

На правах рукописи

ГУСЕВ Анатолий Иванович

**ЗОЛОТОГЕНЕРИРУЮЩИЕ
МАГМО-РУДНО-МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ**

Специальность: 04.00.11 – геология, поиски и разведка рудных и
нерудных месторождений; металлогения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск-2000

Работа выполнена в ФГУП «Горно-Алтайская поисково-съёмочная экспедиция» и Томском политехническом университете

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.Ф.Коробейников

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор И.В.Кучеренко

доктор геолого-минералогических наук,
Л.П. Рихванов

Ведущая организация: Сибирский Научно-Исследовательский институт
геологии, геофизики и минерального сырья, г.Новосибирск

Защита диссертации состоится 28 июня 2000 года в 16 часов в 210 аудитории 1 корпуса на заседании диссертационного совета Д 063.80.08 при Томском политехническом университете по адресу: 634034, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке университета.

Реферат разослан 26 мая 2000 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета

П.С. Чубик

ВВЕДЕНИЕ

А к т у а л ь н о с т ь т е м ы. На территории Горного Алтая отрабатывается единственное Синюхинское месторождение золота. Расширение золотодобывающей промышленности Алтая возможно за счёт вовлечения и освоения месторождений и многочисленных проявлений золота, широко распространённых в Горном Алтае и особенно в северо-восточной части территории и представляющих ещё не раскрытый потенциал региона. Актуальность проведенных исследований определяется необходимостью комплексного изучения потенциальных магматических образований, связанного с ними оруденения и сопровождающих их метасоматитов.

Ц е л ь р а б о т ы. Изучение золотоносных магмо-рудно-метасоматических систем (МРМС) северо-восточной части Горного Алтая и разработка критериев их прогнозной оценки.

З а д а ч и и с с л е д о в а н и й. 1. Геолого-петрологическое и геохимическое изучение магматических образований северо-восточной части Горного Алтая, потенциально перспективных на генерирование золотого оруденения. 2. Минералого-геохимическое исследование месторождений и проявлений золота региона. 3. Выявление зональности оруденения, сопровождающих их метасоматитов и геохимических ореолов. 4. Комплексная прогнозная оценка золотоносности МРМС северо-восточной части Горного Алтая, в том числе и по зональности отдельных ингредиентов этих систем.

Ф а к т и ч е с к и й м а т е р и а л р а б о т ы. В основу работы положены результаты полевых, камеральных и лабораторных исследований, выполненных автором в течение 1991-2000 г.г. в процессе проведения поисковых, тематических работ и ГДП-200. Магматические образования и оруденение золота изучены на месторождениях Баяниха, Сухой Лог, Синюхинском, Чойском, Ульменском, Майском, Башчелакском и многочисленных проявлениях Горного Алтая. Составлены прогнозно-металлогенические карты масштаба 1: 200 000 (ГДП-200) листов М-45-III, N-45-XXXIII (новая серия), выполнено крупномасштабное прогнозирование (1:5000) в Синюхинском рудном поле. Изучено и задокументировано более 10 000 погонных метров скважин по Синюхинскому и Чойскому рудным полям (более 150 скважин) и 1200 погонных метров штолен. На площадь более 15 кв.км. по Синюхинскому рудному полю выполнены геохимические площадные работы масштаба 1: 5 000 (по вторичным ореолам). Изучено более 4500 шлифов и аншлифов магматических и рудных образований, отобрано и проанализировано различными методами более 25000 проб руд, минералов и горных пород. В работе использованы результаты лабораторных исследований: рентгеноструктурный - 69, рентгеноспектральный микрозондовый - 365,

масс-спектрометрический анализ изотопов стронция - 20, изотопов серы - 46, микрозондовые определения (Camebax) составов биотитов - 208, роговых обманок - 54, химических анализов гранатов, пироксенов, волластонитов, пиритов, борнитов, халькопиритов - 123, температуры гомогенизации и состав газовой-жидких включений в минералах - 64.

О с н о в н ы е з а щ и щ а е м ы е п о л о ж е н и я. 1. Золотоносные магмо-руднометасоматические системы северо-восточной части Горного Алтая формировались в три металлогенические эпохи: каледонскую, герцинскую и мезозойскую.

2. Рудогенерирующий магматизм в изученных МРМС представлен мантийными магмами с различной степенью контаминации коревого материала и различным флюидным режимом.

3. Минералого-геохимическая зональность выделенных МРМС является основой для прогнозной оценки золотого оруденения.

Н а у ч н а я н о в и з н а. 1. Обосновано отнесение золотоносных гранитоидов к конкретным интрузивным формациям. 2. Выделены фазы внедрения магматических дериватов в рудогенерирующих гранитоидных массивах. 3. Дана петрология магматических образований, определены некоторые параметры флюидного режима, определяющие рудогенерирующий потенциал. 4. Описаны минеральные ассоциации, температурный и флюидный режим золотого оруденения, освещены вопросы зональности и генезиса оруденения. 5. Создано новое поэтапное металлогеническое районирование с учетом выделенных МРМС.

П р а к т и ч е с к о е з н а ч е н и е. Проведенные исследования дополняют геологическую изученность Горного Алтая. Разработана прогнозно-поисковая модель золото-медно-скарнового оруденения на примере эталонной Сингохинской МРМС с учетом всех изученных в Горном Алтае и обосновано более широкое распространение в регионе жильного и штокверково-жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения. Дана прогнозная оценка ресурсов золота категорий P_1 и P_2 : в пределах Синюхинского, Ишинского, Чойского, Ашпанакского, Ульменского и других рудных полей. Конкретные рекомендации по Синюхинскому, Ашпанакскому и Чойскому рудным полям переданы руднику "Весёлый", который приступил к отработке жильно-штокверкового золото-сульфидно-кварцевого оруденения участка Черёмуховая Сопка и золото-теллуридно-скарнового оруденения Центральной зоны Чойского месторождения. Выявленные признаки и критерии золотого оруденения Горного Алтая могут быть использованы и в других регионах, близких по своим геологическим характеристикам.

