

АННОТАЦИЯ

диссертации, представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «6D070600 – Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

Умарбековой Замзагуль Тлеухановны

«ЗОЛОТОРУДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ПРОГНОЗНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА (БАКЫРШИК, БЕСТОБЕ, АРХАРЛЫ)».

В ходе исследований трех важнейших для Казахстана золоторудных формаций (золото-мышьяковая - Бакыршик, золото-серебряная - Архарлы, золото-теллур-висмутовая - Бестобе) проанализировано современное состояние науки в решении вопросов теории образования золоторудных месторождений, изучены продуктивные минерагенические уровни и рассмотрены принципы построения прогнозно-поисковых моделей рассматриваемых главных промышленных типов месторождений золота.

Генетические аспекты образования золоторудных месторождений и, в первую очередь, формы миграции золота, особенности его поведения и осаждения в разных термодинамических условиях и различных геологических средах всегда вызывали повышенный интерес как крупнейших ученых, так и геологов-разведчиков, поскольку они имеют большое практическое значение в целенаправленных поисках и оценке новых рудных полей и авторы этих исследований упоминаются в работе. Так на формирование месторождения Бакыршик предложено несколько прогнозно-поисковых моделей трех генетических типов – сингенетического (экзогенного гидротермально-осадочного), эпигенетического (эндогенного гидротермально-метасоматического) и полигенного сингенетично-эпигенетического, в разных сочетаниях, совмещающего два первых типа. Несмотря на противоречивые представления, обоснованные большим фактическим материалом, все они взаимно дополняют друг друга, что свидетельствует о чрезвычайной сложности данной проблемы. Последнее подтверждается на примере аналогов Бакыршика – месторождений – гигантов золота черносланцевой формации России (Сухой Лог и др.), Узбекистана (Мурунтау), Киргизии (Кумтор) и др., продолжительная дискуссия по которым продолжается до последнего времени.

Бурное развитие в последнее десятилетие новых технологий гидрометаллургического выщелачивания золота разнообразными по составу растворами (бромидными, йодидными, аммиачно-тиосульфатными, тиосульфатными, гипохлоритными и др.) сопровождалось многоплановыми экспериментальными, в том числе автоклавными, исследованиями кинетики растворения благородного металла с определением термодинамических констант и физико-химическим обоснованием происходящих окислительно-восстановительных процессов. Полученные экспериментальные данные

служат основой для физико-химического и термодинамического моделирования поведения золота и его комплексов в различных условиях.

Одним из наименее изученных в проблеме термодинамики формирования золоторудных месторождений являются вопросы осаждения золота в самородном состоянии на геохимических барьерах, решению которых нами уделено в работе существенное внимание. Основными результатами рассматриваемой работы является установление эволюционной направленности полигенных физико-химических и термодинамических процессов в образовании месторождений золота с последовательным преобразованием метастабильного золота в его самородную фазу. Детально рассмотрено значение пробности золота, как индикатора физико-химических условий гидротермального рудообразования. Проанализированы основные типы золотолокализирующих геохимических барьеров. Результаты исследований могут быть использованы как для дальнейшего развития теории образования месторождений, так и при составлении прогнозных карт перспективных площадей, проведении поисковых и разведочных работ.

Благодаря прорывному развитию техники и технологии переработки золотосодержащих руд, в особенности с применением цианидных методов выщелачивания расширился круг месторождений с низким содержанием золота, вовлекаемых в промышленное освоение. В настоящее время рентабельным считается отработка месторождений с содержанием золота в рудах 0,62 г/т. И это не предел. Всевозможная интеграция различных способов цианидного метода выщелачивания руд с фабричной технологией, делает возможным дальнейшее снижение среднего содержания золота в рудах до 0,3-0,5 г/т. Кроме того, необходимо учесть, что проводятся испытания по разработке других более дешевых по стоимости реагентов (тиомочевина, иодиды, хлориды и т.п.), которые позволят в будущем еще более снизить себестоимость производства золота. Все эти обстоятельства позволяют рекомендовать промышленности Республики поставить на соответствующий уровень проблему освоения золото-серебряных месторождений в Казахстане (Архарлы). Как известно, числящиеся в государственном кадастре многочисленные объекты золото-серебряного оруденения в основном относятся к разряду рудопроявлений и только часть из них к мелким и средним по масштабам месторождениям. Однако пример освоения аналогичных объектов в России (Дукат, Олимпиадинское, Балей), Аргентине (Паскуа-Лама), Мексике (Пачука), Папуа Новой Гвинее (Поргера), Перу (Янокоча), Румынии (Рошия Монтанэ) и ряде других стран показывает, что при снижении бортового содержания промышленных руд до 0,5 г/т и менее, многие ранее известные мелкие объекты превратились в крупные, а в ряде случаев достигли объема уникальных месторождений.

В результате детальных микроскопических и микрзондовых исследований руд зоны окисления месторождения Архарлы впервые установлены различные галогениды серебра и сростки электрума с самородным серебром, имеющие принципиальное значение при восстановлении процессов гипергенного минералообразования.

Проявления золото-теллур-висмутовой формации (Бестобе) являются одним из классических представителей собственно-золоторудных месторождений, которые по распространенности среди различных промышленно-генетических типов занимают одно из первых мест в Казахстане. Рассматриваемая формация относится к числу наиболее изученных типов золотого оруденения. Часто геохимическими барьерами при отложении служат контакты сред с резко различным минералогическим составом (кварца с сульфидами, хлорит-серицитовыми метасоматитами, углеродисто-глинистыми алевролитами и др.). Выявлены чуткие индикаторы продуктивного золота - висмут и теллуриды.

