

УДК 553.3/4:553.2

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕДНО-ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ ГОРНОГО АЛТАЯ И ГОРНОЙ ШОРИИ****Гусев А.И.***Алтайская государственная академия образования им. В.М. Шукшина, Бийск,  
e-mail: anzerg@mail.ru*

Приведены данные по минералогии и геохимии медно-золото-порфирового оруденения Горного Алтая и Горной Шории. Порфировые рудные месторождения с золотом в регионе классифицированы на 3 типа: медно-молибден-золото-порфировое, медно-золото-порфировое и золото-порфировое. В рудах выделяются от 1 до 2 генераций золота. Температуры кристаллизации продуктивных ассоциаций осуществлялись в пределах 200-250°C. Колебания тяжёлого изотопа серы в сульфидах варьируют от (-0,5) до (-8,7‰). Рудогенерирующий магматизм и оруденение формировались в результате мантийно-корового взаимодействия.

**Ключевые слова:** порфировое оруденение, минералогия, геохимия, генерации золота, изотопы серы, проба золота, медь, молибден, золото

**MINERALOGY-GEOCHEMICAL PECULARITIES COPPER-GOLD-PORPHYRE ORE MINERALIZATION OF MOUNTAIN ALTAI AND MOUNTAIN SHORIA****Gusev A.I.***The Shukshin Altai State Academy of Education, Biisk, e-mail: anzerg@mail.ru*

Data on mineralogy and geochemistry of copper-gold-porphyry ore mineralization of Mountain Altai and Mountain Shoria lead. Porphyry ore deposition with gold in region classified to 3 types: copper-molybdenum-gold porphyry, copper-gold-porphyry and gold-porphyry, that they characterized by specific mineralogical-geochemistry properties. From 1 to 2 generation of gold detach in ores. Temperatures of crystallization quick associations were carried in limit 200-250°C. Oscillations of heavy isotope sulfur vary from (-0,5) to (-8,7‰). Ore generating magmatism and ore mineralization formed in result mantle-crust interaction.

**Keywords:** porphyry ore mineralization, mineralogy, geochemistry, generation of gold, isotops of sulfur, fineness, copper, molybdenium, gold

Медно-золото-порфировое оруденение в последнее время привлекает к себе внимание исследователей в силу комплексности руд и значительных запасов золота и меди на месторождениях. В западной части Алтае-Саянской складчатой области распространено различное по составу порфировое оруденение, однако полной сводки и систематического исследования минералого-геохимических особенностей его не существует. Цель исследования – типизировать месторождения и проявления порфирового класса и изучить их минералого-геохимические особенности.

**Результаты исследования.** Медно-золото-порфировый тип оруденения в Горном Алтае и Горной Шории формировался в кембрии и девоне. Кембрийские медно-золото-порфировые системы связаны с порфировыми интрузиями и дайками пыжинского комплекса (С<sub>2</sub>(?)), представленного кварцевыми габбро-порфирами, кварцевыми диоритовыми порфирами, плагиогранит-порфирами. Дайковая фация реализована в микрогранит-порфирах, образующих рой в районе проявления Каян. В них отчётливо проявлена гнейсоватость, обязанная каледонской складчатости. Ми-

крогранит-порфиры несут признаки гибрида.

Медно-золото-порфировое прожилково-вкрапленное оруденение локализуется, преимущественно, в дайках микрогранит-порфиров, их контактах, а также во вмещающих метабазах сарысазской свиты. Ширина проявления медно-порфирового оруденения более 10 м. Оно представлено прожилками кварца, кальцита, железистого анкерита с вкрапленностью пирита, халькопирита, магнетита, реже борнита и халькозина. В местах проявления медно-порфировой минерализации микрогранит-порфиры катаклазированы, в них появляются тонкие прожилки кварца, кварца с калиевым полевым шпатом и хлоритом мощностью от 1-2 мм до 10 см. Содержания сульфидов варьируют от 0,5 до 3%. Сульфиды сопровождаются стебельчатым кварцем в ассоциации с хлоритом, реже эпидотом, тремолитом. Содержания меди в зоне варьируют от 0,1 до 0,6%. В хвостах бороздовых проб определены тетрадимит и чешуйки золота размером 0,1×0,1 мм. Содержания золота от 0,01 до 3,2 г/т.