А п р о б а ц и я р а б о т ы и п у б л и к а ц и и. Результаты исследований докладывались на IV Международном Симпозиуме Геодинамическая эволюция Палеоазиатского океана (г. Новосибирск) в

1993г., на 4 Международном Симпозиуме по поисковой геохимии (г.Иркутск) в 1994г., на научно-практических конференциях "Золото Алтая: история и современность (г. Барнаул) в 1995г., и "Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области" (г. Новокузнецк) в 1995г., "Историческая и современная картография в развитии Алтайского региона" (г. Барнаул) в 1997г., "Минерально-сырьевая база Республики Алтай: состояние и перспективы развития" (г. Горно-Алтайск) в 1998г., "Актуальные вопросы геологии и географии Сибири" (г. Томск) в 1998 г., на II Всероссийском металлогеническом совещании "Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика" (г. Иркутск) в 1998 г., на международной конференции "ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территорий" (г. Барнаул) в 1998г., на региональных конференциях "Проблемы металлогении юга Западной Сибири" (г. Томск) в 1999г., "Геологическое строение и полезные ископаемые Западной части Алтае-Саянской складчатой области" (г.г. Кемерово-Новокузнецк) в 1999 г., на симпозиуме "Золото Сибири" (г. Красноярск) в 1999г., на V и VI Всероссийских совещаниях "Компьютеризация обеспечения работ по созданию Государственной геологической карты Российской Федерации" (г. Ессентуки) в 1998г., и "Геологическое картирование и прогнозно-металлогеническая оценка территорий средствами компьютерных технологий (г. Красноярск) в 1999г., на научно-практической конференции: "300 лет горно-геологической службы России: история горнорудного дела, геологическое строение и полезные ископаемые Алтая" (г. Барнаул) в 2000г. Материалы, положенные в основу диссертации, опубликованы в 29 печатных работах и 6 производственных отчетах.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из Введения, шести глав и Заключения. Она содержит 179 страниц машинописного текста, 33 рисунков, 41 таблицы. В списке литературы 180 наименований.

В процессе выполнения работы весьма ценную помощь автору оказали Е.А. Киселев, Ю.К. Березиков, Н.П. Бедарев, Н.И. Гусев, В.В. Шкиль, Н.П. Стародубцев, Г.Н. Барчан, О.С. Корольченко, Л.П. Карабицина, В.С. Рузаев, Н.А. Шушумкова, Ю.А. Щеткин, А.А. Емельянов, С.И. Федак, О.В. Первухин, Ю.А. Туркин, Г.А. Поважук, А.И. Сидоров, О.К. Жуйкова, О. Колонакова. Всем названным коллегам автор выражает искреннюю признательность и благодарность за помощь в выполнении исследований, советы, поддержку и ценные критические замечания. Автор признателен за помощь, консультации по разным вопросам и ценные замечания доктору геолого-минералогических наук, Л.В. Алабину, доктору геолого-

минералогических наук Н.А.Рослякову, доктору геолого-минералогических наук В.Л. Хомичеву, кандидатам геолого-минералогических наук В.Г. Ворошилову, Ю.С. Ананьеву, С.П. Шокальскому.

Автор глубоко признателен своему научному руководителю, доктору геолого-минералогических наук, профессору А.Ф. Коробейникову за внимание к работе, её критику и всестороннюю помощь в её выполнении.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Излагается цель работы, её актуальность и практическая значимость.

Глава 1. Показывает состояние проблемы в мире и в Алтайском регионе. МРМС играют важную роль в генетическом понимании формирования месторождений полезных ископаемых, в том числе и золота, как единых структурно-вещественных динамических систем, объединяющих результаты функционально взаимосвязанных процессов магматизма, метасоматоза и рудообразования. В регионе отдельные аспекты МРМС изучались многими исследователями. Обосновывается комплексное изучение МРМС. Последние имеют зональное строение, что позволяет использовать пространственные закономерности этих систем для прогнозной оценки и проведения поисков и разведки золоторудных объектов северо-восточной части Горного Алтая.

Глава 2. Изложена методика проведения полевых, камеральных, лабораторных и картосоставительских работ. Показаны особенности металлогенического районирования территории и прогнозирования с использованием комплекса предпосылок и признаков оруденения и зональности МРМС.

Глава 3. Кратко освещает особенности геологического строения территории. Геологическое строение региона рассмотрено исходя из комплекса палеосхем геологического районирования территории по событийно-временным уровням. Осадочные структуры районированы с использованием фациального бассейнового анализа: седиментационный палеобассейн фациальная зона фациальная подзона. Стратиграфические подразделения в широком временном интервале описаны по приведенным бассейнам седиментации.

Для районирования магматических палеоструктур принята иерархическая последовательность: вулканоплутонический пояс сектор пояса Вулканический (плутонический) ареал. Ранжирование плутонических вещественно-временных комплексов традиционно: комплекс фаза формирования (внедрения) фаза кристаллизации

(внутрикамерная). Всего описано 19 интрузивных комплексов от нижнего кембрия до нижней юры и два метаморфических комплекса (белокурихинский и кебезенский).

Тектоника района представляется как фрагмент складчатоглыбовой системы Алтая, пережившей полициклическую и мультистадийную эволюцию, предопределившую сложный сценарий развития. История формирования системы по этому сценарию привела к созданию сложно структурированного мозаично-блокового коллажа с чешуйчато-надвиговым стилем тектоники, осложнённым более поздними крупноамплитудными и знакопеременными сдвиговыми перемещениями. Описаны крупные тектонические элементы региона: Уймено-Лебедской прогиб, Бийско-Катунское поднятие, Ануйский, Белокурихинский и Талицкий блоки, а также осложняющие их элементы более мелких порядков. Особое внимание уделено дизъюнктивным структурам различных порядков с акцентом на рудоконтролирующей роли некоторых из них.

Глава 4. Золоторудные магмо-рудно-метасоматические системы северо-восточной части Горного Алтая

Эндогенное золотое оруденение региона формировалось неоднократно от среднего кембрия до мезозоя. Выделяется три эпохи становления золотого оруденения: каледонская, герцинская и мезозойская.

