**Плотинская Ольга Юрьевна. Минеральный состав и условия формирования эпитермальных золото-теллуридных руд месторождения Кайрагач : Срединный Тянь-Шань : диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук : 25.00.11.- Москва, 2003.- 130 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-4/201-3**

**Российская академия наук Институт геологии рудных месторождений, петрографии,**

**минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН)**

**УДК 553 411 .**

Плотинская Ольга Юрьевна

**МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЭПИТЕРМАЛЬНЫХ ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЙРАГАЧ (СРЕДИННЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ)**

25.00.11- Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых; минерагения

Научный руководитель- доктор геолого-минералогических наук

В.А. Коваленкер

Москва 2003 г.

Глава

[Введение 3](#bookmark0)

1. [Особенности геологического строения и типы рудной минерализации месторождения Кайрагач 9](#bookmark1)
   1. Геологическая позиция и строение месторождения Кайрагач 9
   2. Рудная минерализация и ее типы 11
2. [Минералого-геохимические особенности руд 20](#bookmark4)
   1. Минералогия руд 20
      1. *Общая характеристика* *20*
3. *Минеральные ассоциации и последовательность минералообразования 23 2.1.3. Типоморфные особенности основных рудных минералов* *29*

[*самородные элементы* 29](#bookmark7)

*пирит* *39*

*блеклые руды* *45*

*висмутовые и сурьмяные сульфосоли* *54*

*теллуриды и селениды* *61*

*сульфостаннаты* 70

* 1. [Минералого-геохимическая зональность 72](#bookmark24)

Выводы 79

1. [Условия формирования руд месторождения Кайрагач 80](#bookmark25)
2. Р-Т-п ара метры и состав минералообразующего флюида 80
3. [Распределение стабильных изотопов 91](#bookmark26)
4. Об источниках воды в минералообразующем флюиде 102

Выводы 105

1. [Факторы осаждения Аи 106](#bookmark33)
   1. Программный комплекс Гиббс 106
   2. Термодинамический расчеты 107
   3. Возможные факторы и механизмы осаждения Аи 108
2. Сравнительная характеристика эпитермальных месторождений

благородных металлов Кураминского золоторудного района 114

[Заключение 118](#bookmark35)

Практическое значение полученных результатов 121

Список таблиц 123

Список рисунков 124

Список литературы 126

**Введение**

**Актуальность темы**

В последние годы наиболее значительный прирост ресурсов золота в мире вызван введением в эксплуатацию эпитермальных золоторудных месторождений. Между тем, в нашей стране в балансе добычи золота роль таких месторождений невелика, хотя в отдельных регионах они играют или играли заметную роль. Это, прежде всего, месторождения Балей (Забайкалье), Дукат, Кубака, Купол, Джульетта, Карамкен, Ньявленга, Орча (северо-восток России), Многовершинное, Покровское, Белая Гора (Приамурье), Агатовское, Мутновское, Родниковое, Озерновское (Камчатка). В связи с широким развитием на территории России вулканоплутонических областей, образовавшихся в широком временном диапазоне- от протерозоя до неогена- вполне возможно обнаружение новых объектов эпитермального типа, в том числе и крупных.

Этим определяется актуальность выбора в качестве объекта исследований эпитермального золоторудного месторождения Кайрагач, которое достаточно хорошо вскрыто подземными горными выработками и скважинами и на котором можно проследить закономерности изменения минерального и геохимического состава руд почти по всему вертикальному размаху оруденения.

В мировой литературе эпитермальные месторождения принято подразделять на два основных генетических типа - кислотно-сульфатный, или высоко-сульфидизированный и адуляр-серицитовый, или низко-сульфидизированный, которые различаются степенью окисленности и кислотности гидротермальных минералообразующих растворов (Heald et alM 1987; White, Hedenquist, 1990).

Месторождения кислотно-сульфатного типа приурочены, как правило, к сложным вулканическим постройкам - стратовулканам, кальдерам, выполненным вулканитами известково-щелочной серии кислого или среднего состава и характеризуются глубинами формирования преимущественно от 500 до 2000 м. В рудах таких месторождений обычно наблюдаются высокие соотношения Au/Ag и повышенные содержания меди. Рудная минерализация в них, как правило, вкрапленная, пожилково-вкрапленная, широко распространен пирит, присутствуют энаргит, люцонит, голдфилдит. Гидротермальные изменения представлены серицитизацией и алунитовыми или каолинитовыми кварцитами. Флюиды, ответственные за формирование таких месторождений, обычно имеют магматическое или смешанное метеорно-магматическое происхождение. Они, как правило, характеризуются широкими вариациями солености и низкими pH за счет присутствия HCI и S042'. Температуры рудообразования варьируют от 100 до 320°С. На поздних стадиях флюиды могут нейтрализовываться за счет взаимодействия с вмещающими породами или разбавления метеорными водами (White, Hedenquist, 1990). Примерами месторождений такого типа могут служить Саммитвилл, Голдфилд (США), Пуэбло-Вьехо (Доминиканская Республика), Озерновское (Россия) и другие.

