

На правах рукописи



СЕРАВИНА Татьяна Валерьевна

**УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-
ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ
БЕРЕЗОВОГОРСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ
(РУДНЫЙ АЛТАЙ)**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГУП ЦНИГРИ)

Научный руководитель — **Ручкин Георгий Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Дергачев Александр Лукич**, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии и геохимии полезных ископаемых геологического факультета, Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

Карпузов Александр Федорович, кандидат геолого-минералогических наук, начальник Управления перспективного планирования, АО «Росгеология»

Ведущая организация:

Акционерное общество «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (АО «СНИИГГиМС»)

Защита состоится 28 января 2016 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 216.016.01 при Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГУП ЦНИГРИ).

Адрес: 117545, Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп.1.

С диссертацией можно ознакомиться в геолфонде ФГУП ЦНИГРИ (по адресу: г. Москва, Варшавское шоссе, д.129, корп. 1) и на сайте Федерального государственного унитарного предприятия «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» <http://www.tsnigri.ru/?q=node/147>

Автореферат разослан «__» декабря 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат геолого-минералогических наук



Кряжев С.Г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время годовая добыча свинца и цинка в Российской Федерации составляет соответственно 194 и 348 тыс. т. Весь объем добычи полностью востребован внутренним потреблением и экспортом в ряд развивающихся стран. Проектом развития черной и цветной металлургии до 2030 г и Программой воспроизводства МСБ и геологического изучения недр 2013-2020 гг. предусмотрено увеличение потребления цинка и свинца, что повлечет за собой исчерпание известных месторождений. Расширение сырьевой базы необходимо для воспроизводства запасов полиметаллических руд, компенсирующих их добычу. Одним из наиболее перспективных регионов РФ по развитию минерально-сырьевой базы полиметаллических руд является Рудный Алтай, который должен стать одним из центров опережающего экономического роста.

Змеиногорский рудный район с входящим в его состав Березовогорским рудным полем, является одним из наиболее перспективных в российской части Рудного Алтая. Предприятиями Уральской Горно-Металлургической Компании (УГМК) ведется добыча полиметаллических руд на наиболее крупных месторождениях (Зареченское, Степное, Рубцовское, Корбалихинское). Обеспеченность действующих добычных предприятий активными запасами полиметаллических руд является критической. Апробированные к настоящему времени прогнозные ресурсы категории P_1+P_2 и плановые на 2015-2017 гг. могут обеспечить воспроизводство запасов для современного уровня добычи только на 3 года.

В связи с этим возникает необходимость выявления новых особенностей локализации скрытых (в том числе глубокозалегающих) полиметаллических рудных тел, выработки критериев их оценки и выделения перспективных площадей для проведения поисковых работ, что и определяет актуальность исследований по теме.

Проводившимися ранее прогнозно-металлогеническими исследованиями в Змеиногорском рудном районе были выявлены основные закономерности размещения полиметаллических месторождений: их приуроченность к определенным геологическим формациям и фациям, локализация рудных залежей в пределах определенных литолого-стратиграфических уровней, контроль их палеоструктурами и т. д.

К настоящему времени накоплен значительный объем материалов, позволяющих обосновать потенциальную продуктивность известных рудоносных уровней. Вместе с тем, значительная часть территории Змеиногорского рудного района недостаточно изучена. В частности, на Березовогорском рудном поле поисковые работы проводились еще в 50-60-х годах прошлого века. В связи с этим, расшифровка условий рудолокализации на этом поле весьма актуальна не только для уточнения основных направлений поисковых работ, но и для прогнозной оценки других потенциально перспективных площадей.

Целью работы являлся анализ условий локализации полиметаллического оруденения и разработка поисковых критериев и признаков скрытого и скрыто-погребенного оруденения рудноалтайского типа, обеспечивающих повышение эффективности геолого-поисковых работ по выявлению новых объектов и оценки флангов и глубоких горизонтов известных полиметаллических месторождений Березовогорского рудного поля.

В соответствии с поставленной целью в пределах Березовогорского рудного поля решались следующие задачи:

1. Выявление условий локализации полиметаллического оруденения в пределах продуктивной базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации;

2. Изучение структурно-формационных, литолого-фациальных и палеоструктурных особенностей вулканогенно-осадочных отложений и их влияния на размещении полиметаллических руд;

3. Построение и анализ прогнозно-поисковой параметрической модели месторождений рудного поля;

4. Разработка комплекса критериев и признаков скрытого и глубокозалегающего полиметаллического оруденения для локального прогноза.

Защищаемые положения:

1. Вулканогенно-осадочные образования Березовогорского рудного поля, относящиеся к девонской ($D_{1-2e-gv}$) базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации, образуют ряды по отношению к центрам вулканических структур: от жерловых, околожерловых и промежуточных фациальных зон к удаленным.

2. Рудовмещающие вулканогенные образования Березовогорского рудного поля характеризуются преобладанием пород кислого состава при незначительном развитии пород основного

и среднего состава. Продукты кислого вулканизма относятся к нормальному ряду калинатровой серии, с преобладанием калия над натрием. Карбонатная составляющая вулканогенно-осадочных и осадочных пород представлена магнезиальными, известковистыми доломитами и доломитами.

3. Месторождения и рудопроявления Березовогорского рудного поля локализованы в удаленной и промежуточной фациальных зонах, представленных кремнистыми разностями вулканогенно-осадочных пород, которые на флангах фациально замещаются глинисто-терригенными, терригенными и карбонатно-терригенными отложениями. Рудные тела имеют линзовидную форму и существенно свинцово-цинковый состав. Вмещающие породы и рудные тела претерпели контактовый метаморфизм мусковит-роговиковой фации, связанный с внедрением гранитоидов позднедевонско-раннекаменноугольного возраста.

4. Создана параметрическая прогнозно-поисковая модель месторождений Березовогорского рудного поля, согласно которой они приурочены к разрезу вулканогенно-осадочных пород эмс-раннеживетского цикла вулканизма и занимают надкупольное положение по отношению к центрам вулканических структур и относятся к проксимальному типу. На основе разработанных поисковых критериев и признаков, соответствующих элементам модели, в пределах рудного поля выделены Восточно-Майский и Центрально-Березовогорский поисковые участки.

Фактический материал. В основу диссертации положены материалы, полученные автором в период с 2012 по 2015 год во время полевых и камеральных исследований в составе Алтайской партии ЦНИГРИ на Березовогорском рудном поле. Эти работы проводились под руководством кандидата геолого-минералогических наук В.В. Кузнецова в рамках работ по Государственным контрактам 64-Ф и 74-Ф.

