

На правах рукописи



ИНЯКИН Алексей Валерьевич

**УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ЗОЛОТО-СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО
ОРУДЕНЕНИЯ САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ,
САЛАИРСКИЙ КРЯЖ**

Специальность 25.00.11 — Геология, поиски и разведка
твердых полезных ископаемых, минерагения.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва-2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

Научный руководитель: **Мигачёв Игорь Федорович**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБУ «ЦНИГРИ», отдел геолого-экономической оценки месторождений и апробации прогнозных ресурсов, главный научный сотрудник, советник

Официальные оппоненты: **Дергачёв Александр Лукич**, доктор геолого-минералогических наук, ФГБОУ ВО «Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова», геологический факультет, кафедра геологии, геохимии и экономики полезных ископаемых, профессор, заместитель декана
Галямов Андрей Львович, кандидат геолого-минералогических наук, ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН)», лаборатория геологии рудных месторождений имени академика А.Г. Бетехтина, старший научный сотрудник

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

Защита состоится «21» апреля 2020 г., в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 216.022.01, созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»)

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

С диссертацией можно ознакомиться в геолфонде ФГБУ «ЦНИГРИ» (по адресу 117545, Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1) и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» http://www.tsnigri.ru/disser/inyakin/Inyakin_DIS.pdf

Автореферат разослан «16» марта 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Мансуров Р.Х.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Согласно стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, в перечень основных видов стратегического сырья входят медь, свинец, золото, серебро. Кроме того, весьма значимым полезным ископаемым для экономики России является и цинк.

Салаирская металлогеническая зона (Салаирский кряж) располагается в пределах Алтайского края, Кемеровской и Новосибирской областей, обладает развитой инфраструктурой и представляет собой весьма перспективный регион РФ для развития минерально-сырьевой базы полиметаллических руд. Основными эталонными объектами здесь являются месторождения Салаирско-Каменушинского рудного поля (Кемеровская область), которые рассматриваются в диссертационной работе. Проведенные нами исследования были нацелены на изучение условий локализации полиметаллического оруденения данного рудного поля и на формирование прогнозно-поисковых моделей, которые могут быть использованы для выявления новых колчеданно-полиметаллических объектов на территории Салаирского кряжа.

Цели и задачи работы

Целью настоящей работы является определение условий локализации золото-серебро-полиметаллического оруденения Салаирско-Каменушинского рудного поля с выявлением основных поисковых критериев и признаков, составляющих основу прогнозно-поисковых моделей.

Основными задачами в рамках данной работы являлись:

- выявление и уточнение условий размещения золото-серебро-полиметаллического оруденения в вулканогенных и вулканогенно-осадочных породах Салаирско-Каменушинского рудного поля;
- расчленение пород, слагающих Салаирско-Каменушинское рудное поле, на литолого-фациальные зоны с точки зрения удаленности от центров вулканизма;
- изучение формационных, палеоструктурных и литолого-фациальных особенностей рудовмещающей толщи с определением факторов, влияющих на рудолокализацию и выявление связи различных морфологических типов рудных тел с определенными фациями пород;
- построение прогнозно-поисковых параметрических моделей месторождений рудного поля с созданием палеореконструкций на момент отложения рудоносных вулканогенно-осадочных пород, как для Салаирско-Каменушинского рудного поля, так и для Салаирского рудного района;
- разработка поисковых критериев и признаков для обнаружения колчеданно-полиметаллических руд и прогнозные исследования в пределах Салаирской металлогенической зоны на их основе.

Научная новизна исследований

1. На основе палеофациального анализа вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных отложений печеркинской свиты в пределах Салаирского рудного района, соответствующего крупной вулканотектонической палеоструктуре, выявлены два этапа формирования, которые соответствуют двум циклам нижнекембрийской вулканической активности в районе. Определено, что на раннем этапе заложилась крупная вулcano-тектоническая депрессия, выполненная вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации, слагающими нижнюю часть рудовмещающей печеркинской свиты. На позднем этапе развивались локальные палеовпадины, заложенные в верхах вулcano-тектонической депрессии первого этапа. Они выполнены вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями контрастной базальт-риолитовой формации и соответствуют таким месторождениям, как Салаирское и Каменушинское.

2. Построен продольный разрез через Салаирскую структуру, на котором видно, что рудные зоны некоторых месторождений, ранее считавшихся отдельными, сливаются в единые. Показана целесообразность присвоения Салаирскому рудному полю ранга месторождения, включающего ряд рудных зон: Кварцитовая Сопка, Первомайская, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и Слепое. Сделан вывод, что Салаирское и Каменушинское месторождения, находящиеся в

одном латеральном ряду с рифогенной постройкой, по своим размерам, а также схожести литолого-фациального состава и химизма пород образуют единое рудное поле.

3. В пределах рудного поля на основании литолого-фациального анализа выделены породы, относящиеся к жерловой, околожерловой, промежуточной, удалённой фациальным зонам по отношению к центрам вулканизма (подводящим каналам) и показана связь с ними различных морфологических типов рудных тел. Штокверковые рудные тела отвечают подводящим каналам и приурочены к субвулканическим и экструзивным породам кислого состава жерловых фациальных зон, а линзообразные и пластовые тела, которые расположены либо проксимально над подводящей зоной, либо дистально на некотором удалении от неё, приурочены к вулканогенно-осадочным горизонтам промежуточных фациальных зон.

4. Получены новые данные для Салаирско-Каменушинского рудного поля по минеральному составу стратиформных руд и стадийности их образования. Рассмотрены и классифицированы околорудные измененные породы кварц-серицитовая формации по характеру ведущих процессов, при этом для изучаемого объекта выделены метасоматиты гипогенного выщелачивания, осаждения и малоинтенсивного гидrolитического разложения.

5. Проведены первые изотопные исследования серы сульфидов, которые подтверждают вулканогенно-гидротермально-осадочное происхождение сульфидных залежей.

6. Проведены прогнозные исследования и выделен ряд перспективных площадей на территории Салаирской металлогенической зоны.

Практическая значимость

На основе использования разработанных прогнозно-поисковых моделей месторождений Салаирско-Каменушинского рудного поля и выявленных, поисковых критериев и признаков проведена прогнозная оценка четырёх рудных районов Салаирской металлогенической зоны. Выделены перспективные на колчеданно-полиметаллические руды площади, изучены и показаны перспективы фланговых частей и глубоких горизонтов известных месторождений. По наиболее значимым ионно-сорбционным аномалиям АО «СНИИГГиМС» проведена заверка, выявлены рудные тела, отвечающие современным оценочным параметрам. Разработаны прогнозные карты-врезки, графики, планы и разрезы, даны рекомендации по направлениям геологоразведочных работ.

Фактический материал, методы исследования и личный вклад автора

Фактический материал, положенный в основу работы, был собран автором при проведении полевых работ с 2015 по 2017 год, в рамках Государственного контракта «Поисковые работы с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны», с последующей его обработкой в 2018–2019 гг.

При проведении полевых работ собраны и в последующем проанализированы данные: геологических маршрутов по коренным выходам пород в пределах рудных районов Салаирского кряжа, в том числе в районе стратотипов рудовмещающей печеркинской свиты и подстилающей, а также находящейся в одном фациальном ряду с рудовмещающими отложениями гавриловской свиты; документации естественных и техногенных обнажений коренных пород, стенок и полотна шести отработанных карьеров месторождений Салаирского рудного района (Белоключевское, Ново-Урское, Каменушинское) и рудных зон Салаирского месторождения (Кварцитовая Сопка, Первомайская, Александровская) с полиметаллическими рудами; специализированной документации керна 14 пробуренных скважин и 4 горных выработок (канав). Все виды работ сопровождалось построением геологических планов, колонок и разрезов различного масштаба, а также тематическими зарисовками и макрофотографиями высокого разрешения. В ходе этих работ автором отобран материал для минералогических и химических исследований из всех разновидностей вмещающих пород, метасоматитов, руд и зон рудной минерализации.

В камеральный период совместно с Кудрявцевой Н.Г. и Кузнецовой С.В. проведено изучение пород и руд в прозрачных шлифах (105 шт.) и аншлифах (40 шт.). Использованы результаты масс-спектрометрического с индуктивно-связанной плазмой приближенно-количественного многоэлементного анализа руд и пород (145 шт.) Атомно-абсорбционное определение золота и серебра с предварительным экстракционным концентрированием (20 шт.), изотопный анализ серы сульфидов (5 шт.).

В качестве основного геохимического метода поисков был апробирован для территории Салаирского кряжа ионно-сорбционный метод, разработанный в ФГБУ «ЦНИГРИ» и хорошо зарекомендовавший себя при поисково-оценочных работах на Рудном Алтае и Забайкалье (Миляев и др., 2017). Отобрано и проанализировано 1500 проб. Анализы выполнены в АЦ ЦНИГРИ.

Путем построения диаграмм автором был проведён петрохимический анализ вулканогенных пород четырёх перспективных на выявление золото-серебро-полиметаллического оруденения рудных районов Салаирской металлогенической зоны.

При изучении флангов и глубоких горизонтов известных месторождений и прогнозировании колчеданно-полиметаллических объектов в рудных районах Салаирского кряжа, применялись составленные автором параметрические прогнозно-поисковые модели эталонных месторождений данного региона.

Для создания электронных карт использовалась программа ESRI ArcGIS.

Защищаемые положения:

1. Структура Салаирско-Каменушинского рудного поля сформировалась в конце раннего кембрия на позднем, из двух выделенных, этапе образования крупной вулканотектонической депрессии, отвечающей Салаирскому рудному району. Геологическое строение рудного поля определяется сочетанием в латеральном ряду локальных палеовпадин, выполненных вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями контрастной базальт-риолитовой формации натровой серии и палеоподнятий в виде рифогенных построек. В палеовпадинах сформированы Салаирское и Каменушинское месторождения.

2. На основе литолого-фациального анализа установлено закономерное размещение вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород и их фаций по отношению к центру вулканизма, выделены породы жерловой, околожерловой, промежуточной и удалённой фациальных зон. Выявлена связь морфологических типов рудных тел с определенными фациями пород. Штокверковые рудные тела отвечают подводным каналам и приурочены к породам жерловых фациальных зон, а линзообразные и пластовые тела расположены либо проксимально над подводными каналами, либо дистально на некотором удалении от них, где приурочены к вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам промежуточных и удаленных от центров вулканизма фациальных зон.

3. Рудные тела Салаирского и Каменушинского месторождений были сформированы в два этапа. На конседиментационном этапе были образованы основные рудные залежи. Рудообразование сопровождалось широким развитием окolorудных метасоматитов кварц-серицитовой формации. Последующий региональный динамотермальный метаморфизм привел к частичному перераспределению и преобразованию рудного вещества. Гидротермально-осадочный генезис сульфидов подтверждается проведенными минераграфическими исследованиями и изотопным составом сульфидной серы.

4. Созданы прогнозно-поисковые модели месторождений Салаирско-Каменушинского рудного поля, на ее основе разработан комплекс поисковых критериев и признаков: формационных и петрологических, структурно-тектонических, литолого-структурных, рудно-формационных, метасоматических, минералогических, геохимических и геофизических. Определены методы опознания элементов моделей.

На основе применения моделей осуществлён прогноз возможности выявления новых рудных тел на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений, а также выделены новые перспективные площади в пределах Салаирской металлогенической зоны.

Апробация диссертации

Основные результаты и защищаемые положения работы обсуждались на научных конференциях: VI Российская молодёжная научно-практическая Школа «Новое в познании процессов рудообразования» (Москва, ИГЕМ РАН, 2016 г.); VII, VIII и IX Международные научно-практические конференции «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов» (Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ», 2017 г., 2018 г., 2019 г.); XI Международный конгресс «Цветные металлы и минералы-2019» (Красноярск, 2019 г.).

Результаты исследований вошли в состав геологических отчетов по теме Государственного контракта: «Поисковые работы с оценкой перспектив колчеданно-полиметаллического с золотом

оруденения основных рудных районов и узлов Салаирской металлогенической зоны» и в обоснования конкурсных поисковых проектов в пределах Салаирского кряжа.