Основание и исходные данные для разработки темы. Основанием для разработки темы диссертационной работы служат полевые работы, данные лабораторных и микроскопических исследований. Исходными данными являются микроскопическое изучение руд месторождений, сведения о геологическом строении изучаемых месторождений.

Работа основана на изучении и анализе фондовых материалов предыдущих лет и литературного обзора, натуральных наблюдений в поле, кернового и каменного материала, результатов лабораторных исследований во время научно-исследовательской работы автора с 2016 по 2020 гг

Изготовлены шлифы из основных образцов. Всего 155 аншлифов и 100 шлифов, описаны под микроскопом 30 аншлифов и 25 шлифов, в лабораториях во время обучения и прохождения стажировки в лаборатории Natural History Museum Department of Earth Sciences, Department of Mineralogy, Лондон, Великобритания

Обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы.

Казахстан относится к одной из важнейших золотоносных провинций нашей страны. На базе различных геолого-экономических типов месторождений золота успешное развитие в республике получила золотодобывающая промышленность. В связи с исчерпанием фонда легко открываемых месторождений и все возрастающих потребностей народного хозяйства в дефицитном сырье требуются неуклонное повышение эффективности поисково-разведочных работ и ускоренное освоение новых рудных объектов. Решение этой сложной государственной проблемы невозможно без углубленных и всесторонних научных исследований, направленных на изучение условий формирования золоторудных и золотосодержащих месторождений и совершенствования принципов составления моделей месторождений и прогнозирования золотого оруденения.

Сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки. определяются полнотой геологических исследований условий образования и размещения месторождений Бакыршик, Бестобе, Архарлы.

По проблеме прогнозирования и моделирования проведен литературный и патентный обзор работ отечественных и зарубежных ученых. Выбраны современные методы изучения в лабораториях, оснащенных оборудованием

отвечающим требованиям науки и техники настоящего времени. Научно-технический уровень диссертационной работы определяется новизной полученных результатов, перспективностью использования результатов для цели прогнозирования и поисков золоторудных месторождений, завершенностью проведенных исследований. Изучены ведущие типы золоторудных формаций Казахстана и золоторудные процессы. Разработаны общие принципы составления прогнозно-поисковых моделей месторождений золота. Созданы модели эталонных месторождений Бакыршик, Бестобе, Архарлы.

Сведения о метрологическом обеспечении диссертации. Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных приборов, прошедших метрологическую проверку для проведения геологических исследований в современных сертифицированных лабораториях «Инновационной геолого-минералогической лаборатории» КазНИТУ имени К.И. Сатпаева, в Центре лабораторных исследований Музея естественной истории (Natural History Museum) (г. Лондон) на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO 15LS SEM - электронно-зондовой установке Camesa, электроннозондового микроанализатора JCSA 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY, в Институте геологических наук имени К.И.Сатпаева.

Актуальность темы. Генетические аспекты образования золоторудных месторождений, широко распространённых в Казахстане такого типа как Бакыршикский, Архарлинский и Бестобинский, в первую очередь, формы миграции золота, особенности его поведения и осаждения в разных термодинамических условиях и различных геологических средах имеют большое практическое значение в целенаправленных поисках и оценке новых рудных полей.

Новизна темы. Исследования определяется тем, что, опираясь на новые полученные фактические данные в сочетании с уже существующими взглядами на образование золоторудных месторождений в углеродистых толщах, разработана трехэтапная модель формирования месторождения Бакыршик: седиментный осадочно-диагенетический; тектоно-метаморфогенный; интрузивно-термальное-метаморфогенный.

- впервые на месторождении Архарлы в зоне окисления установлены галогениды серебра в ассоциации с самородным серебром и золотом, имеющие принципиальное значение при восстановлении процессов гипергенного минералообразования.

- детально изучены золоторудные процессы рассматриваемых месторождений, выявлены факторы рудоносности, разработаны прогнозные модели, опирающиеся на геологические данные. Всё это послужит основой для поисков месторождений подобного типа на современной основе.

Связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами. Автор диссертации участвовал в разработке Научно-технической программы: «Научное обеспечение проблем по восполнению и освоению минеральных ресурсов Казахстана на 2006-2008 годы» по теме «Разработать

новые теории происхождения месторождений и создать модели рудообразующих систем приоритетных полезных ископаемых». Результатом явилось изучение теоретических вопросов образования месторождений золота Казахстана, и на этой основе разработка их прогнозно-поисковых моделей с систематизацией известных и прогнозируемых геолого-промышленных типов месторождений золота Казахстана.

По программе «Научное обоснование восполнения запасов полезных ископаемых для индустриального развития Республики Казахстан на 2012-2014 годы, «Создание научной основы оценки золотоносных структур и объёмных моделей главных типов месторождений золота» было проанализировано современное состояние науки в решении вопросов теории образования золоторудных месторождений, изучены продуктивные минерагенические уровни, и разработаны принципы построения прогнозно-поисковых моделей главных промышленных типов месторождений золота.

Цель работы - выявление закономерностей процесса рудообразования и установление физико-химических и термодинамических барьеров отложения золота в важнейших месторождениях Казахстана, с геологическим и металлогеническим прогнозированием при поисках месторождений данного типа.

Идея работы заключается в изучении важнейших типов золоторудных месторождений Казахстана с построением их геолого-генетических моделей, изучение условий золоторудных процессов, получение данных для прогнозирования месторождений данного типа.