Фактической основой диссертации послужили: литолого-стратиграфические и литолого-фациальные карты масштаба 1:50 000 Змеиногорского рудного района и масштаба 1:10 000 Березовогорского рудного поля, в составлении которых участвовал автор; материалы изучения и документации около 10 000 погонных метров керна 17 поисковых скважин и старых горных выработок; данные микроскопического исследования свыше 100 прозрачных шлифов и 50 аншлифов. В диссертации использованы результаты 250 масс-спектрометрических с индуктивно связанной плазмой (МС ИСП) анализов горных пород и метасома-

титов; 10 количественных химических анализов атомно-абсорбционным методом для определения золота и серебра; 5 газообъемных анализов (для определения органического углерода); 15 количественных химических анализов, методами: атомно-эмиссионным с индуктивно связанной плазмой, пламенно-спектрофотометрическим, сжигания в токе кислорода, титриметрическим, гравиметрическим. Перечисленные анализы выполнены аналитическим центром ЦНИГРИ.

В диссертационной работе также учтены опубликованные и фондовые материалы предшествующих исследователей.

Научная новизна. В пределах Березовогорского рудного поля впервые проведен анализ условий локализации полиметаллических руд: структурно-формационный, литолого-фациальный, палеоструктурный и рудно-формационный.

В итоге впервые получены следующие научные результаты.

1. Выявлено, что в пределах Березовогорского рудного поля развиты отложения базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации эмс-нижнеживетского возраста, которая подразделяется на риолитовую и туфогенно-осадочную субформации.

2. Установлено, что вулканиты Березовогорского рудного поля относятся к нормальному ряду калинатровой серии с преобладанием калия над натрием.

3. Показано, что вулканогенные породы Березовогорского рудного поля практически идентичны по своему химическому составу вулканогенным породам Змеиногорского рудного поля. Основное отличие - повышенные содержания оксидов магния и железа.

4. Изучен химический состав карбонатных пород, характеризующийся большим разнообразием, и сделан вывод о преобладании среди них магнезиальных доломитов.

5. Создана параметрическая прогнозно-поисковая модель месторождений Березовогорского рудного поля на основе характеристик Майского и Тушканихинского месторождений-эталонов.

6. Разработаны критерии и признаки размещения скрытого и глубокозалегающего оруденения, по которым в пределах рудного поля выделены поисковые участки. Путем сопоставления с параметрами месторождений-эталонов оценена их перспективность.

Практическая значимость. Предложены критерии и признаки прогнозирования скрытых и глубокозалегающих полиметаллических месторождений для Березовогорского рудного поля. В основу их разработки положены результаты анализа материалов, предшествующих ГРР, полевых и камеральных исследований, выполненных с применением современных технологий, включая ГИС. С учетом этих критериев и признаков оценены фланги и глубокие горизонты изученных месторождений и рудопроявлений, оконтурены перспективные площади в ранге поисковых участков. В пределах участков по рекомендациям автора проведено поисковое бурение, выявлены и оконтурены рудные тела, проведена оценка их прогнозных ресурсов.

Апробация диссертации. Основные положения и результаты работы представлялись и докладывались на: V научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (11-12 декабря 2013 г., Москва, ВИМС); I научно-практической конференции «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири» (28-30 января 2014 г., Новосибирск, СНИИГГиМС); XX научной молодежной школе «Металлогения древних и современных океанов–2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых» (21–25 апреля 2014 г., Миасс, Институт минералогии); IV научной молодежной школе «Новое в познании процессов рудообразования» (1-5 декабря 2014 г., Москва, ИГЕМ РАН); Научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов — состояние и перспективы» (14-15 апреля 2015 г., Москва, ЦНИГРИ); II научно-практической конференции «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири» (21-24 апреля 2015 г., Новосибирск, СНИИГГиМС). Все материалы конференций опубликованы в качестве тезисов докладов.

Результаты исследований вошли в виде отдельных глав в отчеты по Государственным контрактам: «Опережающие геолого-геофизические работы для обоснования переоценки перспектив полиметаллического оруденения Рудного Алтая (Алтайский край) с целью разработки основы для создания ведущего в Российской Федерации центра по добыче свинца и цинка» и «Поисковые работы на золото-серебро-полиметаллическое оруденение в пределах Змеиногорско-Березовогорской площади в Змеиногорском рудном районе (Алтайский край)».

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 11 работ, среди которых 3 статьи в реферируемых журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 4 глав, введения и заключения общим объемом текста 129 страниц, 72 рисунков, 5 таблиц. Список использованной литературы включает 94 наименования.

Благодарности. Автор благодарит всех, кто оказывал поддержку и содействие в проведении исследований, подготовке работы. Искреннюю признательность за помощь в разработке общих принципов исследования и высокую требовательность на всех этапах работ автор выражает научному руководителю - доктору геолого-минералогических наук, профессору Г.В. Ручкину и кандидату геолого-минералогических наук В.В. Кузнецову. Создание работы было бы невозможно без консультаций, конструктивной критики, советов и рекомендаций на разных стадиях проведения исследований Н.Г. Кудрявцевой, Т.П. Кузнецовой, В.С. Звездова, А.Л. Галямова, С.А. Миляева. За помощь в оформлении материалов работы, техническом содействии, автор благодарит сотрудников отдела цветных металлов ФГУП ЦНИГРИ и коллег: С.В. Кузнецову, Е.В. Иваненкову, С.Л. Елшину, Т.М. Коновалову, А.А. Конкину, Н.П. Кудрявцеву, А.А. Медведева, Н.Н. Богославца, И.С. Кухмазова, И.Г. Ожерельеву. Автор признателен ФГУП ЦНИГРИ за предоставленную возможность работать с лицензионным программным комплексом фирмы Esri и сотрудникам ОАО «Рудно-Алтайская экспедиция» в лице Ю.Н. Бузовой, Л.М. Половниковой, при поддержке которых проводились полевые исследования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геологическое строение Змеиногорского рудного района

Изученность территории Рудного Алтая и выделенного в его пределах Змеиногорского рудного района в целом достаточно высока. Некоторые участки в составе старых горнорудных районов были известны с XVIII-XIX столетий, имеют богатую историю геологического изучения. Они подробно описаны в опубликованной и фондовой литературе (Вейц, 1953; Нехоршев, 1958; Иванкин, 1962; Горжевский и др., 1960; Щерба, 1977; Филатов и др., 1981; Яковлев, 1984; Щерба и др., 2000; Мурзин

и др., 2001; Кудрявцева и др., 2011). В то же время, Березовогорское рудное поле исследовано недостаточно.

