

УДК 553.3/4:553.2

## ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ ТАРДАНСКОГО РУДНОГО УЗЛА ВОСТОЧНОЙ ТУВЫ

Гусев А.И.

*Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,  
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные по вещественному составу руд различных типов оруденения Тарданского рудного узла Восточной Тувы: комплексному золото-медно-скарновому с платиноидами, золото-сульфидно-кварцевому жильному, медно-золото-порфировому, жильно-прожилковому золото-сульфидно-штокверковому. В рудах Тарданского месторождения приведены данные по составу и элементам-примесям 3 генераций золота. Установлен унаследованный характер высокой восстановленности флюидов от магматогенного этап до продуктивного золото-сульфидного в скарнах Тарданского месторождения. Гидротермальный этап характеризовался высокой фугитивностью серы и низкой – кислорода.

**Ключевые слова:** геолого-промышленные типы оруденения, минеральный состав, генерации золота, флюидный режим, платина, палладий.

## GOLD ORE MINERALIZATION OF TARDANSKII ORE DISTRICT OF EASTERN TUVA

Gusev A.I.

*The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on material composition of ore different types of ore mineralization of Tardanskii ore district Eastern Tuva lead: complex gold-copper-skar with platinum metals, gold-sulfide-quartz lode, copper-gold-porphyr, lode-stringer gold-sulfide stockwork. Data on composition and element-admixtures of 3 generation of gold lead. Inherited character of high reduction of fluid from magmatic stage to quick gold-sulfide stage in skarns of Tardanskoje deposit arranged. Hydrothermal stage characterized by high fugacity of sulfur and low- oxygen.

**Keywords:** geology-commercial types of ore mineralization, mineral composition, generation of gold, fluid regime, platinum, palladium.

### Введение

Восточная Тува обладает различными полезными ископаемыми, из которых важное значение имеет эндогенное и россыпное оруденение золота. Последнее пространственно и парагенетически связано с магматизмом плагиигранитного ряда. Изучение рудных объектов в этом районе проводилось в 60-70 годы прошлого века и представления на перспективы этого рудного узла устарели. В настоящее время получены новые сведения о типах, вещественном составе и генетических особенностях оруденения золота Тарданского рудного узла. *Цель исследования* – обобщить и конкретизировать данные по типам и генетическим особенностям золотого оруденения Тарданского рудного узла.

### Особенности и типы эндогенного оруденения золота рудного узла

Тарданский рудный узел приурочен к сочленению Тувинского устойчивого срединного массива с зоной Каахемского глубинного разлома и одноименной структурно-формационной зоной. Основное распространение золотого оруденения связано с Каахемским глубинным разломом и крае-

вой частью крупного Каахемского гранитного батолита по рекам Копто, Малый Копто, Бай-Сют. Основную рудогенерирующую роль играл глубинный магматический очаг, сформировавший раннепалеозойский Копто-Байсютский диорит-тоналит-плагиигранитный массив, серию даек диоритовых порфиринов, спессартитов, метасоматиты и оруденение золота. Характерной особенностью гранитоидов Копто-Байсютского диорит-тоналит-плагиигранитного массива, в отличие от сходного Зубовского участка со значительно меньшей золотоносностью, являются аномальные параметры флюидного режима рудогенерирующих гранитоидов в сторону увеличения фугитивности воды и углекислоты, восстановленности магматогенных флюидов [4, 6, 7].

В пределах рудного узла развиты несколько геолого-промышленных типов оруденения: 1 – жильный золото-сульфидно-кварцевый, 2 – золото-медно-скарновый с магнетитом и гематитом, 3- золото-порфировый. Последний тип выделен нами впервые и представляет несомненный интерес в связи со своей масштабностью проявления в рудном узле и возможными крупными запасами золота.

