений, при этом крайними членами этого ряда являются медно-колчеданные месторождения (прил.1). Все они локализованы в относительно узкой полосе, ограничивающей с юго-запада Рудноалтайский колчеданный пояс, и отвечающей в региональном плане Иртышской Зоне Смятия. В ее пределах известно два рудных района с медно-колчеданным оруденением – Курчум-Кальджирский и Вавилонский. Эти районы расположены в 360км друг от друга, каждый из них включает месторождение и несколько проявлений, при этом все они имеют много принципиально схожих черт геологического строения:

- вмещающие терригенно-осадочные породы представлены, в основном, пелитовыми разностями и содержат горизонты вулканитов основного состава, при полном отсутствии кислых вулканитов;
- морфология рудных залежей согласная пластовая, лентообразная, реже – линзовидная;
- оруденение имеет тесную пространственную связь с высокомагнезиальными породами хлорит-антофиллитового состава;
- минералогический состав руд, по сравнению с другими колчеданными месторождениями Рудного Алтая, отличается своей простотой – пирит, халькопирит, пирротин, в меньших количествах сфалерит и магнетит, при несущественной доле других минералов;
- значительное преобладание в рудах Cu над Zn и практически полное отсутствие Pb;

- весьма ограниченное количество элементов-примесей в рудах, из которых только Со отмечается в повышенных концентрациях;

Пространственно медно-колчеданное оруденение находится исключительно в пределах Иртышской зоны смятия, как и месторождения золото-кварцевого (Авроринско-Полеваевская группа) и золото-лиственитового (Маралихинское) типа, которые в совокупности определяют медно-золоторудную металлогеническую специализацию этой региональной структуры (Беспаяв и др., 1997; Щерба и др., 2000). Наличие в ее пределах габбро-плаггиогранитных интрузий прииртышского и вавилонского комплексов, отсутствующих на сопредельных территориях, подчеркивает своеобразие геологического облика Иртышской зоны смятия.

Сравнение медно-колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая с колчеданно-полиметаллическим основной массы месторождений Рудноалтайской провинции показывает их принципиальное отличие, которое проявляется в их различном пространственном положении и комплексе геологических особенностей (прил.3, 4). В основе этого различия находится вещественный состав руд и ассоциирующих с оруденением вулканогенных пород, что является следствием различных палеогеодинамических обстановок развития рудно-магматических систем сформировавших оба типа месторождений. Месторождения и проявления медно-колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая образовались в геотектонической обстановке рифтогенных прогибов (задуговые зоны спрединга) с вулканизмом основного состава (недифференцированная базальтоидная формация), чем принципиально отличаются от типичных колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, сформировавшихся в условиях энсиалической островной дуги с бимодальным базальт-риолитовым вулканизмом. Обе охарактеризованные группы колчеданных месторождений Рудноалтайской провинции по своим характеристикам являются типичными представителями соответствующих групп месторождений известных в различных колчеданосных провинциях мира (прил.5).

Второе защищаемое положение: месторождение Карчига относится к вулканогенно-осадочному типу медно-колчеданных месторождений в недифференцированных базальтоидных формациях - «Besshi-Type», об этом свидетельствуют его пространственная и парагенетическая связь с горизонтами вулканитов

основного состава, вещественный состав руд, пластообразная и лентовидная морфология рудных залежей, вулканогенно-осадочный состав вмещающих пород, текстурно-структурные особенности руд и их положение в разрезе.

Месторождение Карчига расположено в юго-восточной части Курчумского блока высоко метаморфизованных пород. Все проявления медно-колчеданного оруденения и месторождение Карчига находятся в пределах средней пачки метаморфического гнейсо-амфиболитового комплекса, которая в пределах Карчигинского рудного поля имеет мощность около 1800м и отличается от ниже- и вышележащих отложений резким преобладанием амфиболитов. Количество последних составляет от 30 до 60% по отношению ко всей мощности отложений, они имеют четкую стратификацию, смяты в складки и образуют пояс, протягивающийся в северо-западном направлении за пределы Карчигинского рудного поля вдоль всего Курчумского блока (прил.7). Аналогичное поясовое расположение амфиболитов и их пространственная связь с медно-колчеданными месторождениями наблюдается и в некоторых других колчеданосных провинциях мира - Sanbagawa Belt, Япония (Watanabe, 1923; Kanehira and Tatsumi, 1970; Ikehata et al., 2011), California Belt (Mattinen et al., 1986), Appalachians (Neathery et al., 1984), Matchless Belt (Klemd et al., 1987; Breitkopf, 1988; Preussinger, 1990) и др. Рудовмещающая средняя пачка хорошо выделяется в геохимических полях, при этом промышленное оруденение в ее пределах имеет четкий стратиграфический контроль и локализуется в определенной ее части, отличающейся аномально высоким содержанием Cu на фоне пониженных значений Ba, K, Sn и Bi.

В пределах Карчигинского рудного поля колчеданное оруденение образует 4 стратифицированных рудоносных уровня зонального строения. Нижние два горизонта сложены серно-колчеданной минерализацией (проявления Спассовское и Южная Антиклиналь), выше преобладают медно-колчеданные руды (Центральная залежь) и на верхнем горизонте развиты цинково-медные руды (Северо-Восточная залежь) (прил.7, врезка).

Значительную долю в составе рудовмещающей толщи имеют метатерригенные породы, субстрат которых соответствует грауваккам. Они представлены биотит-плаггиоклазовыми, биотит-плаггиоклаз-кордиеритовыми, биотит-кварц-плаггиоклазовыми, биотит-кордиерит-плаггиоклаз-кварцевыми, биотит-кварц-актинолитовыми и кордиерит-антофиллит-биотитовыми гнейсами.

Оруденение имеет тесную пространственную связь с горизонтами амфиболитов, которые образуют длинные плитообразной формы тела, согласные с вмещающими терригенно-осадочными породами и несут такие же, как и они, следы пликативных деформаций в виде складок различных порядков вплоть до плейчатости. По химическому составу амфиболиты отвечают толеитовым базальтам нормального ряда натриевой серии (N-MORB), что подтверждается Sm-Nd изотопными характеристиками, соотношением TiO_2 и K_2O , а так же редкоэлементными и мультиэлементными спектрами.