Северо-западная часть Рудного Алтая, включающая Золотушинский, Змеиногорский и Рубцовский рудные районы, соответствует структурно-формационным подзонам (СФП): Алейской и Быструшинской.

В пределах Быструшинского прогиба располагается Змеиногорский рудный район, который занимает полосу северо-западного направления шириной до 15 и длиной 80 км. На северо-востоке он отделяется от СФЗ Горного Алтая Северо-Восточной зоной смятия, на юго-востоке ограничивается ядерной частью Алейского поднятия, которое пересекается Отрадинско-Верхнеалейским разломом (Центральная зона смятия). На северо-западе, от Золотушинского и Рубцовского рудных районов, принадлежащих Алейской подзоне, Змеиногорский рудный район отделен Никольским поднятием додевонского фундамента. На юго-востоке граница с сопредельными структурами Лениногорского района проходит по Опалихинскому поднятию Быструшинского прогиба.

Змеиногорский рудный район сложен вулканогенно-осадочными и вулканогенными породами кислого, среднего и основного составов. Преобладают продукты кислого вулканизма калиевого и калиево-натриевого профиля. Широко развиты экзтрузивные и субвулканические тела риолитов, лавы, потоки риолитов, пирокластические разности пород (туфы, туффиты, тефроиды). Осадочные породы представлены известковистыми, кремнистыми алевролитами, реже песчаниками, известняками с примесью туфогенного материала.

Вулканогенно-осадочные породы по составу, возрасту и соотношению вулканогенной и осадочной составляющих, относятся к эмс-эйфель-раннеживетскому циклу вулканизма, калиевой базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации. В рудном районе в основании разреза залегают породы карбонатно-терригенной формации раннего палеозоя (О-S), метаморфизованные до амфиболитовой фации. Перекрывает рудоносные комплексы терригенно-вулканогенная андезидацитовая формация позднедевонского возраста (D_3fm).

По ареалам развития рудоносных вулканогенных формаций в Змеиногорском рудном районе выделены 9 рудных полей, с расстояниями между ними в 10-15 км (с СЗ на ЮВ): Березовогорское (наименее изученное), Корбалихинское, Змеиногорское,

Кандидатское, Зайцевское, Комиссаровское, Лазурское, Белоглинское, Семеновское, в каждом из которых от одного до нескольких месторождений и многочисленные рудопоявления колчеданно-полиметаллического типа (Кузнецов и др., 2014). Наиболее сходным по геологическому строению с Березовогорским рудным полем является Змеиногорское.

Глава 2. Структурно-формационные и литолого-фациальные особенности Березовогорского рудного поля

Первое защищаемое положение диссертации: *«Вулканогенно-осадочные образования Березовогорского рудного поля, относящиеся к девонской ($D_{1-2e-gv}$) базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации, образуют ряды по отношению к центрам вулканических структур: от жерловых, околужерловых и промежуточных фациальных зон к удаленным».*

В строении рудного поля принимают участие осадочные и вулканогенно-осадочные и вулканогенные породы мельничной (D_{1-2mn}) и сосновской свит (D_{2ss}), субвулканические риодациты ранне-среднедевонского возраста мельнично-сосновского вулканического комплекса (πD_{1-2ms}) и верхнедевонские породы змеиногорского интрузивного комплекса ($\gamma\pi, \delta\pi D_{3z}$). Палеозойский фундамент на 90-95 % перекрыт рыхлыми мел-палеоген-четвертичными отложениями различного состава и мощности (Серавина, 2013).

В структурном плане Березовогорское рудное поле отвечает одноименной синклинали, являющейся складчатой структурой второго порядка, осложняющей Быструшинский синклинорий, которая вытянута в субширотном направлении на 18-20 км. Девонские отложения мельничной свиты, слагающие ее северо-восточное крыло, имеют моноклинальное падение на юг. Вулканогенно-осадочные породы продуктивного комплекса, как установлено палеоструктурными построениями, приурочены к развивавшемуся длительно (многоэтапно) конседиментационному прогибу, сложного геологического строения. Развитые в пределах Березовогорского рудного поля вулканогенно-осадочные породы принадлежат базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации нижнего-

среднего девона. Здесь она представлена нижней - туфогенно-осадочной и средней - риолитовой субформациями (рис. 1).

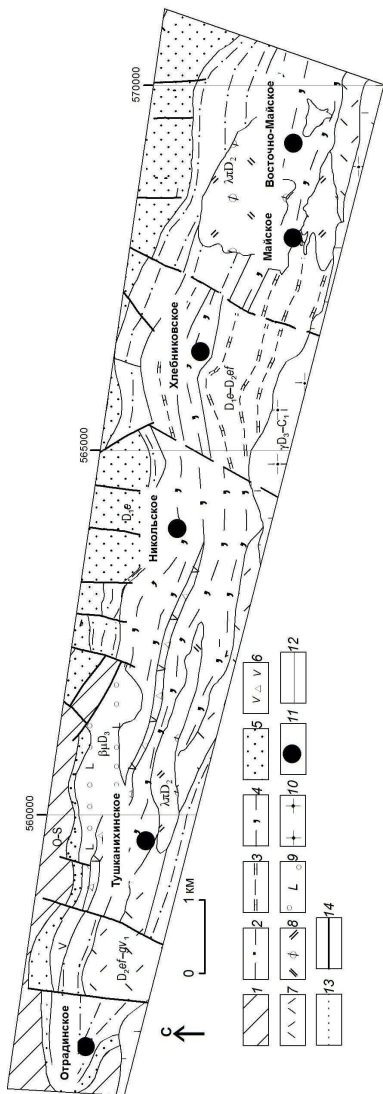
Многолетние исследования областей, сложенных вулканогенно-осадочными породами, показывают, что для углубленного понимания последовательности и динамики формирования вулканогенных структур необходимо разделение вулканогенно-осадочных толщ на жерловую, околожерловую, промежуточную и удаленную фации. Границы между ними четко фиксируются по литологическому и петрографическому составу. Поэтому при изучении рудоносных формаций Березовогорского рудного поля особое внимание было уделено выделению фаций вулканизма -фациальных зон (Кузнецов и др., 2011; Кудрявцева и др., 2015).