*Жильный золото-сульфидно-кварцевый тип оруденения* формирует жилы и жильно-прожилковые зоны. Кварцевые жилы с карбонатами и сульфидами развиты преимущественно в гранитоидах, тяготея к эндоконтактовым частям интрузива, реже распространены во вмещающих вулканогенно-осадочных толщах кембрия (месторождения Проездное, Тардан – 2, Контактное и другие). Протяжённость жил 100-320 м, мощность от 0,1 до 1,6 м (в среднем 0,3-0,5 м). Простираются жилы субмеридиональные, падение от вертикального до достаточно полого (20-30°). Вмещающие породы слабо березитизированы, окварцованы, лиственицированы. Жилы сложены кварцем 2-х генераций. Кварц 1 генерации серовато-белый, массивный, крупнокристаллический или друзовидный. В нём присутствуют альбит, анкерит, кальцит, хлорит и пирит 1 генерации, образующий метакристаллы размерами от 0,5 до 2 мм. В зальбандах жил, реже в средней их части присутствует кварц 2 генерации, тесно ассоциирующий с пиритом, халькопиритом, марказитом, халькопиритом, блеклой рудой, галенитом, сфалеритом, редко – арсенопиритом и золотом. Такой кварц гетерогранобластовый, белый, иногда почти прозрачный. Сульфиды формируют гнёзда, линзы и прожилки. Содержание сульфидов варьирует от 5 до 12 %. Концентрации золота варьируют от 0,1 до 230 г/т. Золото образует чешуйки, зёрна неправильной формы размерами от 0,1 до 1 мм. Содержания серебра в рудах от следов до 40 г/т, висмута от 0,05 до 0,2 %.

Сульфидно-кварцевые жилы по простирацию нередко переходят в линейные штокверки сближенных жил и прожилков на участках дробления гранитоидов в тектонических зонах. Мощность таких зон достигает 8-10 м. Состав рудных и жильных минералов аналогичен таковым в жилах.

*Золото-порфировый тип оруденения* приурочен к участкам сильной трещиноватости и дробления плагиигранит-порфиров и дайкам диоритовых порфиритов и спесартитов. Этот тип оруденения образует своеобразные штокверковые участки кварцевых прожилков и прожилково-вкрапленными выделениями кварца с пиритом, редко – арсенопиритом и свободным золотом. Золото-порфировый прожилково-вкрапленный тип оруденения формирует участки размерами от 40×120 м до 70×1000 м среди плагиигранит-порфиритов.

Кварц ранней генерации образует среднезернистые агрегаты в более мощных прожилках и раздувах. Кварц 2 генерации появляется на участках скопления сульфидов. Тонкие прожилки кварца мощностью 1-6 мм образуют своеобразную «сетку», в которой прожилки сопровождаются вкраплено-линзовидными и гнездовыми выделениями сульфидов. Пирит кристаллизовался в виде пентагон-додекаэдрических выделений размерами 0,1-0,3 мм. Дисульфид железа мышьяковистый, с повышенными концентрациями кобальта, висмута и серебра. Содержания золота в нём варьируют от 15 до 150 г/т. Содержания золота в рудах от 0,1 до 6 г/т. В местах появления арсенопирита концентрации золота увеличиваются до 10-20 г/т. Пробность золота колеблется от 910 до 955 %. Температура гомогенизации газожидких включений дорудного кварца 1 генерации – 320-300° С, а рудного кварца 2 генерации – 270-290° С.

*Золото-медно-скарновый тип оруденения с магнетитом* представлен несколькими месторождениями (Тарданским, Коптинским, Соруглугхемским) и рядом проявлений. Наиболее крупным и изученным является Тарданское месторождение [13, 14]. Оно приурочено к западной приконтактовой части Копто-Байсютского интрузива. Структура рудного поля относится к комбинированному типу, где сочетаются сближенные субпараллельные сбросо-сдвиговые зоны, пересекающие полого-погружающийся западный контакт Копто-Байсютского гранитоидного массива. На месторождении развиты магнезиальные и известковые скарны. Внутреннее строение скарново-рудных залежей зональное: 1 – приконтактовые деформированные диориты, тоналиты, нередко амфиболитизированные, хлоритизированные, карбонатизированные за счёт пироксен-плагноклазовых околоскарновых пород; 2 – зона магнезиальных скарнов мощностью 1-5 м.; 3 – зона известковых скарнов с магнетитовыми рудами мощностью 3-70 м.; 4 – серпентинизированные форстеритовые кальцифиры и бруситовые (апопериклазовые) мраморы мощностью 100-200 м. Известковые скарны пересекают магнезиальные, местами замещают их, а сами, в свою очередь, замещаются послескарновыми метасоматитами. Ассоциации флогопит-ксантофиллит-паргасит-мелилит-геленит-серпентиновых, магнетит-актинолит-хлорит-гематит-шабазитовых пород и

