

ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-РУДНОГО ПРОФИЛЯ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ

И.В. Гаськов, В.А. Акимцев, К.Р. Ковалев, В.И. Сотников

Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

Показана существенная роль в добыче и ресурсном потенциале золота месторождений медно-рудного профиля: медно-скарновых, медно-молибден-порфировых и колчеданных, широко распространенных в Алтае-Саянской складчатой области в длительно развивающихся рудообразующих системах.

Процесс рудообразования в них во многом сходен. Прежде всего, это многостадийность формирования оруденения при постепенном снижении температуры рудообразующих растворов. На ранних высокотемпературных стадиях, как правило, образуются профильные руды каждой системы, часто зонального строения. Их минеральный состав тесно связан с составом рудообразующей рудно-магматической системы и закономерно повторяется на рудных объектах разного масштаба и возраста. На заключительных стадиях развития рассмотренных нами рудно-магматических систем формируются низкотемпературные минеральные ассоциации, часто сходные между собой по набору рудных и жильных минералов. Отличительная особенность этих ассоциаций — развитие теллуридов Ag, Pb, Au, образование минералов висмута и самородного висмута, а также Hg-содержащих минералов. Золото широко варьирует по пробыности, основные примеси в нем — Ag и Hg. Эти низкотемпературные ассоциации близки рудам эпitherмальных месторождений (также карлин-типу), часто развитым в этих же районах, которые, вероятно, можно рассматривать как продукты заключительных стадий развития, в том числе и изученных нами рудно-магматических систем.

Золото, минеральные ассоциации, оруденение, месторождения, элементы-примеси.

GOLD-BEARING MINERAL ASSEMBLAGES OF Cu-ORE DEPOSITS IN THE ALTAI-SAYAN FOLDED AREA

I.V. Gas'kov, V.A. Akimtsev, K.R. Kovalev, and V.I. Sotnikov

The high gold potential of Cu-ore (Cu-skarn, porphyry Cu-Mo, and pyrite-polymetallic) deposits widespread in the Altai-Sayan folded area is shown. The ore formation processes at these deposits included multistage mineralization with the gradually decreasing temperature of ore-forming solutions. At the early high-temperature stages, mainly the profile ores (often, of zonal structure) of the deposits were produced. Their mineral composition is closely related to the composition of the corresponding ore-magmatic system and is regularly repeated in ore objects of different sizes and ages. At the final stages, low-temperature mineral assemblages formed, which often have a similar set of ore and vein minerals. A distinctive feature of these assemblages is the presence of Ag, Pb, and Au tellurides, Bi minerals, native bismuth, and Hg-containing minerals. Gold in the minerals is of varying fineness; the main trace elements in it are Ag and Hg. The low-temperature mineral assemblages are close to ores of epithermal deposits (including Carlin-type ones) developed in the same areas. These ores might be the products of the final-stage evolution of the ore-magmatic systems.

Gold, mineral assemblages, mineralization, deposit, trace elements

ВВЕДЕНИЕ

Существенную роль в добыче и ресурсном потенциале золота в мире играют золотосодержащие месторождения медно-рудного профиля: медно-скарновые, медно-молибден-порфировые и колчеданные, широко распространенные в Сибири, в том числе в Алтае-Саянской складчатой области [1]. Эти типы оруденения представлены, как правило, продуктами длительно развивающихся рудообразующих систем, на ранних стадиях которых образуются достаточно высокотемпературные золотосодержащие руды собственно Cu-скарнового, Cu-Mo-порфирового, Cu-колчеданного типов, а на заключительных стадиях низкотемпературные минеральные ассоциации специфического состава, сходные во многом с эпitherмальными золото-ртутными образованиями [2]. На примере вышеотмеченных месторождений Алтае-Саянской складчатой области попытаемся показать специфику и установить общие особенности формирования золотоносных минеральных ассоциаций, связанных с развитием соответствующих рудно-магматических систем.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛЬНЫХ АССОЦИАЦИЙ НА РАЗНЫХ ТИПАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Аu-Cu-скарновые месторождения достаточно широко развиты во многих регионах Алтае-Саянской складчатой области — Горном Алтае (Синюхинское, Мурзинское, Чойское), Кузнецком Алатау (Натальевское, Федоровское), Горной Шории (Майско-Лебедское), Туве (Тарданское, Хопто) и большинство из них имеют промышленное значение (рис. 1). Формирование месторождений связано с развитием гранитного и гранит-диоритового магматизма ранне- и среднепалеозойского возраста (таннуольский, мартайгинский, усть-беловский интрузивные комплексы) [3]. Процессы скарнообразования проявлены на ранних этапах контактового метаморфизма. Формирование же рудной минерализации имеет более длительный и сложный характер. На этих месторождениях помимо традиционных минералов (халькопирит, борнит, халькозин, пирит, магнетит) выявлен ряд редких сульфидов, теллуридов и селенидов (табл. 1, 2), сформировавшихся в несколько стадий.