Публикации

По материалам диссертации опубликовано семь работ, из них три статьи в рецензируемых научных журналах.

Структура и объём работы

Диссертация состоит из введения, 5 основных глав и заключения, содержит 98 рисунков и 6 таблиц. Список использованной литературы включает 75 наименований. Общий объём диссертации составляет 164 страницы.

Благодарности

Автор выражает благодарность всем, кто оказывал какую-либо помощь и поддержку в работе над диссертацией. Особую благодарность за наставления по созданию основных положений диссертации и структуры работы, выбор методов исследования, требовательность выполнения задач на разных этапах подготовки выражаю: научному руководителю — доктору геолого-минералогических наук И.Ф. Мигачёву, благодаря опыту и помощи которого работа значительно улучшилась; кандидату геолого-минералогических наук В.В. Кузнецову, который направил меня на написание данной работы и в дальнейшем постоянно поддерживал.

Выполненная работа не могла состояться без активной поддержки, консультаций и требовательности руководства ФГБУ «ЦНИГРИ».

За неоценимую помощь при анализе фондового материала, планировании проведения исследований и обработке фактического материала, конструктивную критику и ценные советы выражаю признательность Н.Г. Кудрявцевой, С.А. Миляеву, Т.П. Кузнецовой, С.В. Кузнецовой, Т.В. Серавиной, С.Г. Кряжеву, Л.К. Филатовой, С.С. Двуреченской, Д.А. Корчагиной, В.Д. Конкину, В.Н. Хасанову. Автор выражает большую благодарность за помощь в оформлении материалов диссертации, моральную и техническую поддержку, помощь в проведении полевых работ своим коллегам, коллективу отдела цветных металлов ФГБУ «ЦНИГРИ»: Н.Н. Богославца, Н.П. Кудрявцеву, А.А. Конкину, Е.В. Иваненкову, С.Л. Елшину, М.Р. Зяятдинова, А.А. Петухова, М.Н. Зайцеву.

Автор благодарит сотрудников АО «СНИИГГиМС», предоставивших все необходимые для написания диссертации материалы и оказавших помощь при проведении полевых работ на Салаирском кряже.

Хочется почтить память и поблагодарить за помощь в написании диссертации доктора геолого-минералогических наук Г.В. Ручкина, который на первом этапе данной работы являлся научным руководителем, но ушел из жизни в 2017 году.

1. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ САЛАИРСКОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Салаирская золото-серебро-полиметаллическая металлогеническая зона (МЗ) протягивается дугообразно (с изгибом в северо-восточном направлении) с северо-запада на юго-восток на расстояние более 450 километров при ширине от 40 до 70 километров. Она расположена в пределах одноименной складчатой зоны Алтае-Саянской складчатой области. Данная металлогеническая зона совпадает с областью распространения каледонских складчатых образований. В северо-восточной части структуры Салаирской зоны граничат с породами Колывань-Томской зоны Обь-Зайсанской складчатой области. На востоке они надвинуты на Кузнецкий каменноугольный бассейн, а на юге погружаются под мезо-кайнозойскую Неня-Чумышскую впадину.

Геологическая структура Салаира формировалась в различных геодинамических обстановках в несколько этапов (Бабин, 2007ф; Кудрявцева, 2018): позднерифейский, представленный фрагментами океанических прогибов, поднятий и островных дуг; вендский, характеризующийся перерывом в осадконакоплении; ранне-среднекембрийский, с формированием рифтогенных прогибов и Салаирского вулcano-плутонического пояса; среднекембрийско-раннеордовикский, с которым связаны закрытие окраинноморских бассейнов, формирование надвигов, офиолитовых аллохтонов; ордовик-силурийский, который отвечал режиму пассивной континентальной окраины; раннедевонский и

ранне-среднедевонский, являющиеся определяющими для заложения и эволюции вулканоплутонических поясов; среднедевонско-раннекаменноугольный, отвечающий одноименному бассейну. Раннекаменноугольно-позднепермский, раннемезозойский и средне-позднемезозойский коллизионные этапы соответствуют накоплению отложений угленосных формаций.

В пределах зоны предыдущими исследователями выделялись перспективные рудные районы (с севера на юг): Огнево-Романовский, Еловско-Которовский, Салаирский и Пуштулимский, к которым приурочены рудные поля с многочисленными колчеданно-полиметаллическими месторождениями с золотом и серебром, которые по комплексу характеристик относятся к колчеданным месторождениям в вулканогенных ассоциациях (VMS).

Покровные фации вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород и ассоциирующие с ними осадочные отложения выделены Б.Ф. Сперанским (1933 г.) в *печеркинскую свиту*, которая является рудовмещающей, и содержит в себе лейкобазальты, андезибазальты, андезиты, дациты, риодациты, риолиты, их туфы и тефроиды с линзами и прослоями туфогенных песчаников, известково-глинистых и углисто-глинистых сланцев и известняков. Вулканические породы характеризуются дифференциацией от лейкобазальтов до плагиориолитов с преобладанием пород риолитоидной группы. В Пуштулимском рудном районе в низах разреза установлено преобладание базальтоидов в ассоциации с кремнистыми породами (силицитами). В пределах Салаирского рудного района наблюдается явное преобладание вулканитов кислого состава, причем в западной его части базальты присутствуют в резко подчиненном количестве. (Ярославцева, 1985ф, 1995ф; Токарев, 1988ф, 1993ф; 2004ф).

Эффузивы, входящие в состав печеркинской свиты, прорываются небольшими субвулканическими телами риодацитов, риолитов, в том числе крупнопорфировых, плагиогранитов, габбродолеритов, долеритов субвулканической фации печеркинского комплекса.

Подстилающими и находящимися в одном фациально-латеральном ряду являются отложения *гавриловской и кинтерепской свит*. Первая выделена в Салаирском и Пуштулимском районах В. А. Асташкиным в 1972 г., вторая - на северо-западе, в пределах Огнево-Романовского рудного района и южнее Еловско-Которовского рудного района Б.Ф. Сперанским в 1924 году. Отложения этих свит тесно ассоциируют с вулканитами печеркинской свиты.

Гавриловская свита в районе стратотипа представлена преимущественно светло-серыми, редко серыми и темно-серыми массивными мраморизованными рифогенными известняками с остатками археоциат. В верхней части залегает пачка (50–100 м) серых, темно-серых водорослевых известняков, отмечаются прослойки туфов среднего и основного составов (Токарев, 2004ф).

Суенгинская и анчешевская свиты являются полными стратиграфическими аналогами и соответствуют перекрывающим толщам вулканогенно-терригенно-карбонатного состава. Известняки в составе свиты занимают от 20–30 до 40–60% в разных частях Салаира. Углеродистые разности пород также неравномерно распределяются по всему разрезу в виде маломощных прослоев и линз. Суенгинская свита выделена Г.И. Кириченко (1937г), а анчешевская В.В. Бессоненко (1969г).

На территории Салаира добыча полиметаллов (меди, свинца, цинка), золота и серебра с различной интенсивностью ведется более 200 лет. Здесь известны многочисленные колчеданно-полиметаллические месторождения и недооценённые рудопроявления с повышенными содержаниями в них золота и серебра, а также многочисленные пункты минерализации цветных металлов, геофизические и геохимические аномалии.

Анализ фактического материала показывает, что перспективы выявления новых золото-серебросодержащих колчеданно-полиметаллических объектов в регионе далеко не исчерпаны.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ САЛАИРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА И САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

2.1. Геологическое строение Салаирского рудного района

Салаирский рудный район расположен в северо-восточной части Салаирской металлогенической зоны и является фрагментом Бердско-Ельцовской складчатой зоны. Представляет собой крупную вулканотектоническую депрессию, ограниченную глубинными разрывными нарушениями с

северо-востока и юго-запада. В пределах района развиты вулканогенные, вулканогенно-осадочные, терригенные и карбонатные породы, образование которых происходило в рифтогенную стадию развития (ранний и средний кембрий). Стратифицированные отложения прорваны субвулканическими телами пород кислого состава и габбро-диоритов печеркинского комплекса. (Токарев, 2004ф).

Проведенный нами предварительный анализ размещения вулканогенных фаций показывает, что субвулканические и жерловые постройки формировались в линейных зонах и узлах, трассирующих глубинные разломы (Кузнецкая зона, Ариничевский блок и др.), в местах замыкания крупных линейных антиклинальных поднятий и купольных структур (Ангурепский блок). При этом накопление лавовых и пирокластических фаций, возможно, происходило на склонах крупных вулканопаратов и в прилегающих впадинах.

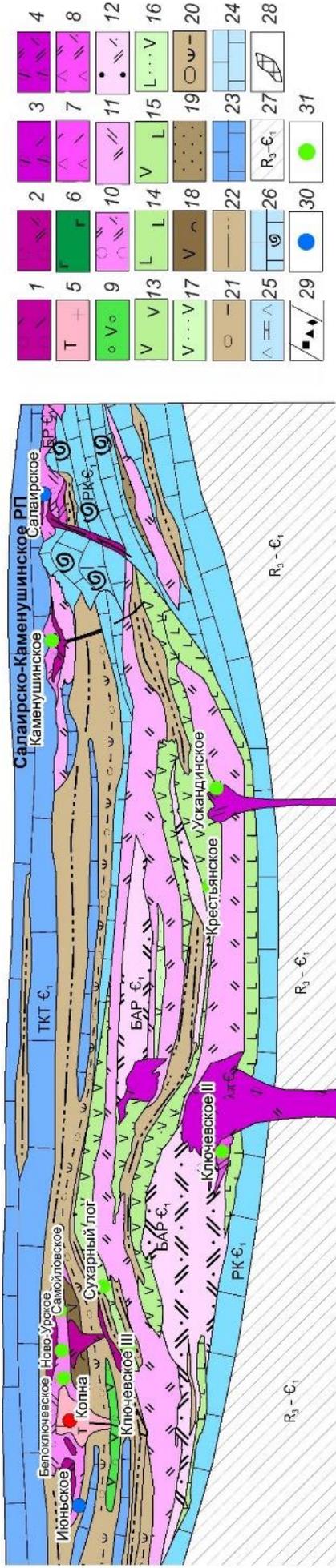
Все известные в настоящее время на Салаире колчеданно-полиметаллические месторождения и рудопроявления приурочены к вулканогенно-осадочным и субвулканическим образованиям, относимым к печеркинскому вулканическому комплексу нижнего кембрия (Ярославцева, 1985ф; Башев, 1990ф; Агеенко, 1992ф). На основании изучения условий накопления вулканогенных и вулканогенно-осадочных отложений, их литолого-фациального, петрохимического, палеоструктурного анализа, а также анализа обстановок локализации рудных месторождений, нами обоснована неоднородность вулканогенно-осадочного разреза и циклический характер проявления вулканической активности во время образования отложений печеркинской свиты. Для данного рудного района эта неоднородность и циклическость выражена в его двух этапном формировании, отвечающем двум циклам проявления раннекембрийской вулканической активности.

На первом (раннем) этапе на позднерифейско-раннекембрийском фундаменте сформировалась крупная вулканотектоническая депрессия протяженностью ~45 км, занимающая основную часть территории Салаирского рудного района и выполненная вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации (Рисунок 1), являющейся нижним рудоносным уровнем печеркинской свиты (начало ленского надъяруса раннего кембрия). С этим этапом связано начало развития рифогенных построек, достигающих крупных размеров, сложенных в основном биогенными известняками с остатками археоциат и водорослей. В вулканогенных породах отмечено преобладание Na_2O над K_2O , т.е. они относятся к натриевой серии. При проведении петрохимического анализа нами были использованы собственные данные анализов и данные предшественников.

Далее следовало затишье вулканической активности в районе, что обусловило накопление толщ терригенно-карбонатных пород, характерных для бассейнов седиментации, зачастую с примесью пирокластического материала — известняков, доломитов, песчаников, алевролитов, реже туфов кислого состава, за счёт чего рельеф морского дна выровнялся.