бруситовых кальцифиров отвечают преобразованным магнезиальным и известковым скарнам и могут рассматриваться как ретроградные скарновые изменения.

Исходные магнезиальные скарны магматического этапа сложены шпинелью, фассаитом, фассаит-форстеритовыми, доломит-фассаитовыми, форстеритовыми ассоциациями с примесью гистерогенных паргасита, флогопита, геленита, ксантофиллита, мелилита, серпентина. Известковые послемагматические скарны представлены диопсид-салитом, гроссуляр-андрадитом, скаполитом, волластонитом, везувианом с образованием пироксеновых, гранатовых, волластонитовых и пироксен-гранат-скаполитовых тел. Они содержат примеси наложенных послескарновых ретроградных минералов – актинолита-тремолита, магнетита, гематита, эпидота, хлорита, альбита, калиевого полевого шпата, пренита, талька, ломонтита, кварца нескольких генераций, кальцита, пирита, халькопирита и других более редких минералов.

Рудные тела в скарнах представлены зонами лиственитизации в магнезиальных и известковых скарнах с вкрапленно-прожилковыми, линзовидными, гнездовыми кварц-карбонатно-золото-сульфидными ассоциациями. Форма рудных тел контролируется тектонической трещиноватостью скарновых залежей и представлена линзовидной, гнездовой, столбообразной формой. Наиболее обогащёнными золото-сульфидной минерализацией оказались магнетитовые линзы и актинолит-хлоритовые апоскарновые метасоматиты, сформировавшиеся в зонах деформаций и замещения магнезиальных и известковых скарнов, являвшихся физико-химическими барьерами на пути движения гидротермальных растворов. Продуктивная минерализация размещена в скарнах крайне неравномерно. Количество сульфидов (пирит, пирротин, арсенопирит, молибденит, халькопирит, борнит, халькозин, тетраэдрит, сфалерит, висмутин, шапбахит, теллуrowисмутит, тетрадимит, алтаит) в скарново-рудных телах варьирует от 1 до 7 %.

Выделяются 3 генерации золота. Золото в рудах мелкое (0,07-0,3 мм). Первая генерация золота связана с наиболее высокотемпературными магнезиальными скарнами, где оно ассоциирует с мышьяковистым пиритом. Проба золота первой генерации 900-

920 ‰. В этом золоте примесями являются железо (0,5-1,5 ‰), медь (1-2 ‰). Пробность 2 генерации, ассоциирующей с арсенопиритом, борнитом, халькозином от 905 до 960 ‰. Элементы – примеси в золотилах 1 генерации представлены серебром (5-6%), медью (0,07-0,08 ‰), свинцом (0,002 ‰). Пробность более поздней 3 генерации 980-990 ‰. Золото третьей генерации ассоциирует с тетрадимитом, алтаитом. Примесями в нём являются: ртуть (1-3 ‰), теллур (0,5-1 ‰) и серебро (0,5-0,3 ‰).

В целом выделяется 3 этапа накопления золота и других металлов в процессе эволюции Тарданской магмо-рудно-метасоматической системы: 1 – высокотемпературный (800-650 °С) в магнезиальных скарнах магматического этапа; 2 – среднетемпературный (480-430 °С) в послескарновых ретроградных метасоматитах; 3 – средне-низкотемпературных наложенных на скарны метасоматитах, связанных с лиственитизацией и сульфидизацией, а также кварц-карбонатно-сульфидных прожилках и гнёздах (320-120 °С).