Медно-молибден-золото-порфировый тип оруденения девонского возраста пред-

ставлен Кульбичским месторождением, приурочено к массиву порфировых гранитоидов размером 2'9 км. В районе месторождения развиты дайки порфировых долеритов, монцодиоритов и гранодиоритов, секущих вышеуказанный шток. Штокверк кварцевых жил с молибденитом, халькопиритом, гематитом, магнетитом ассоциирует с дайковым комплексом и распространён на 2-3 км в длину при ширине 400-600 м. В окварцованных и калишпатизированных гранит-порфирах вблизи даек содержания золота также резко возрастают от 0,2 до 14,4 г/т. Штокверк сложен четырьмя генерациями кварцевых, кварцево-кальцитовых и кварц-баритовых жилок мощностью от долей мм до 1-5 см. В контактах жилок проявлены калиевый полевой шпат и биотит. Оруденение приурочено к двум полосам окварцевания. Одна из них проходит по правому борту долины р. Кульбич, другая – в 1,5 км северо-восточнее по водоразделу рек Саразан – Юля – Кульбич, параллельно первой. Обе полосы сопровождаются широкими ореолами пропилов. В рудах определены следующие минералы: молибденит, халькопирит, золото, пирит, сфалерит, галенит, шеелит, вольфрамит, самородная медь, гематит, магнетит, тетрадимит, киноварь, псилломелан, борнит, халькозин, флюорит, барит. Золото тесно ассоциирует с кварцем 3 генерации, характеризующимся стебельчатыми выделениями размерами 0,1- 0,5 мм и тетрадимитом. Кварц 3 имеет обильные первичные газово-жидкие включения, гомогенизация которых происходила при температурах 220-250 °С. Золото представлено одной генерацией. Золотины имеют высокую пробу (970-980‰). В качестве примесей в нём определены медь, теллур и висмут.

Содержание молибдена и меди в штокверках Северной и Южной полос окварцевания 0,01-0,02%, золота от 0,05 до 2,5 г/т. В Западной части месторождения в пределах вышеуказанных полос окварцевания выделены 3 рудных тела мощностью от 3,5 до 14,9 м и протяжённостью 150 м. Содержание меди в них от 0,46 до 0,61%, молибдена от 0,01 до 0,03%. Концентрации золота варьируют от 0,1 до 2,7 г/т. Варьирование  $^{34}\text{S}$  в пиритах вкрапленных руд Кульбичского месторождения от -3 до -0,5. Эти значения близки к мантийным изотопным отношениям.

В зоне окисления установлены куприт, тенорит, молибденит, лимонит, малахит, азурит, медная чернь, охры молибдена и же-

леза. Кульбичское рудное поле в геохимических полях подчёркивается зональной АСП, где ядерная зона концентрирования охватывает максимально аномальные концентрации меди, молибдена, серебра, золота. Во фронтальной зоне концентрирования в порядке значимости встречаются медь, золото, барий, свинец, цинк, местами молибден.

Медно-золото-порфировое прожилково-вкрапленное оруденение локализуется, преимущественно, в дайках микрогранит-порфиров, их контактах, а также во вмещающих метабазах сарысазской свиты. Ширина проявления медно-порфирового оруденения более 10 м. Оно представлено прожилками кварца, кальцита, железистого анкерита с вкрапленностью пирита, халькопирита, магнетита, реже борнита и халькозина. В местах проявления медно-порфировой минерализации микрогранит-порфиры катаклазированы, в них появляются тонкие прожилки кварца, кварца с калиевым полевым шпатом и хлоритом мощностью от 1-2 мм до 10 см. Содержания сульфидов варьируют от 0,5 до 3%. Сульфиды сопровождаются стебельчатым кварцем в ассоциации с хлоритом, реже эпидотом, тремолитом. В хвостах бороздовых проб определены тетрадимит и чешуйки золота размером 0,1×0,1 мм. Содержания золота от 0,01 до 1,2 г/т.

Оруденение этой формации девонского возраста распространено также в пределах развития вулканитов нижнего среднего девона и гранит-порфировых интрузий байгольского комплекса. Медно-золото-порфировый тип оруденения контролируется кольцевыми вулканическими структурами, образующими аномальный блок в Лебедском прогибе.

Проявление Чакпундобэ расположено на вершине одноименной горы, где среди андезитовых порфиритов, дацитовых порфиров и субвулканических гранит-порфиров закартировано тело взрывных брекчий овальной формы размером 200×50 м. Флюидо-взрывные брекчии с катакlastической структурой, чаще всего образованы по субвулканическим гранит-порфирам.