На втором (позднем) этапе заложились локальные палеоструктуры размером порядка 6–8 км, по-видимому, за счет возобновления тектоно-магматической активности района, которая способствовала проседанию отдельных участков образований «раннего этапа» (Рисунок 1). Затем происходит заполнение этих понижений вулканогенными и вулканогенно-осадочными отложениями контрастной базальт-риолитовой формации, являющейся верхним рудоносным уровнем печеркинской свиты (конец ленского надъяруса раннего кембрия). На данном этапе продолжили своё развитие рифогенные постройки. В вулканогенных породах, аналогично породам раннего этапа, количество Na_2O преобладает над K_2O , но в отличие от образований нижнего уровня для кислых разностей характерны более низкие содержания Na_2O , чем в породах основного состава.

Полиметаллическое оруденение связано с двумя рудоносными формациями натриевого ряда — нижней последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой и верхней — контрастной базальт-риолитовой. Наиболее продуктивными являются образования позднего этапа. Часть месторождений приурочена к продуктам удаленных фаций, представленных туфогенными кремнистыми алевролитами, кремнистыми туффитами в тонком прослаивании с туфогенными глинистыми, кремнисто-глинистыми алевролитами и мелкозернистыми песчаниками с прослоями туфов смешанного состава.



Фации пород: *Фаций жерловой зоны:* 1–крупновкрапленные риодациты; 2–крупновкрапленные риодациты; 3–афировые риодациты; 4–афировые риодациты; 5–кварц-топазовые интрузивные породы; 6–габбро-долериты. *Фаций околожерловой зоны:* 7–лавобрекчи риодацитов; 8–лавобрекчи риодацитов; 9–Туфы андезибазальтового состава. *Фаций промежуточной зоны:* 10–чередование горизонтов лав кислого состава, их туфов с мало мощными прослоями туфогравелитов, туфопесчанников и туфоалевролитов и углеродистых алевролитов; 11–лавы риодацитов с прослоями и линзами вулканогенно-осадочного и осадочного материала; 12–Мелкообломочные туфы риолитового состава с прослоями и линзами, туфопесчанников и туфоалевролитов удаленных зон; 13–Лавы андезитов с мало мощными прослоями вулканогенно-осадочного и осадочного материала; 14–Лавы базальтов; 15–Лавы андезибазальтов; 16–Туфы андезибазальтового состава; 17–Туфы андезитового состава с прослоями и линзами туффитов, туфопесчанников и туфоалевролитов. *Фации удаленных зон:* 18–Чередование туфов среднего состава, туфопесчанников, туфоалевролитов, туфогравелитов, туфоконгломератов; 19–Песчанники; 20–Чередование туффитов, туфопесчанников, туфоалевролитов, туфогравелитов, туфоконгломератов и туфов разного состава; 21–Чередование алевролитов, аргиллитов, алевропесчанников и песчанников, гравеллитов и конгломератов с незначительным содержанием вулканогенного материала; 22–Чередование алевролитов, аргиллитов, алевропесчанников и песчанников. 23–Известняки анчешевской свиты; 24–Известняки; 25–Известковые брекчи; 26–Преимущественно археогенные известняки гавриловской свиты. **Прочие условные обозначения:** 27–Породы фундамента; 28–Рудные зоны без разделения на типы; 29–Зоны минерализации и некондиционные рудные тела; 30–Колчеданно-полиметаллические, колчеданно-барит-полиметаллические месторождения; 31–Медно-цинково-колчеданные, медно-колчеданные месторождения.

Рис. 1. Геометризованная модель (палеорекострукция) Салаирского рудного района на время отложения контрастной базальт-риолитовой формации (поздний цикл вулканизма). (Серавина Т.В., Инякин А.В. и др., 2017).

2.2. Геологическое строение Салаирско-Каменушинского рудного поля

В пределах Салаирского рудного района промышленные колчеданно-полиметаллические месторождения приурочены к вулканическим структурам позднего этапа (локальным палеопонижениям) — Салаирской, Каменушинской и Урской и ранее рассматривались в качестве отдельных рудных полей. При этом на Салаирском, начиная с 1927 года, разными организациями и исследователями выделены месторождения — Кварцитовая Сопка, Первомайское, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и Слепое, запасы по которым учтены в Госбалансе. Но по размерам Салаирское рудное поле отвечает месторождению (согласно Металлогеническому кодексу), а выделенные в его пределах месторождения — рудным зонам. Данный вывод подтверждён построением продольного разреза через Салаирскую структуру (Рисунок 2), на котором видно, как некоторые рудные зоны месторождений сливаются в единые.

Салаирская и Каменушинская локальные депрессии сформировались в одном латеральном ряду с крупными рифогенными постройками (Рисунок 3), сложенными археоциатовыми и водорослевыми известняками гавриловской свиты. Возраст постройки определён предыдущими исследователями и подтверждён нами по находкам археоциат, появление, расцвет и вымирание которых приходятся на ранний и средний отделы кембрия. Также в состав подстилающих отложений входят туфогенно-терригенные разности пород в виде маломощных прослоев и линз. Перекрывающими (надрудными) служат туфогенно-карбонатно-терригенные отложения анчешевской свиты.

Исходя из вышеизложенного, а также с учётом общности петрохимических характеристик вулканогенных пород и их литолого-фациального состава, можно сделать вывод о наличии единой Салаирско-Каменушинской структуры, отвечающей одноимённому рудному полю.

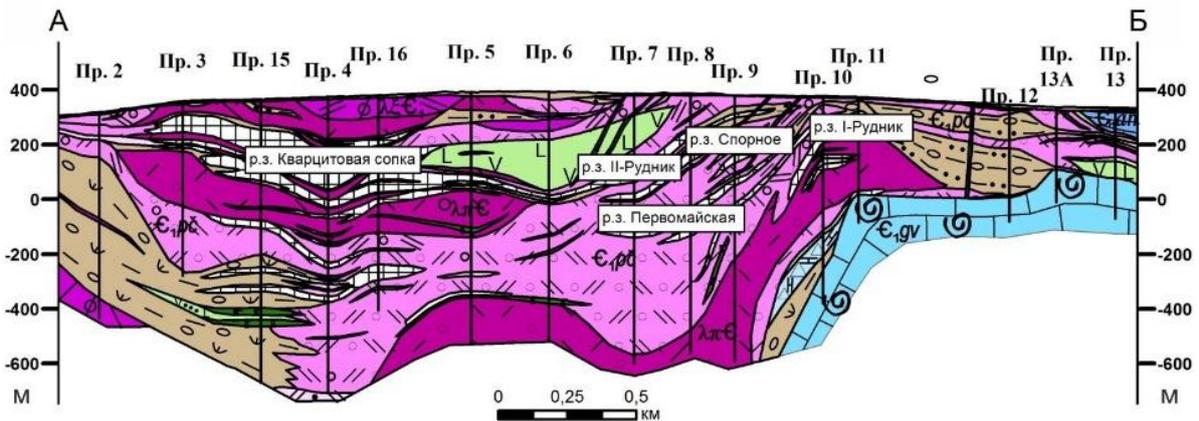


Рис. 2. Продольный литолого-фациальный разрез через месторождение Салаирское. (Инякин А.В., 2018).

Таким образом, впервые выделенное в ранг месторождения Салаирское включает рудные зоны Кварцитовая Сопка, Первомайское, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и Слепое.

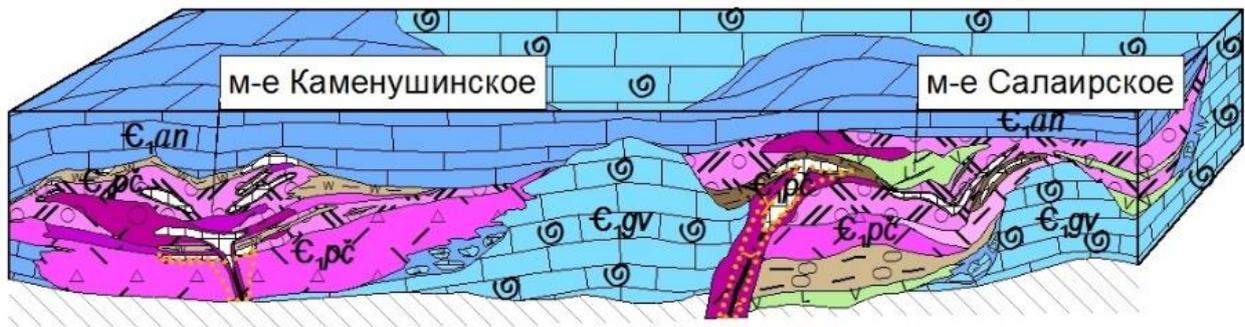


Рис. 3. Палеорекострукция Салаирско-Каменушинского рудного поля. (Инякин А.В., 2019).

К характерным чертам Салаирско-Каменушинского рудного поля относятся следующие:

- месторождения и рудные зоны сложены вулканогенно-осадочными породами контрастной базальт-риолитовой формации натриевого ряда;
- месторождения приурочены к локальным палеодепрессиям, являющимся обособлениями в пределах более крупных вулканотектонических структур (по нашему мнению рифтов);
- ореолы гидротермального изменения, сопровождающие рудные тела, представлены кварц-серицитовыми, кварц-серицит-хлоритовыми образованиями и метасоматическими кварцитами с баритом.

Таким образом из выше сказанного вытекает первое защищаемое положение:

Структура Салаирско-Каменушинского рудного поля сформировалась в конце раннего кембрия на позднем, из двух выделенных, этапе образования крупной вулканотектонической депрессии, отвечающей Салаирскому рудному району. Геологическое строение рудного поля определяется сочетанием в латеральном ряду локальных палеовпадин, выполненных вулканогенными и вулканогенно-осадочными образованиями контрастной базальт-риолитовой формации натровой серии и палеоподнятий в виде рифогенных построек. В палеовпадинах сформированы месторождения Салаирское и Каменушинское.

3. ОБСТАНОВКИ ЛОКАЛИЗАЦИИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД САЛАИРСКО-КАМЕНУШИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

В геологической истории земли выделяются четыре основных относительно коротких периода активного колчеданообразования, среди которых крупнейший пик пришелся на кембрий-ордовикский период. С этим периодом связано формирование крупнейших колчеданосных провинций Мира и в том числе Салаирской (Дергачев и др. 2015; Дергачев, Еремин, 2008). Важнейшими факторами образования колчеданных руд являются: формационный (связь с контрастными или последовательно-дифференцированными вулканогенными формациями); близость источника рудного вещества; наличие структур, благоприятствовавших накоплению и быстрому захоронению крупных рудных тел, а также большая продолжительность процессов рудообразования на фоне вулканизма.

Изучение состава пород, слагающих месторождения Салаирское и Каменушинское, проводилось на основании обобщающих отчетов предыдущих исследователей (Дистанов, 1977; Ярославцева, 1985ф и др.) и данных автора, собранных в ходе полевых работ с изучением коренных обнажений, а также карьеров отработанных месторождений и рудных зон. Размещение рудной минерализации, состав руд, морфологические особенности рудных тел обусловлены их приуроченностью к тем или иным фаціальным зонам рудовмещающих вулканитов. На основании литолого-фаціального анализа выделены породы, относящиеся к жерловой, околожерловой, промежуточной и удаленной фаціальным зонам с точки зрения отдаленности от подводных каналов.

Жерловые фаціальные зоны представлены породами кислого состава — субвулканическими и экструзивными крупнопорфировыми риолитами, риодацитами и дацитами, реже основного состава — габбро-долеритами, интенсивно измененными, рассланцованными и превращенными практически в кварциты, кварц-серицитовые, кварц-хлорит-серицитовые породы. При макро-изучении в кислых вулканитах видна первичная порфировая структура за счёт уцелевших выделений кварца и плагиоклаза, которые нередко перекристаллизованы и замещены крупнозернистым кварц-альбитовым агрегатом. Основная масса сложена вторичным мелкозернистым кварцем, чешуйками хлорита и серицита. С породами этих фаций связаны штокверковые полиметаллические рудные зоны рассматриваемого рудного поля.