По данным инверсионно-вольтамперометрического анализа в скарновых образованиях Тарданского месторождения обнаружены платина и палладий [12].

Магнезиальные и известковые скарны, не содержащие магнетит-сульфидной минерализации, характеризуются обычно фоновыми содержаниями платиноидов: 5-10 мг/т Pt и 4-15 мг/т Pd. Высокие концентрации этих элементов характерны для лиственитизированных и сульфидизированных скарнов: они содержат 8-22 г/т Au, 1-33 г/т Pt, 0,25 г/т Pd. Отношения Pt/Pd в минералах разных ассоциаций показали такие цифровые данные: 0,5-3,2 для магнетитовых руд и 39-943 для лиственитизированных и сульфидизированных скарнов. Это свидетельствует в пользу значительного накопления платины в минеральных ассоциациях позднескарновых и послескарновых образований по сравнению с палладием [12].

На диаграмме  $fS_2 - fO_2$  чётко прослеживаются генетические особенности скарнового и гидротермального этапов месторождения, где отчётливо наблюдается высокая фугитивность серы и низкая – кислорода для Тарданского и Ульменского месторождений, содержащих ранние магнезиальные скарны, по сравнению с другими скарновыми объектами Алтая и Горной Шории (рис. 1).

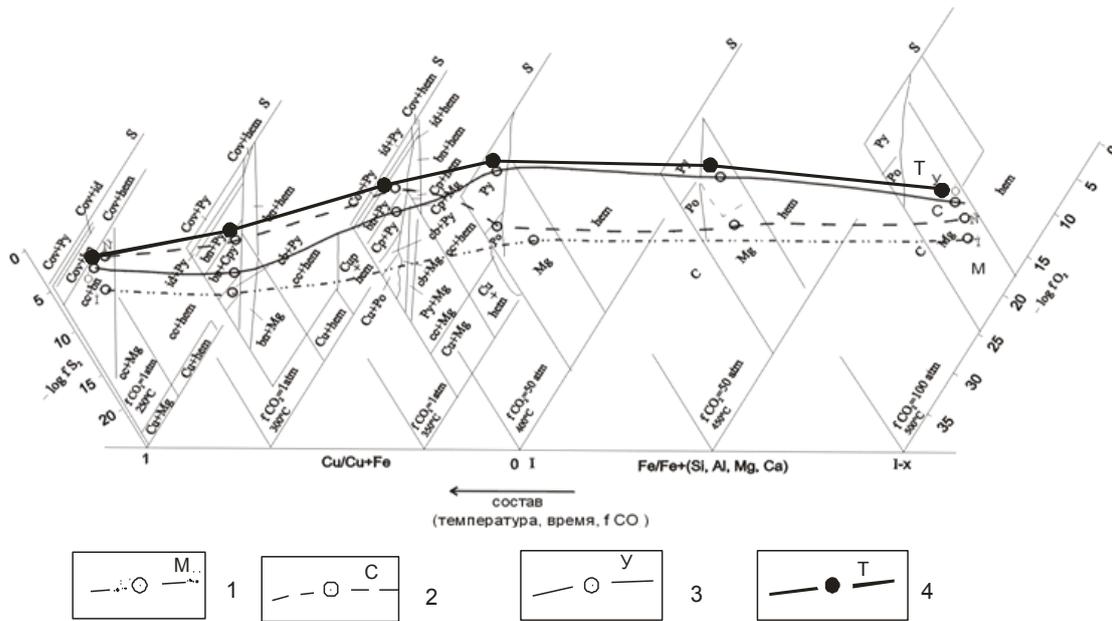


Рис. 1. Диаграмма  $fS_2$ - $fO_2$  систем Fe-S-O и Cu-Fe-S по [15, 16] для золото-медно-скарновых и скарново-железорудных месторождений IOCG класса Алтае-Саянской складчатой области (составлена автором с использованием данных вышеперечисленных исследователей).