Оруденение размещается в гнейсах или на контакте их с амфиболитами среди высоко магнезиальных пород кварц-хлорит-антофиллитового состава, рассматривающиеся как первичные зоны околорудного изменения, образовавшиеся в результате интенсивного магнезиально-железистого метасоматоза.

Основные промышленные запасы месторождения Карчига сосредоточены в двух пространственно обособленных рудных залежах – Центральной и Северо-Восточной, для которых характерно согласное залегание с вмещающими терригенно-осадочными породами и тесная пространственная связь с горизонтами амфиболитов. Они имеют пластообразную и лентовидную форму (прил.2), большую площадь в плоскости напластования (до 2500x260м), при сравнительно небольшой мощности (средняя 6м, максимальная 25м).

Первичные сульфидные руды составляют основную промышленную ценность месторождения и характеризуются довольно простым минеральным составом: пирит, халькопирит, в меньшей мере – пирротин, в подчиненных количествах встречаются магнетит и сфалерит. Из нерудных минералов в наибольших количествах присутствуют кварц, хлорит, биотит, антофиллит и актинолит.

По текстурным особенностям руды месторождения подразделяются на сплошные и вкрапленные разновидности. По химическому составу они относятся к существенно медным с незначительной примесью цинка. В целом по месторождению в промышленных рудах средние содержания Cu составляют 2% (при бортовом содержании 0,5%), а Zn - 0,4%. Для руд характерны повышенные концентрации Co до 0,16% (среднее 0,028%), невысокие содержания Au (0,3г/т) и Ag (7,2 г/т) и практически полное отсутствие Pb, Ba, As и Sb.

Изотопный состав серы сульфидов медно-колчеданных руд месторождений Карчига характеризуется устойчиво низкими величинами $\delta^{34}S$ (в среднем +1,8‰), что с учетом медного уклона

оруденения, повышенных концентраций Со в рудах и связь с базитовым вулканизмом свидетельствует об основной доле мантийных источников рудного вещества и флюидов.

Температура минералообразования, рассчитанная по изотопному геотермометру, составляет 220-280°C.

По выявленной совокупности особенностей геологического строения и вещественного состава месторождение Карчига соответствует месторождениям в недифференцированных базальтоидных формациях, объединенных в группу месторождений **типа Бесси - “Besshi-Type”** (Watanabe, 1923; Collins, 1950; Канахира, Тацуми, 1973; Fox, 1984; Еремин и др., 1999; Дергачев и др., 2011).

Сравнительный анализ геолого-структурных, морфологических, вещественных и других особенностей месторождений Карчига и Вавилонское выявил их значительное сходство с месторождениями Besshi-Type других провинций мира, при этом по своим промышленным параметрам (запасы и содержания) они относятся к средним по масштабам месторождениям этого типа (прил.6).

Исходя из геологических особенностей месторождений Бесси типа для их формирования необходимо геодинамическая обстановка, когда процессы вулканизма и рудообразования протекают вблизи крупных поднятий, являющихся источниками терригенного материала (Еремин и др., 1999; Дергачев и др., 2011). Наиболее близкими современными аналогами месторождений этого типа могут служить сульфидные образования на океаническом дне, формирующиеся в пределах рифтов, заполненных рыхлыми осадками: поля Гуаймос в Калифорнийском заливе, трог Эсканаба в хребте Горда и поля Мидл Велью хребта Хаунде-Фука. Все они находятся у западного побережья Северной Америки и довольно хорошо изучены с использованием глубоководных аппаратов (Zierenberg et al, 1993; Богданов, Сагалевич, 2002; Богданов и др., 2006).

Рифтовые структуры, с которыми они связаны, относятся к низко-спрединговым (скорость до 6,0-6,8см/год) и, в отличие от большинства рифтов открытого океана, спрединг и вулканизм в них происходят под осадочным покровом. Мощность рыхлых осадков в рифте измеряется несколькими сотнями метров и, по материалам глубоководного бурения (Богданов и др., 2006), они вмещают базальтовые силлы. На дне трогов располагаются многочисленные действующие гидротермальные постройки, с температурой растворов до 320°C. Состав гидротермальных образований существенно отличается от образований

других отрезков Мировой рифтовой системы: основными рудными минералами являются пирротин, халькопирит, сфалерит, вюртцит; химический состав выделяется низким содержанием Pb, при этом отмечается обогащение Co, Ni, Y и Sb (Богданов и др., 2006).

Таким образом, наблюдается много общих принципиальных черт в строении и вещественном составе медно-колчеданных месторождений Юго-Западного Алтая и современных субмаринных гидротермальных полей в рифтовых структурах, заполненных рыхлыми осадками. Следует отметить, что сравнительный анализ современных и древних колчеданных залежей показывает, что существуют некоторые отличия в масштабе рудонакопления и геодинамических условиях его проявления, связанные с эволюционным развитием литосферы и внешних геосфер Земли (Дергачев, 2010). Однако условия, благоприятные для образования крупных колчеданных залежей, представляются универсальными – это обстановки растяжения (Викентьев, 2004).

Выполненный краткий сравнительный анализ медно-колчеданных месторождений Юго-Западного Алтая с их древними и современными аналогами подтверждает выявленные в ходе наших исследований особенности месторождения Карчига и позволяет уверенно отнести его к принципиально новому для Рудноалтайской провинции типу месторождений - “Besshi-Type”.

Третье защищаемое положение: месторождение Карчига и другие проявления медно-колчеданного оруденения, находящиеся в Курчумском блоке в осевой части Иртышской зоны смятия, испытали метаморфизм эпидот-амфиболитовой фации. В процессе метаморфизма вмещающие породы и руды претерпели тектонические и минеральные преобразования. Установлена перекристаллизация руд с образованием метаморфогенных текстур и структур и частичная регенерация рудного вещества с переотложением его в замковые части складок и тектонически ослабленные зоны.

Многие колчеданных месторождений Рудноалтайской провинции испытали метаморфические преобразования. При этом наиболее сильные следы метаморфических процессов наблюдаются на месторождениях, расположенных в пределах основных зон смятия и их ответвлений (Викентьев, 2004). Все они связаны с возникновением и развитием долгоживущего трансрегионального разлома (Иртышской зоны смятия), в осевой части которого находится Курчумский блок, вмещающий месторождение Карчига.