Золоторудная минерализация, пространственно ассоциирующая с разными типами пород — собственно скарнами, кварц-серицитовыми метасоматитами и березитами, жилами, жильными зонами и штокверками кварц-карбонат-сульфидного состава, также характеризуется длительной историей образования. Анализ развития золоторудной минерализации на вышеуказанных месторождениях показывает достаточно широкий интервал температур ее формирования (400—150 °С) и многообразие минеральных ассоциаций проявления [4, 5]. В целом золото ассоциирует практически со всеми рудными минеральными парагенезисами постскарнового гидротермального процесса, развивающегося в последовательности: магнетит, пирит → пирит, халькопирит, кубанит, пирротин, (золото) → сфалерит, блеклые руды, галенит, борнит, халькозин, (золото) → мелонит, алтаит, гессит, петцит, клаусталит → киноварь, Hg-сфалерит, Hg-блеклые руды, тетрадимит, ютенбогардтит, ингодит, висмутин, жозеит, самородный висмут, (золото). В геохимическом плане такая последовательность минералообразования проявляется следующим рядом рудных элементов: Fe, S → Au, Cu, Fe, S → Au, Ag, Cu, Zn, Pb, S → Au, Ag, Bi, Pb, Zn, Hg, Te, Se, S. Эта последовательность фиксируется и в зональном распределении рудных ассоциаций: ранние ассоциации преобладают на нижних горизонтах, а поздние — на верхних. В общем виде процесс рудообразования характеризуется постепенным снижением температуры. Также от ранних стадий к поздним отмечается уменьшение роли железа, серы и увеличение — меди и теллура. Наиболее ранние ассоциации формировались при температурах 300—400 °С, промежуточные — при 200—300 °С и поздние — около 150—200 °С [4—6]. Золото, как уже отмечалось, проявлено на разных стадиях процесса рудного минералообразования, однако масштабы его выделения и состав отличаются. Кроме того, на разных месторождениях эти минеральные ассоциации проявлены с неодинаковой полнотой. На месторождениях Синюхинское и Федоровское более полно проявлены ранние высоко- и среднетемпературные ассоциации, а на месторождениях Мурзинское, Тарданское, Майско-Лебедское и Хопто развит более широкий круг минеральных ассоциаций, включая и низкотемпературные.

Золото высоко- и среднетемпературных стадий, ассоциирующее с пиритом, халькопиритом, сфалеритом, борнитом и халькозином, выделяется как в самородном виде, так и в виде примеси в составе этих минералов. Наиболее высокие его содержания установлены в пирите и халькопирите Натальевского месторождения соответственно 33 и 32 г/т. Самородное золото характеризуется, как правило, повышенной пробностью (860—960 ‰) (рис. 2), в качестве элементов-примесей в нем установлены серебро (до 12 %) и медь (до 2,8 %). Золото, ассоциирующее с теллуридами и селенидами, формирование которых происходит при более низких температурах, наряду с самородными выделениями образует самостоятельные минералы в виде теллуридов золота (группа петцита—гессита) (см. табл. 2). Самородное золото этих ассоциаций характеризуется значительными

Рис. 1. Схема размещения золотосодержащих месторождений медно-рудного профиля в Алтае-Саянской складчатой области.

1 — медно-скарновые: 1 — Мурзинское, 2 — Синюхинское, 3 — Чойское, 4 — Майско-Лебедское, 5 — Федоровское, 6 — Натальевское, 7 — Тарданское, 8 — Хопто; 2 — медно-молибден-порфировые: 1 — Кызыл-Чадр, 2 — Аксуг, 3 — Сорское, 4 — Кульбич; 3 — колчеданные: 1 — с-в часть Рудного Алтая (Корбалихинское, Рубцовское, Золотушинское, Зареченское и др.), 2 — Кызыл-Таштыгское рудное поле (Кызыл-Таштыг, Дальнее), 3 — Салаирское рудное поле (Кварцитовая Сопка, Первомайское, Александровское и др.), 4 — Урское рудное поле (Новоурское, Белоключевское и др.).

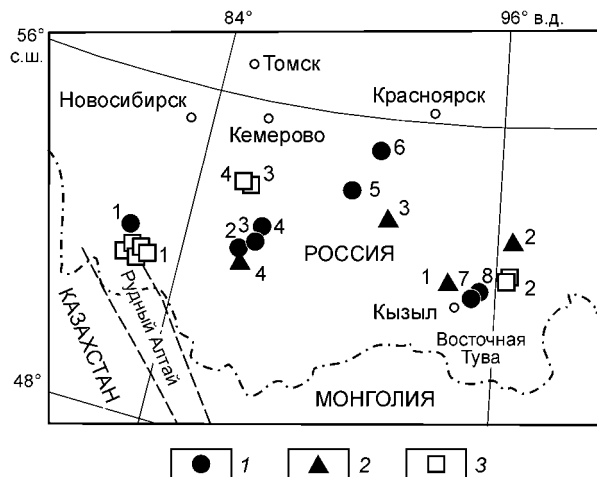


Таблица 1.

Химический состав редких сульфидных минералов медно-скарновых месторождений, мас. %