Месторождения Алтае-Саянской складчатой области: 1 – Майское (Горная Шория), 2 – Синюхинское (Горный Алтай), 3 – Ульменское (Горный Алтай), 4 – Тарданское (Тува).

На диаграмме  $\log S_2 - T^\circ C$  установлено, что формирование оруденения на месторождении Тардан протекало в две стадии: раннюю кварц-пирит-пирротиновую с арсенопиритом и позднюю кварц-халькопирит-борнитовую с молибденитом и золотом. При этом гомогенизация газовой-жидких включений в кварце 1 генерации в ассоциации с гексагональным пирротинитом и арсенопиритом происходит в интервале от 285 до 320°C. Температура гомогенизации газовой-жидких включений кварца второй генерации в ассоциации с халькопиритом и борнитом гораздо ниже и составляет 240-260°C. При такой смене термодинамических условий формирования оруденения от ранней к поздней стадии происходит заметное увеличение активности серы гидротермальных растворов ( $\log a_{S_2}$  от -14,3 – -13 до -9,2 – -8,3) (рис. 2).

#### Интерпретация результатов

Приведенные новые данные по золото-меди оруденению Тарданского рудного узла показывают, что в нём проявлены типы оруденения, весьма близкие по морфологическим особенностям и геолого-промышлен-

ным характеристикам к таковым Синюхинского рудного поля в Горном Алтае, где также основной золото-медно-скарновый тип оруденения сопровождается медно-золото-порфировым, жильным и жильно-штокверковым типами оруденения золота [1-3, 5]. Кроме, того Тарданское месторождение в связи со значительным количеством в рудах гематита и магнетита следует относить к железо-оксидному медно-золоторудному классу (IOCG) месторождений, который за рубежом привлекает пристальное внимание исследователей по причине комплексности руд [4]. По соотношению золота, меди и серебра в рудах месторождения Тардан следует относить к комплексным «би-продуктивным» объектам, как и Синюхинское месторождение Горного Алтая [6], с которым наблюдаются некоторые сходные черты. Помимо золота в рудах Тарданского месторождения промышленные содержания имеют платина и палладий, что также характерно и для Синюхинского месторождения в Горном Алтае [7].

Отличительной особенностью Тарданской магмо-рудно-метасоматической системы (МРМС) является унаследованный характер восстановленности от магматогенных флюидов к скарновому этапу становления МРМС и вплоть до гидротермального продуктивного «полиметалльного» (Au, Cu, Mo, Bi, Ag, Pt, Pd) этапа.

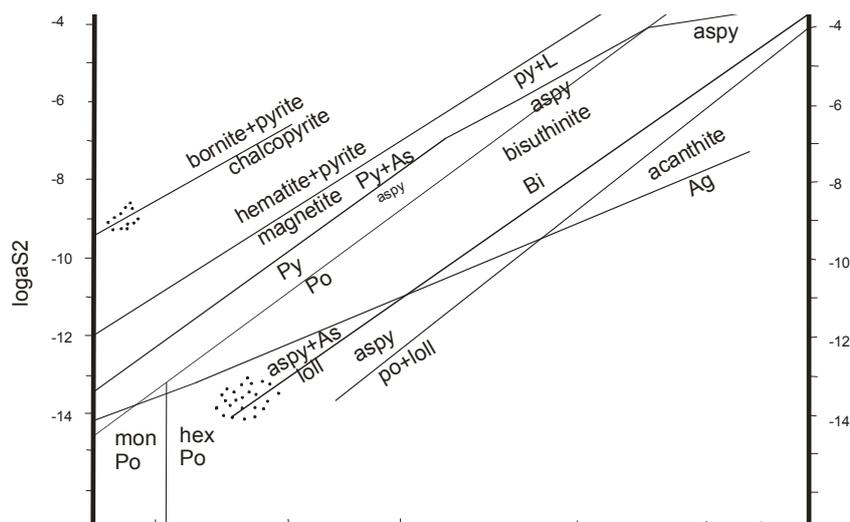


Рис. 2. Диаграмма  $a_{S_2}$  – температура для стадий Тарданского месторождения по [15]  
 Py – пирит, po – пирротин, aspy – арсенипирит, loll – лёллингит, L – жидкость.  
 Сгущением точек показаны поля соотношений активности серы и температур для разных стадий.