В процессе метаморфизма пород и руд месторождения можно выделить прогрессивную и регрессивную стадии. В первую из них вмещающие породы и руды в условиях эпидот-амфиболитовой фации испытали тектонические и минеральные преобразования и перекристаллизацию. Сульфидные руды в основном утратили свой первоначальный тонкозернистый, колломорфный облик, что способствовало улучшению их обогатительных качеств за счет укрупнения зернистости и уменьшения количества микросростаний.

Метаморфизм второй, регрессивной стадии сопровождался процессами метасоматоза с частичным переотложением рудного вещества, в результате чего в замковых частях синклинали складок образовались участки медно-колчеданного оруденения аномально большой мощности (до 25 м, что в 4 раза превышает среднюю мощность по залежи). Кроме этого, были выявлены участки сложенные исключительно богатыми – чисто халькопиритовыми рудами, содержание меди в которых превышало 6-8%, максимальное - 22,1%. Появление таких обогащенных участков является следствием высокой подвижности халькопирита, который легко мобилизуется и переотлагается уже на стадии раннего эпигенеза (Дистанов, 1977).

В некоторых случаях регенерированное оруденение ассоциирует с кварц-карбонатной жильной минерализацией в пределах крутопадающих разломов, пересекающих рудные тела.

На минеральном уровне метаморфизм проявился в образовании новых минеральных форм пирита, появлении двойников давления в пирротине, в разъедании рудных минералов (халькопирита, пирита) со стороны нерудных (актинолит, антофиллит, хлорит), часто отмечается катаклиз зерен и минеральных агрегатов, при этом образовавшиеся трещины заполнены регенерированным в процессе метаморфизма халькопиритом. Подобные изменения являются типичными для колчеданных месторождений, вмещающие породы и руды которых претерпели метаморфизм высоких ступеней (Канехара, Тацуми, 1973; Ярош, 1973; Igarashi and Kishimoto; 1979; Колчеданные..., 1979; Колчеданные..., 1983; Neathery and Hollister, 1984; Колчеданные..., 1984; Макаров, 1984; Klemm et al., 1987; Ikehata et al., 2011).

Особенно ярко метаморфические процессы отразились в текстурном облике пород и руд (прил.8). Во вмещающих породах широко развиты полосчатые, плейчатые, гнейсовые текстуры, повсеместно встречаются текстуры будинажа, образованные линзами кварца, иногда наблюдаются брекчиевые текстуры. В рудах отчетливо выражена плейчатость,

которая согласуется с плейчатостью и рассланцовкой вмещающих пород. Массивные руды содержат округлые, веретенovidные и линзовидные включения вмещающих пород в халькопиритовой оторочке - текстуры «durchbewegung» (Trygve Hoey et al., 1984; Bailie et al., 2010) или «шариковые руды» (Дистанов, 1977; Дистанов и др., 1982; Викентьев, 2004).

Температура метаморфизма, рассчитанная по изотопному геотермометру с использованием пары минералов, один из которых - метаморфогенный пирит-III, показывает разброс значений от 550 до 750°C, что согласуется с температурными условиями метаморфизма вмещающих вулканогенно-терригенных образований, рассчитанных по гранату и биотиту - 510-660°C (Беспаяев и др., 1997).

Таким образом, процесс метаморфических преобразований на медно-колчеданном месторождении Карчига выразился в изменении структурно-текстурных особенностей, перекристаллизации части минералов и частичном перераспределении рудного вещества в пределах контура первичных рудных залежей. При этом полученные результаты наглядно демонстрируют, что руды испытали метаморфогенные преобразования совместно с вмещающими породами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Медно-колчеданное оруденение локализуется в пределах узкой полосы северо-западного простирания, которая находится в юго-западной части Рудного Алтая и относится к Иртышской зоне смятия. Установлено, что по своему пространственному положению и комплексу геологических особенностей медно-колчеданное оруденение Юго-Западного Алтая принципиально отличается от колчеданно-полиметаллического основной массы месторождений Рудноалтайской провинции.
2. В пределах Иртышской зоны смятия известно два рудных района с медно-колчеданным оруденением – Курчум-Кальджирский и Вавилонский. Они расположены в 360км друг от друга, каждый из них включают одноименное месторождение и несколько проявлений, при этом, все они имеют однотипный минеральный и химический состав руд, сходный характер околорудных изменений, одинаковую морфологию рудных тел, соответствие в степени метаморфизованности вмещающих пород и руд;
3. Выявлена закономерность, что все проявления медно-колчеданного оруденения в Курчум-Кальджирском рудном районе и месторождение Карчига находятся в пределах амфиболитового пояса,

протягивающегося вдоль всего Курчумского блока высоко метаморфизованных пород. Он соответствует средней пачке метаморфического гнейсо-амфиболитового комплекса, которая отличается от ниже- и вышележащих отложений резким преобладанием амфиболитов;

4. В пределах Карчигинского рудного поля установлено 4 колчеданосных стратиграфических уровня зонального строения. Нижние два горизонта сложены серно-колчеданной минерализацией, выше преобладают медно-колчеданные руды (Центральная залежь) и на верхнем горизонте развиты цинково-медные руды (Северо-Восточная залежь);

5. Значительную долю в составе рудовмещающей толщи имеют метатерригенные породы, субстрат которых соответствует грауваккам. Выявлено, что оруденение имеет тесную пространственную связь с горизонтами вулканитов основного состава (амфиболитами), отвечающим базальтам (N-MORB). Оно размещается в гнейсах или на контакте их с амфиболитами среди высоко магнезиальных пород кварц-хлорит-антофиллитового состава, рассматривающиеся как первичные зоны околорудного изменения;

6. Стратифицированные рудные залежи имеют пластообразную и лентовидную форму, большую площадь в плоскости напластования (до 2500x260м), при сравнительно небольшой мощности (средняя 6м, максимальная 25м);