Объектами исследования являются важнейшие для Казахстана геолого-промышленные типы: 1) золото-сульфидный в терригенных углеродистых комплексах (Бакыршик); 2) золото-серебряный континентальных вулcano-плутонических поясов (Архарлы); 3) золото-сульфидно-кварцевый (Бестобе).

Предметом исследования являются руды из трех геолого-промышленных типов Казахстана, их микроскопическое изучение, с привлечением прецизионных методов исследования вещества, а также детальный анализ имеющихся данных по этим объектам.

Задачи исследования:

1. Сбор, обобщение и анализ материала по геологии и минералогии и геохимии на современном этапе изученности.
2. Детальное микроскопическое изучение золоторудного оруденения на месторождениях Бакыршик, Архарлы, Бестобе.
3. Выявить направленность золоторудного процесса в каждом исследуемом типе месторождения.
4. Обосновать при каких геохимических и термодинамических барьерах происходило отложение золота в рассматриваемых геолого-промышленных типах.
5. Выявить главнейшие геологические прогнозные модели для месторождений Бакыршик, Архарлы, Бестобе.

Методологическая база исследований состоит из следующих основных методов и анализов:

Образцы пород и минералов месторождений Бакыршик, Архарлы, Бестобе анализировались в Центре лабораторных исследований Музея естественной истории (Natural History Museum) (г. Лондон) на сканирующем электронном микроскопе Zeiss EVO 15LS SEM и на электронно-зондовой установке Cameca SX100.

Zeiss EVO 15LS SEM – универсальный аналитический сканирующий электронный микроскоп, который может работать в переменном давлении и высоких режимах вакуума. Режим низкого вакуума использовался для визуализации и качественного рентгеновского анализа образцов. При аналитике образцов в основном было использовано давление в 60-100 Па, хотя может быть увеличено до 200 Па. Выявление минералов осуществляется детектором EDX с регулярным калиброванием для анализа основных элементов в силикатах, наиболее распространенных порообразующих минералов, и может очень быстро дать информацию, необходимую для минеральных идентификаций. Сканирующий электронный микроскоп также был использован для создания карт шлифов, показывающих распределение основных и редких элементов (Si, K, Al, P, Ce, Nd, Eu, Gd, Y, и др.).

Образцы (универсальные шлифы и шайбы) анализировались с помощью электронно-зондового микроскопа Cameca SX-100 с волной дисперсии, который широко востребован в минералогии и геохимии в Музее естественной истории (г. Лондон). Рабочие условия: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 20 нА и диаметр пучка 20 мкм. В качестве зондовых стандартов использовались характерные синтетические соединения и природные минералы. Исправлена матрица PAP. Перед коррекцией матрицы было применено несколько коррекций перекрытия пиков. По результатам электронно-зондового анализа был определен качественный химический состав минералов.

В ряде случаев изучение химического состава 50 образцов было проведено в секторе минералогии ИГН с помощью электронно-зондового микроанализатора JCSA 733 с применением энергодисперсионного спектрометра INCA ENERGY.

Положения, выносимые на защиту:

1. В металлогенических зонах Казахстана, на примере выбранных опорных месторождений показана золоторудная специфика каждого объекта, определено пространственно-временное совмещение трех важнейших процессов: рассеянного седиментогенного рудогенеза, эпигенетического перераспределения и постмагматического гидротермального минералообразования, которые предопределили доминирующее проявление тех или иных типоморфных рудных формаций.

2. При формировании золоторудного гиганта Бакыршик большую роль сыграло широко распространенное органическое вещество, которое предопределило масштабную концентрацию золота на восстановительном геохимическом барьере.

3. Впервые в зоне окисления месторождения Архарлы были открыты галогениды серебра (хлориды, бромиды, иодиды), источниками которых являются самородное серебро и золото, а образование последних в зоне гипергенеза связывается с обогащенными золотом сульфатно-хлоридными водами, которые по мере фильтрации в более глубокие горизонты становятся менее окисленными и под воздействием различных восстановителей разрушаются с образованием самородного золота.

4. Выявлены основные прогнозные данные для золотого оруденения рассмотренных геолого-промышленных типов, главнейшими из которых являются: а) рудоконтролирующие факторы; б) комплексная совокупность геологических объектов (структур, пород, минералов и т.п.); в) разработка моделей эталонных объектов на основе совокупности признаков, присущих частным формационно-однотипным проявлениям золотого оруденения.

Практическая значимость работы. Итогом диссертационной работы являются новые полученные геологические данные, на основе которых предложено средне- и крупномасштабное прогнозирование при поисках важнейших для Казахстана геолого-промышленных типов: золото-сульфидный в терригенных углеродистых комплексах (Бакыршик); золото-серебряный континентальных вулcano-плутонических поясов (Архарлы); золото-сульфидно-кварцевый (Бестобе).

Публикации и апробация работы. По результатам выполненных научных исследований опубликованы 15 статей и докладов, в том числе 3 работы в международном научном издании, входящей в базу данных компании Scopus и имеющей ненулевой импакт-фактор и 4 статьи в научных изданиях, рекомендуемых Министерством образования и науки РК, 1 статья в журнале РИНЦ Геология и охрана недр Казахстана. Полученные результаты широко апробированы на международных и республиканских научных конференциях

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Объем диссертации составляет 150 страниц машинописного текста, 10 таблиц, 64 рисунков, списка литературы включающих 74 наименований.