| № п/п | Месторождение (число анализов) | Минерал | Cu | Zn | Pb | Cd | Co | Ni | Ag | Au | Hg | Bi | As | S | Se | Te |
|-------|--------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|--------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------|
| 1 | Синюхинское (4) | Зигенит | 6,32—7,15 | 0,00 | Не обн. | Не обн. | 24,75—25,23 | 25,7—26,23 | 0,00—0,02 | 0,00 | Не обн. | 0,00 | 0,00 | 40,54—42,42 | 0,32—0,53 | Не обн. |
| 2 | » (3) | Кобальтин | 0,93—1,47 | 0,00 | » | » | 30,95—31,85 | 2,65—5,13 | 0,00—0,02 | 0,00 | » | 0,00 | 41,63—42,72 | 21,78—22,67 | 0,00 | » |
| 3 | » (4) | Виттихенит | 38,78—39,71 | 0,00 | » | » | Не обн. | Не обн. | 0,00—0,04 | 0,00 | » | 41,12—42,10 | 0,00 | 19,04—19,68 | 0,00—0,04 | » |
| 4 | Федоровское (7) | Виттихенит | 37,59—38,71 | 0,00—0,05 | » | » | » | » | 0,00—0,20 | 0,00 | » | 40,67—43,64 | 0,00 | 18,52—19,91 | Не обн. | 0,00—0,02 |
| 5 | Хопто (6) | Югенбогардит | 0,00—0,05 | 0,00—0,04 | » | » | » | » | 43,44—56,74 | 34,01—44,00 | » | 0,00—0,03 | 0,00 | 10,08—11,53 | » | 0,04—0,11 |
| 6 | Мурзинское (11) | Айкинит | 11,08—11,80 | 0,01—0,03 | 33,66—36,02 | 0,06—0,09 | » | » | 0,00—0,11 | 0,00 | 0,00 | 35,47—37,88 | 0,00 | 15,78—16,61 | 0,30—1,00 | 0,00—0,02 |
| 7 | » (6) | Берриит | 6,53—7,16 | 0,01—0,03 | 20,31—20,89 | 0,19 | » | » | 5,85—6,67 | 0,00 | 0,04 | 46,56—48,82 | 0,00 | 14,33—16,00 | 1,23—4,88 | 0,00—0,06 |
| 8 | » (1) | Эмплектит | 13,24 | 0,03 | 4,51 | Не обн. | » | » | 2,01 | 0,00 | Не обн. | 59,78 | 0,00 | 16,27 | 2,44 | 0,68 |
| 9 | » (1) | Полибазит | 3,38 | 0,25 | 0,62 | 0,81 | » | » | 74,14 | 0,00 | 0,00 | 2,37 | 1,64 | 8,60 | 1,69 | 0,41 |
| 10 | » (2) | Hg-сфалерит | 0,02—0,23 | 48,03—51,57 | 0,00 | 2,09—2,63 | » | » | 0,00—0,04 | 0,00—0,01 | 13,71—17,75 | 0,00 | 0,00 | 28,64—29,33 | 0,00 | 0,00 |
| 11 | » (7) | Киноварь | 0,00 | 0,03—0,06 | 0,07—0,12 | 0,00—0,01 | » | » | 0,02—0,07 | 0,00—0,23 | 84,39—87,58 | 0,00—0,04 | 0,00 | 13,30—13,64 | 0,00—0,05 | 0,00 |
| 12 | » (6) | Сауковит | 0,00 | 10,35—10,75 | 0,00 | 13,6—13,9 | » | » | 0,03—0,07 | 0,10—0,11 | 52,46—56,43 | 0,00—0,01 | 0,00 | 17,80—18,82 | 0,00—0,03 | 0,00 |

Примечание. Анализы в табл. 1 и 2 выполнены рентгеноспектральным методом на микроанализаторах „JXA-5“ (Япония) в Ин-те геологии и минералогии СО РАН. Жирным шрифтом выделены главные элементы минералов.

Таблица 2.

Химический состав теллуридов и селенидов медно-скарновых месторождений, мас. %

| № п/п | Месторождение (число анализов) | Минерал | Bi | Ag | Au | Cu | Co | Ni | Pb | Fe | Cd | Se | S | Te |
|-------|-----------------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|------------------|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Синюхинское (14) | Гессит | 0,03—0,16 | 57,31— 61,77 | 0,01—3,17 | 0,12—1,17 | 0,00 | 0,00—0,02 | 0,00—0,06 | 0,00—0,08 | Не обн. | 0,00—0,02 | 0,00—0,03 | 36,44— 38,26 |
| 2 | » (5) | Петцит | 0,00—0,02 | 40,25— 49,84 | 13,91— 24,72 | 0,11—1,71 | 0,00 | 0,00—0,72 | 0,00 | 0,00—0,05 | » | 0,00—0,23 | 0,00—0,04 | 31,85— 35,20 |
| 3 | Федоровское (2) | » | 0,11—0,13 | 47,87— 49,05 | 12,51— 13,40 | 1,06—2,87 | Не обнаружено | | | 0,19—0,34 | » | Не обн. | 0,03—0,07 | 34,65— 35,77 |
| 4 | Синюхинское (10) | Мелонит | 0,00—0,07 | 0,00—0,05 | 0,00—0,12 | 0,20—1,10 | 0,23—1,17 | 17,11— 18,56 | 0,00 | 0,00—0,08 | » | 0,01—0,07 | 0,01—0,05 | 78,38— 81,51 |
| 5 | » (2) | Алтаит | 0,28—0,32 | 0,19—0,23 | 0,00 | 0,67—0,76 | 0,00 | 0,00 | 56,24— 56,38 | 0,01—0,03 | » | 2,00—2,22 | 0,05—0,07 | 38,06— 38,41 |
| 6 | » (4) | Клаусталит | 0,09—0,18 | 0,10—0,13 | 0,00 | 2,93— 15,90 | 0,00 | 0,00 | 59,72— 74,28 | 0,80—4,47 | » | 14,62— 18,84 | 4,73— 11,72 | 0,00—0,28 |
| 7 | Федоровское (3) | Тетрадимит | 49,70— 58,76 | 0,00—0,06 | 0,00 | 0,11—9,38 | Не обн. | Не обн. | Не обн. | 0,06—1,26 | » | Не обн. | 0,83—4,66 | 35,27— 38,00 |
| 8 | Чойское (9) | » | 58,58— 61,42 | 0,00 | Не обн. | 0,00 | » | » | 0,00 | 0,00 | » | 0,25—0,55 | 4,52—4,91 | 33,48— 35,85 |
| 9 | » (6) | Ингодит | 61,05— 69,15 | 0,00—0,03 | 0,00 | 0,00—0,07 | » | » | 0,25—1,81 | 0,00—0,06 | » | 0,22—0,35 | 4,76—5,60 | 22,75— 31,64 |
| 10 | » (3) | Висмутин | 77,98— 79,08 | 0,00 | Не обн. | 0,11—0,20 | » | » | 0,41—0,55 | 0,00 | » | 0,11—0,16 | 18,17— 18,37 | 0,00 |
| 11 | » (2) | Жозеит | 75,05— 75,56 | 0,00 | » | 0,00 | » | » | 0,00 | 0,02 | » | 0,19—0,23 | 2,31—2,40 | 22,87— 23,38 |
| 12 | Мурзинское (4) | Науманнит | 0,15—7,58 | 54,64— 67,06 | 0,00—0,04 | 5,09—9,79 | » | » | 0,00—0,16 | 0,08—0,24 | 0,74 | 21,74— 23,78 | 2,64—5,27 | 1,25—1,66 |