7. Руды месторождения имеют простой минеральный состав – пирит, халькопирит, пирротин, сфалерит, магнетит, при не существенной доле других минералов; значительное преобладание в рудах меди над цинком (отношение $Cu/(Cu+Zn)$ 0,83), повышенные концентрации Co (до 0,16%), пониженные средние содержания Au и Ag (0,3г/т и 7,2г/т, соответственно) и практически полное отсутствие Pb и Ba; изотопный состав серы сульфидов находится в узком диапазоне значений и отвечает мантийному (в среднем +1,82‰); температура минералообразования, рассчитанная по изотопному геотермометру, составляет 220-280°C;

8. По совокупности признаков месторождение Карчига относится к вулканогенно-осадочному типу медно-колчеданных месторождений в недифференцированных базальтоидных формациях - «Besshi-Type»;

9. Месторождение Карчига и другие проявления медно-колчеданного оруденения, находящиеся в Курчумском блоке в осевой части Иртышской зоны смятия, испытали метаморфизм эпидот-

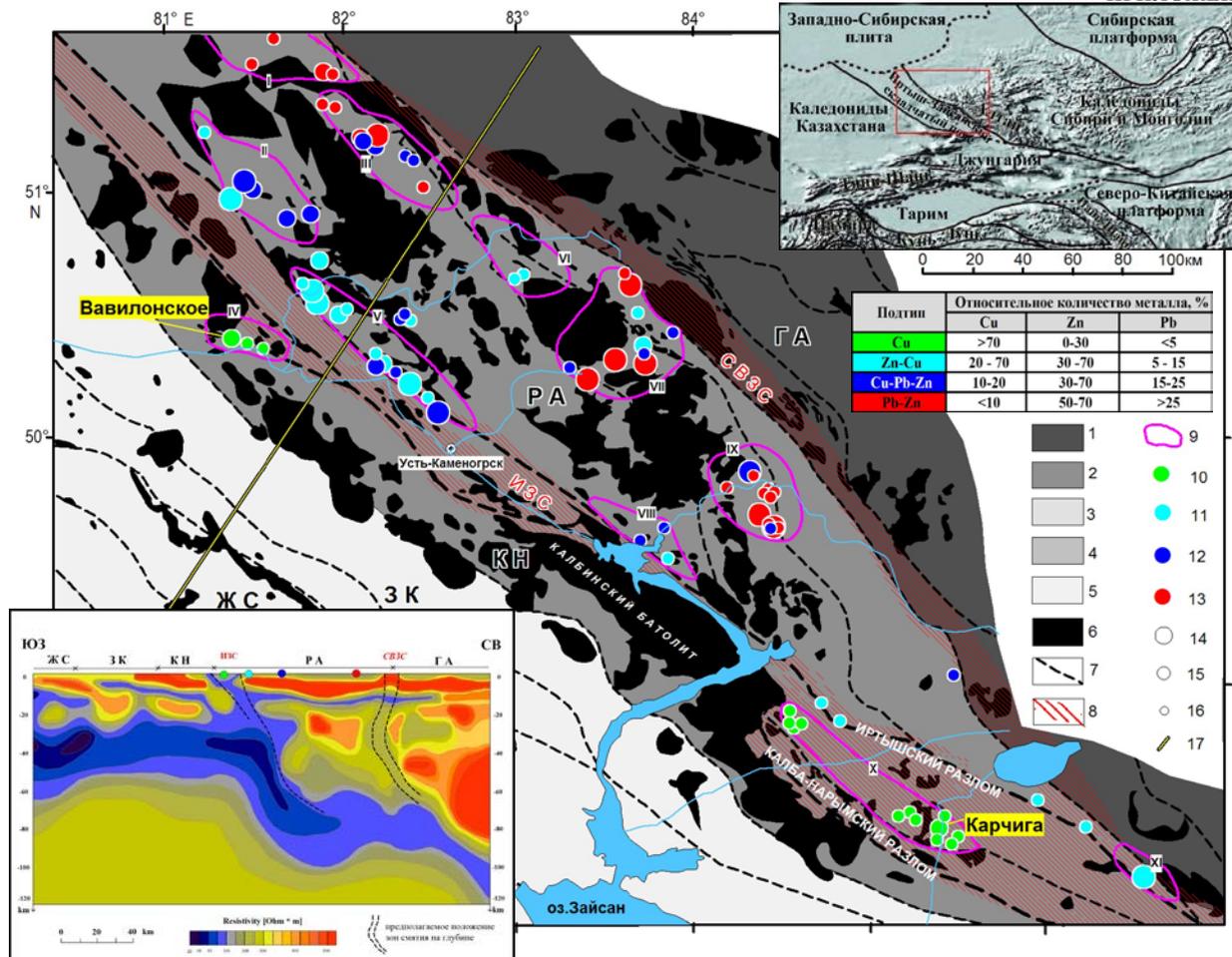
амфиболитовой фации. В процессе метаморфизма вмещающие породы и руды претерпели тектонические и минеральные преобразования. Установлена перекристаллизация руд с образованием метаморфогенных текстур и структур и частичная регенерация рудного вещества с переотложением его в замковые части складок и тектонически ослабленных зон;

10. Месторождения Карчига и другие месторождения и проявления медно-колчеданного оруденения Юго-Западного Алтая образовались в геотектонической обстановке рифтогенных прогибов (задуговые зоны спрединга) с вулканизмом основного состава, чем принципиально отличаются от колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая, сформировавшихся в островодужных условиях с бимодальным вулканизмом. Современными аналогами месторождений этого типа могут служить сульфидные образования на океаническом дне, формирующиеся в пределах рифтов, заполненных рыхлыми осадками;

11. Разработаны прогнозно-поисковые критерии и комплекс наиболее оперативных и эффективных методов поисков медно-колчеданных месторождений Бесси типа в условиях Юго-Западного Алтая. Часть из них уже апробирована в ходе поисково-разведочных работ, проводившихся в течение 2009-2011 гг, и доказала свою эффективность.