К **каледонской эпохе** отнесены Барангольская, Майская, Ульменская МРМС. Последняя наиболее изучена. Магматическая составляющая *Ульменской МРМС* представлена гипабиссальным комплексом (ϵ_{2ul}) пород: пироксенитами, габбро, кварцевыми монцонитами и дайками гранодиоритов и сиенитов. Нижняя возрастная граница интрузивных образований комплекса определяется тем, что все дериваты его прорывают фаунистически охарактеризованные вулканогенно-терригенные отложения усть-семинской свиты (ϵ_{2us}). В полях развития более молодых отложений они не встречаются. В свою очередь породы ульменского комплекса интродуцированы плутоническими породами среднедевонского возраста. Калий-аргоновые определения абсолютного возраста габброидов по пироксену дают цифры от 478 до 509 млн. лет. Петро- и геохимические характеристики пород близки латитовой серии (по Л.В. Таусону). Соотношения изотопов стронция $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в кварцевых монцонитах и сиенитах варьируют от 0,70522 до 0,70413, отражая мантийные характеристики. Мультиэлементная модель умеренно контаминированных гранитоидов ульменского комплекса позволяет их относить к Sr- деплетированному и Y- деплетированному I -типу. Такая модель указывает на выплавление подобных магм из верхнемантийного

источника, в котором одновременно присутствовали гранат и плагиоклаз, а возможно происходила и контаминация мантийной магмой корового материала, обогащенного плагиоклазом. Низкие величины отношений $(La/Yb)_N$ в породах (от 3 до 15) свидетельствуют о слабом фракционировании редкоземельных элементов.

При температурах кристаллизации в интервале 720-790С все дериваты системы характеризовались весьма низкими значениями фугитивности кислорода, отношениями летучестей HF и HCl и высокими восстановленностью флюидов, летучестями и парциальными давлениями воды и углекислоты. Обращает внимание на себя высокая фугитивность HCl, которая считается одним из ведущих компонентов в переносе золота в растворах. Оптимальное сочетание параметров флюидного режима анализируемых магматитов определяет поле их кристаллизации вблизи никель-бунзенитовой буферной смеси. Высоко редуцированное состояние расплавов создаёт условия для кристаллизации таких аксессуаров, как ильменит и пирит. Известно, что в сильно восстановленных магмах сера присутствует в виде HS, которая более растворима в силикатных расплавах и способствует образованию сульфидных глобулей, селекционирующих золото из расплава. В силу дефицита серы в расплаве, основная масса золота переходит в гидротермальные растворы. Отделение водной газовой фазы из расплава, вследствие очень высоких коэффициентов распределения хлора между расплавом и газовой фазой, приводит к интенсивному высвобождению хлора из магмы. Последний, в силу высокой активности, образовывал комплексы, которые экстрагировали золото из магмы. Таким образом, флюидный режим магматической составляющей Ульменской МРМС мог способствовать образованию концентрированного золотого оруденения.

Золото-медно-скарновое оруденение в Ульменском рудном поле распространено на 9 участках: Центральном, Восточном, Западном, Каменном, Южном, Северном, Берёзово-Макарьевском, Первом, Нижнем. Скарны на большинстве участков являются биметасоматическим образованиями, приуроченными к контактам габброидов, диоритов, кварцевых монцонитов, сиенитов ульменского комплекса. На участках Западном и Берёзово-Макарьевском развиты инфильтрационные скарны среди полей усть-семинской свиты, контролируемые зонами разломов. Залежи скарнов наиболее изученного Центрального участка весьма разнообразны по составу: пироксеновые, гранатовые, пироксен-гранатовые, везувиановые, гранат-плагиоклазовые, волластонитовые, часто имеющие зональное строение. Мощности их колеблются от нескольких метров до нескольких десятков метров. Ретроградные скарновые изменения, наложенные на ранее образованные ассоциации, представлены актинолитом, тремолитом,

эпидотом, альбитом, магнетитом, кварцем 1 генерации. Местами отмечается сопутствующее оруденение бора в ассоциации аксинита, датолита, редко данбурита. Позднее происходило формирование агрегата кварца 2 в виде прожилков в ассоциации с альбитом и хлоритом. Обогащающая нагрузка включает вкрапленность, гнезда, прожилки халькопирита, борнита, халькозина, пирита, пирротина, реже - арсенопирита, халькопирротина, сфалерита, галенита, висмутита, тетрадимита, мелонита, алтаита в ассоциации с кварцем 3 генерации. Золото образует плёночки, комковатые, губчатые, крючковатые формы, изредка правильные октаэдрические кристаллики. Размеры выделений свободного золота от 0,2 до 5 мм. Пробность золота по 2 пробам составляет 920 и 970%. В местах проявления даек сиенитов резко улучшается оруденение. В таких участках содержание золота достигает 59,6 г/т, серебра 103 г/т, меди 10,4 %, висмута 0,08%. На участке Центральном выделено 6 мелких рудных тел мощностью от 12 до 80 м и прослеженной глубиной до 40 м. Среднее содержание золота в рудных телах 6,6 г/т, серебра 31 г/т, меди 4,2%, висмута 0,018%.

Определения изотопов серы сульфидов показывают незначительные отклонения от метеоритного стандарта (от +3,2 до +1,2‰) в пользу более тяжёлого изотопа. На фоне снижения температур кристаллизации минералов от скарнового этапа к наложенной минерализации заметно менялись параметры флюидного режима. Наибольшая контрастность отмечается для солёности флюидных включений. Она менялась от весьма высокой (более 45 вес.% NaCl) в скарнах, до низкой в ретроградных скарновых изменениях (4,1-5,2 вес.% NaCl) и весьма низкой в продуктивной минерализации (0,3-3,3 вес.% NaCl). Такая картина изменения солёности указывает на участие ювенильных флюидов магматогенного происхождения на первом этапе и смешение ювенильного и холодного разбавленного раствора на заключительных этапах. В составе летучих во флюидных включениях помимо CO₂, SO₂, HF, HCl существенную роль играл бор.