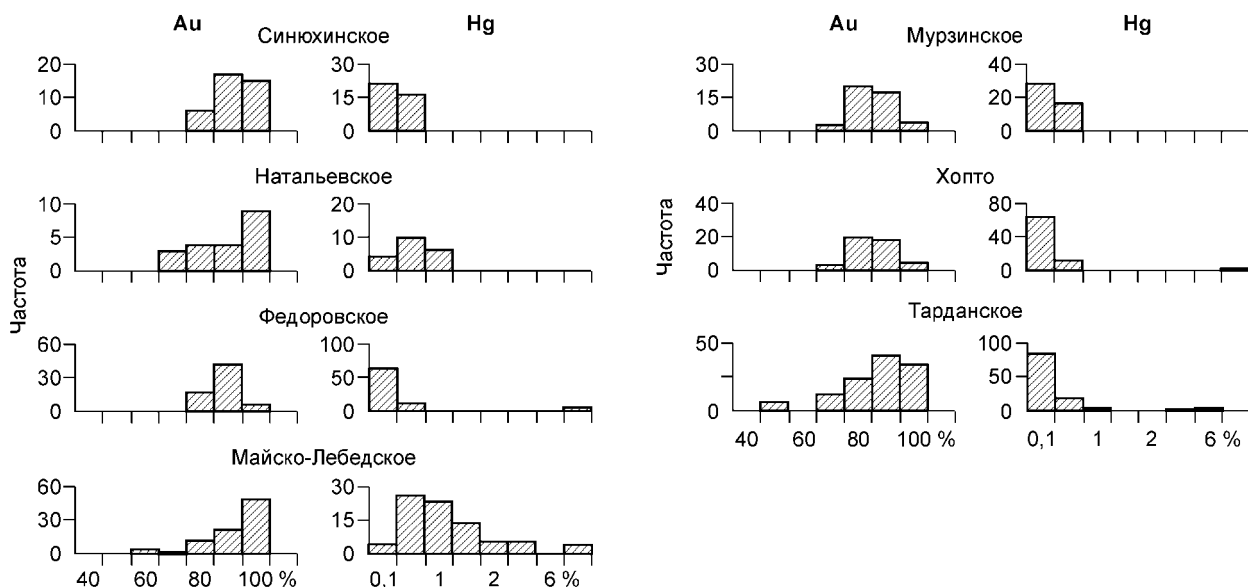


Рис. 2. Гистограммы вариаций пробы золота и содержаний примеси ртути в этом золоте на медно-скарновых месторождениях.

вариациями пробы (720—940 ‰). В качестве основной примеси в нем установлено серебро (до 27%), а также в небольших количествах ртуть (см. рис. 2). Эти ассоциации широко проявлены на месторождениях Натальевское, Майско-Лебедское, Мурзинское, Хопто, Тарданское. На этих же месторождениях достаточно широко развито золото, связанное с низкотемпературными минеральными парагенезисами, представленными сульфидами ртути, ртутьсодержащими минералами (Hg-сфалерит, Hg-блеклые руды), теллуридами висмута и самородным висмутом. В этой ассоциации наряду с самородными выделениями золота установлен сульфид золота — ютенбогартит (месторождение Хопто). Самородное золото низкотемпературных ассоциаций также имеет неустойчивый состав и широкие колебания пробы (640—910 ‰). В качестве основных примесей в нем установлены серебро (до 36%) и ртуть (до 12%) (см. рис. 2).

Данные исследований показывают, что процесс формирования золоторудной минерализации на медноскарновых месторождениях Алтае-Саянской складчатой области протекал в условиях постепенного снижения температуры, незначительного уменьшения роли железа, серы и увеличения — меди и теллура, а на заключительных стадиях и ртути. Изменение физико-химических условий формирования также отразилось на изменении пробы золота, форм его выделения, а также составе в нем элементов-примесей.