Во введении представлена общая характеристика диссертационной работы. Определена цель, поставлены задачи для достижения цели, сформулированы актуальность темы, изложены научные положения, выносимые на защиту и практическая значимость диссертации

В первой главе изложена краткая геологическая позиция месторождений (Бакыршик, Архарлы, Бестобе) а именно их региональная позиция, тектоника, сведения об осадочных, вулканогенных и интрузивных породах участвующих в геологическом строении объектов.

Во второй главе представлены ведущие типы золоторудных формаций Казахстана, дана их характеристика, приводится также минералогия руд изученных объектов.

Золото-мышьяковая углеродистая формация. Золотоносные углеродистые отложения в Казахстане имеют широкий возрастной (ранний протерозой - верхний палеозой) диапазон и принадлежат к различным формационным типам осадков, сформировавшимся в самых разнообразных геотектонических условиях.

Золото-мышьяковая углеродистая формация (золото-углеродисто-сульфидная) - это самостоятельный промышленно-генетический тип оруденения, которому отвечают рудопроявления и месторождения Калбинского региона Восточного Казахстана, сформировавшиеся в условиях орогенного развития Зайсанской складчатой системы.

Отличительной особенностью рудовмещающей толщи является сопряженность по времени их образования с вулканическими процессами в пограничных с юго-запада (Жарминская) и северо-востока (Рудноалтайская) структурно-формационных зонах, наличие в составе терригенных пород значительного количества вулканомиктового материала и рассеянного углеродистого вещества, последовательная смена морских условий осадконакопления на континентальные, одним из важных элементов месторождений золото-мышьяковой углеродистой формации является присутствие в составе рудовмещающих отложений и рудах органического углеродистого вещества.

Золото-серебряная формация. Формация малоглубинных золотых и золото-серебряных месторождений (балейский тип по Н.В.Петровской) приурочена к вулcano-плутоническим поясам, слагающим верхний структурный ярус складчатых областей Казахстана.

Главнейшими особенностями месторождений золото-серебряной формации являются:

1. Тесная структурно-парагенетическая связь малоглубинного золотого оруденения с магматизмом орогенных вулcano-плутонических поясов Казахстана, с которыми оно составляет единую магматогенно-рудную систему.

2. Приуроченность месторождений к зонам долгоживущих глубинных разломов, пересекающих сложные системы палеовулканических сооружений, фрагментам концентрических и радиальных разломов кольцевых вулcano-тектонических структур, специфическим рудоносным взрывным сооружениям, часто совмещенным с центрами вулканических построек.

3. Одним из характерных критериев оценки Au-Ag месторождений является отчетливо выраженная зональность (вертикальная и латеральная) в формировании метасоматитов, распределении минеральных ассоциаций, изменении структурно-текстурных особенностей руд и т.п. Она имеет важное значение при оценке объектов, как комплексный критерий определения различных параметров оруденения, в том числе степени эрозионного среза месторождений, возможного вертикального размаха, масштабов и интенсивности оруденения.

4. Широкое распространение полей эпидот-актинолит-хлоритовых пропилитов или низкотемпературных вторичных кварцитов, служащих

одним из признаков оконтуривания площадей развития золото-адуляр-кварцевого оруденения.

5. Для многих крупных объектов Au-Ag оруденения характерно проявление рудоносных эксплозивных и эруптивных брекчий, которые наряду с их промышленной ценностью, указывают местоположение наиболее проницаемых участков рудоносных структур.

6. Наконец, существенную роль в выявлении геологических особенностей Au-Ag месторождений играет изучение закономерностей размещения в их пределах и параметров бонанцевых рудных столбов, заключающих значительные запасы золота и отличающихся высокими, минимум на порядок, его содержаниями.

Золото-теллур-висмутовая формации. На территории Казахстана проявления золото-теллур-висмутовой (кварцевой) субформации известны в каледонских складчатых зонах Чингиз-Тарбагатай, Майкаинского и Чу-Илийского регионов, в герцинидах Урала, Юго-Западного Алтая и Джунгаро-Балхашской структуры.

Проявления золото-теллур-висмутовой кварцевой субформации с присущими для плутоногенно-гидротермального оруденения особенностями локализуются в пределах самых разнообразных по своей кинематической природе и рисунку, постскладчатых (приразломных) структурах.

Для золото-теллур-висмутовой кварцевой субформации Казахстана необходимо отметить, что большую роль в определении промышленной ценности ее объектов играет полнота проявления наиболее поздних продуктивных ассоциаций минералов. Отсюда и конкретизация геохимических критериев поисков, заключающаяся в наличии в составе комплексных ореолов (Cu, Pb, Zn, Mo, As и др.) наряду с золотом висмута, серебра, сурьмы и теллура.

В главе также приводится минералогия руд изученных объектов.

Минералогия руд месторождения Бакыршик. Превалирующими рудными минералами являются пирит и арсенопирит, в приповерхностных горизонтах отмечается антимонит, более редки марказит, халькопирит, пирротин, галенит. Различаются четыре разновозрастные парагенетические ассоциации - пирит-I - мельниковит - марказитовая, золото-I - пирит-II - арсенопиритовая, золото-II - сфалерит - галенит - халькопиритовая и золото-III - антимонит - марказит - энаргитовая (В.А. Нарсеев, М.М. Старова).

Минеральный состав руд довольно однообразен, хотя число рудных минералов превышает 35. Абсолютно преобладают дисульфиды железа, арсенопирит. Иногда встречаются антимониты. Остальные минералы являются редкостью. Золото в основном связано с пиритом и арсенопиритом и образует весьма тонкие выделения, фиксируемые лишь при больших увеличениях (1500^x – 1600^x).