Рудные тела сопровождаются окolorудными метасоматитами тремолит-актинолитового, кварц-альбит-хлоритового (иногда с турмалином) и кварц-калишпат-кальцитового составов. Геохимическая структура аномалий сложная и включает золото, медь, серебро, висмут, бор.

Герцинская эпоха в регионе была самой продуктивной. В этот период были сформированы многие МРМС - Топольнинская, Караминская, Башелакская, Куртачихинская, Потайнухинская, Оюкская, Баранчинская, Чуринская, Ишинская, Ашпанакская и другие, которым дана сравнительная характеристика.

Промышленным эталоном для этого периода является *Синюхинская* МРМС. Она созидалась в краевой части Югалинского

(Синюхинского) многофазного массива. Он сложен 4 фазами (%): 1- габбро(8); 2- диоритами, кварцевыми диоритами(15); 3- тоналитами(60); 4- гранодиоритами и гранитами(17). Плутоногенная часть МРМС сопровождается дайками пёстрого состава (долеритами, диоритами, спессартитами, тоналитами, гранодиоритами, гранит-порфирами). Возрастная датировка плутоногенных образований принята по интродуированию ими кембрийских и ордовикских отложений, находкам галек гранодиоритов и диоритов этого комплекса в конгломератах кубойской свиты (D_1), а также по цифрам абсолютной датировки К-Аг методом (403-446 млн. лет по биотитам и роговым обманкам). По химизму гранитоиды системы относятся к андезитоидной серии. Они классифицируются I - типом Sr- не деплетированным, Y- деплетированным. Выплавление таких магм происходит из мантийного источника, обогащенного гранатом. Породы массива характеризуются натровой тенденцией химизма и андезитовым типом распределения РЗЭ. Последние имеют фракционированную модель распределения (отношения $(La/Yb)_N=10-20,7$), Анализ распределения РЗЭ и микроэлементов в дифференциатах массива не противоречит модели фракционирования интрателлурических фаз клинопироксена, роговой обманки, плагиоклаза, осложнявшейся ассимиляцией корового материала, обогащённого рубидием и другими элементами.

Давление при формировании габброидов (по соотношению Al_{IV}/Al_{VI} в роговой обманке) оценено в $3\div 6\cdot 10^2$ МПа, а для гранодиоритов в $0\div 3\cdot 10^2$ Мпа. Температуры кристаллизации гранитоидов определены в интервале 840-845°C. Фугитивности кислорода в них самые высокие среди золотогенерирующих гранитоидов региона при очень низких значениях восстановленности флюидов. Такие термодинамические параметры кристаллизации пород и их флюидный режим свидетельствуют о становлении гранитоидов Синюхинской МРМС выше магнетит-гематитового буфера. Специфика физико-химических условий глубинного магматического очага, генерировавшего дифференциаты массива отразилась и на его металлогении. Наряду с золотом Синюхинская МРМС генерировала и медное оруденение, которое как считают петрологи, более характерно для окисленного состояния магмы. Золото в ортомагаматических аксессуориях (в плутонических и дайковых образованиях) концентрируется в пирите (40-70 мг/т) и в магнетите (4-8 мг/т). Установлено, что если золото предпочтительно концентрируется в магматических сульфидах, чем в магнетите, то высоко окисленные магмы I- типа будут благоприятны для генерации комплексных медных и золото-обогащённых месторождений. Петрологические особенности синюхинских магамтитов действительно реализованы в комплексном золото-медном оруденении.

В рудном поле основное промышленное значение имеет золото-медно-скарновый тип. Второстепенную роль играют жильный золото-сульфидно-кварцевый и золото-сульфидный кварцево-штокверковый типы.

Золото-медно-скарновое оруденение. Основные инфильтрационные скарновые проявления имеют форму стратиформных залежей в контактах мраморов и туфов, реже лав андезитов и базальтов. Менее распространены биметасоматические скарны в контактах гранитоидов и мраморов. Мощности скарнов варьируют от 1,5 м до нескольких десятков метров, протяжённости от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Рудные тела в скарнах образуют залежи, гнёзда, ленты, рудные столбы. Мощности рудных тел от 1 до 20 м, протяжённости по простиранию от 10 до 400 м, по падению от 5 до 200 м. Средние содержания золота в рудных телах варьируют от 3,9 до 36,7 г/т, меди от 0,5 до 1,8%. Запасы золота категории C_1 - 5,2 т, C_2 - 28,6 т. Прогнозные ресурсы категории P_1 - 32,2 т.

Скарнообразование протекало в несколько стадий. В биметасоматических эндоскарнах первой стадии формировались геденбергитовые залежи, гнёзда, прожилки. Клинопироксен ассоциирует с плагиоклазом. В инфильтрационных экзоскарнах ранней стадии кристаллизовалась гранат-пироксеновая ассоциация. При этом пироксены являются маложелезистыми диопсидами (с содержанием геденбергитового минала от 3,8 до 13,5%), а гранаты - преимущественно грандитами варьирующего состава. В этой ассоциации отмечаются волластонит I и магнетит I. Во вторую стадию ретроградных скарновых изменений образовались несколько минеральных ассоциаций: в эндоскарнах по геденбергиту - альбит-эпидот-кварцевая с пиритом I и кварц II-хлорит-эпидотовая с магнетитом II, а в экзоскарнах - ортоклаз-кварц-эпидотовая с магнетитом II и пиритом I. Основная масса волластонита II сформировалась по мраморам. Наложённая золото-сульфидная минерализация представлена борнитом, халькозином, халькопиритом, пиритом II и III, золотом в ассоциации с кварцем III. Самородное золото I генерации встречается среди скарновых минералов в виде субмикроскопических плёнок, пластинок, и тонкодисперсной фазы. Наиболее тесный парагенезис отмечается с теллуридами висмута, свинца, никеля, где золото образует тонкую вкрапленность неправильных зёрен, редко - единичных кристалликов октаэдрического габитуса и их сростков. Пробность золота I высокая (920-999). В первом рудном теле Фаифановского месторождения встречено низкопробное золото второй генерации (620‰), в котором существенную долю составляет медь (32%), серебро (10%), висмут (5%). По результатам инверсионно-вольтамперометрического анализа (Коробейников,

Ворошилов, 1997) высокие концентрации платины, достигающие промышленных значений, определены в борнитсодержащих скарнах и борнит-халькозиновой руде. Ещё более высокие содержания платиноидов зафиксированы во флотоконcentратах (от 4,4 до 54 г/т Pt и от 5,5 до 40 г/т Pd).