Из рассмотренных объектов Тараданская МРМС отличается самой высокой фугитивностью серы и низкой кислорода, что также свойственно сильно восстановленным золоторудным системам [8, 9]. Непосредственно в продуктивном гидротермальном этапе от ранней к поздней стадии происходит заметное увеличение активности серы гидротермальных растворов при формировании месторождения Тардан.

**Заключение**

Таким образом, в Тарданском рудном узле развиты 4 типа оруденения: жильное золото-сульфидно-кварцевое, медно-золото-порфировое, жильно-прожилковое штокерковое золото-сульфидное и медно-золото-скарновое с платиноидами. Тарданское месторождение относится к комплексному типу «би-продуктивных» объектов восстановленного типа с высокой фугитивностью серы во флюидах.

**Список литературы**

1. Гусев А.И. Интрузивный магматизм Синюхинского золоторудного узла // Геология и геофизика. – 1994. – №11. – С.28-40.
2. Гусев А.И., Гусев Н.И. Золото-генерирующие рудно-магматические системы Горного Алтая // Руды и металлы. – 1998. – №2. – С.67-78.
3. Гусев А.И. Геология и золото-медно-скарновое оруденение Синюхинского рудного поля в Горном Алтае // Руды и металлы. – 1998. – №2. – С.79-90.
4. Гусев А.И., Гусев Е.А. Некоторые петрохимические особенности золотоносных гранитоидов Алтае-Саянской складчатой области // Руды и металлы. – 2000. – №5. – С. 25-32.

5. Гусев А.И. Месторождения спекулярита Горного Алтая // Руды и металлы. – 2007. – № 2. – С.33-42.
6. Гусев А.И. Петрология золотогенерирующего магматизма. – М.: Изд-во РАН, 2012. – 160 с.
7. Гусев А.И. Металлогения золота: на примере Горного Алтая и Горной Шории. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.
8. Гусев А.И., Гусев Н.И. Флюидный режим и петрология шошонитовых гранитоидов супергигантского золоторудного месторождения Мурунтау // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (часть 1). – С. 13-18.
9. Гусев А.И., Гусев Н.И., Красова А.С. Восстановленная интрузивно-связанная Чойская магмо-рудно-метасоматическая W-Au-Te система Горного Алтая // Современные наукоёмкие технологии. – 2012. – № 3. – С. 23-27.
10. Гусев А.И. Золото-порфировое оруденение Черёмуховой Сопки Синюхинского рудного поля (Горный Алтай) // Современные наукоёмкие технологии. – 2013. – № 1. – С.94-98.
11. Гусев А.И. Типизация золото-содержащих скарновых объектов Горного Алтая // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 11. – С. 108-113.
12. Коробейников А.Ф. Комплексные месторождения благородных и редких металлов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2006. – 327 с.
13. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И. Мантинно-коровые рудообразующие системы, концентрирующие благородные металлы. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 262 с.
14. Коробейников А.Ф., Ананьев Ю.С., Гусев А.И. и др. Рудно-метасоматическая и геохимическая зональность золоторудных полей и месторождений складчатых поясов Сибири. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 458 с.
15. Barton P.B., Skinner B.J. Sulfide mineral stabilities // Geochemistry of hydrothermal ore deposits. – New York. – 1979. – P.278-403.
16. Holland H.D. Some applications of thermochemical data to problems of ore deposits. I. Stability relations between the oxides, sulfides, and carbonates of ore and gangue minerals // Economic Geology. – 1959. – V. 54. – P.184-233.