Минералогия руд месторождения Архарлы. Руды месторождения характеризуется рядом особенностей, присущих всем близповерхностным месторождениям. Господствуют в них полосчатые, колломорфные и крустификационные текстуры минеральных агрегатов; достаточно обычны

пластинчатые и каркасно-перегородчатые текстуры кварца. Основными жильными минералами является тонкозернистый метаколлоидный кварц и халцедон. В продуктивных жилах присутствует адуляр, сульфиды серебра и низкопробное золото.

Главными среди рудных минералов являются пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, золото и гематит. К числу второстепенных и редких в ряде жил относятся акантит, борнит, пирротин, фрейбергит, полибазит, арсенопирит, пираргит, мельниковит-пирит, марказит, ближе не определенные теллурид серебра и сложный сульфид серебра и висмута (единичные находки), киноварь, гетит, халькозин.

Минералогия руд месторождения Бестобе. Главные рудные минералы - самородное Au, арсенопирит, пирит, антимонит; второстепенные и редкие - сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин, марказит, рутил, магнетит, апатит, сфен, лейкоксен, ильменит, леллингит, герсдорфит, сафлорит, теннантит, тетраэдрит, бертьерит, бургюнит, молибденит, шеелит, висмутин, тетрадимит, алтаит, клапротолит, виттихенит, айкинит, самородные As, Sb и Ag, электрум, киноварь; нерудные - кварц, кальцит (главные), серицит, хлорит, альбит, магнезит, доломит, сидерит, барит, эпидот. Количество сульфидов в кварцевых жилах 2-3 %.

В третьей главе представлены процессы золотообразования, типы геохимических барьеров осадителей и концентраторов золота.

Характерными особенностями золота являются склонность к комплексообразованию и легкость восстановления, что во многом и предопределяет миграционные способности благородного металла в природных условиях.

Причины химической инертности золота кроются в высоких значениях его окислительно-восстановительных потенциалов (E), обусловленных очень низкой устойчивостью его акваионов.

Окислительно-восстановительный потенциал комплексных соединений золота значительно ниже, чем акваиона, поэтому при участии в реакциях таких аддендов, как галогенидионы, возможно окисление золота более слабыми окислителями, чем в их отсутствии. Именно процессы комплексообразования, снижающие редокс-потенциал, предопределяют хорошую растворимость золота в хлоридных, бромидных и йодидных водах, в растворах тиомочевины, содержащих в качестве окислителя элементарный хлор, кислород, двуокись марганца, хлорид или сульфат железа (III). К тому же комплексообразование способствует повышению устойчивости соединений золота. Аурум образует в восстановительных средах стабильные комплексы с серосодержащими лигандами, цианидами и аммиаком. Следовательно, растворимость и форма нахождения в гидротермальном растворе золота, как элемента переменной валентности, находится в прямой зависимости от окислительно-восстановительного потенциала системы, а также от состава присутствующих активных аддендов, кислотности-щелочности, температуры и ионной силы системы.

Термодинамическими, экспериментальными и минералогическими исследованиями последних двух десятилетий, как и нашими данными, обосновывается значительная роль в миграции золота йодидных, тиосульфатных, бромидных, аммиачных и золотоорганических комплексных соединений наряду с общепринятыми хлоридной, гидросульфидной, сульфидной и гидроксокомплексными формами.

Наши исследования по рассматриваемой тематике базируются на результатах экспериментального изучения, полученных при этом термодинамических константах и, главным образом, на электрохимическом анализе окислительно-восстановительных процессов образования, миграции и разрушения комплексов золота и серебра в различных по кислотности-щелочности и редокс-потенциалу гидротермальных растворах. Расчет свободной энергии и окислительного потенциала различных комплексов благородных металлов позволяет оконтурить поля их устойчивости на диаграммах $Eh - pH$ и определить ход эволюции гидротермальной системы при формировании золоторудных месторождений. Такие исследования позволяют рассматривать направленность окислительно-восстановительных реакций различных соединений, устойчивость и реакционная способность которых предопределяется $Eh - pH$ гидротермальной системы. Этот подход, основывающийся на применении методов физической химии, обоснован фундаментальными исследованиями термодинамики процессов минералообразования корифеев советской и зарубежной геологической науки Д.С. Коржинского, А.Г. Бетехтина, В. Латимера, а затем М. Пурбе, Г.М. Гаррелса, Ф.А. Летникова, Т.М. Сьюард Х.Л. Барнса и других.

Основные типы геохимических барьеров: слабовосстановительные барьеры галоидных комплексов золота, сильновосстановительные барьеры сульфидных и гидросульфидных комплексов золота, щелочные и кислые барьеры, термодинамические барьеры.

В четвертой главе изложены общие принципы разработки прогнозно-поисковой модели месторождений золота и приведены модели образования изученных месторождений.

В рамках разработки общих принципов прогнозно-поисковой модели месторождений золота нами собраны в виде таблиц региональные, локальные поисковые критерии признаков, которые представлены в работе.

Разработка геодинамических моделей формирования различных геолого-промышленных типов месторождений золота показала, что здесь закономерно, в определенной последовательности, проявлены сложные полигенные физико-химические и термодинамические процессы, при которых происходит отчетливо выраженное эволюционно-направленное преобразование метастабильных миграционно-способных седиментогенных форм золота в самородную его фазу.