Основные публикации по теме диссертации:

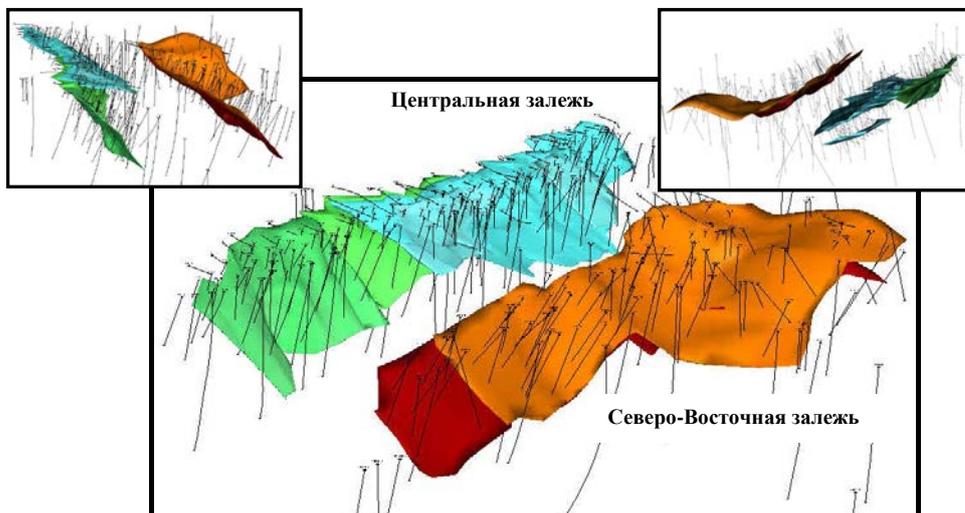
1. **Лобанов К.В.**, Гаськов И.В. Медно-колчеданное Карчигинское месторождения в высоко метаморфизованных породах Курчумского блока: геологическое строение, особенности образования и метаморфизма (Рудный Алтай) // Геология и геофизика, 2012, т.53(1), с.1-15. (рекомендовано ВАК);
2. **Лобанов К.В.**, Гаськов И.В. Признаки вулканогенно-осадочного образования медно-колчеданных руд Карчигинского месторождения в высоко метаморфизованных породах Курчумского блока (Рудный Алтай) // "Вулканизм и геодинамика", г. Екатеринбург 2011, с.87-90;
3. Гаськов И.В., **Лобанов К.В.** Факторы, определяющие металлогеническую зональность Рудноалтайской полиметаллической провинции // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Иркутск 2011, с.56-58;
4. **Лобанов К.В.**, Гаськов И.В. Медно-колчеданное Карчигинское месторождения в высоко метаморфизованных породах Курчумского блока: геологическое строение, особенности образования и метаморфизма (Рудный Алтай) // Геология, тектоника и металлогения Северо-Азиатского кратона. Якутск, ИГАБМ СО РАН, 2011 г. с.87-91;
5. **Lobanov K.V.** Types of massive sulfide deposits in the Rudnyy Altay and linear belts of their distribution // Abstracts of CERCAMS-15 / SEG workshop presentations "Cu-Au deposits of Central Asia", 17-27 October 2011.



Структурно-металлогеническая схема Рудного Алтая и сопредельных территорий и положение основных колчеданных объектов. Составлена с использованием материалов: (Атлас..., 1978; Попов и др., 1995; Беспяев и др., 1997; Щерба и др., 2000; Владимиров и др., 2008)

1 – Горноалтайская металлогеническая провинция (ГА); 2 – Рудноалтайский пояс (РА); 3 – Калба-Нарымский пояс (КН); 4 – Западно-Калбинский пояс (ЗК); 5 – Жарма-Саурский пояс (ЖС); 6 – интрузии различного возраста, без расчленения; 7 – основные структурообразующие разломы; 8 – Иртышская (ИЗС) и Северо-Восточная (СВЗС) зоны смятия; 9 – границы рудных районов (I – Рубцовский, II – Золотушинский, III – Змеиногорский, IV – Вавилонский, V – Прииртышский, VI – Снегирихинский, VII – Лениногорский, VIII – Бухтарминский, IX – Зырянский, X – Курчум-Кальджирский, XI – Ашалинский); типы колчеданных месторождений: 10 – медно-колчеданные; 11 – цинк-медно-колчеданные; 12 – колчеданно-медно-полиметаллические, 13 – колчеданно-полиметаллические; размер месторождения: 14 – крупное, 15 – среднее, 16 – мелкое или рудопроявление; 17 – линия разреза по Алейскому геотраверсу.

Во врезке - Геофизическая модель разреза литосферы Иртыш-Зайсанской складчатой области с прилегающими территориями по Алейскому геотраверсу (по данным магнитотеллурического зондирования, с учетом результатов геотермических и сейсмических исследований; по материалам: (Щерба и др., 1998), (условные обозначения общие с основной схемой).



Трехмерная модель месторождения Карчига. Пластообразная и лентовидная морфология медно-колчеданных залежей. Слева – вид с юго-востока; в центре – вид с северо-востока; справа – вид с северо-запада

База данных при построении диаграммы:

Кипрский тип (Mafic): Agrokíria, Apliki, Kalavassos-Mousoulos, Kokkinopezoula, Kokkinoyia, Limni, Mathiati, Mavrovouni, Skouriotissa, Lasail, Mauk, Aarja, Bayda.

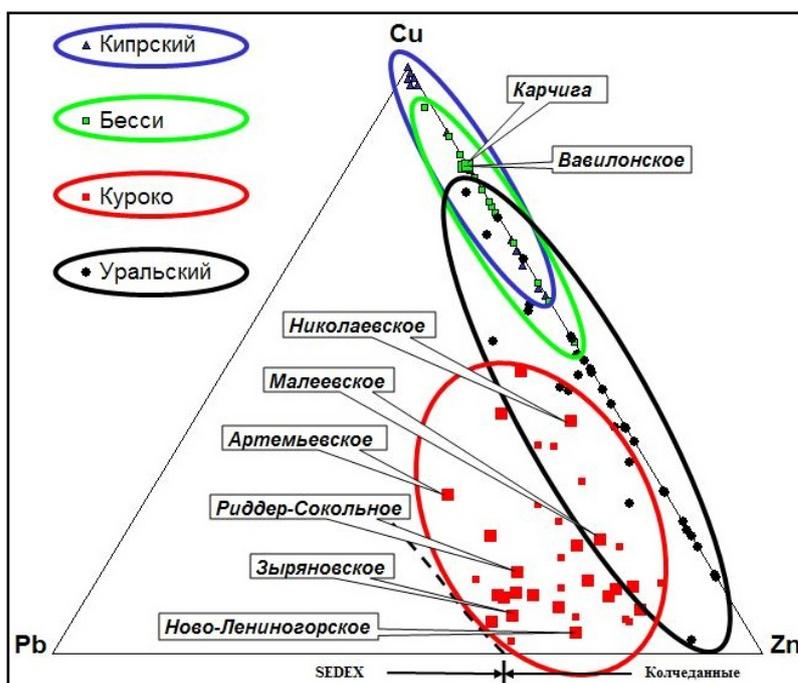
Бесси тип (Mafic-siliciclastic): Windy Craggy, Outokumpu, Vuonos, Besshi, Hitachi, Szazere, Shimokawa, Otjihase, Duchess, Ducktown, Майнское, Altin-Tepe, Granduc.