Соотношение изотопов серы в сульфидах варьируют от -3,1 до +3,1. При этом в крупных рудных залежах величина $\delta^{34}\text{S}$ близка к метеоритному эталону, а в мелких происходит увеличение тяжёлого изотопа. Температуры кристаллизации минералов первой и второй стадий скарнового этапа дают широкий диапазон от 320 до 700 D. Гомогенизация газовой-жидких включений а кварце наложенной золото-сульфидной минерализации происходила при 240-190 D. На фоне снижения температур кристаллизации от ранних этапов к поздним менялся состав включений. Вначале это были рассолы с солёностью, превышавшей предел насыщения (более 26 вес. % NaCl) с дочерними минералами (сильвин, халькопирит, CaCl), а на заключительных стадиях солёность маточных растворов не превышала 3,5 вес. % NaCl. На основании минеральных парагенезисов и физико-химических условий их кристаллизации в скарнах выделяются волластонитовая, пироксен-гранатовая и пироксен-эпидотовая минеральные фации.

Рудные тела сопровождаются метасоматитами: актинолит-тремолит-мицзонитовыми, калишпат-эпидот-хлоритовыми, кальцит-цоизитовыми, кварц-альбитовыми, кварц-серицитовыми, близкими к березитам и пропилитами. В надрудном пространстве наблюдаются комплексные геохимические ореолы Au, Cu, Ag, Bi, Te и других элементов.

Фактический материал по Синюхинской МРМС не противоречит эндогенному рудогенезу в виде следующей модели (по А.А. Маракушеву, 1983). В промежуточном магматическом очаге в рудоматеринской магме происходила ликвация с разделением её на 3 фазы: гидротермальный раствор (источник площадных и околорудных метасоматитов), силикатную (источник порфировых даек) и флюидную или рудную магму (источник рудных залежей, жил, штокверков). В области рудообразования данные по флюидным включениям, изотопам серы сульфидов, температурам кристаллизации минералов свидетельствуют об участии ювенильных (скарны ранних стадий) и смешанных (ювенильных и вадозных) источниках флюидов (ретроградные скарновые изменения и наложенная золото-сульфидная минерализация). Это позволяет сделать вывод и о двойственном источнике металлов в рудах. Основная масса золота, возможно, имела мантийную природу. Не исключается и заимствование золота из вмещающих вулканических пород усть-семиинской свиты, о чём сообщалось Ю.Г. Щербаковым (1974). Одним из вероятных способов

образования многоярусных стратиформных залежей на месторождениях Синюхинской МРМС может быть механизм дилатансного нагнетания, по Р. Сибсону и др.(1988). Возможные способы образования "флюидных силлов", генерировавших стратиформные скарновые залежи, рассмотрены на примере формирования рудных тел №№2 и 5 Файфановского месторождения. Известковистые скарны формировались в восстановительной обстановке из постмагматических рассолов в щелочную стадию при температурах 450-700°C в мезоабиссальной фации глубинности при давлениях около 2 кбар. Гидродинамика и сценарий развития дилатансного нагнетания и трансформация "флюидных силлов" наглядно объясняют резкий контраст в температурах гомогенизации, солёности флюидов ранних скарнов, ретроградных изменений и наложенной минерализации путём смешения растворов из разных источников. Охлаждёнными и разбавленными флюидами могли быть растворы из нижних или соседних "флюидных силлов" после вскрытия их по системе разломов. Формирование продуктивного золото-сульфидного оруденения в скарнах связано с наложением на скарны процессов кислотной стадии. Возрастание кислотности растворов вначале приводит к кислотному выщелачиванию и образованию различных по составу метасоматитов. Затем в конце кислотной стадии осаждалось золотое и медное оруденение. Замещение скарнов рудными ассоциациями вызвано взаимодействием кислых металлоносных растворов с основной средой скарнов.

Мезозойская эпоха ознаменовалась преимущественным рекометалльным (Sn, Li, W, Mo, Nb, Ta) и эпитермальным орудением пятиэлементной формации (Ag, Co, Ni, Bi, U), ртути, скандия, флюорита. Однако, в последнее время к этой эпохе отнесено золото-теллуридно-скарновое оруденение Чойского и золото-сульфидно-кварцевое оруденение Тошанского рудных полей (Гусев, Первухин, 1999).

Чойская МРМС полихронная. Ранний этап её формирования связан с внедрением Чойской интрузии югалинского комплекса (S₂-D₁) с дериватами от габбро до трондьемита. Последовательно внедрившиеся фазы включают (%): габбро (1-2), диориты (22), тоналиты (25), гранодиориты (51), и лейкократовые трондемита (2). В составе лайковых образований (от долеритов до гранитов), сопровождающих массив, значительный объём составляют диориты и гранодиориты. Чойский массив прорван лейкократовыми гранитами турочакского комплекса (D₂). Завершающий этап формирования Чойской МРМС связан с внедрением даек чуйского комплекса (I₁), в котором значительный удельный вес составляют лампрофиры (минетты, вогезиты, одиниты, керсантиты, спессартиты) и долериты. Дайки

чуйского комплекса прорывают лейкограниты турочакского комплекса. Определения абсолютного возраста долеритов и лампрофиров комплекса в Чуйском ареале (U-Pb методом) дают цифры 185-195 млн. лет. По химизму лампрофиры комплекса обнаруживают близость к шшонитовой серии. Основное скарнообразование в рудном поле связано с растворами промежуточного очага после его ликвации и внедрения Чойской интрузии. Преобладающая часть золота, вероятно, обязана глубинному магматическому очагу, сформировавшему лампрофиры.