Рудный процесс протекает по схеме: седиментация --- ранний диагенез - -- поздний диагенез --- эпизона --- динамометаморфизм --- мезозона (+катазона) --- интрузивный (эффузивный) магматизм.

Рудообразование сопровождается определенной структуризацией кремнистой матрицы (опал, халцедон, кварцин, кварц, стишовит) и преобразованием углеродистого вещества рудовмещающих толщ.

Модель образования месторождения Бакыршик - Оруденение сформировано в три основных этапа: 1) седиментный осадочно-диагенетический, 2) тектоно-метаморфогенный и 3) интрузивно-термальнометаморфогенный.

Модель образования золотого оруденения на месторождении Архарлы – 1) структурно-парагенетическая связь малоглубинного золотого оруденения с магматизмом вулканоплутонического пояса, 2) приуроченность к зонам долгоживущих глубинных разломов, 3) распространение полей эпидот-актинолит-хлоритовых пропицитов или низкотемпературных вторичных кварцитов, признак оконтуривания площадей золото-адуляр-кварцевого оруденения, 4) околожильные метасоматиты

Модель образования месторождения Бестобе - Проведенный комплекс изотопно-геохимических, термобарометрических и минералогических исследований обосновывает трехэтапное формирование месторождения от образования значительно обогащенной метастабильными формами золота специфической литохимической формации до формирования секущих жильных месторождений при существенном развитии золота в рудах в виде самородной фазы

Краткие выводы по результатам диссертационных исследований
Рассмотрены золоторудные объекты - Бакыршик, Архарлы, Бестобе, которые входят в состав 3 главных геолого-промышленных типов коренных золоторудных месторождений Казахстана: 1) золото-сульфидный, развитый в углеродистых толщах различного возраста (Бакыршик, Большевик, Васильевское и др.); 2) золото-адуляр-кварцевый (золото-серебряный - Архарлы, Таскора, Ушшоки); 3) золото-сульфидно-кварцевый (Акбакай, Аксу, Бестобе, Жолымбет, Степняк и др.). Среди них ведущим в мире и в Казахстане является золото-сульфидно-кварцевый (Бестобе). Однако акцент в работе делался на перспективные типы - золото-сульфидный, развитый в углеродистых толщах (Бакыршик, так например, преобладающая часть запасов, более 50 %, коренного золота в России сосредоточена в месторождениях углеродисто-терригенных комплексов) и золото-серебряный (Архарлы) близповерхностный.

В работе решены важнейшие проблемы рудогенеза, имеющие отношение ко всем типам месторождений:

1. Обоснована прямая зависимость пробности золота от Eh-pH условий эволюционирующих гидротермальных систем. Так, наиболее широкая вариация пробности Au отмечается для Au-Ag месторождений, которые характеризуются многостадийностью и изменчивостью рудообразующих процессов. В золото-углеродисто-сульфидных месторождениях она варьирует в пределах 1000-850, понижаясь в более поздних ассоциациях.

2. На примерах типовых месторождений Казахстана и мира идентифицированы разнотипные геохимические барьеры – концентраторы

Аи и дана их классификация. Разрушение комплексов золота, его осаждение и концентрация происходят на участках резкой смены окислительно-восстановительного потенциала, кислотности-щелочности рудообразующей системы, её температуры и давления, являющихся геохимическими барьерами на пути движения гидротермальных растворов.

3. Разработана генеральная геологическая модель формирования золоторудных месторождений, в основу которой положены представления об эволюционной направленности рудного процесса по схеме: седиментация --- ранний диагенез --- поздний диагенез --- эпизона --- динамометаморфизм --- мезозона (+катазона --- интрузивный (эффузивный) магматизм, благодаря чему происходит постепенное преобразование изначально миграционно способных форм золота (ионной и коллоидной) в самородную. На его завершающей стадии под воздействием интрузивного (эффузивного) магматизма и тектоно-метаморфических процессов происходит резкое увеличение в рудах самородной фазы с уменьшением миграционно способных форм золота, вплоть до образования компактных золото-кварцевых рудных тел с ограниченным количеством сульфидов.

1. Золото-сульфидный тип, развитый в углеродистых толщах (месторождение Бакыршик) – уникальный и перспективный тип в Западно-Калбинском золоторудном поясе.

1. Изучением углеродистых компонентов руд и рудовмещающих пород установлено присутствие в них сапропелевого органического вещества (ОВ) и битума, по характеру экзотермических эффектов установлена степень постседиментационных преобразований на стадии раннего метабенеза и динамометаморфизма. ОВ с начала седиментогенеза концентрировало золото в виде кластеров и нанокластеров и является источником золота для образования золотоносных сульфидов на последующих стадиях литогенеза и динамометаморфизма. Содержание золота в ОВ составляет от 3,7– 5,9 г/т (по данным атомно-абсорбционного анализа) до 10 г/т (по данным автора). Значительные запасы золота в виде кластеров и нанокластеров, не извлекаемые в процессе обогащения, не учитываются при подсчете запасов. Необходимо разработка новых способов извлечения золота из углеродистых пород, что в значительной степени увеличит запасы месторождения.

2. К основным индикаторам месторождений бакыршикского типа относятся: а) золотоносные ритмично-слоистые углеродисто-глинистые и углеродисто-алевролит-пелитовые микрофации черносланцевой толщи с повышенными содержаниями сингенетического золота (10-150 мг/т), органического вещества (1-10%) и глобулярно-фрамбоидальный пирит; б) интенсивное проявление мезозонально-шовной складчатости, сопровождаемой вязкими разломами и зонами кливажного течения пород, многоэтапность деформационных процессов и образование гибридных структур пересечения пликативных дислокаций; в) широкое развитие хлорит-альбитовых, шунгит-серицитовых и серицито-флогопит-карбонатных метасоматитов в зонах кливажного течения и вязких разломов.