Си-Мо-порфиновые месторождения представлены на территории Алтае-Саянской складчатой области месторождениями Аксуг и Кызык-Чадр в Северо-Восточной Туве, Сорское в Кузнецком Алатау и рудопроявлением Кульбич в Горном Алтае (см. рис. 1). Все месторождения генетически связаны с порфирированными интрузиями гранитного состава девонского возраста. Оруденение по своей морфологии образует штокверки, сложенные в основном жильково-вкрапленными рудами медно-молибденового состава. Помимо основных металлов (меди 0,25—0,7% и молибдена 0,01—0,08%) на большей части этих месторождений (Аксуг, Кызык-Чадр, Кульбич) установлены повышенные содержания золота и серебра. Исключение составляет Сорское месторождение, где содержание золота даже в сульфидных концентратах не превышает десятых долей процента (табл. 3). Средние содержания Au в рудах других месторождений в целом невысокие и составляют сотые и десятые доли, редко 1—2 г/т, однако запасы его в связи с большими объемами руд этого типа месторождений достигают значительных величин. Запасы Au на среднем по масштабам месторождении Аксуг в Северо-Восточной Туве оценены в 39 т, а прогнозные ресурсы — 110 т [7].

В целом процесс формирования медно-молибденового оруденения и сопровождающих его метасоматитов (пропилитов и кварц-серицитовых пород) имеет длительное развитие и на многих месторождениях протекает по единой схеме, подчиняясь общей эволюции рудно-магматической системы [8—10]. В общем виде последовательность формирования рудных минеральных ассоциаций на Си-Мо-порфирированных месторождениях выглядит так: пирит, халькопирит, молибденит, магнетит, гематит, шеелит, вольфрамит → галенит, сфалерит, тетрадимит, борнит, халькозин, энаргит → киноварь, флюорит, барит,

Таблица 3. Содержания основных рудных компонентов (Cu, Mo) и примесей Au и Ag в рудах и концентратах медно-молибден-порфировых месторождений

| Месторождение | Cu | Mo | Au | Ag |
|-------------------------|-----------|---------|---------|----------|
| | г/т | | | |
| СОРА | | | | |
| Пиритовый концентрат | 610 | 490 | 0,012 | 1 |
| Си-Мо концентрат | 11 500 | 290 000 | 0,120 | Не обн. |
| Медный концентрат | 143 500 | 780 | 0,110 | >100 |
| АКСУГ | | | | |
| Си-пиритовый концентрат | 10 840 | 224 | 0,178 | 1,7 |
| Медный концентрат | 196 500 | 980 | 5,450 | 26 |
| Си-Мо-концентрат | 102 000 | 14 080 | 2,740 | 19,6 |
| КУЛЬБИЧ | | | | |
| Си-Мо руды | 4600—6100 | 100—300 | 0,1—2,7 | 0,5—16,2 |
| ЭРДЭНЭТ | | | | |
| Сульфидный концентрат | 620 | 250 | 0,074 | 2,9 |
| ЖИРЕКЕН | | | | |
| Си-Мо концентрат | 27 350 | 240 000 | 0,139 | 0,2 |

минералы висмута. В геохимическом плане, учитывая данные И.Г. Павловой [10], направленность процесса можно представить в следующем виде: Fe, Cu, Mo, S, (W, Au) → Zn, Pb, S, (Fe, Cu, Au, Ag) → Bi, Hg, S, Te, (Cu, Ba, Au, Ag). Этот геохимический ряд отражает как последовательность выделения рудных элементов, так и вертикальную и латеральную зональность месторождений. Причем для большей части этих месторождений характерно проявление в основном первых двух стадий минералообразования, минеральные ассоциации которых слагают соответственно внутреннюю (медно-молибденовую) и внешнюю (полиметаллическую) зоны. Однако на ряде месторождений достаточно широко развита поздняя низкотемпературная стадия минералообразования, где заметную роль играют минералы ртути и висмута, в том числе теллуриды висмута. Эта низкотемпературная золоторудная минерализация близка по своему составу золото-эпитермальное оруденение, развитому иногда в тех же рудных районах. Авторы работы [11] отмечают большое сходство рудообразующих растворов на подобных месторождениях. В этой связи важным представляется выяснение возрастных и генетических соотношений между Си-Мо-порфировой и низкотемпературной эпитермальной минерализацией. Для северного района о-ва Лузон (Филиппины), где запасы Си составляют 3,6 млн т, а Au > 500 т, предполагается, что эпитермальное Си-Au месторождение Лепанто генетически связано с Си(Au)-порфировым месторождением Фар-Соутист [12]. Среди рассматриваемых нами Си-Мо-порфировых месторождений низкотемпературная ассоциация достаточно широко проявлена на месторождении Кызык-Чадр (Тува) [13]. Она представлена развитием Hg-блеклых руд, Hg-сфалерита, теллуридов Pb, Ag, а также ртутистого золота. Состав самородных выделений золота на этом месторождении довольно широко варьирует (рис. 3).