Кислые дериваты Чойской интрузии относятся к андезитовой серии и I-SCR типу сильно контаминированному и редуцированному. Термодинамические параметры кристаллизации кислых продуктов Чойской интрузии оцениваются в 610-730°C и общих давлениях 1÷3 МПа в промежуточных условиях между никель-бунзенитовой и магнетит-гематитовой буферными смесями. Флюидный режим гранитоидов характеризуется низкими значениями фугитивности кислорода, высокими показателями восстановленности флюидов, высокой летучестью и активностью HCl. Для даек керсантитов выявляется более высокие восстановленность флюидов, фугитивности воды, HCl, парциальные давления H₂O и CO₂. Высокая восстановленность флюидов и повышенная фугитивность HCl способствуют формированию высококонцентрированного рассола. Однако, дефицит серы в форме HS⁻ и некомпенсированность с хлоридами в расплавах должны создавать благоприятные условия для экстракции золота комплексными соединениями в гидротермальные растворы, что указывает на высокие потенциальные возможности рудогенерирующей роли Чойской МРМС.

В рудном поле проявлено сложное по составу и морфологическим особенностям оруденение: молибденит-шеелитовое скарновое, кварц-золото-теллуридное жильное, медно-цинк-золото-теллуридное стратиформное и золото-теллуридно-скарновое. Важнейшее значение в настоящее время имеет последнее.

Самая крупная Центральная скарновая залежь приурочена к межформационному несогласию, осложнённого трещиноватостью в плоскости контакта. Скарны гранатовые, пироксен-гранатовые, гранат-волластонитовые с более редкими скаполитом и везувианом. Ретроградные изменения выразились в тремолитизации, эпидотизации, хлоритизации, альбитизации ранних скарновых ассоциаций. Золото свободное, встречается в кварце в тесном парагенезисе с тетрадимитом и с более редкими хедлеитом, теллуrowисмугитом и самородным висмутом. Размер золотинок от 0,1 до 4 мм. Проба золотинок варьирует от 917 до 986‰. Основные примеси в золоте - Cu, Mo, Bi, Ag. Содержания в руде колеблются от 5 до 288 г/т. Среднее содержание в рудном теле

23,2 г/т. Соотношение изотопов серы в сульфидах (от -3,5 до +3,9 $\delta^{34}\text{S}$) позволяет предположить, что магматический источник, генерировавший оруденение Чойской МРМС, был не контаминированным мантийным.

Глава 5. Зональность магмо-рудно-метасоматических систем

В главе проведен системный анализ зональности МРМС от регионального до локального уровня.

Зональность Горного и Рудного Алтая

Предложен новый вариант металлогенической зональности региона. Базисным элементом районирования в предлагаемом варианте являются крупные блоки Алтайского региона, отвечающие бассейнам седиментации и вулcano-плутоническим поясам с интрузивными комплексами, отличающимися специфическими условиями петро- и рудогенеза, флюидного режима и различными спектрами генерации оруденения. Металлогеническая зональность при таком подходе для Алтая в большинстве таксонов оказалась более сложной и часто не совпадающей с традиционными СФЗ. За исключением Рудно-Алтайской металлогенической зоны, все остальные таксоны такого ранга имеют неправильные формы, близкие к изометричным и их логичней определять как металлогенические области.

В байкало-каледонский тектоно-магматический цикл были сформированы две золоторудные металлогенические области: Катунно-Лебедская и Коксинско-Курайская. Помимо золотого и традиционно известного оруденения в регионе прогнозируется оруденение типа SEDEX с повышенной золотоносностью в районе Курайского хребта.

В герцинский этап были созданы Рудно-Алтайская золото-колчеданно-полиметаллическая металлогеническая зона и две металлогенические области: Северо-Алтайская и Южно-Алтайская. Северо-восточная часть Горного Алтая отвечает Северо-Алтайской металлогенической области с эталонным Синюхинским золоторудным полем. В Южно-Алтайской железо-медно-золоторудной металлогенической области из нетрадиционных типов оруденения в терригенно-глинистых металлотектах богутинской и барбургазинской свит с обильной сульфидизацией и, инъецированных силами и дайками долеритов, прогнозируется эксгальационно-осадочное оруденение типа Бэсси, или Кизил-Деринский тип на Северном Кавказе, ранее исследованный автором.

В мезозойский этап помимо традиционных типов оруденения Кузнецко-Алтайского рудного пояса: телетермальной пятиэлементной формации, ртути, скандия, флюорита, впервые обосновывается золотое

оруденение Чойского и Тошанского рудных полей.

Зональность рудных районов

Проявляется относительно массивов гранитоидов, выступавших в роли генераторов металлоносных флюидов и энергетических источников. При этом в каждом рудном районе (Синюхинском, Солонешенском, Бащелакском, Элекмонарском) прослеживается определённая специфика проявления зональности.

В Синюхинском рудном районе в эпицентре зональности располагается рудогенерирующий Югалинский массив, а по его периферии располагаются рудные поля: Синюхинское, Ашпанакское, Ишиское. Последние локализованы только там, где дериваты массива характеризуются аномальными значениями флюидного режима (повышенная восстановленность флюидов, фугитивность HCl). В центре массива и на остальной его площади параметры флюидного режима характеризуются фоновыми значениями.

В Солонешенском рудном районе, объединяющем два рудных поля: Топольнинское золото-медно-скарновое и Солонешенское медно-полиметаллическое с золотом, расположенное к северо-западу от первого. Зональность рудного района проявлена относительно ареала наибольшей дифференциации топольнинского комплекса и имеет вектор зональности в северо-западном направлении со сменой оруденения в плане $\text{Au} \rightarrow \text{Au, Cu} \rightarrow \text{Cu, Pb, Zn} \rightarrow \text{Pb, Zn}$. Такой смене оруденения соответствует в этом же направлении изменение флюидного режима генерирующего магматизма от сильно восстановленного с большими величинами фугитивности HCl к сильно окисленному состоянию расплава с редуцированной ролью HCl и повышенной CO_2 .