Месторождения адуляр-серицитового типа формируются на большем удалении от магматического источника (преимущественно на глубине от 0 до 1000 м) и далеко не всегда имеют выраженную связь с магматизмом. Руды этих месторождений характеризуются, как правило, низкими соотношениями Au/Ag и высокими содержаниями Си и Zn. Из метасоматитов на них развиты серицитизация или аргиллизация, рудная минерализация приурочена к жилам выполнения или зонам брекчирования пород; из жильных минералов наиболее типичными являются халцедон и адуляр. Такие месторождения образуются за счет слабосоленых флюидов метеорного или смешанного метеорно-магматического происхождения, как правило, нейтральных или слабощелочных; характерны явления вскипания флюидов. (White, Hedenquist, 1990). По своим генетическим особенностям к адуляр-серицитовому типу близки золото-теллуридные эпитермальные месторождения, которые, характеризуются тесной связью с магматизмом повышенной щелочности, своеобразными геохимической (Te-V-F) и минеральной (теллуриды, флюорит, роскоэлит, ванадийодержащие сульфиды) ассоциациями, что позволило некоторым исследователям рассматривать их в рамках особого золото- теллуридного или “щелочного”, A-типа (от Alcalic-type) (Bonham, 1986; Richards, 1995). Примерами месторождений низкосульфидизированного типа являются Банска Штъявница (Словакия), Балей (Россия), Комсток, Крид (США) и другие.

В настоящее время эпитермальные месторождения изучены довольно подробно, но, несмотря на это, многие важные вопросы, такие как: характер связи эпитермальной минерализации с магматизмом, вариации физико-химических параметров минералообразования, соотношение метеорного, магматического и корового источников флюидов и рудогенных компонентов, продолжительность рудообразующего процесса, факторы и механизмы формирования высоких концентраций золота, роль активностей серы, селена и теллура пока раскрыты недостаточно полно.

Выявление условий образования эпитермальных месторождений золота, выяснение механизмов образования наиболее богатых золотых руд и закономерностей распределения полезных компонентов на месторождении являются актуальными научными проблемами, решение которых позволит выявить и разработать прогнозно-поисковые и оценочные критерии для эпитермального оруденения.

*■г*

**Цели и задачи исследований**

Основной целью настоящей работы являлось выяснение минералого-геохимических особенностей руд месторождения Кайрагач, условий их формирования, источников рудообразующего флюида, а также закономерностей концентрирования золота в рудах месторождения. Реализация этой цели предусматривала последовательное выполнение следующих задач:

1. Выявить последовательность минералообразования на месторождении.
2. Определить типоморфные особенности основных рудных минералов месторождения.
3. Установить минералого-геохимическую зональность на месторождении.
4. Определить физико-химические параметры рудообразования.
5. Выяснить источники рудообразующих флюидов.
6. Оценить возможные формы переноса золота в растворе и факторы, вызывающие его осаждение.

**Методы исследования и фактический материал**

Изучение месторождения Кайрагач было начато автором в 1997 года при работе над магистерским дипломом на тему «Геологическое строение месторождения Кайрагач и минералого-геохимическая зональность рудной зоны Диабазовая», защита которого состоялась 1997 году. Исследования были продолжены в период обучения в аспирантуре и дальнейшей работы в секторе минераграфии Лаборатории рудных месторождений ИГЕМ РАН в течение 1998-2003 гг.

Изучение более 300 полированных шлифов. Выполнено более 300 микрорентгеноспектральных анализов (микроанализаторы: MS-46 (аналитики B.C. Малов, Н.В. Тронева), Camebax-Micro (С.М. Сандомирская) и SX-50 “Сатеса” (А.И. Цепин). Методами термр- и криометрии совместно с аналитиками Прокофьевым В.Ю. и Грозновой Е.О. изучено 40 пластинок (термокриокамера Linkam THMSG-600). Газовый и анионный состав флюидных включений из 5 образцов определен в ГЕОХИ РАН аналитиками Мироновой О.В. и Савельевой

Н.И. (газовый хроматограф «ЦветЮОМ» и ионный хроматограф «Цвет 3006»), Проведено более 100 определений изотопного состава серы, кислорода, углерода и водорода (аналитики Носик Л.П., ИГЕМ РАН и Покровский Б.Г., ГИН РАН).