Обломки брекчий представлены угловатыми фрагментами субвулканических гранит-порфиров, трахириолит-порфиров размерами от 1-2 см до 2-3 мм. Во фрагментах разное количество интрателлурических выделений кварца. Иногда они не содержат вкрапленников. Размеры обломков от 0,5-0,6 мм до 1-2 см. Цементиру-

ющая масса сложена тонким перетёртым материалом гранит-порфиров, трахидаци-товых порфиров с отчётливой флюидал-ностью, интенсивно хлоритизированной, гематитизированной, серицитизированной и турмалинизированной (кварц-хлорит-серицитовые, кварц-серицит-турмалиновые березиты). В целом порода сильно аргилли-зирована и березитизирована. Брекчии ин-тенсивно аргиллизированы в виде прожил-ков и гнёзд серицита. Местами отмечается калиевый полевой шпат, мусковит и биотит. Редкие прожилки кварца мощностью 0,5 – 2 см содержат вкрапленность сульфидов до 0,5 мм. В этом кварце, имеющем гетерогра-нобластовую микроструктуру, отмечаются гипидиоморфные выделения оксида крем-ния с гомогенизацией газовой-жидких пер-вичных включений в интервале 200-235 °С. Ранее в турмалинизированных брекчиях с пустотами выщелачивания определены Мо до 0,01-0,02%, а также Cu, As, Pb до 0,1%, бор 0,5-1%. В пробе-протолочке из турмалинизированной брекчии обнару-жено золото до 12 знаков (0,2 мг), а также единичные знаки тетрадимита, бисмутита, шеелита. Содержания золота варьируют от 0,1 до 2,5 г/т. Пробность золотин составля-ет 856%. В качестве примесей в золоте при-сутствуют медь, серебро, висмут, железо, мышьяк.

Золото-порфировый тип оруденения девонского возраста представлен Чури-нским проявлением золота, приуроченном к зоне одноименного разлома. Вдоль по-следнего проявлены криптовулканические аппараты, сложенные флюидо-экспло-зивными брекчиями среди вулканитов са-ганской свиты. Наиболее крупный такой аппарат выявлен в междуречье Чуря – Ка-чан в виде тела эллипсоидальной формы размером 300×160 м. Повсеместно при-сутствует тонкая вкрапленность пирита комбинированной формы (сочетание куба и пентагон-додекаэдра). Рудная минера-лизация в эксплозивных брекчиях локали-зована в наиболее изменённых разностях, характеризующихся флюидалностью (туф-физиты), и представлена пиритом, редко халькопиритом, самородной медью и золо-том. Содержание пирита варьирует от 1 до 3%. Содержания золота в брекчиях коле-блются от 0,4 до 8,4 г/т. Наиболее высокие концентрации золота (32,2 г/т) и серебра (16,8 г/т) зафиксированы в интенсивно бе-резитизированных брекчиях, содержащих до 3% пирита. В таком пирите содержания тяжёлого изотопа серы ниже метеоритного

стандарта и составляет – 6,3 – 8,7%, при-ближаясь к мантийным значениям. В пирит-е содержания золота варьируют от 20 до 45 г/т, серебра – от 160 до 470 г/т. Видимое самородное золото установлено в кварце, а также в сростках с пиритом. Свободное золото установлено в следующих формах: самородное пластинчатое золото размера-ми 0,2-2 мм; сростки и вростки 0,5-2 мм пластинчатых и веретенообразных золотин в пирите (кубическом и комбинированном: куб+пентагон-додекаэдр), лимоните; рас-сеянная вкрапленность мельчайших (менее 0,01 мм) зёрен разнообразных форм (пла-стинчатых, комковатых, реже правильных октаэдрических кристаллов) в пирите и в трещинках друзовидного кварца. Выявлены две генерации золота. Ранее тонкое золото встречено в кварце первой генерации. Оно яркое по окраске и имеет пробность 925%. Основные элементы-примеси в нём – сере-бро, и медь. Золото второй генерации ассо-циирует с кварцем 2 генерации, гомогени-зация газовой-жидких включений в котором происходила при температурах 250-300 °С. В составе флюидных включений в кварце 2: HCl, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, HBO<sub>3</sub>. Общая солёность ма-точного раствора во включениях составляла 3,5-7,4 вес. % NaCl. Пробность золота 2 ге-нерации низкая – от 597 до 860%. В нём присутствуют примеси серебра, меди, вис-мута, ртути.

В рудном поле проявлена зональность метасоматитов. На севере участка преобла-дают аргиллизиты с баритом и серицитом, которые сменяются по мере приближения к телу флюидо-эксплозивных брекчий про-пилитами, а затем и березитами. Аномаль-ная структура геохимического поля зо-нальна. В ядерной зоне концентрирования а максимальных содержаниях отмечаются золото, серебро, медь. В зоне фронтального концентрирования преобладают барий, сви-нец, цинк.