Уральский тип (Bimodal-mafic): Сибайское, Учалинское, Юбилейное, Чебачье, Молодежное, Озерное, Талганское, Узельгинское, Блявинское, Авангард, Лиманное, Приорское, Маканское, Майское, Октябрьское, Озерное Западное, Подольское, Подольское Восточное, Подольское Северное, Семеновское Восточное, Джузинское, Гайское, Комсомольское, Britannia, Ecstall, Point Leamington, Lockport, Shasta King, Mammoth, Crandon, Lynne, Pelican River.

Куроко тип (Bimodal-felsic&Bimodal-siliciclastic): Fukazawa, Hanaoka Mine (total), Hanawa, Kosaka Group (total), Kosaka-Ezuri, Kosaka-Motoyama, Kosaka-Uchinotai E, Kosaka-Uchinotai W, Kosaka-Uwamuki, Furutobe, Kurosawa, Iwame & Iwame West, Francisco I Madero, Hellyer, Xiaotieshan.

Месторождения Рудного Алтая:

колчеданно-полиметаллические - Артемьевское, Белоусовское, Чекмарь, Греховское, Камышинское, Малеевское, Николаевское, Ново-Ленинское, Орловское, Риддер-Сокольное, Шеманинское, Тишинское, Зыряновское, Корбалихинское, Ново-Золотушинское, Рубцовское, Степное, Таловское, Юбилейное, Захарьевское, Заречное, Змеиногорское; **медно-колчеданные** - Карчига, Вавилонское.



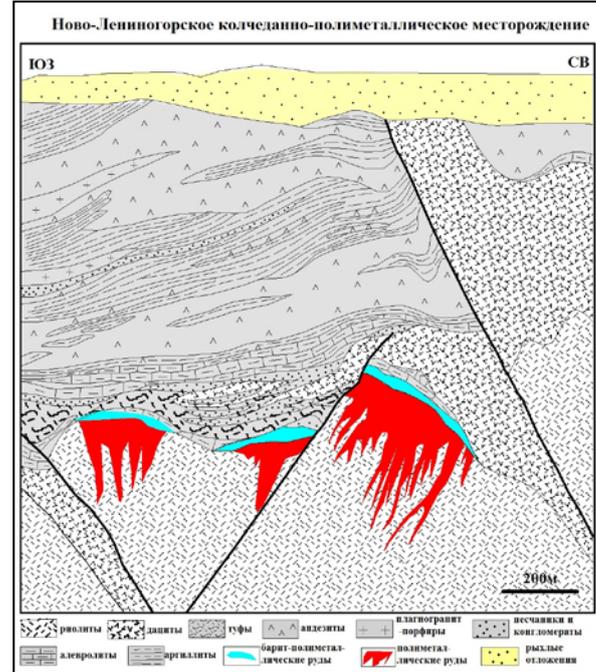
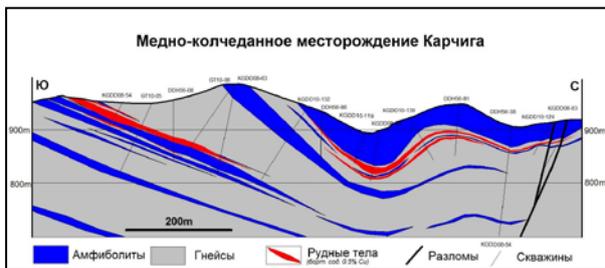
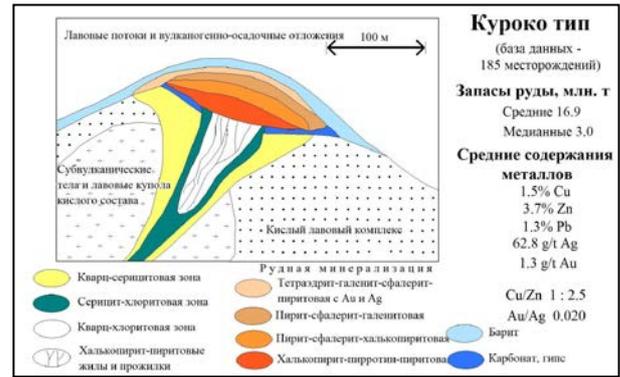
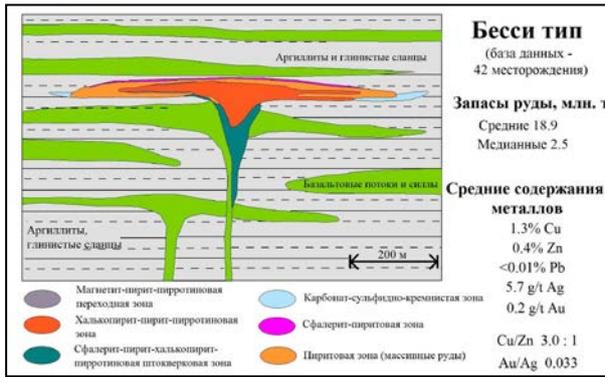
Положение различных типов колчеданных месторождений на тройной диаграмме Cu-Zn-Pb и место на ней месторождений Рудноалтайской провинции

Граница между колчеданным типом месторождений и месторождениями типа SEDEX проведена по (Franklin et al., 1981); крупными значками выделены колчеданные месторождения Рудноалтайской провинции