Жерловая зона. Среди пород кислого состава ведущую роль играют крупновкрапленные и афировые риодациты, слагающие изометричные и линзовидные, средние по размерам субвулканические тела, и жерловые зоны вулканических построек. Наиболее крупными являются Майская и Тушканихинская. Также субвулканические породы представлены дайками, силлами, лакколитами и некками. В то же время, андезиты представлены потоками и покровами лав, реже субвулканическими телами. Породы основного состава (габбро-долериты, долериты) в пределах рудного поля образуют дайки мощностью до 2-5 м, а также тела пластовой и более сложной формы.

Породы *околожерловой и промежуточной зон* развиты в пределах рудного поля почти повсеместно. Околожерловые фации представлены лавобрекчиями, крупнообломочными туфами риодацитового и андезитового состава, а промежуточные - лавами, мелкообломочными туфами риодацитов и андезитов.

Самые распространенные на рудном поле туфогенные алевролиты, известняки, туффиты и туфопесчаники относятся к *удаленной зоне* вулканизма. Эта зона представляет собой полосу широтного простиранья, шириной до нескольких километров.

Важной особенностью геологического разреза рудного поля является наличие вулканогенно-кремнисто-терригенных пород, фациально не выдержанных и замещающихся на коротком расстоянии известково-глинистыми и глинисто-известковистыми, реже доломит-известково-глинистыми отложениями, что отчетливо наблюдается в районах Майского месторождения и Хлебниковского рудопроявления.



1 — ордовик-силурийская известково-терригенная формация (кварц-хлоритовые, кварц-серцит-хлоритовые сланцы); 2-7 — нижне-среднедевонская базальтосодержащая риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация (мельничная и сосновская свиты); туфогенно-осадочная субформация (2 — алевриты, 3 — известковистые, углеродисто-известковистые и доломитистые известковистые алевриты, 4 — переслаивание кремнистых туфогенных алевритов с туфитами, туфами и лавами кислого состава, 5 — песчаники, 6 — туфы, лавы, лавобрекчи среднего состава); 7 — риолитовая субформация (туфы и лавы кислого состава); позднедевонская риолитовая субвулканическая формация (8 — субвулканические риодациты, 9 — субвулканические андезиты); 10 — габро-гранодиорит-гранитная известково-щелочная формация (граниты биогит-роговообманковые); 11 — месторождения и рудопроявления; 12 — геологические нарушения; 13 — фациальные границы; 14 — тектонические нарушения

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Березовогорского рудного поля

Второе защищаемое положения диссертации: «Рудомещающие вулканогенные образования Березовогорского рудного поля характеризуются преобладанием пород кислого состава при незначительном развитии пород основного и среднего состава. Продукты кислого вулканизма относятся к нормальному ряду калинатровой серии, с преобладанием калия над натрием. Карбонатная составляющая вулканогенно-осадочных и осадочных пород представлена магнезиальными, известковистыми доломитами и доломитами».

Петрохимические особенности вулканогенных пород Березовогорского рудного поля проанализированы в сопоставлении с породами Змеиногорского рудного поля, с использованием данных предыдущих исследователей (Фоминых А.Ф.; Филатов Е.И., Пугачева И.П.; Яковлев Г.Ф., Микунов М.Ф.). Установлено, что породы кислого состава характеризуются: значительной дисперсией в содержании основных породообразующих окислов и слабой корреляционной связью между ними; пересыщенностью кремнекислотой, повышенной щелочностью - вплоть до образования субщелочных пород (рис. 2).

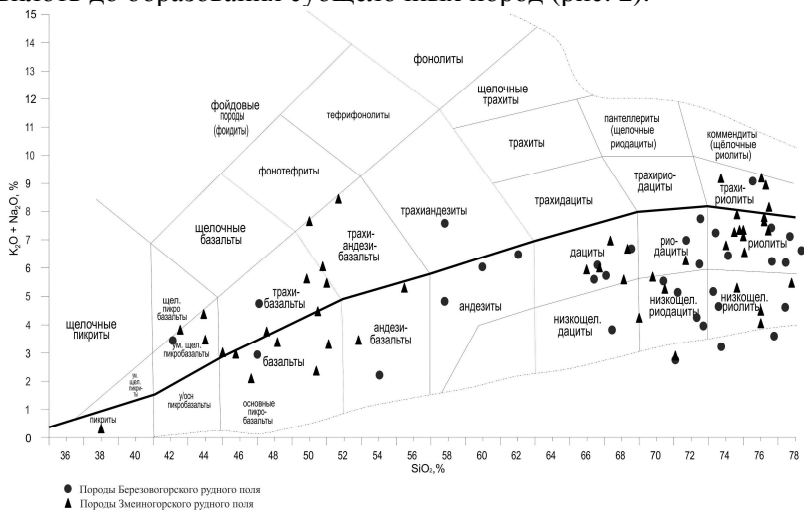
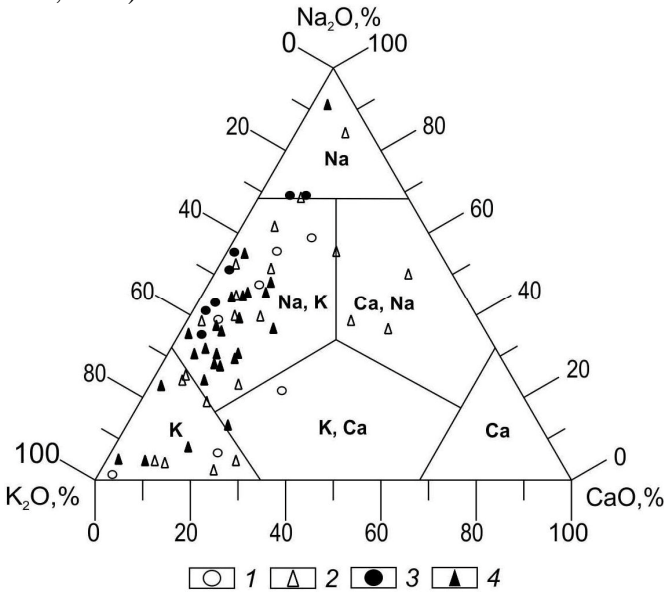


Рис. 2. Составы магматических горных пород в координатах $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O})$ применительно к Березовогорскому и Змеиногорскому рудным полям

По диаграмме $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ можно сделать вывод, о том, что вулканогенно-осадочные породы базальтсодержащей формации, развитые в пределах рудного поля, относятся к калинатровой серии (рис. 3), с преобладанием калия над натрием (Серавина, 2015).