Околожерловые фаціальные зоны — крупнообломочные туфы риолитов, риодацитов, а также лавобрекчии. При макроописании в них диагностируются брекчиевидные обломочные текстуры. Породы состоят из вулканогенных обломков размером от первых миллиметров до десятков сантиметров с вулканогенно-осадочным материалом в цементе. Местами включают полиметаллическое оруденение.

Промежуточные фациальные зоны представлены лавами риолитов, риодацитов, андезибазальтов и их мелкообломочными туфами. Лавы в основном разномерной, порфировой или порфировидной структуры. Порфировые выделения представлены плагиоклазом и кварцем размером от 0,2 до 3,0 мм. Количество вкрапленников варьирует от 3 до 10%. Основная масса серицитизированная, альбитизированная, окварцованная и хлоритизированная. Породы содержат барит и карбонат. Туфы мелкообломочные с разномерной структурой, полосчатой и массивной текстурами. Для промежуточных фаций характерны линзовидные и пластообразные рудные тела.

Удалённые от центров вулканической активности фациальные зоны — это прибрежно-морские и шельфовые отложения, представленные осадочными породами с примесью вулканогенного материала: алевролитами, песчаниками, туффитами, известняками, включающие маломощные прослои и линзы туфов кислого и основного составов, туфоалевролитов, туфопесчаников. Значительная роль среди пород удаленных фаций принадлежит известнякам. Породы удаленных фациальных зон также вмещают маломощные пластовые и линзовидные рудные тела и зоны минерализации.

Петрохимический анализ вулканогенных пород Салаирско-Каменушинского рудного поля проведён на основании диаграмм в координатах SiO_2 –($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$), K_2O – Na_2O , CaO –($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$)– MgO , K_2O – Na_2O – CaO с использованием данных автора и предыдущих исследователей.

Из диаграммы в координатах SiO_2 –($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) (Рисунок 4) следует, что породы основного состава соответствуют нормальному и умеренно щелочному рядам и представлены базальтами и андезибазальтами.

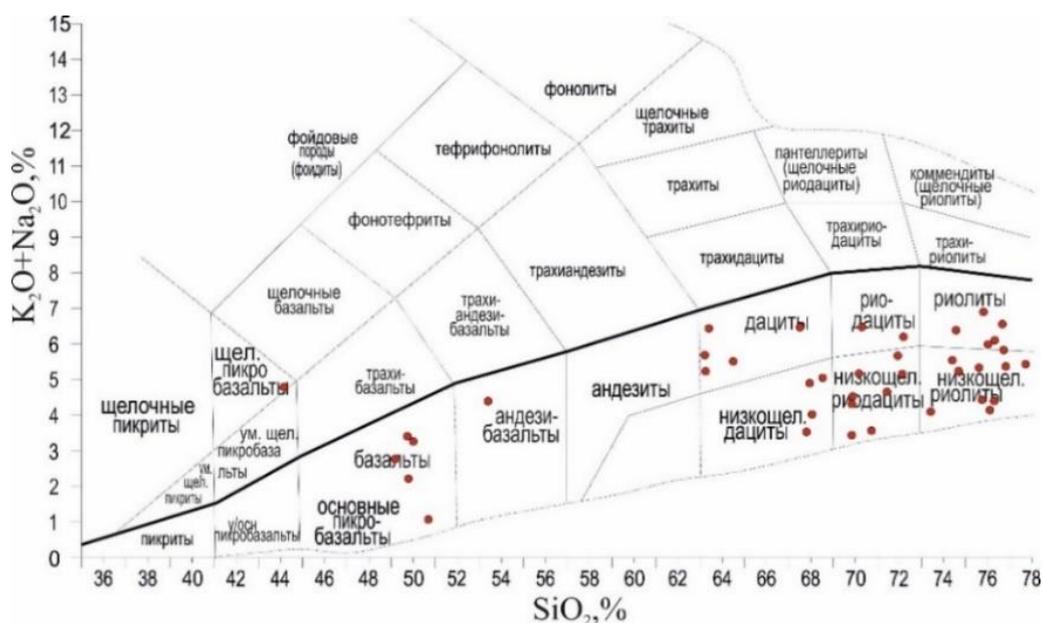


Рис. 4. Состав вулканогенных пород на диаграмме в координатах SiO_2 –($\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$) Салаирско-Каменушинского рудного поля (Инякин А.В., 2018).

Кислые породы преимущественно соответствуют низкощелочному ряду — низкощелочным риолитам, риодацитам, дацитам, меньшая часть образцов относится к нормальному ряду — риолитам, риодацитам, дацитам.

Как видно из диаграммы в координатах K_2O – Na_2O (Рисунок 5), породы характеризуются резким преобладанием Na_2O над K_2O и относятся к натриевой серии. Незначительная часть пород попадает в область калиево-натриевой серии, единичный — в область калиевой.

Для Салаирско-Каменушинского рудного поля отмечается резкое преобладание пород кислого состава над породами основного. В них повышено содержание Fe ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$) — в среднем 6,5; максимальное 15,5%; Mg — в среднем 2,2; максимальное 4,5%; Ca — в среднем 2,0; максимальное 6,7%.

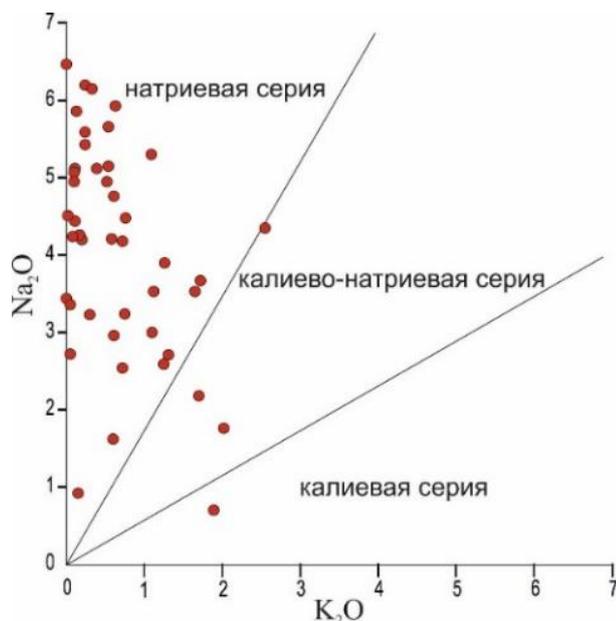


Рис. 5. Диаграмма (K_2O-Na_2O) для вулканогенных пород Салаирско-Каменушинского рудного поля (Инякин А.В., 2018).

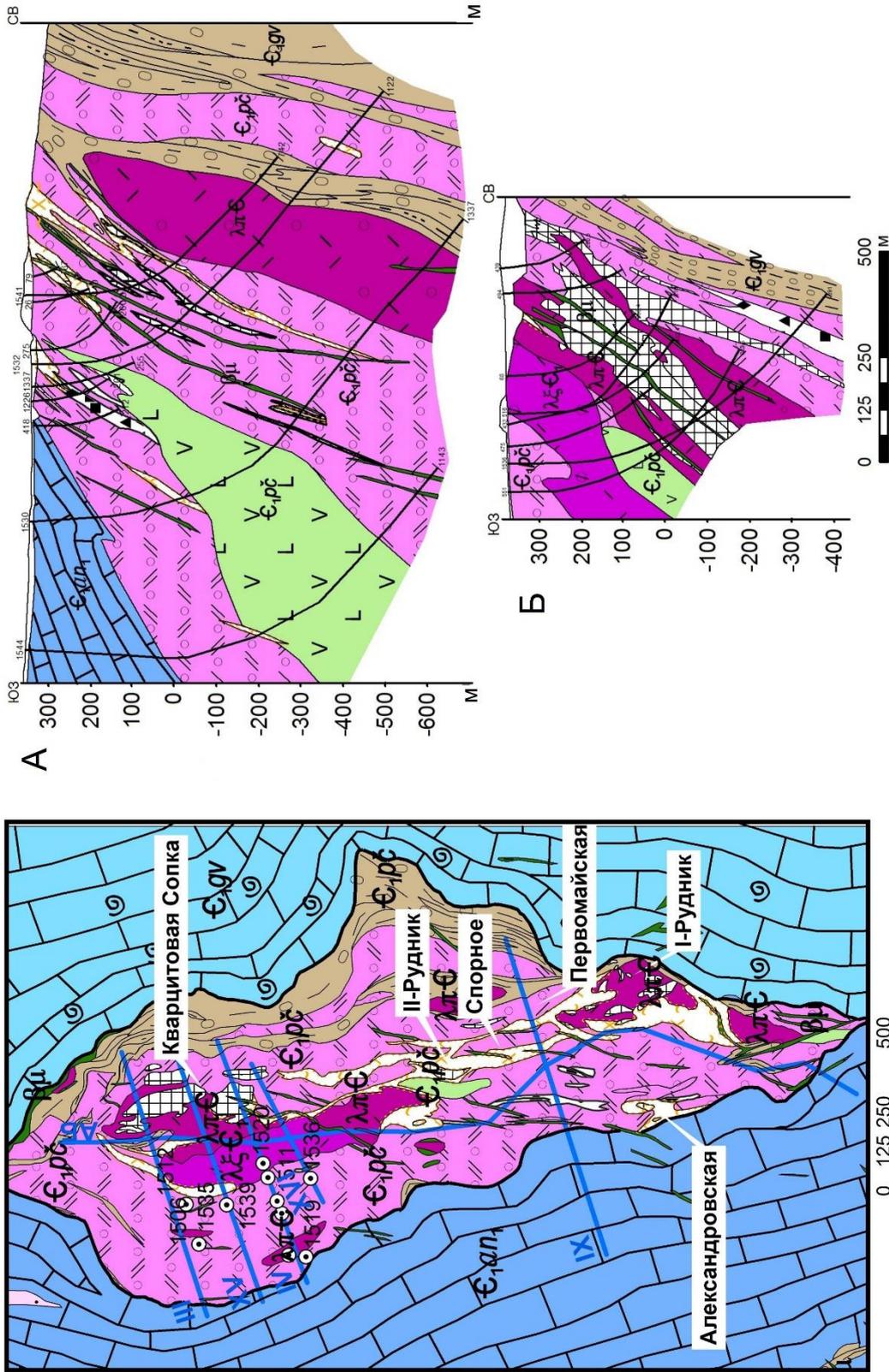
Месторождение Салаирское включает рудные зоны Кварцитовая Сопка, Первомайское, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и др. (Рисунок 6). Рудные зоны месторождения относятся к колчеданно-полиметаллическому минеральному типу в вулканогенно-осадочных породах (Дербигов, 1960; Дистанов, 1977). Зональность рудных тел заключается в увеличении доли свинца и уменьшении доли меди от подошвы к кровле тел. Наряду с медью, цинком и свинцом, из них извлекают золото, серебро, барит. Кроме того, в полиметаллических рудах месторождения определены редкие и рассеянные элементы (кадмий, селен, теллур, висмут, таллий, олово <1%) (Лапухов, 1975). Из всех рудных зон месторождения нами более детально изучены две.

Рудная зона Кварцитовая Сопка расположена в северной части месторождения. Она приурочена к прижерловой части палеовулканической структуры и сложена породами риолит-дацитового состава, андезитбазальтами, туффитами, прорванными жерловыми крупнопорфировыми риолитами и дайками долеритов. Вмещающие породы интенсивно изменены и превращены в кварц-серицит-хлоритовые, кварц-серицитовые и альбит-кварц-серицитовые метасоматиты вплоть до образования кварц-баритовых пород. Минеральный состав руд: пирит, халькопирит, кубанит, теннантит, теллурид Ag, петцит, самородное золото; нерудные минералы: кварц, карбонат, барит. При изучении изменённых пород в шлифах отмечались включения топаза.

Полиметаллические рудные тела зоны имеют сложную морфологию. Вскрыты два основных рудных тела — Восточное и Западное. С поверхности до глубины 100–140 м они сложены кварц-баритовыми и барит-кварцевыми рудами, ниже изменяют состав на сульфидно-кварц-баритовый и становятся массивными и вкрапленными.