II. Золото-адуляр-кварцевый (золото-серебряный) тип (месторождение Архарлы) - это существенно кварцевые руды с тонкодисперсным золотом.

1. Эпитермальные золото-серебряные месторождения Архарлинского рудного поля по особенностям геологического строения, условиям рудоотложения и минеральному составу руд являются аналогами всемирно известных крупных и средних по запасам месторождений этого геолого-промышленного типа, таких как Крипл-Крик, Ангостура, Янокоха, Кочбулак и др. В отличие от этих месторождений степень разведанности Архарлы ниже, что должно быть восполнено в процессе его отработки.

2. Результаты полученных исследований показывают, что: а) месторождение сформировалось в течение многостадийного гидротермального процесса. Смена минеральных ассоциаций во времени свидетельствует о постепенном охлаждении растворов, а также об уменьшении потенциала серы и увеличении потенциала кислорода в процессе их формирования; б) растворы, отлагавшие золото, были обогащены цинком, свинцом, серебром и медью, в отличие от более ранних и более поздних порций растворов, содержавших в незначительном количестве лишь железо и медь; в) в кварцевых ассоциациях отношение серебра к золоту закономерно увеличилось по мере охлаждения гидротермальных растворов и увеличения потенциала кислорода.

3. Впервые в зоне окисления месторождения Архарлы были обнаружены галогениды серебра (хлориды, бромиды, йодиды), присутствие которых служит надежным доказательством формирования ее в условиях сухого и жаркого климата. Образование самородного золота в зоне гипергенеза связывается с обогащенными золотом сульфатно-хлоридными водами, которые по мере фильтрации в более глубокие горизонты зоны окисления становятся менее окислительными и под воздействием различных восстановителей разрушаются с образованием самородного золота. На основании полученных данных по галогенидам серебра зоны окисления месторождения Архарлы и опираясь на результаты других исследователей при изучении зон окисления золото-сульфидных месторождений можно однозначно констатировать, что источником серебра в галоидных минералах является самородное серебро и золото, а также серебросодержащие сульфиды.

Детальное изучение особенностей формирования гипергенного золота и серебра в зоне окисления имеет не только теоретическое, но и прикладное значение. Оно необходимо для расшифровки поведения золота и серебра в несущих растворах и определения физико-химических параметров последних, а также имеет практическое значение при решении практических задач для разработки новых технологий извлечения золота и серебра.

III. Золото-сульфидно-кварцевый тип (месторождение Бестобе) - широко представлен в Казахстане. В составе их руд развиты три типа продуктивных ассоциаций: березитовый, кварцево-жильный и бонанцевый. Первый из них характеризуется преимущественным развитием в составе руд

золота, связанного с сульфидами, второй – преобладающими самородными выделениями золота разной размерности (от самородков до нанозолота), третий – это весьма богатые руды с крупным золотом. Даже при таком кратком изложении понятно, что они значительно различаются по своим технологическим свойствам. Однако на практике они перерабатываются по одной или по двум технологическим схемам и обычно порой много золота остается в хвостах.

Оценка полноты решения поставленных задач

Все поставленные задачи перед диссертантом решены:

- проведен сбор, обобщение и анализ материала по геологии и минералогии и геохимии на современном этапе изученности.
- проведены детальные микроскопические изучения золоторудного оруденения на месторождениях Бакыршик, Архарлы, Бестобе.
- проведены лабораторные испытания образцов для выявления направленности золоторудного процесса в каждом исследуемом типе месторождения
- обосновано при каких геохимических и термодинамических барьерах происходило отложение золота в рассматриваемых геолого-промышленных типах.
- созданы геологические прогнозные модели для месторождений Бакыршик, Архарлы, Бестобе.

Рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов

Проведённые исследования возможно применить для аналогичных типов месторождений.

По результатам работы установлена направленность золоторудного процесса, обоснованы геохимические и термодинамические барьеры, при которых происходит отложение золота. В рамках созданных геологических прогнозных даны характерные черты и поисковые критерии рассматриваемых типов месторождений.

Основные положения и результаты исследований рекомендуется использовать геологоразведочным организациям при прогнозировании и поисках золоторудных месторождений подобного типа, а также в учебном процессе лекционных курсов дисциплин «Геология месторождений полезных ископаемых» Казахского Национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.

Реализация научных исследований выполнена в рамках проектов «Научное обеспечение проблем по восполнению и освоению минеральных ресурсов Казахстана на 2006-2008 годы» по теме «Разработать новые теории происхождения месторождений и создать модели рудообразующих систем приоритетных полезных ископаемых» явилось изучение теоретических вопросов образования месторождений золота Казахстана и на этой основе разработка их прогнозно-поисковых моделей с систематизацией известных и прогнозируемых геолого-промышленных типов месторождений золота Казахстана.