Березовогорское рудное поле: 1 – лавобрекчии, грубообломочные туфы, лавы, мелкообломочные туфы риолитового, дацитового, риодацитового состава; 2 – крупновкрапленные риолиты, дациты и риодациты, кластолавы риолитового и риодацитового состава; Змеиногорское рудное поле: 3 – лавобрекчии, грубообломочные туфы, лавы, мелкообломочные туфы риолитового, дацитового, риодацитового состава; 4 – автомагматические брекчии риолитов, дацитов, риодацитов, крупновкрапленные риолиты, дациты и риодациты, кластолавы риолитового и риодацитового состава

Рис. 3. Тройная диаграмма ($\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$) состава кислых пород Березовогорского и Змеиногорского рудных полей

Карбонатные породы Березовогорского рудного поля по химическому составу характеризуются большим разнообразием и постепенными переходами от одних разновидностей к другим.

Их относительная карбонатность (или терригенность) определяется суммой CaO, MgO и CO₂ (Σ_k , %), в зависимости от значения которой фации разделяются на карбонатные ($\Sigma_k = 70-90\%$ и $>90\%$), терригенно-карбонатные ($\Sigma_k = 50-70\%$), карбонатно-терригенные ($\Sigma_k = 30-50\%$), слабокарбонатно-терригенные ($\Sigma_k = 10-30\%$) и терригенные ($\Sigma_k < 10\%$). По отношению CaO/MgO согласно классификации Е.К. Фроловой (1959) выделяется 5 групп фаций пород в ряду известняк-доломит-магнезит:

- I. Известняки (CaO/MgO $>50,1$);
- II. Доломитовые известняки (CaO/MgO = $4,0-50,1$);
- III. Известковистые доломиты (CaO/MgO = $1,5-4,0$);
- IV. Доломиты (CaO/MgO = $1,4-1,5$);
- V. Магнезиальные доломиты (CaO/MgO $<1,4$).

По химическому составу выделено 5 литофаций карбонатно-терригенных пород, входящих в состав рудоносных формаций. На приведенной ниже диаграмме для Березовогорского рудного поля (рис. 4) отчетливо видно, что среди карбонатной составляющей карбонатно-терригенных и терригенно-карбонатных пород преобладают магнезиальные доломиты (Серавина, 2015).

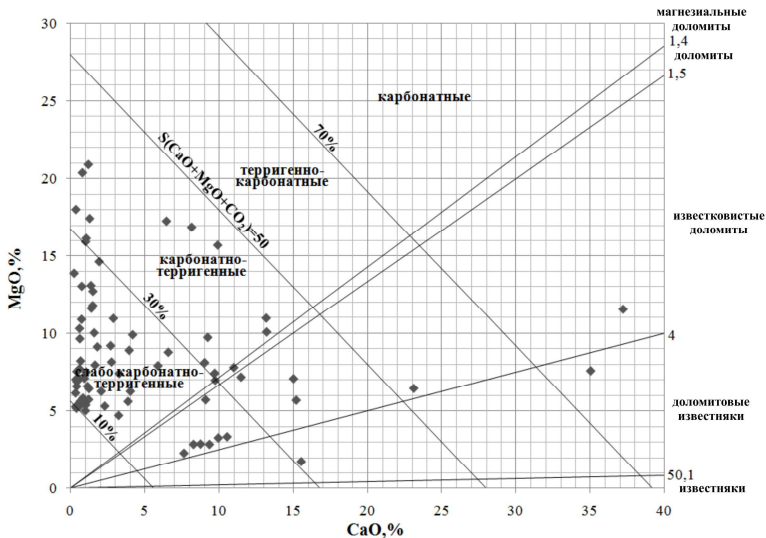


Рис. 4. Двумерная диаграмма (CaO-MgO) для карбонатно-терригенных пород Березовогорского рудного поля

Глава 3. Особенности геологического строения месторождений и рудопроявлений Березовогорского рудного поля

Третье защищаемое положения диссертации: *«Месторождения и рудопроявления Березовогорского рудного поля локализованы в удаленной и промежуточной фациальных зонах, представленных кремнистыми разностями вулканогенно-осадочных пород, которые на флангах фациально замещаются глинисто-терригенными, терригенными и карбонатно-терригенными отложениями. Рудные тела имеют линзовидную форму и существенно свинцово-цинковый состав. Вмещающие породы и рудные тела претерпели контактовый метаморфизм мусковит-роговиковой фашии, связанный с внедрением гранитоидов позднедевонско-раннекаменноугольного возраста».*

Полиметаллические месторождения Березовогорского рудного поля относятся к свинцово-цинковому колчедансодержащему рудноформационному типу, ассоциирующему с базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формацией. На рудном поле оруденение приурочено к промежуточным и удаленным фациям. Основными компонентами руд месторождений являются свинец и цинк; отмечены повышенные содержания золота и серебра. Главным рудным объектом Березовогорского рудного поля является среднее по масштабам Майское полиметаллическое месторождение.

Рудовмещающий разрез месторождения представлен кремнистыми разностями вулканогенно-осадочных пород, локализованными в конседиментационной впадине, которая осложняет палеопрогиб, определяющий структуру рудного поля. Среди разновидностей пород (в порядке от более к менее распространенным) встречаются известковистые, известковстодоломитовые алевролиты и аргиллиты, глинистые углеродосодержащие известняки, глинистые, алеврито-глинистые, иногда углеродосодержащие алевролиты, кремнистые туфогенные алевролиты и кремнистые туффиты, реже туфы и лавы кислого и среднего состава. Палеозойский фундамент на 90-95% перекрыт рыхлыми мел-палеоген-четвертичными отложениями различного состава и мощности.

Важной особенностью строения месторождения является наличие вулканогенно-кремнисто-терригенных пород, фациаль-

но невыдержанных и замещающихся на коротком расстоянии известково-глинистыми и глинисто-известковистыми, реже доломит-известково-глинистыми отложениями (рис. 5). Общее падение вмещающих пород и рудных тел месторождения южное с углами от 20 до 80° (Серавина, 2014).

С юго-востока рудное поле эродировано гранитоидами позднедевонско-раннекаменноугольного возраста. Вмещающие оруденение отложения, околорудные метасоматиты и рудные тела месторождения претерпели контактовый метаморфизм.