В Западной залежи на глубине от 330 м - до 810 м прожилково-вкрапленные руды сменяются медно-цинковым с золотом штокверком. Штокверковые руды локализованы в субвулканических риодацитах и приурочены к подводящим канальным зонам для проксимальных линзовидных тел колчеданно-полиметаллического с золотом и баритом состава (Бородаевская, 1992).

В рудной зоне Первомайская развиты интенсивно рассланцованные, метасоматически изменённые риолиты, риодациты, дациты и туфы разного состава, вмещающие золотоносные кварц-барит-колчеданные и кварц-барит-колчеданно-полиметаллические руды. Первичные породы трудно диагностируются. Рудные тела массивные или плотно-вкрапленные, линзовидной формы. Состав рудных минералов приведен ниже. Кварц-барит-колчеданно-полиметаллические руды: гнездово-вкрапленные, густо-вкрапленные, пунктирно-вкрапленные полосчатые, прожилковидные. Наиболее часто встречаются пунктирно-вкрапленные руды, в которых сульфиды располагаются тонкими полосами 1–2 мм в кварце. Рудная зона является дистальной по отношению к центру вулканической активности и приурочена к породам промежуточных фациальных зон.



Использованы материалы Агеенко Н.Ф., Исыпова Н.Г., 1992. (Условные обозначения см. рисунок 1)

Рис. 6. Литолого-фациальные карта и разрезы по линиям IX (А) и XVI (Б) месторождения Салаирское

Месторождение Каменушинское размещается севернее Салаирского, имеет с ним сходное геологическое строение. Медно-колчеданное с золотом и серебром оруденение локализовано в нижнекембрийских вулканогенно-осадочных породах (печеркинская свита) (Ярославцев, 1982), относящихся к контрастной базальт-риолитовой формации. Основная площадь месторождения сложена субвулканическими риолитами и риодацитами жерловых фаций, ритмично чередующимися с лавами кислого и основного составов, а также их туфами, принадлежащими к породам промежуточных фаций. Субвулканические разности представлены риолитами и риодацитами средне- или крупновкрапленными. Структура основной массы пород микровкрапленная, микросферолитовая, микрофельзитовая или аллотриоморфнозернистая. В покровных лавах выделяются риолиты, риодациты, в подчинённом количестве андезибазальты. Среди вышеперечисленных пород залегают маломощные линзы и пласты туфогенно-осадочных пород. Венчает разрез пачка чередования пород удалённых фаций с терригенно-карбонатными морскими отложениями, которая находится на границе с перекрывающими известняками анчешевской свиты, что говорит о смене обстановок осадконакопления в палеобассейне седиментации и затишье вулканической активности в данном регионе.

Кварц-серицит-хлоритовый метасоматоз выражен в окварцевании, серицитизации и хлоритизации рассланцованных риолитов, риодацитов и других алюмосиликатных пород. Рудные тела представляют собой штокверк, приуроченный к субвулканическим или экструзивным риодацитам, состоящий из системы пересекающихся кварц-серицит-хлорит-баритовых прожилков, содержащих переменную вкрапленность сульфидов и постепенно сменяющихся зонами рассеянной сульфидной минерализации. Стратифицированные рудные тела имеют северо-западное простирание, линзовидное строение. Основная масса сульфидов сосредоточена в пределах прожилков, хотя и вмещающие породы содержат то или иное количество тонкой вкрапленности рудных минералов, особенно пирита. Зоны рассеянной пиритизации сопутствуют рудным телам и охватывают обширные участки. Верхние зоны висячего бока рудных тел сопровождаются обширными ореолами интенсивной серицитизации и окварцевания вмещающих пород, переходящими с глубиной в зоны пропилитизации. Таким образом, месторождение Каменушинское представляет собой комбинацию штокверковых руд канальной зоны и стратифицированных проксимальных залежей пластообразной и линзовидной формы.

Итак, на обоих месторождениях Салаирско-Каменушинского рудного поля развиты сходные морфологические типы руд. Они представлены штокверковыми рудными телами, отвечающими подводным каналам и приуроченными к субвулканическим и экструзивным породам кислого состава жерловых фациальных зон, а также линзообразными и пластовыми телами, которые расположены либо проксимально над подводной зоной, либо дистально на некотором удалении от неё и приурочены к вулканогенно-осадочным породам промежуточных фациальных зон. Также незначительные рудные тела приурочены к удаленным от подводных каналов фациальным зонам.

Из вышесказанного вытекает второе защищаемое положение:

На основе литолого-фациального анализа установлено закономерное размещение вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород и их фаций по отношению к центру вулканизма, выделены породы жерловой, околжерловой, промежуточной и удалённой фациальных зон. Выявлена связь морфологических типов рудных тел с определенными фациями пород. Штокверковые рудные тела отвечают подводным каналам и приурочены к породам жерловых фациальных зон, а линзообразные и пластовые тела расположены либо проксимально над подводными каналами, либо дистально на некотором удалении от них, где приурочены к вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам промежуточных и удаленных от центров вулканизма фациальных зон.

4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ЗОНАЛЬНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛЧЕДАНО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД, ОКОЛУРДНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОРОД

По преобладающему вещественному составу колчеданных руд на Салаире выделяются три минеральных типа месторождений: золото-серебросодержащие колчеданно-(барит)-

полиметаллический, медно-цинково-колчеданный и медно-колчеданный. Руды всех минеральных типов месторождений пространственно и генетически связаны с вулканизмом и локализованы преимущественно в промежуточных и удаленных фациях. Впервые данная точка зрения была высказана Усовым М.А. (Усов, 1933). В дальнейшем эти взгляды развивались Домаревым В.С. (Домарев, 1956), Дербиковым И.В. (Дербиков, 1960), Зеркаловым В.И. (Зеркалов, 1953). Дербиков И.В. на основании изучения месторождений Урского рудного поля и месторождения Ускандинское также пришел к выводу о кембрийском возрасте оруденения. Существенная роль в локализации оруденения, по его мнению, принадлежит факторам структурного и литологического контроля.

Точка зрения Дистанова Э.Г. (Дистанов, 1965, 1977, 1985) о том, что залежи барит-полиметаллических и колчеданно-полиметаллических руд Салаира представляют собой постскладчатые гидротермальные образования, наложенные в верхнепалеозойское время на вулканогенный комплекс пород кембрийского возраста, не находит своего подтверждения в настоящее время, поскольку фактический материал свидетельствует о пострудном динамометаморфизме, складчатых деформациях, как это впервые было показано Дербиковым И.В (Дербиков, 1960).

4.1. Распределение минеральных типов руд

Минеральные типы руд месторождения Салаирское. Зональное распределение компонентов в рудных телах месторождения было рассмотрено А.С. Лапуховым. В своих работах он отмечал общую тенденцию к возрастанию относительных содержаний свинца по восстанию рудных залежей. Нами в качестве примера изучена зональность распределения рудных минералов одной из рудных зон месторождения (Рисунок 7).

Скважины профиля IV пересекают одни и те же рудные подзоны на разных глубинах и рассмотрены по порядку с запада на восток, что позволяет охарактеризовать рудную минерализацию по падению (расположение профилей и скважин - Рисунок 6). В скв. 1537 минерализация представлена рудными интервалами золото-медного и золото-медно-цинкового типов, которые ритмично чередуются друг с другом. В скв. 1511 в рудах значительно возрастает роль цинка, исчезают чисто медные интервалы. Наблюдается ритмичное чередование цинковых и медно-цинковых типов руд, участками золотосодержащих, в единичном интервале устанавливается повышенное содержание серебра. Далее по восстанию в скв. 1520 появляются золото-барит-медно-свинцово-цинковые и золото-серебро-барит-медно-цинковые интервалы, осложняющие ритмичную зональность по мощности. Содержание Au в данных рудах ~2,5–3 г/т. В лежащем боку проявлены медно-цинковые золотосодержащие руды с содержанием Au ~1,5 г/т. К югу и к северу от профиля IV аналогично проанализированы скважины XV и III.

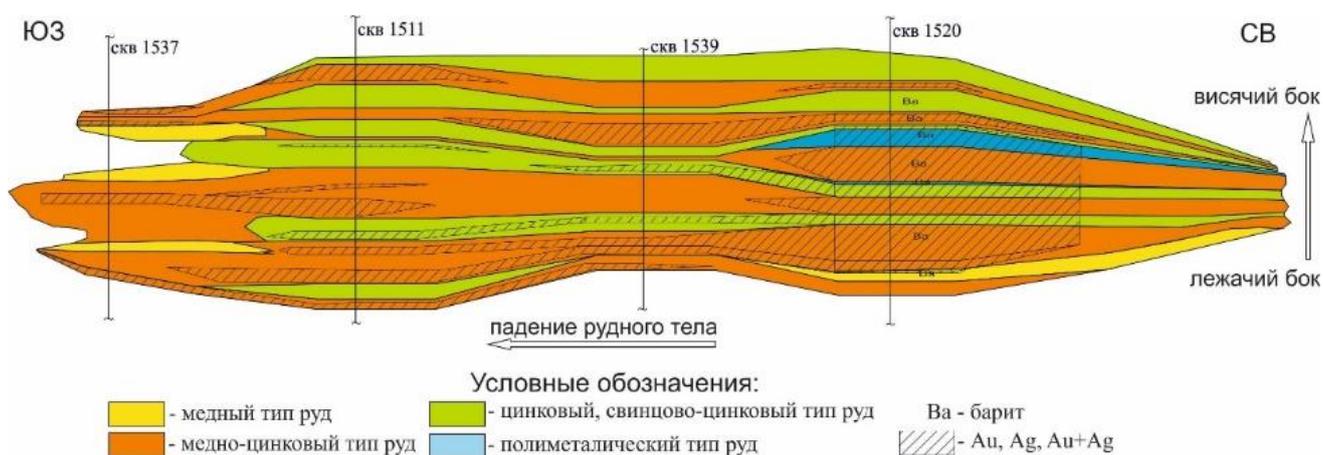


Рис. 7. Зональность распределения минеральных типов руд месторождения Салаирское по падению и мощности (профиль IV)

Из приведённых данных можно сделать вывод о зональном распределении минеральных типов руд по падению и мощности. Зональность проявляется в том, что при удалении от зон подводящих каналов разрез с существенно медной и медно-цинковой ритмичной минерализацией осложняется полиметаллическими интервалами: медные → медно-цинковые → медно-свинцово-цинковые

→медно-цинково-свинцовые →полиметаллические. В этом же направлении увеличивается содержание барита и благородных металлов.

Минеральные типы руд месторождения Каменушинское. Изучение распределения минеральных типов руд на месторождении Каменушинское показало, что наиболее распространённые руды — медно-колчеданные, среди которых можно выделить собственно медно-колчеданные, медно-колчеданные золотосодержащие (Au 0,1–0,4 г/т) и золото-медно-колчеданные (Au >0,5 г/т) руды. В подчинённом количестве встречаются цинковые, золото-цинковые, свинцово-цинковые, единичные проявления полиметаллических и золото-серебро-медно-колчеданных руд. Рядом скважин вскрыта бедная золотая минерализация. Руды локализованы в туфогенно-осадочных и вулканогенных породах кислого состава.

4.2. Характеристика вещественного состава руд

Особенностью колчеданных месторождений в вулканогенных ассоциациях являются стратиформные «эксгальционные» залежи, отложившиеся из гидротермальных флюидов. Эти залежи могут простираться вне границ массивных сульфидных холмов и, как правило, состоят из кремнезема, оксидов марганца, железистых карбонатов, сульфатов, сульфидов (Bishop J.R. and Lewis R.J.G., 1992; Taylor C.D. и др. 1995; Cox D.P., 1986).

Особенности состава и строения руд Салаирско-Каменушинского рудного поля ранее изучались Ковалевым К.Р. (Ковалев, 1969ф), Лапуховым А.С. (Лапухов, 1975), Дистановым Э.Г. (Дистанов, 1977) и др.

Новые данные по минеральному составу стратиформных руд и стадийности их образования получены при изучении рудной зоны Первомайская, которая приурочена к рассланцованным вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам.