Зональность рудных полей

Этот тип зональности наблюдается на многих рудных полях и является одним из важнейших критериев прогнозной оценки оруденения, а также выделения перспективных участков в пределах рассматриваемых таксонов.

Зональность Ульменского рудного поля проявляется относительно максимума развития различных дифференциатов одноимённого комплекса (участок Центральный). Здесь отмечены дайки сиенитов и гранодиоритов, которые не встречаются на остальных участках рудного поля. На Центральном участке максимально развиты биметасоматические скарны, а на периферии рудного поля преобладают инфильтрационные. Среди скарнов на Центральном участке в максимальных количествах отмечены датолит, данбурит, аксинит, которые совершенно отсутствуют на Берёзовско-Макарьевском, Северном, Каменном, Первом. Зональность распространения различных

метасоматитов в рудном поле отражает уровень эродированности гидротермально-метасоматической колонны. Центральный участок отличается максимальной распространённостью скарновых метасоматитов различного состава (наиболее эродирован), а на периферии МРМС появляются вторичные кварциты и значительную роль приобретают пропилиты и березиты.

Зональность Чойского рудного поля типична для полихронных и полиформационных МРМС. С наиболее ранними гранитоидами Чойского массива связано формирование биметасоматических и инфильтрационных скарнов рудного поля. Промежуточный магматический очаг, создавший пёстрый комплекс даек, вероятно, генерировал золотое оруденение раннего этапа в скарнах Центрального и Пихтового участков. С более поздним Бийским массивом лейкогранитов турочакского комплекса ассоциируют скарны с молибденит-шеелитовым оруденением Смородинного и Северо-Восточного участков. Заключительный этап формирования скарнов и наложенного оруденения связан с внедрением долеритов и лампрофиров чуйского комплекса, в контактах даек которого наблюдаются скарны с золоторудной минерализацией. Зональность рудного поля имеет вектор с юго-востока на северо-запад со сменой Mo, W, Au Au.

Зональность месторождений и рудных тел

Зональное строение рудных тел и месторождений выявлена на многих золоторудных объектах Горного Алтая: Синюхинском, Ульменском, Баянихе, Чойском, Майском и других. Характер проявления зональности на многих месторождениях однотипен. Однако наиболее детально зональность ранга рудных тел и месторождений изучена в Синюхинском рудном поле.

На Файфановском месторождении минералого-геохимическая зональность проявлена относительно узла сочленения Сквозного и Западного разломов. Относительно эпицентра закономерно положение многих минералов 1 и 2 стадий скарнового этапа и ретроградных скарновых изменений. Относительно указанного центра закономерно распространена сульфидная минерализация. Борнит, халькозин и халькопирит максимально развиты вблизи эпицентра, сфалерит, галенит, тетраэдрит, пирит трёх генераций - на периферии. Закономерно меняются типоморфные особенности гранатов, пироксенов, максимумы развития концентраций золота, меди, серебра, молибдена. Тренд изменения тяжёлого изотопа серы относительно фокуса зональности меняется от +3,1 до -2,6‰. Стереогеохимический анализ по рудному телу Файфановского месторождения указывает на закономерное увеличение более центробежных элементов от проксимальной к

дистальной фации оруденения. Пространственное положение максимумов развития металлов в ряду Au-Bi-Mo-Sb от подводящего канала может расцениваться как зональность I типа (по А.А. Маракушеву), где с переходом от внутренних зон к внешним металлы сменяют друг друга в последовательности нарастания их щелочных свойств. С возрастанием последних у металлов повышается миграционная способность в катионной форме.

Зональность метасоматитов отчётливо проявлена на Западно-файфановском участке, где над рудным телом локализованы актинолит-тремолит-миццонитовые метасоматиты, которые сменяются кварц-альбит-турмалиновыми и завершаются кварц-ортоклаз-кальцитовыми. Зональная колонна развита на расстоянии 250-400 м по вертикали. Аналогичные метасоматиты наблюдаются над рудными телами Первого Рудного и Файфановского месторождений.

6. Критерии и признаки прогнозной оценки МРМС и перспективы

Для различных и разновозрастных типов оруденения установлены специфические поисковые критерии и признаки. Каледонские золото-медно-скарновые объекты тяготеют к магматитам латитовой серии, герцинские - к гранитоидам андезитового типа, мезозойские - к роям долерит-лампрофировых даек чуйского и теректинского комплексов. Важное значение в оценке перспектив МРМС играет их зональность: рудогенерирующего массива (с оптимальными характеристиками флюидного режима), оруденения, сопровождающих его метасоматитов и геохимических ореолов. Для жильного золото-сульфидно-кварцевого оруденения определяющую роль играют разломы сдвиговой кинематики II порядка, оперяющие региональные дизъюнктивы, контролирующие размещение гранитоидных комплексов андезитоидной серии.

Анализ закономерностей размещения золотого оруденения позволил на основе выявленной зональности МРМС осуществить металлогеническое районирование территории и дать прогнозную оценку золота (категорий P_1 , P_2 и P_3) различным металлогеническим таксонам с акцентом на рангах рудных районов, полей и их участков.

Заключение

В результате проведенных исследований рассмотрены золотогенерирующие МРМС северо-восточной части Горного Алтая. Системный анализ позволил проанализировать разновременные МРМС региона с привлечением большого фактического материала по интрузивным комплексам, флюидному режиму рудогенерирующего магматизма и связанному с ним оруденению, сопровождающим метасоматитам. Установлена зональность МРМС в иерархической последовательности - региональной, рудных районов, рудных полей, месторождений и рудных тел. Решение указанных проблем позволило сделать ряд научных и практических выводов, дать прогнозную оценку северо-восточной части Горного Алтая.