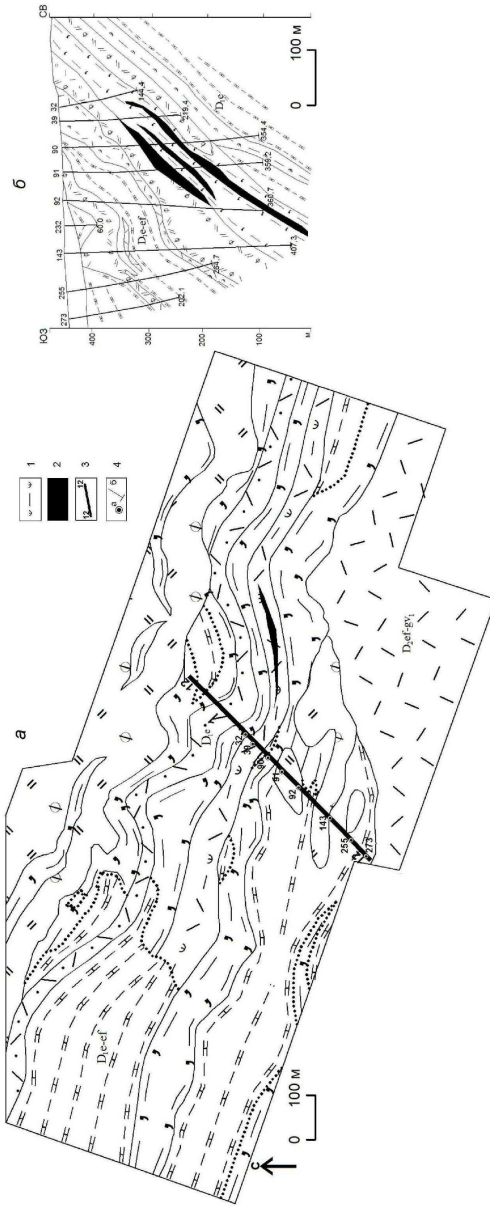
Температура на прогрессивной стадии достигала 600°C (вплоть до образования гранат-пироксеновых скарнов). За счет кварц-серицитовых метасоматитов образовались тальк-карбонатные породы. Руды претерпели перекристаллизацию, с образованием гранобластовых структур, также происходило новообразование пирротина за счет пирита.

Рудная зона приурочена к толще кремнистых алевролитов и туффитов, с прослоями и линзами существенно известковистых алевролитов и аргиллитов. Она прослежена в субширотном направлении на 1,5 км; падение ее южное под углом 50-60°. Строение рудной зоны довольно сложное.

Рудные тела имеют линзовидную форму и существенно свинцово-цинковый состав. Они характеризуются неравномерным содержанием основных компонентов. Соотношение Cu:Pb:Zn - 1:6:12. Оруденение контролируется зонами консидиментационной трещиноватости и дробления, в связи с чем, на месторождении распространены главным образом прожилковые, редко гнездово-вкрапленные руды, сложенные сфалеритом и галенитом. Халькопирит и пирит имеют подчиненное значение. Характерно наличие небольшого количества пирротина, замещающего пирит.

Также в пределах Березовогорского рудного поля было выявлено около 25 мелких месторождений и рудопроявлений - Тушканихинское, Хлебниковское и др. Они имеют сходную с Майским месторождением геолого-структурную позицию, что было подтверждено исследованиями последних лет.

Рудные зоны Тушканихинского месторождения имеют сложное внутреннее строение. Выделено несколько сближенных рудных тел, ориентированных параллельно друг другу и разделенных слабоминерализованными или безрудными породами. По форме это часто согласные или субсогласные, линзовидные залежи со значительными колебаниями мощностей и неравно-



1 — нижне-среднедевонская базальтодержащая риолитовая известково-кремнисто-терригенная формация (мельничная и сосновская свиты); туфогенно-осадочная субформация (туфиты кислого состава); 2 — рудные тела без разделения на типы; 3 — линии разрезом; 4 — скважины (а — на карте, б — на разрезе); остальные усл. обозн. см. на рис 1.

Рис. 5. Схематическая геологическая карта (а) и разрез по профилю 12 (б) Майского месторождения

мерным содержанием полезных компонентов. По минералогическому составу на месторождении преобладают галенит-сфалеритовые, несколько реже встречаются существенно сфалеритовые руды.

Глава 4. Прогнозно-поисковая модель месторождений Березовогорского рудного поля

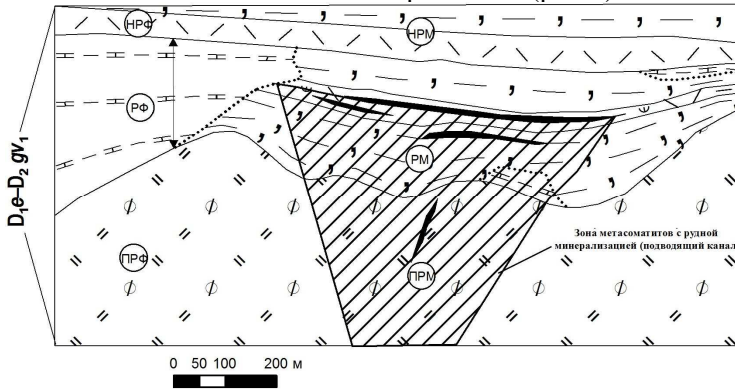
Четвертое защищаемое положение диссертации:
«Создана параметрическая прогнозно-поисковая модель месторождений Березовогорского рудного поля, согласно которой они приурочены к разрезу вулканогенно-осадочных пород эмс-раннеживетского цикла вулканизма и занимают надкупольное положение по отношению к центрам вулканических структур и относятся к проксимальному типу. На основе разработанных поисковых критериев и признаков, соответствующих элементам модели, в пределах рудного поля выделены Восточно-Майский и Центрально-Березовогорский поисковые участки».

Поисковые критерии и признаки полиметаллических месторождений вытекают из геологических обстановок их нахождения. Рудные объекты в своем размещении подчиняются формационному, стратиграфическому, литолого-фациальному и структурному контролю, сопровождаются околорудными метасоматитами и отражаются в геохимических и геофизических полях.