Золотосодержащие кварц-барит-колчеданные и кварц-барит-колчеданно-полиметаллические рудные тела имеют пластообразную и линзовидную формы. Главные рудные минералы: пирит, марказит, сфалерит, блёклая руда, галенит; в качестве второстепенного минерала встречается халькопирит; редкие – самородное золото, электрум, акантит и сульфосоли серебра. Структуры руд: колломорфная, гранобластовая, идиоморфнозернистая, гипидиоморфнозернистая, аллотриоморфнозернистая, метазернистая, коррозионная, эмульсионная, интерстиционная, структуры дробления, замещения, перекристаллизации. Текстуры руд: прожилково-гнездово-вкрапленная, густо-вкрапленная до массивной, полосчатая, пятнистая, брекчиевидная.

Нами выделены два этапа рудообразования.

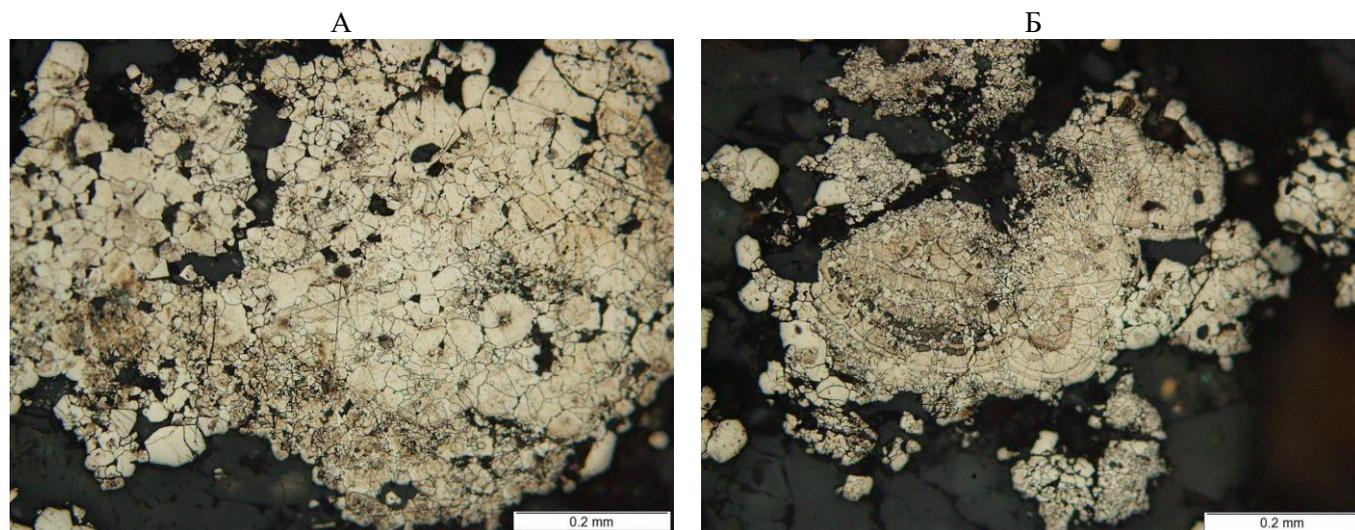
Гидротермально-осадочный этап рудообразования. На этом этапе сформировалась галенит-сфалерит-пирит-марказитовая минеральная ассоциация переменного состава, иногда с халькопиритом. Минералы ассоциации встречаются в виде реликтов среди перекристаллизованных и наложенных образований. Наиболее ранними минералами в составе ассоциаций, отвечающих данному этапу, являются пирит-1 и марказит, которые встречаются в виде массивных аллотриоморфных скоплений, а также сфалерит-1. Как правило, пирит имеет гранобластовое строение (Рисунок 8, А), однако, при диагностическом травлении были обнаружены и реликты концентрически-зонального, почковидного строения (Рисунок 8, Б). Можно видеть, как реликты зонального строения в гранобластах, так и неполное превращения первичных почек в гранобластовый агрегат. Близко одновременно с пиритом выделялся сфалерит-1, который образовался отчетливо раньше других полиметаллов. При травлении сфалерита в парах «царской водки» обнаруживается его двойниковое строение.

Этап метаморфизма

Стадия перекристаллизации. Единственный информативный минерал, показывающий, что данная стадия существует — пирит гранобластовой и порфиروبластовой структуры, который встречается повсеместно во всех типах руд (Рисунок 8, А). Первичные гидротермально-осадочные руды практически не сохранились. На этой стадии сфалерит и особенно галенит подвержены частичной мобилизации из-за их большей пластичности.

Стадия мобилизации. На данной стадии образованы сфалерит-2, галенит-2, который развивается в интерстициях и вдоль границ зерен сфалерита, затем блёклая руда, которая замещает и цементирует другие сульфиды. Полиметаллы образуют структуры интерстициальные, цементации, коррозионные. Хотя блёклая руда и галенит постоянно ассоциируют со сфалеритом-2, они отклады-

вались несколько позднее. Образование сфалерита-2 и других полиметаллов, которые цементируют и корродируют ранние минералы в рудах, а также образуют самостоятельные пунктирно-вкрапленные полосчатые и вкрапленные руды, происходит за счет мобилизации рудного вещества в процессе метаморфизма.



А — гранобластовая структура пирита с реликтами почковидной; Б — концентрически-зональная, почковидная структура пирита, участками видно начало превращения в гранобластовый агрегат

Рис. 8. Структуры пирита в рудах

Таким образом на метаморфогенном этапе руды были подвергнуты деформации, дроблению и перекристаллизации, в некоторых случаях полной мобилизации, о чем в частности свидетельствует выполнение барит-колчеданно-полиметаллическими рудами ядерных частей мелких складок, где колчеданно-полиметаллическая руда находится во внутренней части ядра, а внешняя его зона выполнена кварц-баритовым агрегатом

В пределах залежи можно выделить два минеральных типа руд - кварц-барит колчеданно-полиметаллические и колчеданно-полиметаллические с преобладанием колчеданных.

Итак, фактический материал свидетельствует о двухэтапном процессе рудообразования — на первом этапе сформированы рудные залежи гидротермально-осадочным путем, на втором они претерпели интенсивный динамотермальный метаморфизм и, как следствие, перекристаллизацию и частичную мобилизацию рудного вещества.

4.3. Первые данные по изотопному составу серы сульфидов в рудах

Изотопные исследования сульфидной серы для Салаирско-Каменушинского рудного поля проведены впервые. Эти исследования показали, что сульфидная сера в рудах месторождения Первомайское существенно обогащена изотопом ^{34}S (Таблица 1), что свидетельствует об участии в рудообразовании изотопно «тяжелого» сульфата морской воды (Гриненко В.А., Гриненко Л.Н., 1974).

Таблица 1

Изотопный состав сульфидной серы в рудах месторождения Первомайское

Номер образца	Минерал	Горизонт	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$, ‰
2080/1	Пирит	Кровля	+2.3
2079	Пирит	Центральный	+5.1
2074	Пирит	Центральный	+5.2
2077/1	Пирит	Подошва	+6.9
2075	Пирит	Подошва	+7.2

Известно (Лапухов А.С., и др., 1991), что среди всего ряда вулканогенных колчеданных месторождений подобными наиболее высокими значениями ^{34}S выделяются золото-колчеданно-

полиметаллические месторождения типа Куроко (также, как и рудноалтайские). При этом объекты типа Куроко характеризуются отчетливо проявленной изотопно-геохимической зональностью: от подошвы к кровле рудных тел ^{34}S снижается от $+7\pm 1\%$ (прожилково-вкрапленные кварц-халькопирит-пиритовые руды) до $+5\pm 1\%$ (пластовые халькопирит-пиритовые и вышележащие барит-полиметаллические руды). Над рудными телами (в зоне развития гематита) ^{34}S пирита резко снижается. Предполагается, что в рудообразовании принимала участие исключительно сера морской воды, а изотопно-геохимическая зональность обусловлена ростом окислительного потенциала среды от нижней части рудообразующей системы к верхней (Лапухов, 1991).

Как следует из полученных нами данных (Таблица 1), в рудной зоне Первомайской наблюдается аналогичное распределение изотопов серы, что служит дополнительным указанием на **вулканогенно-гидротермально-осадочное происхождение сульфидных залежей**. Следует также отметить, что сохранение первичной изотопной зональности свидетельствует об отсутствии процессов привноса-выноса серы при последующем метаморфизме руд.

4.4. Околорудные изменения пород

Колчеданно-полиметаллические месторождения Каменушинское и Салаирское и их рудные зоны (Кварцитовая сопка, Первомайское, Александровское и др.) повсеместно сопровождаются околорудно изменёнными породами, которые формируются в процессе кислотного выщелачивания и отвечают кварц-серицитовой формации, выделенной Омеляненко Б.И. (Омеляненко, 1978). По характеру ведущих процессов различаются метасоматиты гипогенного выщелачивания, осаждения и малоинтенсивного гидротермического разложения (Чекваидзе, 1981).

Подобные типы метасоматических изменений выделяются нами и в Салаирско-Каменушинском рудном поле (Рисунок 9).



Рис. 9. Схема размещения околорудных метасоматитов месторождения Салаирское

Метасоматиты гипогенного выщелачивания

Метасоматиты гипогенного выщелачивания развиты практически во всех рудных зонах Салаирско-Каменушинского рудного поля. Они представлены кварцитами, кварц-серицитовыми и кварц-серицит-хлоритовыми породами. Состав продуктов выщелачивания в существенной степени определяется составом вмещающих пород. По породам кислого состава (риолитам, лавам и туфам риолитов) образуются кварциты и кварц-серицитовые метасоматиты, а по породам основного состава

ва (долеритам, лавам и туфам андезитов) — кварц-серицит-хлоритовые, реже кварц-серицит-хлорит-карбонатные.

В распределении продуктов выщелачивания, в поперечном к рудоносным структурам направлении, отмечается зональность, выраженная в развитии в центральной зоне кварцитов и кварц-серицитовых пород, а во внешней серицит-хлорит-(карбонатно)-кварцевых. Продукты гипогенного выщелачивания в основном приурочены к подводящему каналу, где концентрируются кварциты и кварц-серицитовые метасоматиты, а за его пределами кварц-серицит-хлоритовые. Метасоматиты выщелачивания почти всегда содержат рассеянную сульфидную вкрапленность.

Метасоматиты осаждения

Процесс гипогенного выщелачивания сопровождается процессом выноса и переотложения основных компонентов из вмещающих пород, в результате чего формируются метасоматиты осаждения: хлоритовые, серицитовые, хлорит карбонатные. На Салаирско-Каменушинском рудном поле, в связи с интенсивным динамометаморфизмом и рассланцеванием, метасоматиты осаждения сохраняются в усеченном виде. Здесь сформированы только компактные серицитовые, хлоритовые линзочки и жилы небольших размеров, с которыми ассоциируют кварц, барит и сульфиды. На колчеданно-полиметаллических месторождениях Рудного Алтая эти породы образуют крупные метасоматические тела и линзы длиной от 50–100 до 500 м при мощности от 0,5 до 100 м (Кудрявцева, 2018), приуроченные непосредственно к рудным телам.

Метасоматиты малоинтенсивного гидrolитического разложения

Метасоматиты малоинтенсивного гидrolитического разложения пользуются наибольшим распространением по сравнению с метасоматитами гипогенного выщелачивания и отложения. В зависимости от состава вмещающих пород преимущественное развитие приобретают ассоциации кварца, серицита, хлорита, альбита (по вулканитам кислого состава и осадочным породам), либо серицита, хлорита, карбоната, альбита (по вулканогенным породам среднего и основного состава). Такие новообразования образуют пятнисто-вкрапленные скопления, составляющие не более 20–25% от объёма пород.