Температуры формирования выделенных стадий рудообразования на различных месторождениях Си-Мо-порфирового типа, по данным различных авторов, в целом близки и изменяются от 470—280 (ранняя) до 210—300 (промежуточная) и 160—240 °С (поздняя) [8]. Образование золота связано со всеми стадиями рудного процесса, и промышленные его концентрации на этих месторождениях часто являются результатом совмещения разностадийных образований золоторудной минерализации. На ранних стадиях формирования собственно медно-молибден-порфировых руд самородные выделения золота

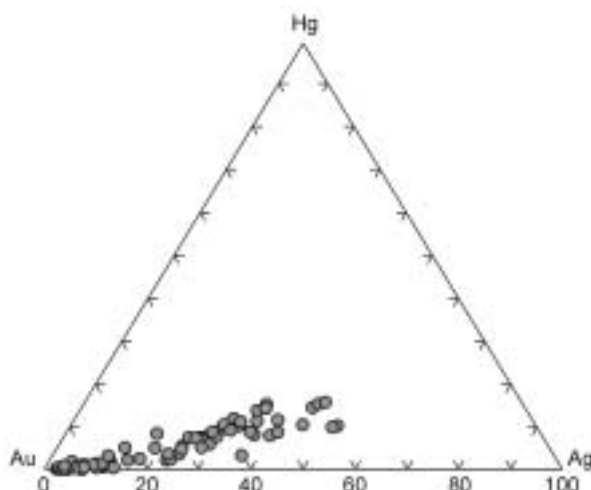


Рис. 3. Состав самородных выделений золота на медно-молибден-порфировом месторождении Кызык-Чадр (Восточная Тува).

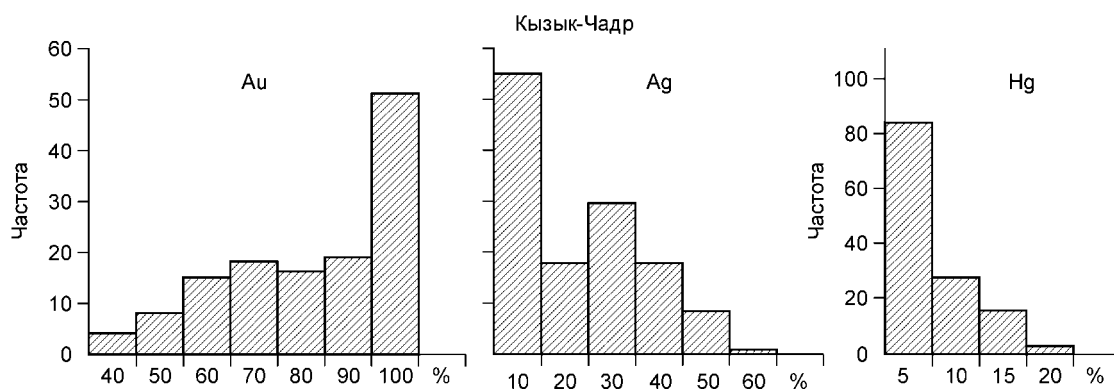


Рис. 4. Гистограммы вариаций пробы золота и содержаний в нем примеси серебра и ртути на месторождении Кызык-Чадр (Восточная Тува)

встречаются в ограниченном количестве, образуя тонкодисперсные включения в сульфидах (в основном в халькопирите) и реже в гидротермально-измененной породе. В больших количествах самородные выделения золота отмечаются в связи с низкотемпературными минеральными ассоциациями поздних и заключительных стадий процесса рудообразования. Здесь, наряду с самородными выделениями, золото входит в состав блеклых руд, а также образует теллуриды золота.

Изучение зависимости состава золота от условий его образования, проведенное на примере месторождения Кызык-Чадр, показывает следующее (рис. 4): золото ранних высокотемпературных ассоциаций характеризуется устойчивой высокой пробностью (930—970 ‰). Из элементов-примесей в нем установлены небольшие содержания Ag (до 4,5 %) и Cu (до 0,6 %). В минеральных ассоциациях промежуточных стадий минералообразования диапазон вариаций пробы золота возрастает и составляет уже 820—960 ‰. В качестве основной примеси здесь выступает Ag (до 15 %), также на уровне сотых и первых десятых долей процента отмечаются Cu и Hg. С поздними минеральными парагенезисами связано золото очень широкого диапазона пробы (380—930 ‰). Главными примесями здесь являются Ag (до 53 %) и Hg (до 20 %).

Подобную картину можно наблюдать и на Рябиновом месторождении Восточного Забайкалья.

Колчеданные месторождения также являются важным источником попутной добычи золота. По своим масштабам это крупные месторождения с большими запасами цветных металлов от нескольких сотен тысяч до 15—20 млн т и неравномерными содержаниями золота от 0,1 до 5—7 г/т [14].

В пределах Алтае-Саянской складчатой области колчеданные месторождения широко развиты на территории Рудного Алтая, Салаира, Тувы, где они образуют ряд самостоятельных рудных районов. Формирование месторождений тесно связано с проявлением разновозрастного вулканизма. С кембрийскими вулканогенными образованиями базальт-андезит-риолитового состава связаны месторождения Кызыл-Таштыг, Дальнее в Восточной Туве, Салаирское и Урское рудные поля на Салаирском кряже, а с девонскими вулканидами базальт-риолитовой формации — месторождения Корбалихинское, Юбилейное, Захаровское, Зареченское и многие другие в северо-западной части Рудного Алтая (см. рис. 1). По механизму образования эти месторождения относятся к вулканогенному гидротермальному типу (VHMS-тип) и сформировались в близповерхностных условиях [15].