При подготовке работы была использована систематизированная коллекция геологических образцов пород и руд месторождения Кайрагач, отобранных по скважинам и горным выработкам в интервале от поверхности (около 1500 м) до глубины 1000 м.

**Научная новизна и практическое значение работы**

Существенно расширены сведения о минеральном составе руд. Впервые предложена схема последовательности минералообразования на месторождении и охарактеризована минералого-геохимическая зональность руд. . Установлены типоморфные особенности основных рудных минералов месторождения (самородного золота, пирита, блеклых руд, сульфосолей, теллуридов и селенидов) и охарактеризованы изменения этих особенностей как во времени, так *и в* пространстве. Впервые установлены Р-Т- параметры и состав минералообразующего флюида месторождения, определены особенности изотопного состава жильных и рудных минералов и источники воды *и* серы во флюиде. Также впервые описаны возможные факторы и механизмы концентрирования золота в рудах месторождения Кайрагач и установлены причины возникновения богатых и рядовых руд и причины их распределения на месторождении Кайрагач.

Полученные данные о флюидном режиме и источниках флюидов, о механизмах и способах образования руд, физико-химических моделях переноса и осаждения золота предлагается использовать как составную часть генетической модели эпитермального рудообразующего процесса. Кроме того, закономерный характер распределения минералого­геохимической зональности, установленный на месторождении может быть полезен для разработки пронозно-оценочных критериев при разведке месторождений или рудопроявлений, сходных по своим характеристикам с *месторождением* Кайрагач.

**Апробация работы**

Результаты исследований и основные положения диссертационной работы неоднократно представлялись на многих региональных, всероссийских и международных совещаниях, симпозиумах, конференциях и семинарах: VIII научных чтениях памяти И.Ф. Трусовой (Москва, 1998г.), международном симпозиуме "Минералообразующие флюиды и рудогенез" (Ташкент, 1998г.), научной конференции "Золоторудные месторождения Узбекистана" (Ташкент, 1998), на годичной сессии ВМО «Роль минералогии в развитии минерально-сырьевой базы благородных металлов и алмазов XXI века» (Москва, 1998г.), IX съезде минералогического общества при РАН "Минералогическое общество и наука на пороге XXI века" (Санкт-Петербург, 1999г.), годичной сессии МО при РАН «Минералогия- основа комплексного использования руд» (Санкт-Петербург, 2001), X Международной конференции по термобарогеохимии (Александров, 2001г.), XVI симпозиуме по геохимии изотопов имени академика А.П. Виноградова (Москва, 2001 г.), Всероссийской научной конференции «Геология, Геохимия, Геофизика на рубеже XX и XXI веков», посвященной 10-летию РФФИ, Москва, 2002), Всероссийском Симпозиуме «Геология, генезис и вопросы освоения комплексных

*■г*

месторождений благородных металлов» (Москва, 2002 г.). По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе в академических журналах и сборниках.

**Структура и объем работы**

Диссертация состоит введения, пяти глав и заключения. Общий объем работы составляет 130 страниц, 34 фигуры, 24 таблицы. Список литературы включает 60 наименований.

**Благодарности**

Работа выполнена в Секторе минераграфии Лаборатории рудных месторождений под руководством доктора геолого-минералогических наук Коваленкера В.А., которому автор выражает глубокую признательность. Автор благодарит ИГЕМ РАН Прокофьева В.Ю., Генкина А.Г., Добровольскую М.Г., Краснова А.Н., Новикова И.А., Носика Л.П., Русинова В.Л. (ИГЕМ РАН), Гертмана Ю.Л. и Поморцева В.В.(ГГП Ташкентгелогия) и Конеева Р.И.(Национальный университет Узбекистана), оказавших содействие в работе над диссертацией, а также Целина А.И., Грознову Е.О, Носика Л.П. (ИГЕМ РАН), Миронову О.В. и Савельеву Н.И. (ГЕОХИ РАН) и (Покровского Б. Г. (ГИН РАН) за выполненные анализы.