Ореолы продуктов малоинтенсивного гидrolитического разложения распространены от рудных зон на 300–500 м до нескольких километров и они фиксируют не только месторождения, но и рудные поля. Сложность диагностики метасоматитов, образованных данными процессами, заключается не только в схожести набора вторичных минералов с метасоматитами гипогенного выщелачивания и осаждения, но и в том, что периферические метасоматические зоны смыкаются с продуктами поствулканических и региональных метаморфических преобразований. Главными чертами регионально и поствулканически измененных пород являются: площадное распространение, выдержанный состав на больших площадях, отсутствие зональности, особенности состава главных породообразующих минералов (хлорита и серицита) (Кудрявцева, 1992)

Подытожим вышесказанное третьим защищаемым положением:

Рудные тела месторождений Салаирское и Каменушинское были сформированы в два этапа. На конседиментационном этапе были образованы основные рудные залежи. Рудообразование сопровождалось широким развитием околорудных метасоматитов кварц-серицитовой формации. Последующий региональный динамотермальный метаморфизм привел к частичному перераспределению и преобразованию рудного вещества. Гидротермально-осадочный генезис сульфидов подтверждается проведенными минераграфическими исследованиями и изотопным составом сульфидной серы.

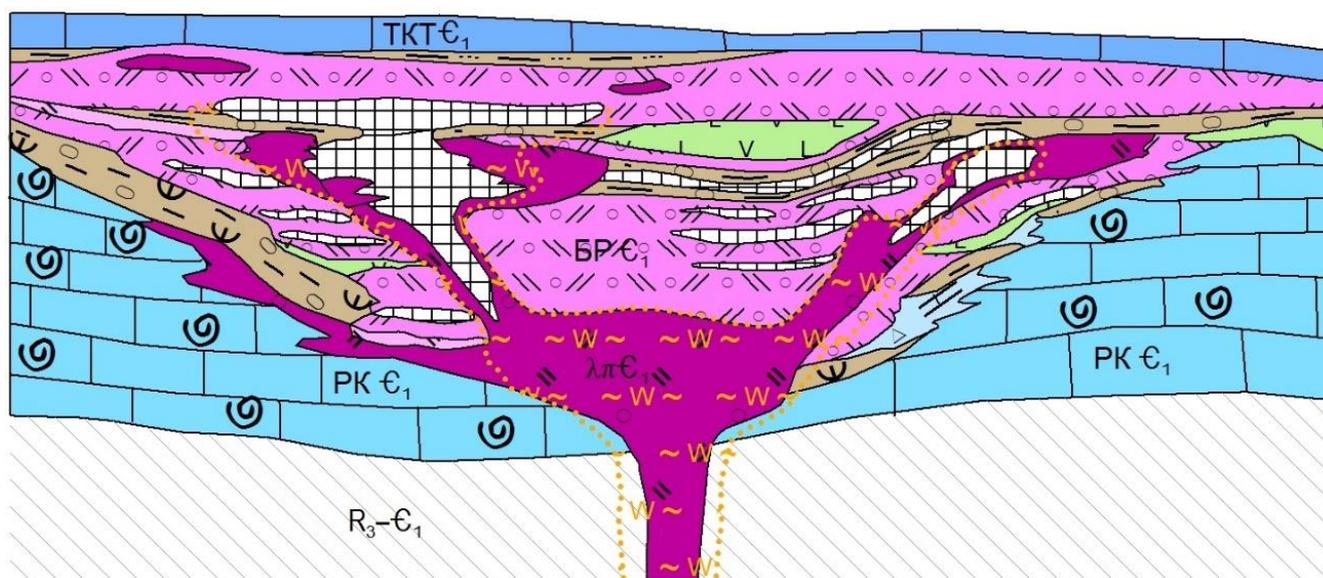
5. ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ ЭТАЛОННЫХ ОБЪЕКТОВ И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ САЛАИРСКОЙ МЕТАЛОГЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ НА ЗОЛОТО- СЕРЕБРО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОЕ ОРУДЕНЕНИЕ

5.1. Прогнозно-поисковая модель полиметаллических объектов в вулканогенных ассоциациях

Методика построения прогнозно-поисковых моделей разработана сотрудниками ЦНИГРИ (Кривцов, 1995), в дальнейшем опробировалась и дорабатывалась на Рудном Алтае (Кузнецов, 2011; и др.), где для Березовогорского рудного поля была использована в диссертационной работе Серавиной Т.В. (Серавина, 2016). Для Салаирского кряжа данная методика впервые была применена автором.

На ранних стадиях поисковых работ, наиболее оптимально применять *параметрические модели*, в которых геологическое пространство, заключающее месторождение, охарактеризовано системой соподчиненных элементов, признаков и критериев, получивших применительно к различным его частям, количественные (параметрические) оценки.

В соответствии с методикой на эталонных месторождениях нами выделены следующие части (зоны): собственно, рудоносная (РМ), рудоносная фланговая (РФ), собственно надрудная (НРМ), надрудная фланговая (НРФ), надрудная периферийная (НРП), собственно подрудная (ПРМ), подрудная фланговая (ПРФ) и подрудная периферийная (ПРП). Каждая зона описывается системой факторов и признаков, в число которых входят: стратиграфо-литолого-фациальные, магматические и структурные. Также учитываются такие характеристики, как: состав, зональность и интенсивность гидротермально-метасоматических изменений; морфология, состав и положение рудных тел в структурах месторождений и разрезах рудовмещающих толщ; геохимические и геофизические аномалии, сопровождающие месторождения. Модели содержат таблицы характеристик и параметрических показателей поисковых признаков, а также геометризованную геолого-поисковую модель месторождения (Рисунок 10), выполненную на основе палеореконструкционных профилей с фациальной нагрузкой.



Условные обозначения см. рисунок 1

Рис. 10. Геометризованная модель месторождения Салаирское

Структурно-формационный анализ основывается на геологических материалах. Формационное расчленение вулканогенно-осадочных комплексов позволяет выделить рудоносные формации, вмещающие колчеданно-полиметаллические месторождения. В данном случае

наиболее продуктивной является контрастная базальт-риолитовая формация нижнего кембрия (верха печеркинской свиты). В пределах рудоносной формации выделены субформации, которые соответствуют набору фаций вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород. Изучение петрохимических особенностей вулканогенных пород показывает, что они характеризуются: значительной дисперсией в содержании основных породообразующих окислов, пересыщенностью кремнекислотой и глиноземом; низким содержанием кальция и щелочей; преобладанием натрия над калием.

Литолого-фациальный анализ основан на разделении вулканогенных и вулканогенно-осадочных толщ на жерловую, околожерловую, промежуточную и удаленную фациальные зоны. К удаленным и промежуточным фациальным зонам обычно приурочено золото-серебро-полиметаллическое оруденение стратиформного типа, а жерловым и околожерловым, характерным для подводных каналов, свойственно оруденение штокверкового и брекчиевидного облика.

Палеоструктурный и металлогенический анализы помогают определить условия первичного накопления рудного вещества и зональность в распределении рудно-формационных и минеральных типов месторождений и выявлять на этой основе обстановки и типы прогнозируемых рудных полей и месторождений. Рудные поля, как правило, приурочены к структурам проседания (понижениями в палеорельефе). В сложнопостроенных вулкано-тектонических депрессиях, контролирующими рудные районы, они занимают различное положение по отношению к поднятиям, имеющим вид вулканических построек, сложенных кремнекислыми вулканитами, а именно: межвулканическое, надвулканическое и склоновое. И отличаются друг от друга морфологией, размерами и составом выполняющих их отложений.

Первичные геохимические ореолы на Салаирском кряже сопровождаются повышенными содержаниями Cu, Zn, Pb, Ag, Mo, Co, Ba, As, Cd, Bi, Sn, V, Mn, Cr. Ряд элементов (V, Mn, Cr, Co), помимо участия в составе рудных зон, могут формировать ореолы выщелачивания с перераспределением в зонах околорудных метасоматитов в виде слабоконтрастных ореолов привноса.

Зональность ореолов весьма однотипна как по латерали, так и по мощности ореолов. Латеральная (продольная) зональность ореолов имеет центробежно-концентрический тип (Баранов, 1987) с локальными центрами, которые отвечают зонам подводных каналов. В целом, латеральная зональность первичных ореолов Салаира близка к ряду осевой зональности, установленному для медно-колчеданных месторождений: Mo, Co, Cu, Zn, Pb, Ag, As, Ba (Григорян, 1987).

Вторичные геохимические ореолы. Новые возможности обнаружения колчеданно-полиметаллических объектов в сложных ландшафтно-геологических обстановках открывает применение ионно-сорбционного метода литохимических поисков, который разработан в ЦНИГРИ (Миляев, 2017; и др.). Апробация метода на территории Салаирского кряжа проводилась при непосредственном участии автора.

Анализ почвенных вытяжек позволил установить над проекцией рудных зон рудопроявления Вершинное слабоконтрастные ореолы рассеяния Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb, Cd, Ba. Усиление слабых аномалий достигалось сглаживанием данных анализа методом «скользящего среднего» с числом точек в окне равным 3 с последующей мультипликацией рудных компонентов. Уровень максимальных значений комплексных показателей превышает фон в 25 раз. Ширина выявленных аномалий 160–180 м.

Выполненные геофизические исследования на северо-восточном Салаире показали, что рудные поля полиметаллических месторождений отчетливо проявляются в естественных и, особенно, вызванных электрических полях в виде линейных вытянутых зон, при соотношении длины к ширине 4:1–6:1. Размеры аномальных зон по простиранию достигают нескольких километров, а вкрест простирания до 1–1,5 км (Мурзин, 2017).

Поисковые геофизические признаки полиметаллического оруденения Салаирской металлогенической зоны:

- Положительные локальные линейно вытянутые в направлении основных геологических структур магнитные и гравитационные аномалии третьего (или выше) порядка на общем пониженном фоне, а также аномалии кажущегося электрического сопротивления.
- Локальные линейно вытянутые в направлении основных геологических структур отрицательные аномалии комплексных мультипликативных показателей K^*Th/U .
- Повышенные значения ($>2\%$) поля вызванной поляризации.

5.2. Оценка перспектив Салаирской металлогенической зоны на золото-серебро-полиметаллическое оруденение

На основе разработанной прогнозно-поисковой модели и комплекса поисковых критериев и признаков, с учетом фактического материала по вещественному составу рудоносных вулканогенно-осадочных пород, зон околорудных метасоматитов и руд проведена прогнозная оценка Салаирского, Еловско-Которовского, Пуштулимского и Огнево-Романовского рудных районов Салаирской металлогенической зоны. В результате выделен ряд перспективных площадей на обнаружение колчеданно-полиметаллических месторождений салаирского типа. На выделенных площадях нами проведены опережающие геохимические работы ионно-сорбционным методом. АО «СНИИГГиМС» выполнены заверочные буровые работы в небольшом объеме. Наиболее перспективным является Огнево-Заимковское рудное поле, входящее в состав Огнево-Романовского рудного района, изученность которого в настоящее время остается недостаточной.

По результатам опережающих и заверочных работ, литолого-фациального и петрохимического анализов, изучения геологической обстановки выявлено, что в пределах сопоставляемых рудных районов в разной мере развиты те же формации, что и на территории Салаирского рудного района. Огнево-Романовский и Еловско-Которовский рудные районы сложены отложениями верхней контрастной базальт-риолитовой формации нижнего кембрия, а в пределах Пуштулимского рудного района развиты отложения нижней, последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации.

Таким образом если оценивать рудные районы Салаирской металлогенической зоны в целом, наиболее перспективными на обнаружение колчеданно-полиметаллических месторождений являются Огнево-Романовский, Еловско-Которовский и Салаирский рудные районы. Далее более подробно рассмотрены перспективы Огнево-Заимковского рудного поля.

Петрохимический анализ вулканогенных пород Огнево-Заимковского и Салаирско-Каменушинского рудных полей проведен на основании построений диаграмм в координатах $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$, K_2O-Na_2O , $CaO-(FeO+Fe_2O_3)-MgO$, по которым можно судить о схожести рассматриваемых объектов.

Для вулканитов Огнево-Заимковского рудного поля характерно: преобладание пород кислого состава над основными; повышенные содержания в них железа, магния, кальция; отношение к натриевой серии, хотя часть пород попадают в поле калиевой серии.