К числу первоочередных объектов с рекомендацией получения лицензионных материалов отнесены: 1- юго-западный фланг Синюхинского рудного поля, а также участки Черёмуховая Сопка, Скважинный, Чир для проведения разведочных работ на кварцево-штокверковый золото-сульфидно-кварцевый тип оруденения (для отработки по схеме кучного выщелачивания); 2- прогнозируемое Ашпанакское золоторудно-россыпное рудное поле на кварцево-штокверковый золото-сульфидно-кварцевый тип оруденения; 3- прогнозируемое Ишинское рудное поле для проведения поисковых работ на золото-медно-скарновый и золото-сульфидно-кварцевый типы оруденения; 4- Чойское рудное поле для проведения поисковых и разведочных работ на золото-теллуридно-скарновый тип оруденения; 5- прогнозируемое Чуринское рудное поле для проведения поисковых работ на золото-серебряный субвулканический тип оруденения.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Интрузивный магматизм Синюхинского золоторудного узла // Геология и геофизика, -1994.- №11.- С.28-40.
2. Металлогения эндогенного оруденения золота Горного Алтая // Золото Алтая - история и современность. Барнаул, -1995.- С. 141-146.
3. Рудные и околорудные метасоматиты Синюхинского рудного поля // Новые данные о геологии и полезных ископаемых западной части Алтае-Саянской области. Материалы научно-практической конференции. Новокузнецк, -1995.- С.299-301.
4. Ресурсы волластонита Горного Алтая. Там же, - С.310-313.
5. Карта флюидного режима золотогенерирующих рудно-магматических систем Горного Алтая // Историческая и современная картография в развитии Алтайского региона. Материалы научно-

практической конференции. Барнаул, -1997.- С.147-149.

6. Перспективы Горного Алтая на волластонитовое сырье // Разведка и охрана недр, 1997. - №4, - С.12-15.

7. Волластонит Синюхинского месторождения // Отечественная геология,-1997.-№12,-С.14-19.

8. Золото-генерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая// Руды и металлы, -1998. - №2, - С.67-78 (соавт. Н.И. Гусев).

9. Геология и золото-медно-скарновое оруденение Синюхинского рудного поля в Горном Алтае. Там же, - С.79-90.

10. Геологическое строение Чойского рудного поля Горного Алтая. Там же, - С.90-100.

11. Геология и золотоносность Топольнинского рудного поля Горного Алтая. Там же,- С. 100-109 (соавт. Н.П. Бедарев).

12. Флюидный режим редкометалльных гранитоидов Горного Алтая// Актуальные вопросы геологии и географии Сибири. Материалы научно-практической конференции. Томск, -1998.- Т.3.- С.194-197.

13. Использование ГИС ПАРК для прогноза полезных ископаемых в Алтайском крае // ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территорий. Материалы международной конференции.- Барнаул, -1998. - С.566-567 (соавт. Е.А. Киселев, Г.А. Поважук, О.В. Первухин).

14. Металлогения Горного Алтая и перспективы обнаружения нетрадиционных типов оруденения // Минерально-сырьевая база Республики Алтай: состояние и перспективы развития (материалы регионального совещания). -Горно-Алтайск, -1998.- С.16-18.

15. Геохимическая изученность и аномальные структуры, геохимических полей рудных месторождений северо-восточной части Республики Алтай. Там же, - С.47-49 (соавт. Л.П. Карабидина).

16. Волластонит Горного Алтая: перспективы и возможные области применения. Там же, - С. 49-50 (соавт. В.С. Рузаев).

17. Технология прогнозирования золотооруденения Горного Алтая в ГИС ПАРК // Компьютерное обеспечение работ по созданию Государственной геологической карты Российской Федерации. Материалы 5-го Всероссийского совещания-семинара. - Ессентуки, - 1998, - С.105-108 (соавт. О.В. Первухин).

18. Типы гранитоидов, флюидный режим и прогноз оруденения с использованием компьютерных технологий. Там же, - С. 108- 110 (соавт. Г.А. Поважук, О.В. Первухин).

19. Золоторудные металлогенические таксоны Горного Алтая. Проблемы металлогении юга Западной Сибири // Материалы научно-практической конференции. Томск, -1999.- С.31-34 (соавт. О.В. Первухин).

20. Металлогения Горного Алтая и перспективы обнаружения

нетрадиционных типов оруденения // Материалы научно-практической конференции. - Кемерово-Новокузнецк, -1999. - С.198-203.

21. Флюидны режим золотогенерирующих рудно-магматических систем Горного Алтая. Там же, - С.203- 206.

22. Золото-медно-скарновое оруденение Ульменского рудного поля и его перспективы. Там же, - С.207-209 (соавт. С.И. Федак).

23. Комплексирование дистанционных методов для прогноза эндогенного оруденения Горного Алтая средствами ГИС ПАРК // Геологическое картографирование и прогноз-металлогеническая оценка территорий средствами компьютерных технологий. Материалы VI Всероссийского совещания-семинара. Красноярск, - 1999. - С. 154-157 (соавт. Г.А. Поважук, О.В. Первухин).

24. Геохимия и флюидный режим золотого оруденения Горного Алтая // Сб.: "Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика". Тезисы докладов первого Сибирского Симпозиума. Красноярск, - 1999, - С.37-38.

25. Металлогенические таксоны редкометалльного оруденения Горного Алтая // Материалы региональной научно-практической конференции "300 лет горно-геологической службе России: история горнорудного дела, геологическое строение и полезные ископаемые Алтая ", Барнаул: Изд-во Алт. Гос. Ун-та, -2000, - С. 331-335.

26. Геохимия и флюидный режим генерирующего магматизма и золотого оруденения Горного Алтая. Там же, - С.303-306.

27. The types and tectonic environment of the few granit bodies of Gornyi Altai // 4-th International Symposium on Geodynamic evolution of Paleoasian Ocean. Novosibirsk, - 1993.- P.76-77.

28. Anomalous structures of geochemical fields of Inskoi Gold-Ore knot (North-Eastern Gornyi Altai) // 4-th Joint International Symposium on Exploration Geochemistry. Irkutsk,-1994. P.84-85.

29. Paleozoic Geodynamic and metellogeny of West Altai-Sajan folded area // Материалы II Всероссийского совещания: "Металлогения, нефтегазоносность и геодинамика Севере-Азиатского кратона и разновозрастных орогенных поясов его обрамления". Иркутск, - 1998. - С.227.