Сравнение основных геологических характеристик медно-колчеданных и колчеданно-полиметаллических месторождений Рудноалтайской провинции (с использованием данных: Кузбный и др., 1975; Попов и др., 1995; Беспяев и др., 1997; Дистанов, Гаськов, 1999; Щерба и др., 2000; Гаськов, 2002; Викентьев, 2004)

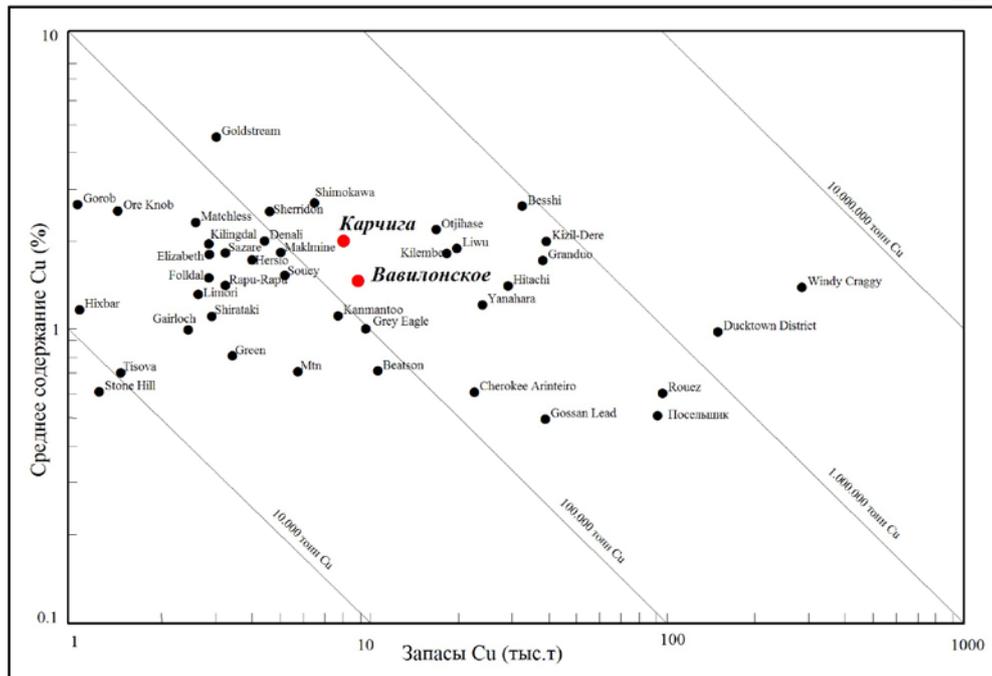
Сравниваемая характеристика	Медно-колчеданные месторождения	Колчеданно-полиметаллические месторождения
Рудоконтролирующие структуры	Рифтогенные структуры линейного типа	Вулкано-тектонические структуры (поднятия и депрессии) центрального типа
Вмещающие отложения, в т.ч.:	Вулканогенно-осадочные	Вулканогенно-осадочные
	осадочные вulkanогенные	Терригенные и известково-терригенные мало-глубинные отложения вулканического шельфа
Взаимоотношение с вулканитами	Недифференцированная базальтоидная формация, толеитовые базальты и полное отсутствие кислых вулканитов	Базальт-риолитовая формация, с резким преобладанием кислых вулканитов
Морфология рудных тел	Рудные тела ассоциируют с плитообразными согласными телами базальтов	Рудные тела ассоциируют с экструзивно-субвулканическими телами кислых вулканитов
Главные околорудные минералы	Простая пластовая, лентообразная, линзовидная	Сложная, обусловленная сочетанием линзо- и пластообразных тел с жильными и штокверковыми телами в лежачем боку залежей
Главные рудные минералы	Антофиллит, хлорит, кварц	Кварц, серицит, хлорит, карбонаты, барит
Основные компоненты руд	Пирит, халькопирит, пирротин	Пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, блеклые руды
Попутные компоненты	Cu	Zn, Pb, Cu, (Au, Ag)
Содержание элементов примесей в пирите (масс%)	Zn, Co, Au, Ag	Cd, Ba, Te, Tl, Bi, In, Hg
Усредненные соотношения Cu : Pb : Zn	Co 0,01-2,1 (среднее 0,26) Cu 0,01-5,42 (среднее 0,42)	Co 0,001-0,02 Cu 0,001-0,2
Средние содержания Au	83 : 0 : 17	0,8 ÷ 2,4 (до 6,3) г/т
Средние содержания Ag	0,2 ÷ 0,4 г/т	15 ÷ 143 (до 463) г/т
Изотопный состав δ ³⁴ S	5 ÷ 9 г/т	+1 ÷ 4 ‰
Степень метаморфизованности вмещающих пород и руд	+1 ÷ 4 ‰	-7,5 ÷ +20,3 ‰
	Интенсивно метаморфизованные. От зеленосланцевой до эпидот-амфиболитовой фации	В основном слабо метаморфизованные. Иногда наблюдается динамометаморфизм