Рудные залежи имеют преимущественно линзовидную и пластообразную морфологию. Нижние части залежей, представляющие собой корневые рудоподводящие зоны, сложены в основном прожилково-вкрапленными рудами, а центральные и верхние их уровни, отражающие основные области разгрузки рудообразующих растворов, напротив представлены сплошными массивными и реже брекчиевидными текстурными типами. По минеральному составу среди руд преобладают колчеданно-полиметаллические (пирит-галенит-сфалеритовые) разновидности, в меньших количествах развиты колчеданные и полиметаллические минеральные типы и подчиненное значение имеют медно-колчеданные и барит-полиметаллические разновидности. В общем виде последовательность формирования рудных ассоциаций на колчеданных месторождениях представлена сменой парагенезисов: пирит, халькопирит, (сфалерит, золото) → сфалерит, галенит, (блеклая руда, пирит) → барит, галенит, Hg-сфалерит, (аргентит, сульфосоли и теллуриды серебра, золота, алтаит, золото и др.). В геохимическом плане эта последовательность выражается рядом: Fe, Cu, S, (Zn, Au, Ag) → Zn, Pb, S, (Fe, Cu, Au, Ag) → Ba, Zn, Pb, S, (Hg, Au, Ag, Te). Нередко весь этот набор минеральных ассоциаций проявлен в вертикальной зональности одного месторождения (Среднее, Юбилейное, Кызыл-Таштыг), на других месторождениях фиксируются

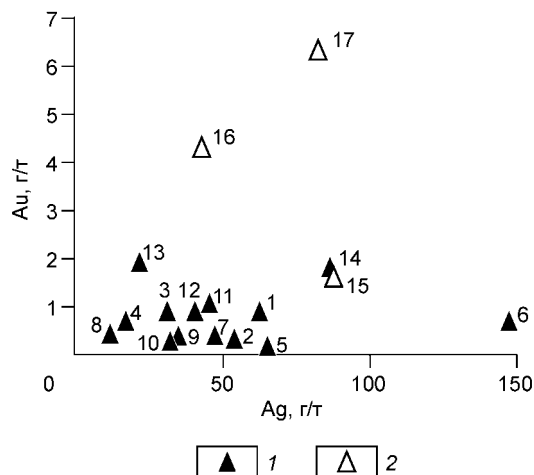


Рис. 5. Среднее содержание золота:

1 — в колчеданно-полиметаллических месторождениях: Семеновское (1), Корбалихинское (2), Лазурское (3), Масленское (4), Юбилейное (5), Рубцовское (6), Захаровское (7), Майское (8), Степное (9), Таловское (10), Среднее (11), Новозолотушинское (12), Урское рудное поле (13), Кызыл-Таштыг (14); 2 — в барит-полиметаллических: Салаирское рудное поле (15), Змеиногорское (16), Зареченское (17).

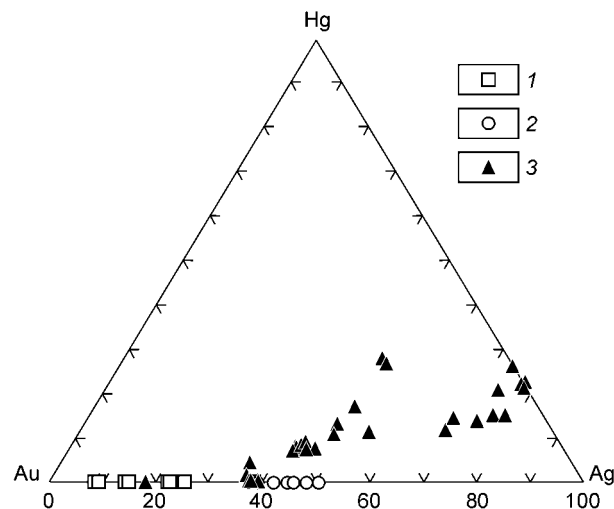


Рис. 6. Состав самородных выделений золота в рудах колчеданных месторождений:

1 — колчеданные, медно-колчеданные; 2 — колчеданно-полиметаллические и полиметаллические; 3 — барит-полиметаллические.

поздние барит-полиметаллические руды (месторождения Зареченское, Змеиногорское, Салаирское рудное поле). Температуры формирования различных типов руд изменялись от 350—300 °С (медно-колчеданные) до 300—250 °С (полиметаллические) и 200—150 °С (барит-полиметаллические).

Золото фиксируется во всех типах руд и месторождений, но содержания его изменяются в широких пределах (рис. 5). В процессе рудообразования установлено два максимума отложения золота, первый связан с образованием ранних медно-колчеданных руд и месторождений, а второй — с поздними низкотемпературными образованиями барит-полиметаллического состава [16]. Золото, связанное с ранними минеральными ассоциациями (медно-колчеданные руды), выделяется в основном в самородном виде, образуя мелкие включения в жильных и рудных минералах. Золото же поздних ассоциаций (барит-полиметаллические руды) наряду с самородными выделениями образует теллуриды (петцит — AuAg_3Te_2 , сильванит — $\text{Au}(\text{AuAg})\text{Te}_4$), а также входит в состав сложных сульфидных образований (сульфосоли и блеклые руды). Анализ самородных выделений золота из разных минеральных ассоциаций колчеданных месторождений показывает его различный состав (рис. 6), вероятно, обусловленный различными физико-химическими условиями формирования.