**Основные защищаемые положения**

1. Эпитермальная минерализация месторождения Кайрагач сформировалась в течение четырех стадий: 1) стадии предрудных метасоматитов, 2) ранней рудной (золото-пирит- кварцевой), 3) основной рудной (золото-блеклорудно-сульфосольно-теллуридной), 4) пострудной (кварц-карбонат-баритовой). В распределении рудной минерализации проявлена минералого-геохимическая зональность (в т. ч. скрытая), связанная со стадийностью и фациальностью рудообразующего процесса. Стадийная зональность выражена в смене минеральных ассоциаций ранней рудной стадии ассоциациями основной рудной стадии (золото-кварц-баритовой, сульфосолей висмута, теллуридов, блеклых руд) в направлении к центрам рудных тел, а фациальная - в развитии голдфилдита и фаматинита на верхних горизонтах, самородного теллура на нижних, уменьшении в этом направлении Ag/Au отношения, существенном увеличении содержаний Те и Se и величины Te/Se Скрытая зональность выражена в увеличении пробности самородного золота и в уменьшении содержаний Ад, Те и ВІ в блеклых рудах с глубиной.
2. Многостадийное формирование руд месторождения Кайрагач происходило в интервале глубин от 200-300 м до 1-1.5 км на фоне периодических вскипаний флюида из минералообразующих растворов хлоридно-натриевого состава при температурах 300-120°С. От ранних к поздним стадиям рудообразующего процесса флюиды эволюционировали от ультракислых и кислых относительно низкосоленых (<6 мас.% NaCI-экв.) до нейтральных и субщелочных умеренносоленых (6-12 мас.% NaCI-экв.).
3. Изотопный состав минералообразующего раствора свидетельствует о его происхождении в результате взаимодействия вод магматической и метеорной природы с вмещающими вулканитами андезито-дацитового состава при низком (<0.1) отношении вода/порода и температурах 200-300°С. Эволюция изотопного состава флюида выражалась в увеличении 5180 воды и в уменьшении 634S H2S от начала к концу минералообразующего процесса.
4. Максимальное количество высокопробного самородного золота в рудах месторождения Кайрагач отложилось в результате распада гидросульфидного комплекса в температурном интервале 250-125°С в кислой среде при формировании ранних минеральных ассоциаций основной рудной стадии. Одним из главных факторов осаждения золота явилось охлаждение минералообразующего раствора по мере удаления от источника тепла. Снижение общего количества золота в более поздних ассоциациях могло быть обусловлено нейтрализацией флюида при его взаимодействии с вмещающими породами.

Практическое значение полученных результатов

Значительный прирост ресурсов золота в мире, который в последние годы вызван введением в эксплуатацию эпитермальных золоторудных месторождений выдвигает задачу поиска и разведки новых золоторудных месторождений данного типа в нашей стране на первый план. Широкое развитие на территории России вулканоплутонических областей, образовавшихся в широком временном диапазоне- от протерозоя до неогена- делает обнаружение новых золоторудных эпитермальных месторождений вполне вероятным. При этом, важное экономическое значение имеют не только крупные объекты, но также и средне- и мелкомасштабные, поскольку они часто характеризуются высокими и ураганными содержаниями благородных металлов (т.н. месторождения бонанцевого типа).

В связи с этим, важным и актуальным является выявление минералого-геохимических, текстурно-структурных, изотопных, термобарогеохимических признаков и индикаторов эпитермального золото- серебряного и золото-теллуридного оруденения, которые пригодны для экспрессной оценки формационной принадлежности, определения уровня эрозионного среза, металлогенического профиля и вероятного масштаба обнаруженного оруденения.

Поскольку месторождение Кайрагач хорошо вскрыто и разведано подземными горными выработками и скважинами в интервале более 0.6 км по вертикали (от поверхности - абс. отметка +1500м до глубины примерно +800 м) и более 2 км по простиранию рудных зон, полученные в процессе выполненных исследований материалы можно рассматривать как отражающие реальные закономерности изменения минерального и химического состава руд и околорудных пород практически по всему вертикальному и латеральному размаху оруденения. Эти материалы позволили сформулировать ряд положений, которые могут быть использованы при поисково-оценочных и геологоразведочных работах в разновозрастных вулканических областях, на золотосеребряную минерализацию, близкую по своим характеристикам с месторождением Кайрагач.

Эти положения прежде всего предлагается использовать для оценки эрозионного среза месторождения, поскольку такая оценка опосредованно позволяет судить и о масштабах оруденения. К ним в первую очередь относятся выявленные на месторождении закономерности распределения ряда рудных и жильных минералов, вариации их химического и изотопного состава, положение наиболее богатых золотом минеральных ассоциаций в пространстве, их приуроченность к определенным гипсометрическим уровням и относительно предполагаемых рудоподводящих структур. Ниже приведены наиболее важные из установленных закономерностей, которые предложены в качестве признаков глубины эрозионного среза эпитермального оруденения кислотно-сульфатного типа:

1. Присутствие ассоциации голдфилдита, энаргита и фаматинита-люцонита, широкое развитие селенидов и сульфоселенидов на верхних уровнях рудных тел; широкое развитие барита на верхних и, особенно, на средних гипсометрических уровнях и уменьшение его роли на глубине; приуроченность самородного теллура главным образом к средним и глубоким горизонтам.
2. Важной характеристикой приповерхностных уровней месторождения являются также пониженные значения 534 S в баритах, а также повышенные содержания серебра и селена в блеклых рудах и сульфосолях верхних горизонтов, и более широкие вариации пробности золота верхних горизонтах, чем на нижних из-за более частых флуктуаций физико-химических условий вблизи поверхности, чем на глубине.
3. Приуроченность скоплений высокопробного самородного золота и, как следствие зон наиболее богатых золотом руд преимущественно к рудам нижних горизонтов.
4. Пространственная взаимосвязь наиболее богатых золотом руд с зонами вскипания флюидов.
5. В вертикальном сечении распределение элементов характеризуется отчетливой зональностью: преобладанием Ад над Аи, и Se над Те на верхнерудных уровнях месторождения, и преобладанием Аи над Ад и Те над Se на глубине. Это выражается в смене геохимического профиля руд с серебро-селенидного на малых глубинах золото-теллуридным на нижних горизонтах месторождения.
6. Важными индикаторами Au-Bi-Sn-Se-Te геохимического (Кайрагачского) типа эпитермального оруденения являются минералы группы блеклых руд и пирит, состав и вариации примесей в которых отражают особенности минерального состава руд.

*\*'■*

*/*

Представляется, что выявленные при изучении месторождения Кайрагач минералого­геохимические особенности руд и закономерности их изменения в пространстве могут быть использованы при проведении оценки и разведки благороднометальной минерализации в разновозрастных вулканических областях, развитых в различных регионах России.

Список таблиц:

1. Таблица 2.1 Основные рудные минералы и их относительная распространенность в рудах месторождения Кайрагач
2. Таблица 2.2 Схема последовательности минералообразования в зоне Диабазовая.
3. Таблица 2.3 Основные минеральные ассоциации месторождения Кайрагач.
4. Таблица 2.4. Вариации состава самородного золота месторождения Кайрагач по данным микрорентгеноспектрального анализа, в масс. %.
5. Таблица 2.5. Химический состав самородных элементов зоны Диабазовая месторождения Кайрагач (масс. %).
6. Таблица 2.6. Результаты определения содержаний золота, серебра и других рудогенных элементов (г/т) в кристаллах пирита кубической и пентагондодекаэдрической формы\*.
7. Таблица 2.7. Коэффициенты парной корреляции (*г)* элементов-примесей в пиритах ранней продуктивной ассоциации руд месторождения Кайрагач
8. Таблица 2.8. Средние значения содержаний примесных элементов (г/т) в концентратах пирита из зоны Диабазовая
9. Таблица 2.9. Химический состав и формульные коэффициенты минералов группы блеклых руд месторождения Кайрагач.
10. Таблица 2.10. Химический состав минералов висмутин-айкинитовой серии, масс. %.
11. Таблица 2.11. Химический состав минералов джуноитовой серии и группы годрушита, мас.%
12. Таблица 2.12. Химический состав (мас.%) неназванных минералов системы Ag-Cu-Pb-Bi-S-Se
13. Таблица 2.13. Химический состав сульфосолей сурьмы, мас.%
14. Таблица 2.14 Химический состав теллуридов Au и Ад мас.%
15. Таблица 2.15 Химический состав минералов системы Pb-Te-Se-S, мас.%
16. Таблица 2.16 Химический состав минералов системы Bi-Pb-Te-Se-S, мас.%/
17. Таблица 2.17. Распределение содержаний металлов и петрогенных элементов в вертикальном сечении зоны Диабазовая.
18. Таблица 3.1. Результаты микротермометрическмх исследований флюидных включений в минералах руд месторождения Кайрагач
19. Таблица 3.2. Результаты изучения состава флюидных включений методами ионной и газовой хроматографии.
20. Таблица 3.3. Изотопный состав серы, кислорода, водорода и углерода в гидротермальных минералах месторождения Кайрагач
21. Таблица 4.1. Содержание основных комплексов золота в модельном растворе в зависимости от температуры

123

1. Таблица 4.2. Содержание основных комплексов золота в модельном растворе в зависимости от pH
2. Таблица 4.3. Содержание основных комплексов золота в модельном растворе в зависимости от Eh
3. Таблица 5.1. Сопоставление основных характеристик эпитермальных месторождений адуляр-серицитового и каолинит-алунитового (кислотно-сульфатного) типов (по White, Hedenquist, 1990) и месторождения Кайрагач.