В ходе исследований проанализировано современное состояние науки в решении вопросов теории образования золоторудных месторождений, изучены продуктивные минерагенические уровни и разработаны принципы построения прогнозно-поисковых моделей главных промышленных типов месторождений золота. По программе «Научное обоснование восполнения запасов полезных ископаемых для индустриального развития Республики Казахстан на 2012-2014 годы, «Создание научной основы оценки золотоносных структур и объёмных моделей главных типов месторождений золота», в виде научных статей и докладов в международных научных конференциях и симпозиумов

Оценка научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области

На основе анализа литературных источников, результатов натурных и лабораторных экспериментов, можно сделать вывод о том, что диссертационная работа отвечает всем требованиям современного состояния науки и техники. Применение современных методов исследования обосновывает достоверность полученных результатов и научную ценность. Научные положения и результаты диссертационной работы подтверждены публикациями и широко апробированы в материалах международных научно-практических конференций.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1 Умарбекова З.Т., Дюсембаева К.Ш. Бакырчик и взгляды на формирование месторождений в черносланцевых толщах// Известия НАН РК. Серия геологическая, ISSN2224-5278 Volume 2, Number 422 (2017) – с.23 – 30.

2 Z.T.Umarbekova, K.R.Plekhova, Dyussebayeva K.Sh. The halides of silver in the hypogene zone gold-silver deposit Arkharly (South Zhongar)// SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL №2 (428) ALMATY, NAS ISSN 2224-5278 Volume 2, Number 428 (2018) – с.141 – 148.

3 Zamzagul T. Umarbekova, Geroy Zh. Zholtayev¹, Bakytzhan B. Amralinova and Indira E. Mataibaeva. Silver Halides in the Hypogene Zone of the Arkharly Gold Deposit as Indicators of their Formation in Dry and Hot Climate (Dzungar Alatau, Kazakhstan)// International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154, Volume 13, Number 1 (2020) – с.181-190 © International Research Publication House. <http://www.irphouse.com>.

4 Zamzagul T. Umarbekova & Kulyash Sh. Dyusembaeva. The characteristics and formation of black shalehosted Bakyrchik-type gold mineralisation// Applied Earth Science Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy ISSN: 2572-6838 (Print) 2572-6846 (Online) Journal homepage <https://www.tandfonline.com/loi/yaes21> Published online: 24 Jul 2019 – с.61-62

5 Z. T. Umarbekova¹, M. A. Junussov². Determining pathfinder elements for gold in carbonaceous-sedimentary rocks by aqua regia digestion method//Геология и охрана недр ISSN 2414-4282 Алматы «КазГЕО» 2(75)2020 – с.63-67

6 Dyussebayeva .Sh., Umarbekova Z.T., A. Dolgopolova, R. Seltmann, K.U. Bulegenov. Перспективный золотоносный Бакыршикский тип в черносланцевых толщах и закономерности его формирования//Вестник Казахстанско – Британского технического университета № 4 (43), Алматы 2017г. – с.7-17

7 З.Т. Умарбекова, Р.Р. Гадеев, К.У. Булегенов, Р.А. Аманбаев. Кварц-адуляровый золотосеребряный (Архарлинский) тип в вулканических толщах//ВЕСТНИК КазННТУ №1 (125) Январь 2018 г. Алматы Университет Сатпаева, 2018 г.- с.7-12

8 З.Т. Умарбекова Этапы формирования и перспективы Архарлинского рудного узла//ВЕСТНИК КазННТУ. Университет Сатпаева Алматы № 5 сентябрь 2018 г.- с.9-16

9 З.Т. Умарбекова, К.Ш. Дюсембаева, К.Б. Каскатаева. Черносланцевые толщи –перспективный тип месторождений золота//Карагандинский государственный технический университет, Труды Университета г.Караганда №2. 2018 г.- с.48-51

10 Z.T. Umarbekova, R. Seltmann, K.Sh.Dyussebayeva, The gold ore deposit Bakyrchik and views on the formation of the mineral deposits in black shale strata//Bulgaria, 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconferences&EXPO SGEM 2017Albena, Bulgaria, 29.06 - 05.07.2017.- с.1111-1117.

11 Умарбекова З.Т., Дюсембаева К.Ш. Особенности минерального состава золото-серебряных руд месторождений Архарлы и Таскора//Международная научно-практическая конференция «Минерагения Казахстана» посвященная 90-летию со дня рождения академика Ш.Есенова Алматы, 21.09 -22.09.2017 г. – с. 271-274.

12 З.Т. Умарбекова, К.Ш. Дюсембаева The Bakyrchik deposit and views on the formation of the mineral deposits in black shale beds//International scientific conference Problems of Geoljgy and development of the mineral resoures base of the Eurasion contries. Almaty November 2019 – с. 210-217.

13 Z.T. Umarbekova , K.Sh. Dyussebayeva Bakyrchik type gold mineralization in black shale strata and regularities of its formation// International Scientific Conference Mineral Deposits Studies Group AGM 2017-18 Sallis Benney Lecture Theatre, Grand Parade, University of Brighton 3rd to 5th January 2018 London, England 3.01-05.01 2018 – с.83.

14 Medet Junussov, Zamzagul Umarbekova. Mineralogical and morphological studies of gold-bearing arsenopyrite and pyrite minerals of Bakyrchik and Bolshevik gold black shale deposits (Eastern Kazakhstan)//Geosymposium of young researchers SILESTA Польша University of Silesia, 12-14 сентября 2018 – с.153-165.

15 Medet Junussov, Zamzagul Umarbekova. Petrographic study of polysulfide ore minerals-carbonaceous associations in the Bakyrchik black shale gold-sulfide deposit//Сатпаевские чтения – 2019: Инновационные технологии-ключ к успешному решению фундаментальных и прикладных задач в рудном и нефтегазовом секторах экономики РК. 2019 –Том I. с.29.