Золото ранних ассоциаций характеризуется наиболее высокой пробностью в основном в диапазоне 760—840 ‰. В качестве примеси в нем установлено серебро (до 25,6 %) и небольшие количества меди (до 0,3 %). Золото промежуточных ассоциаций (колчеданно-полиметаллических руд) уже с более низкой пробностью, изменяющейся в диапазоне 490—610 ‰, а содержание серебра в нем достигает 50 %. Состав золота из низкотемпературных баритовых и барит-полиметаллических руд отличается еще большим непостоянством, где состав самородных выделений изменяется от серебряных амальгам до золото-серебряных сплавов, в которых содержания золота изменяются от 13,25 до 77,23 %, а примесь Ag достигает 72 и Hg — 27 % (см. рис. 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенный анализ развития золоторудной минерализации при формировании золотосодержащих скарновых, медно-молибден-порфириновых и колчеданных месторождений, относящихся к медно-рудному профилю, показывает во многом сходную направленность процесса рудообразования, связанную, очевидно, с общими закономерностями эволюции рудно-магматических систем. Это сходство в формировании золотого оруденения при развитии различных рудно-магматических систем проявляется, прежде всего, в многостадийном формировании оруденения с постепенным снижением температуры рудообразующих растворов. На ранних высокотемпературных и промежуточных стадиях, как правило, образуются профильные руды каждой системы, часто зонального строения. Минеральный

состав этих руд тесно связан с составом рудообразующей рудно-магматической системы и закономерно повторяется на рудных объектах разного масштаба и возраста. На заключительных же стадиях развития рассмотренных нами (медно-скарновой, медно-молибден-порфировой и медно-колчеданной) рудно-магматических систем формируются низкотемпературные минеральные ассоциации, часто сходные между собой по набору рудных и жильных минералов. Отличительной особенностью этих поздних минеральных ассоциаций является развитие теллуридов Ag, Pb, Au, образование минералов висмута и самородного висмута, а также Hg-содержащих минералов. Золото характеризуется широкими вариациями пробности и в качестве основных примесей содержит Ag и Hg. По своим характеристикам эти низкотемпературные ассоциации близки рудам эпitherмальных месторождений (также карлин-типу), часто развитым в этих же районах и, вероятно, которые можно рассматривать как продукты заключительных стадий развития, в том числе и изученных нами рудно-магматических систем.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 05-05-64341), грантов НШ-1573.2003.5 и РНП.2.1.1.702.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин М.И., Зорина Л.Д., Спиридонов А.М. и др. Основные типы золоторудных месторождений Сибири (состав, генезис, проблемы освоения) // Цветные металлы, 2000, № 8, с. 4—9.
2. Borisenko A.S., Naumov E.A., Pavlova G.G., Zadorozhny M.V. Gold-mercury deposits of the Central Asia: types of deposits, regularities of localization, genetic models // J. Geol., 2004, series B, № 23, p. 42—51.
3. Шокальский С.П., Бабин Г.А., Владимиров А.Г., Борисов С.М. Корреляция магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2000, 187 с.
4. Вахрушев В.А. Минералогия, геохимия и образование месторождений скарново-золоторудной формации. Новосибирск, Наука, 1972, 237 с.
5. Гусев А.И. Металлогения золота Горного Алтая и южной части Горной Шории. Томск, СГТ, 2003, 307 с.
6. Гаськов И.В., Задорожный М.В., Сотников В.И., Наумов Е.А. Золотосодержащие минеральные ассоциации, состав золота и физико-химические условия их формирования на месторождениях медно-рудного профиля // Золото Сибири и Дальнего Востока. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2004, с. 49—51.
7. Лебедев В.И., Кужегет К.С. Минерально-сырьевой потенциал Республики Тыва: возможности его использования в 1999—2001 гг. и перспективы дальнейшего освоения. Кызыл, ТуВИКОПР СО РАН, 1998, 26 с.
8. Попов В.С. Геология и генезис медно-молибден-порфириновых месторождений. М., Наука, 1977, 203 с.
9. Сотников В.И., Берзина А.П., Никитина Е.И. и др. Медно-молибденная рудная формация (на примере Сибири и сопредельных регионов). Новосибирск, Наука, 1977, 423 с.
10. Павлова И.Г. Геолого-генетические модели молибденово-медных порфириновых месторождений // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск, Наука, 1983, с. 127—134.
11. De-Hui Zh., Wen-Huai Zh., Guo-Jian X. Выделение и эволюция магматических гидротермальных флюидов и ограничения по ним для порфирировой рудообразующей системы // Dixue Qianyuan (Earth Sci. Front.), 2001, v. 8, № 3, p. 193—202.
12. Antonio A., Jeffrey W.H., Tetsumaru I. et al. Contemporaneous formation of adjacent porphyry and epithermal Cu-Au deposits over 300 ka in northern Luzon, Philippines // Geology, 1995, v. 23, № 4, p. 337—340.
13. Забелин В.И. Геологическое строение и геолого-геохимическая зональность Аксугского медно-порфиривого месторождения как критерий глубинного прогнозирования: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук в форме научного доклада. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1988, 16 с.
14. Ковалев К.Р., Дистанов Э.Г., Аношин Г.Н. и др. Золото и серебро в рудах вулканогенных гидротермальных и гидротермально-осадочных колчеданно-полиметаллических месторождений Сибири // Геология и геофизика, 2004, т. 45 (10), с. 1171—1185.
15. Гаськов И.В., Дистанов Э.Г., Миронова Н.Ю., Чекалин В.М. Колчеданно-полиметаллические месторождения верхнего девона северо-западной части Рудного Алтая. Новосибирск, Наука, 1991, 121 с.
16. Гаськов И.В., Дистанов Э.Г., Ковалев К.Р., Акимцев В.А. Золото и серебро в полиметаллических месторождениях северо-западной части Рудного Алтая // Геология и геофизика, 2001, т. 42 (6), с. 900—916.