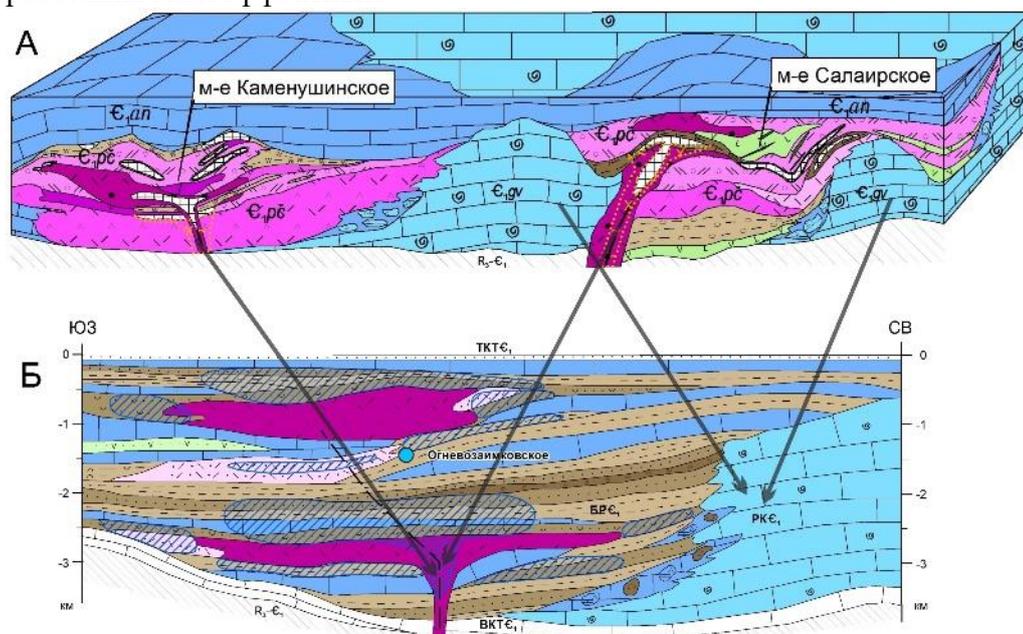
Анализ распространения жерловых, околожерловых, промежуточных и удаленных фациальных зон вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород показывает, что в пределах крупной вулканотектонической депрессии, соответствующей Огнево-Романовскому рудному району, выделяются две более мелкие вулканические структуры (западная — Романовская и восточная — Огнево-Заимковская), которые, определяют положение рудных полей с продуктами рудовмещающей базальт-риолитовой формации. В породах формации, по аналогии с Салаирским рудным районом, прогнозируется верхний уровень колчеданно-полиметаллического оруденения (Рисунок 11).

В строении рудного поля принимают участие риолиты и их туфы, в нижней части горизонта с жилами и линзами барита и вторичных кварцитов, а также жилами кристаллического кальцита. Среди кислых эффузивных пород в виде прослоев залегают терригенные и терригенно-карбонатные осадочные породы с примесью пирокластического материала, аналогичные которым также являются перекрывающими для данного поля.

На основании сходства выявленных признаков локализации полиметаллического оруденения перспективной Огнево-Заимковской площади с изученным Салаирско-Каменушинским

рудным полем рекомендована постановка геолого-поисковых работ на выявление промышленных руд Салаирского типа.

Использование результатов ионно-сорбционного геохимического метода как прямых поисковых признаков обнаружения колчеданно-поли-металлической минерализации позволило дать прогноз наличия скрытой рудной минерализации на участке, входящем в состав Салаирско-Каменушинского рудного поля, между месторождением Каменушинское и рудопроявлением Вершинное (расположено около 4 км северо-западнее). Участок перекрыт неоген-четвертичными отложениями мощностью от 3–5 до 20–30 м. В условиях повышенной мощности рыхлых отложений проведение традиционной литохимической съемки по вторичным ореолам рассеяния малоэффективно.



Условные обозначения см. рисунок 1

Рис. 11. Сопоставление палеореконструкций изученного Салаирско-Каменушинского рудного поля (А) и перспективной Огнево-Заимковской площади (Б)

Проведенная на участке ионно-сорбционная съёмка позволила установить слабоконтрастные ореолы рассеяния Cu, Zn, Pb, Ag, As, Sb, Cd, Ba. Ось наиболее контрастной аномалии Cu×Zn×Pb×Ba на двух ближайших к месторождению Каменушинское профилях имеет резкий разворот в запад-северо-западном направлении. Ширина аномалии составляет 500 и 300 м при максимальных значениях геохимического показателя, в десятки-сотни раз превышающих фон.

Вторая группа из трех аномалий прослеживается в юго-восточном направлении от рудопроявления Вершинное. Ширина аномальных зон составляет 120–180 м с максимальными значениями геохимического показателя в десятки раз выше фона. По геофизическим данным в центральной части участка зафиксировано крутопадающее тектоническое нарушение, которое отмечено на геологическом продольном разрезе (Каменушинское-Вершинное).

Итак, можно сформулировать четвертое защищаемое положение:

Созданы прогнозно-поисковые модели месторождений Салаирско-Каменушинского рудного поля, на ее основе разработан комплекс поисковых критериев и признаков: формационных и петрологических, структурно-тектонических, литолого-структурных, рудно-формационных, метасоматических, минералогических, геохимических и геофизических. Определены методы опознавания элементов моделей.

На основе применения моделей осуществлён прогноз возможности выявления новых рудных тел на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений, а также выделены новые перспективные площади в пределах Салаирской металлогенической зоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данной диссертационной работы были детально изучены условия локализации золото-серебро-полиметаллического оруденения Салаирско-Каменушинского рудного поля с использованием современных подходов и технологий цифровой картографии, а также с применением опе-

режающего геохимического ионно-сорбционного метода, хорошо зарекомендовавшего себя в других регионах.

Проведено литолого-фациальное расчленение рудовмещающих пород, слагающих Салаирский рудный район и Салаирско-Каменушинское рудное поле, с точки зрения удаленности от центров вулканизма, с выделением жерловой, околожерловой, промежуточной и удаленной фациальных зон. Построены палеорекострукции разных металлогенических рангов (рудный район, рудное поле, месторождения) на основе литолого-фациального и палеоструктурного анализов. Проведен петрохимический анализ вулканогенных пород Салаирского рудного района.

В результате обоснована неоднородность вулканогенно-осадочного разреза печеркинского вулканического комплекса и циклический характер проявления вулканической активности в нижнем кембрии. Для Салаирского рудного района, представляющего собой крупную вулканотектоническую депрессию, эта неоднородность заключается в двух этапах формирования, которые соответствуют двум циклам вулканической активности в конце раннего кембрия.

На первом (раннем) этапе сформировалась крупная вулканотектоническая депрессия протяжённостью ~45 км, занимающая основную часть территории Салаирского рудного района и выполненная вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами последовательно дифференцированной базальт-андезит-дацит-риолитовой формации, являющейся нижним уровнем рудовмещающей печеркинской свиты. Месторождения Салаирское и Каменушинское сформировались в локальных палеовпадинах, осложняющих крупную вулканотектоническую депрессию на позднем этапе, связанном с вулканитами контрастной базальт-риолитовой формации натровой серии, с высоким содержанием железа и преобладанием пород кислого состава над породами основного. Отложения позднего этапа, выполняющие локальные впадины, находятся в одном латеральном ряду с крупными рифогенными постройками, сложенными в основном археоциатовыми и водорослевыми известняками. Отложения позднего этапа являются наиболее продуктивными по концентрации рудного вещества.

Построен продольный разрез через Салаирское структуру на котором видно, как рудные зоны некоторых месторождений (ранее считавшихся отдельными) сливаются в единые, показана целесообразность присвоения Салаирскому рудному полю ранга месторождения, включающего ряд рудных зон: Кварцитовая Сопка, Первомайская, I-Рудник, II-Рудник, III-Рудник, Спорное, Александровское и Слепое. Сделан вывод, что месторождения Салаирское и Каменушинское по своим размерам, а также схожести литолого-фациального состава и химизма пород образуют единое рудное поле.

Установлена связь различных морфологических типов рудных тел с определенными фациями пород. Штокверковые рудные тела отвечают подводящим каналам и приурочены к породам кислого состава жерловых фациальных зон, а линзообразные и пластовые тела, расположенные либо проксимально над подводящими каналами, либо дистально на некотором удалении от них, приурочены к вулканогенным и вулканогенно-осадочным породам промежуточных и удаленных от центров вулканизма фациальных зон.

Детально изучена рудная минерализация рудной зоны Первомайское, месторождения Салаирское. Выделены два этапа рудообразования: конседиментационный, во время которого были образованы основные гидротермально-осадочные рудные залежи с широким развитием околорудных метасоматитов кварц-серицитовой формации и последующий метаморфогенный, сопровождавшийся частичным перераспределением рудного вещества. Проведенные впервые для данного объекта изотопные исследования серы сульфидов подтвердили вулканогенно-гидротермально-осадочное происхождение сульфидных залежей.

Разработаны поисковые критерии и признаки колчеданно-полиметаллического оруденения применительно к Салаирской металлогенической зоне и созданы параметрические прогнозно-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений Салаирско-Каменушинского рудного поля. На основе разработанных моделей дан прогноз новых рудных тел на флангах и глубоких горизонтах известных месторождений, а также новых месторождений в рудных районах Салаирского кряжа. По наиболее перспективным объектам разработаны прогнозные карты-врезки, графики, планы и разрезы, даны рекомендации по направлениям геологоразведочных работ.

По мнению автора, выполненная диссертационная работа может быть весьма полезной при постановке дальнейших геологоразведочных работ. Развитие и наращивание добычи полиметаллов, а также золота и серебра в пределах Салаирского кряжа реально при возобновлении геологических исследований на данной территории с охватом всех перспективных участков в разных рудных районах металлогенической зоны. Тем более, что в благоприятных ландшафтных, природно-климатических и географо-экономических условиях Салаира даже небольшие по запасам месторождения, расположенные вблизи от действующих рудников, будут вызывать большой интерес недропользователей.

ПЕРЕЧЕНЬ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых журналах, входящих в Перечень ВАК

1. Серавина Т.В., **Инякин А.В.**, Кузнецов В.В., Мурзин О.В., Зяятдинов М.Р., Конкина А.А., Кудрявцева Н.Г. Особенности и условия накопления вулканогенно-осадочных отложений нижнего кембрия (Салаирский кряж) // Отечественная геология. 2017. №2. С. 22-30.

2. **Инякин А.В.** Геолого-структурная позиция и обстановки локализации колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля (Салаирский Кряж) // Руды и металлы. 2018. №2. С. 66-76.

3. **Инякин А.В.** Литолого-петрографические особенности различных фаций вулканогенно-осадочных пород и последовательность формирования колчеданно-полиметаллических руд Салаирско-Каменушинского рудного поля (Салаирский Кряж) // Руды и металлы. 2019. №2. С. 61-72.

Материалы научных конференций и тезисы докладов

4. **Инякин А.В.** Особенности геологического строения и условия локализации полиметаллических месторождений Салаирского рудного поля (Салаир) // Материалы Шестой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования». ИГЕМ РАН, 2016. – Электрон. дан. С. 134-136.

5. **Инякин А.В.**, Зяятдинов М.Р., Серавина Т.В. Прогнозно-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений Салаирского кряжа. // VII Научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений цветных и благородных металлов, алмазов – состояние и перспективы», ФГУП ЦНИГРИ, Москва. Тезисы докладов. 2017. С.70-71.

6. **Инякин А.В.** Прогнозно-поисковые модели колчеданно-полиметаллических месторождений Салаирско-Каменушинского рудного поля. // VIII Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков и оценки месторождений алмазов благородных и цветных металлов», ФГУП ЦНИГРИ, Москва. 2018. Тезисы докладов. С.131-132.

7. **Инякин А.В.** Условия локализации полиметаллического оруденения Салаирско-Каменушинского рудного поля, Салаирский кряж. // IX Международная научно-практическая конференция «Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов», ФГБУ ЦНИГРИ, Москва. 2019. Тезисы докладов. С.173-174.

Подписано в печать 11.02.2020 г.
Формат бумаги 31x30 ½
Тираж 99 экз.

Полиграфическая база ФГБУ «ЦНИГРИ»
117545, Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1