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

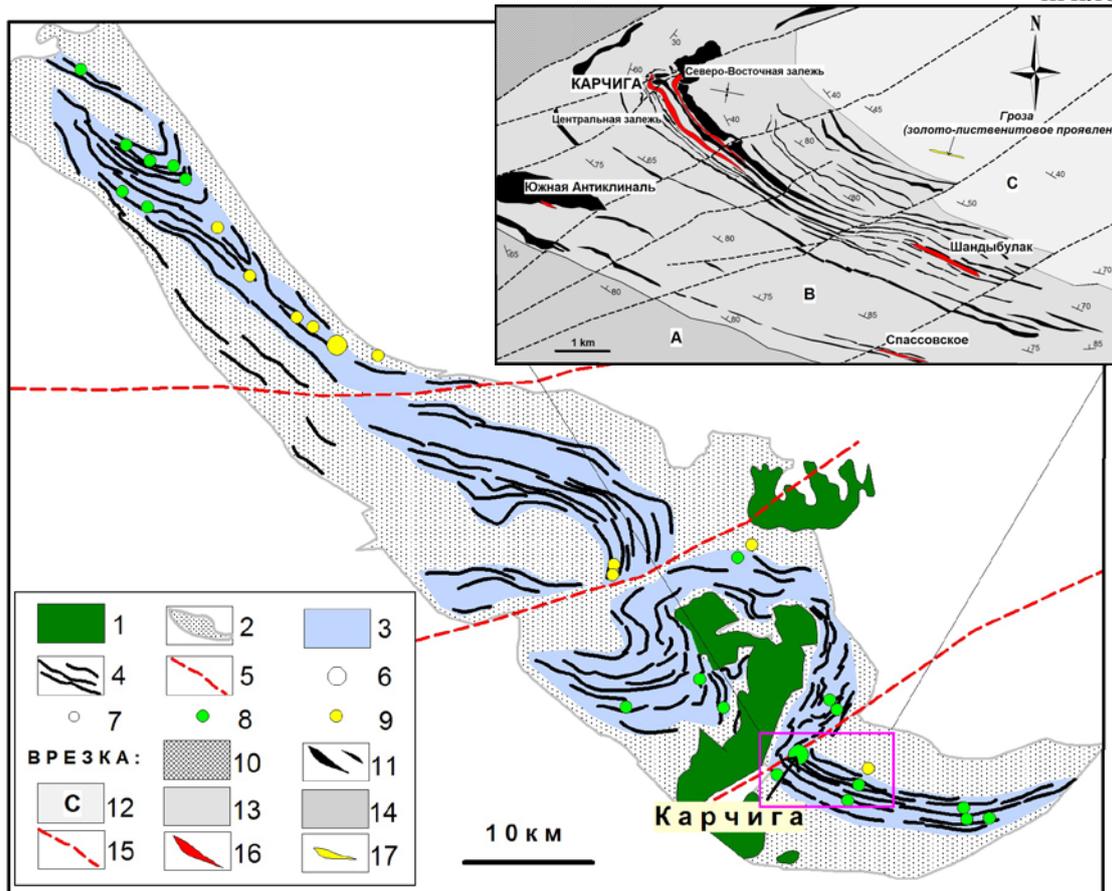


Колчеданные месторождения Бесси и Куроко типов
Верхний ряд – унифицированная модель по (Galley et al., 2007), цифровые данные по (Дергачев, 2010);
Нижний ряд – типичные представители медно-колчеданных (Карчига) и колчеданно-полиметаллических (Ново-Ленинбургское) месторождений Рудноалтайской провинции

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

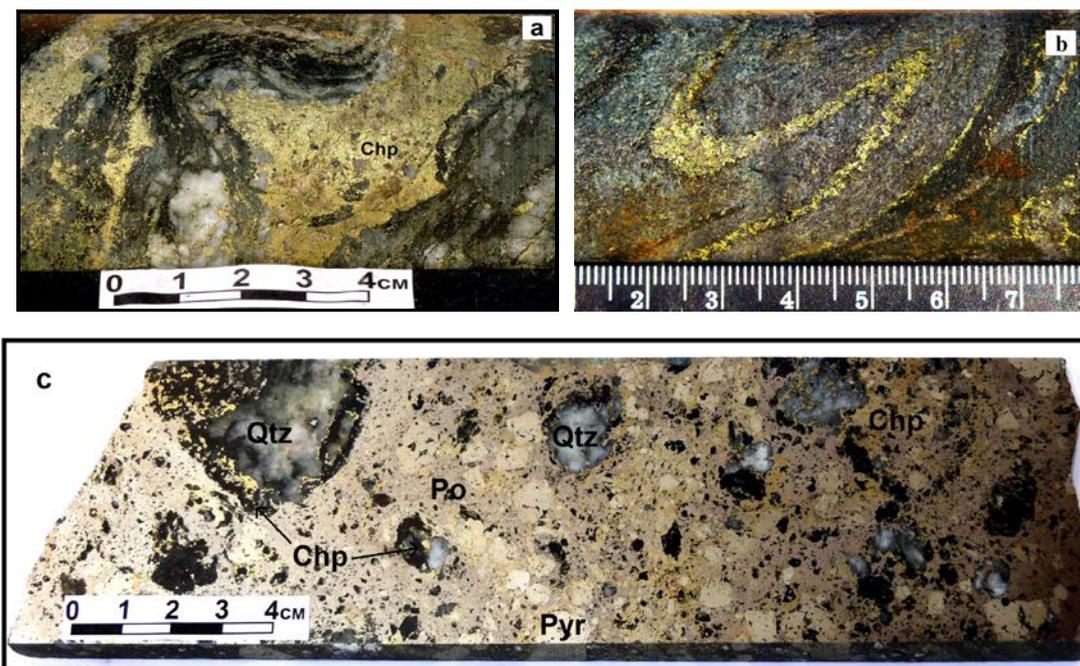


Основные мировые месторождения Besshi-Туре на диаграмме «запасы руды – содержание Cu» и положение на ней Рудноалтайских месторождений этого типа - Карчига и Вавилонское



Положение амфиболитового пояса и медно-колчеданного оруденения в пределах Курчумского блока высоко метаморфизованных пород

1 – габбро-диориты прииртышского комплекса (D₃-C₁); 2 – гнейсо-амфиболитовый комплекс; 3 – амфиболитовый пояс; 4 – крупные тела амфиболитов; 5 – главные субширотные разломы; 6 – месторождения; 7 – проявления; 8 – медно-колчеданные; 9 – золоторудные; во врезке Карчигинское рудное поле: 10 – Бесбугинский массив (D₃-C₁); 11 – амфиболиты; 12-14 – гнейсо-амфиболитовый комплекс: 12 – верхняя пачка (С), 13 – средняя пачка (В), 14 – нижняя пачка (А); 15 – разрывные нарушения; 16 – медно-колчеданное оруденение; 17 – золото-лиственитовое проявление Гроза



Пример текстур метаморфогенного преобразования медно-колчеданных руд месторождения Карчига (кери)
 а, b – плойчатые текстуры; с - текстура «durchbewegung», «шариковые руды» (в массивной пирит-халькопирит-пирротиновой руде округлые включения вмещающих пород и кварца в халькопиритовой кайме).
 Сокращения: Chp – халькопирит, Po – пирротин, Pyr – пирит, Qtz – кварц.