С целью оптимизации поисковых и поисково-оценочных работ, особенно на ранних стадиях, когда геологическое пространство вскрывается, изучается и оценивается по единичным пересечениям, формируются параметрические модели (Ручкин др., 1993). Особенностью этих моделей является количественная (параметрическая) оценка признаков, критериев и систем соподчиненных элементов, характеризующих геологическое пространство месторождения применительно к различным его частям. В рамках современных геолого-генетических построений и разработанной на их основе методики прогноза, поисков и оценки месторождений колчеданного семейства геологическое пространство описывается системой факторов и признаков, в число которых входят: стратиграфо-литолого-фациальные, магматические и структурные (в первую очередь конседиментаци-

онные и синвулканические). Также учитываются такие характеристики как: состав, зональность и интенсивность гидротермально-метасоматических изменений; морфологию, состав и положение рудных тел в структурах месторождений и разрезах рудовмещающих толщ; геохимические и геофизические аномалии, сопровождающие месторождения.

Разработанная автором параметрическая прогнозно-поисковая модель месторождений Березовогорского рудного поля включает в себя следующие элементы, соответствующие прямым и косвенным поисковым признакам (рис.6).



Части рудного и околорудного пространства: РМ – рудоносная; ПРМ – подрудная; НРМ – надрудная; РФ – рудоносная фланговая; ПРФ – подрудная фланговая; НРФ – надрудная фланговая (усл. обозн. см. рис. 1 и 5).

Основные параметрические характеристики			
Части рудного и околорудного пространства	Параметры		
	L	H	M
Рудоносная (РМ)	≈ 700	≈ 600	≈ 200
Рудное тело (РТ)	≈ 200	≈ 450	≈ 20
Рудоносная фланговая (РФ)	≈ 900	≈ 800	≈ 90
РМ+РФ	≈ 1600	≈ 1400	≈ 290
Надрудная (НРМ+НРФ)	≈ 1200	≈ 900	≈ 250 (видимая)

Рис.6. Геометризованная параметрическая модель месторождений Березовогорского рудного поля

Формационные. Все месторождения приурочены к ареалам развития рудоносной эмс-раннеживетской базальтсодержащей риолитовой известково-кремнисто-терригенной формации, туфогенно-осадочной субформации.

Стратиграфические. Приуроченность полиметаллического оруденения к туфогенно-осадочной субформации, к эмс-раннеэфельскому стратиграфическому уровню.

Литолого-фациальные. Преимущественная локализация руд в толще тонкого переслаивания вулканогенно-осадочных пород промежуточных и удаленных фаций вулканизма: алевролитов, кремнистых туффитов, туфопесчаников, известняков, туфов кислого состава, лав и лавобрекчий риолитов, риодацитов, реже андезитов.

Структурные. Приуроченность полиметаллических месторождений рудного поля к конседиментационным структурам второго порядка, которые осложняют палеовулканические депрессии. Положение локальных впадин в надкупольной позиции с хорошо развитыми зонами подводящих каналов. Важным элементом палеоструктур являются синвулканические разломы, игравшие роль рудоподводящих каналов. Их выделение имеет большое значение, так как они контролируют положение корней потоков и экстрезивных куполов, зон гидротермально-измененных пород, сквозных геохимических аномалий.

Околорудные изменения. Проявлены повсеместно на месторождениях рудного поля и представлены продуктами кислотного выщелачивания (кварц-серицит-хлоритовыми породами), относящимися к кварц-серицитовой метасоматической формации. Интенсивность преобразований исходных пород и морфология метасоматических зон зависит от положения месторождений по отношению к рудоподводящему каналу.

Для месторождений Березовогорского рудного поля характерны ореолы гидротермального изменения пород, имеющие в объеме форму конуса, перевернутого вершиной вниз, с резким сокращением площади сечения на глубину. При этом «конус» выполнен зонально расположенными фациями метасоматитов выщелачивания: кварцитами и кварц-серицитовыми породами (часто с пиритом). На околорудные метасоматиты и руды наложены продукты поствулканического, динамотермального и контактового метаморфизма с близкими по составу минеральными комплексами (кварц-серицитовыми, кварц-серицит-хлоритовыми, хлорит-серицит-альбитовыми и др.).

Минералогические. Проявления медно-свинцово-цинкового колчеданного оруденения, зон интенсивной пиритизации, а также ареалов развития вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидной (галенит, сфалерит, халькопирит) минерализации. Рудные тела расположены параллельно и кулисообразно относительно друг друга, имеют линзообразную форму.

Геохимические. В геохимических полях месторождения и рудопроявления Березовогорского рудного поля отражаются в виде мультипликативных геохимических аномалий и первичных ореолов основных рудных и сопутствующих элементов: Pb, Zn, Cu, Ag, Sb, Bi, W. Скрытые колчеданно-полиметаллические объекты фиксируются с поверхности устойчивыми вторичными сорбционно-солевыми ореолами рассеяния рудных, петрогенных и сидерофильных элементов.

Геофизические. Рудные залежи и зоны прожилково-вкрапленных руд фиксируются переходной областью значений кажущегося сопротивления от низкоомных к высокоомным. Мощность рудных тел отражается в горизонтальном градиенте изолиний кажущегося сопротивления, который зависит от углов падения породных комплексов и рудных тел.

Созданная автором параметрическая прогнозно-поисковая модель Березовогорского рудного поля (см. рис.6) позволяет охарактеризовать элементы рудного и околорудного пространства, прогнозировать возможное положение скрытых и глубокозалегающих массивных тел и зон прожилково-вкрапленных (рудоподводящих каналов) полиметаллических руд, а также сформировать комплекс поисковых методов, необходимых для их обнаружения. В результате, на основе разработанной прогнозно-поисковой модели и комплексирования методов поисков выделены два перспективных участка: Восточно-Майский и Центрально-Березовогорский, на которых в 2014-2015 гг. Алтайской партией ФГУП ЦНИГРИ произведены поисковые работы.

Для прослеживания рудоносной толщи Майского месторождения на восток, по падению и простираению, на Восточно-Майском участке было проведено поисковое бурение, выявившее зону рудной минерализации. Характерной чертой вскрытой минерализации является четкая минералого-геохимическая зональность в виде смены с юго-востока на северо-запад полиметаллической минерализации медноколчеданной. Пирит, халькопирит, сфалерит, галенит образуют руды вкрапленной, гнездо-

во-вкрапленной, прожилковой, реже массивной текстуры. Структуры руд - гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, эмульсионная, гранобластовая и другие. Сульфиды составляют от 5% в бедных прожилково-вкрапленных до 50-80% объема в массивных рудах. По результатам геохимических работ (ионно-сорбционным методом), была выявлена выдержанная высококонтрастная геохимическая аномалия субширотного простираения, отражающая описанную зону сульфидной минерализации.

Пробуренные на Центрально-Березовогорском участке скважины вскрыли зону развития колчеданно- полиметаллической минерализации, с преобладанием среди рудных минералов пирита, сфалерита и галенита. Местами выделяются зоны, практически полностью пиритового состава с небольшой примесью других сульфидов и зоны развития пирит-галенит-сфалеритовой минерализации, участками значительно преобладает сфалерит. Выявлены проявления гнездово-вкрапленной, гнездово-прожилковой, реже прожилковой, линзовидно-вкрапленной колчеданной и прожилково-вкрапленной, гнездово-прожилково-вкрапленной колчеданно- полиметаллической минерализации.

По результатам бурения на Восточно-Майском и Центрально-Березовогорском поисковых участках оценены прогнозные ресурсы меди, свинца, цинка, серебра и золота по категориям P_1 и P_2 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью работы являлся анализ условий локализации полиметаллического оруденения, разработка поисковых критериев и признаков скрытого и скрытно-погребенного оруденения рудноалтайского типа для повышения эффективности геолого-поисковых работ по выявлению новых объектов и оценки флангов и глубоких горизонтов известных полиметаллических месторождений Березовогорского рудного поля.

Выявлено, что рудовмещающей формацией для Березовогорского рудного поля является базальтсодержащая риолитовая известково-кремнисто-терригенная эмс-нижнеживетского возраста, которая подразделяется на риолитовую и туфогенно-осадочную субформации.

Установлено, что вулканиты Березовогорского рудного поля относятся к нормальному ряду калинатровой серии с преобладанием калия над натрием. Впервые изучен химический

состав карбонатных пород, который характеризуется большим разнообразием, фациальной изменчивостью; сделан вывод о преобладании среди них магнезиальных доломитов.

На основе изученных характеристик Майского и Тушканихинского месторождений создана параметрическая прогнозно-поисковая модель месторождений Березовогорского рудного поля. Разработаны критерии и признаки скрытого и глубокозалегающего оруденения для локального прогноза в пределах Березовогорского рудного поля.

Показано, что перспективность участков определяется наиболее полным проявлением поисковых критериев и признаков - благоприятным положением в формационном разрезе, литолого-фациальной обстановкой, характером и степенью гидротермально-метасоматических изменений, наличием рудопроявлений и точек минерализации, рудными подсечениями, в ряде случаев не оконтуренными по простиранию и падению, геохимическими и геофизическими (электроразведочными) аномалиями.

В пределах Березовогорского рудного поля по рекомендациям автора проведено поисковое бурение. В результате выявлены и оконтурены рудные тела, изучен вещественный состав руд и проведена оценка прогнозных ресурсов категорий P_1 и P_2 Восточно-Майского и Центрально-Березовогорского участков.

На основе результатов проведенных исследований разработаны рекомендации по направлению дальнейших ГРР. В частности, предложено более детально изучить Центрально-Березовогорский участок для перевода оцененных ресурсов категории P_2 в категорию P_1 с перспективой открытия полиметаллического месторождения.

Разработанный комплекс методов исследования Березовогорского рудного поля может быть использован для поисков полиметаллических месторождений и в других рудных районах Рудного Алтая, а также применен к сходным вулканогенным областям с колчеданно-полиметаллическим оруденением в других районах РФ.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

Публикации в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., Галямов А.Л., Кузнецова С.В., **Серавина Т.В.** Геолого-генетические основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений рудноалтайского типа // Отечественная геология. 2014. № 2. С. 30–38.
2. **Серавина Т.В.** Обстановки локализации полиметаллических руд Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Руды и металлы. 2014. № 4. С. 30–36.
3. **Серавина Т.В.** Геологическое строение и петрохимические особенности рудоносных вулканогенно-осадочных отложений Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Отечественная геология. 2015. № 4. С. 3–8.

Тезисы и статьи в материалах конференций:

4. **Серавина Т.В.** Особенности геологического строения Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) и перспективы выявления полиметаллического оруденения в его пределах // Тезисы докладов V научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» (Москва, 11–12 декабря 2013 г.). – М.: ВИМС, 2013. С. 110–111.
5. Кузнецов В.В., Кудрявцева Н.Г., **Серавина Т.В.** Металлогения и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических месторождений в Российской части Рудного Алтая // Тезисы докладов I научно-практической конференции «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири» (Новосибирск, 29–31 января 2014 г.). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2014. Т.1. С. 83–87.
6. **Серавина Т.В.** Геология и перспективы рудоносности Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Тезисы докладов XX научной молодежной школы «Металлогения древних и современных океанов – 2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых». (Миасс, 21–25 апреля 2014 г.). – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2014. С. 43–47.
7. **Серавина Т.В.** Майское полиметаллическое месторождение (Рудный Алтай) // Тезисы докладов IV научной молодежной школы «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, 1–5 декабря 2014 г.). – М.: ИГЕМ РАН, 2014. С. 256–258.
8. Кудрявцева Н.Г., **Серавина Т.В.** Литолого-фациальный анализ девонских вулканогенно-осадочных толщ, вмещающих кол-

чеданно-полиметаллическое оруденение в Змеиногорском рудном районе // Тезисы докладов научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов — состояние и перспективы» (Москва, 14–15 апреля 2015 г.). – М.: ЦНИГРИ, 2015. С. 30.

9. Миляев С.А., **Серавина Т.В.**, Иваненкова Е.В. Применение сорбционно-солевого метода при литохимических поисках скрытых колчеданно-полиметаллических месторождений (на примере российской части Рудного Алтая) // Тезисы докладов научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов — состояние и перспективы» (Москва, 14–15 апреля 2015 г.). – М.: ЦНИГРИ, 2015. С. 99.

10. **Серавина Т.В.** Перспективы выявления новых месторождений в пределах Березовогорского рудного поля (Рудный Алтай) // Тезисы докладов научно-практической конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений благородных и цветных металлов — состояние и перспективы» (Москва, 14–15 апреля 2015 г.). – М.: ЦНИГРИ, 2015. С. 81–82.

11. **Серавина Т.В.** Структурно-формационные и литолого-фациальные особенности Березовогорского рудного поля (Змеиногорский рудный район, Рудный Алтай) // Тезисы докладов II научно-практической конференции «Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири». (Новосибирск, 21–24 апреля 2015 г.). – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2015. Т.2. С. 197–200.

Подписано в печать 23.11.2015 г.

Формат бумаги 60х90/16

Тираж 99 экз.

Полиграфическая база ФГУП ЦНИГРИ
117545, Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1