К медно-золото-порфировому типу от-носятся некоторые объекты группы Поло-сухинских проявлений (в том числе Бар-ковское проявление), где выделяются зоны окварцевания мощностью до 2,0–5,0 м и протяженностью до 80–150 м, линзы кварца длиной 2,5 м и шириной 0,2-0,7 м. Вмещаю-щие породы иногда брекчированы, окварцо-ваны, карбонатизированы, пиритизированы, эпидотизированы и турмалинитизированы. Оруденение представлено пропиткой, при-мазками и вкрапленностью халькопирита, пирита, более редко отмечается прожил-ково-вкрапленная минерализация гемати-

та, пирита, халькопирита, галенита. Часто в кварце развиты поры выщелачивания, частично выполненные гидроокислами Fe и Mn. Минералогическим анализом проб-протокочек также установлены: церуссит, куприт, халькозин, сфалерит, смитсонит, пироморфит, арсенопирит, киноварь, золото, брукит, анатаз, сфен, корунд, циркон, апатит, барит, флюорит. Содержания: Cu – 0,02–1,72%, Ag – 0,1–20,0 г/т, Au – 0,001–0,1 г/т (по архивным данным: Cu – 0,48–15,0%, Ag – 3,5–267,0 г/т, Au – до 1,22 г/т), в единичных пробах в повышенных содержаниях также установлены (в %): Pb – 0,05–0,5, Zn – 0,1–0,3, As – 0,005–0,5, Sb – 0,0001–0,01, Hg – 0,002, W – 0,005, Bi – 0,001, Mo – 0,0015–0,005, Co – 0,002–0,006, V – 0,01–0,2, Ba – 0,1, Sr – 0,2, Mn – 1,0. Сведения о добыче руды в древних приисках отсутствуют, за исключением Барковского проявления, где было добыто 11 т руды с содержаниями Cu – 10%, Ag – 130 г/т. В отвалах горных выработок Барковского проявления по штучным пробам прожилково-вкрапленного типа оруденения в порфиридных гранитоидах определены варьирующие концентрации: меди от 0,3 до 1,5%, золота от 0,5 до 5,5 г/т.

К медно-золото-порфировому типу относится перспективное Слюдянское проявление, расположенное на южной окраине с. Слюдянка. Здесь изучена рудная зона, вскрытая с помощью канав и шурфов. Она представлена зоной кварц-пирит-серицитовых метасоматитов (березитов) по гранодиоритам усть-беловского комплекса. Мощность зоны до 35 м. Метасоматиты вмещают кварцево-жилые зоны мощностью до 1–7,5 м с медно-полиметаллическим оруденением. Макроскопически в рудах установлены: малахит, азурит, церуссит, галенит, лимонит, гетит, халькопирит, халькозин, пирит. Минералогическим анализом дополнительно также установлены: пироморфит, вольфенит, арсенопирит, золото (до 115 знаков), металлургические свинец, олово, медь; флюорит, циркон, апатит, корунд. Простираение зоны северо-западное (290°). Наиболее обогащены золотом зоны окварцевания и вмещающие их метасоматиты, где выделяются (с северо-востока на юго-запад) три обогащенных интервала:

1) мощностью 1,7 м с содержанием 1,2 г/т (в т. ч. 0,1 м с содержанием 3 г/т); 2) 3,1 м – 0,4 г/т (в т. ч. 0,5 м – 1,5 г/т) и 3) 2,2 м – 0,2 г/т (в т. ч. 1,1 м – 0,3 г/т). Содержание полиметаллов и сопутствующих элементов в рудах низкие и не превышают (в %): Cu –

0,4; Pb – 0,8; Zn – 0,3; Ag – 0,005; As – 0,5; Sb – 0,2; W – 0,001, Ba – 0,06; V – 0,006; La – 0,001; Hg –  $32 \times 10^{-5}$ ; Bi – 0,002; Mo – 0,001; Co – 0,0015; Sc – 0,001.

На глубину в районе канавы № 1 рудная зона вскрыта наклонными скважинами №№ 113 и 114 глубиной 150,0 и 179,3 м. Падение зоны крутое (75–80°) на северо-восток. На глубину до 20–25 м по метасоматитам и вмещающим их гранодиоритам неравномерно развита кора выветривания. С глубиной наблюдается увеличение общей мощности зоны кварц-пирит-серицитовых метасоматитов (до 50 м) при уменьшении мощности зон окварцевания и уменьшения их рудоносности. Скважиной № 113 в интервале 24,9–49,3 м вскрыты метасоматиты с зонами окварцевания и медно-полиметаллической минерализацией, содержащие 5 обогащенных золотом интервалов с вертикальной мощностью: 1) 3,4 м – 0,3 г/т (в т. ч. 1,8 м – 0,5 г/т); 2) 1,0 м – 0,1 г/т; 3) 2,0 м – 0,3 г/т; 4) 3,0 м – 0,15 г/т; 5) 1,6 м – 0,1 г/т. Глубже по скважине отмечаются лишь отдельные интервалы с повышенным содержанием золота (0,01–0,03 г/т). Макроскопически в керне наблюдаются пирит, галенит, халькозин, халькопирит. При микроскопических исследованиях в рудах также устанавливаются: церуссит, пироморфит, арсенопирит, малахит, циркон, апатит, корунд, киноварь, псиломелан, золото (ед. знаки). Содержания полиметаллов и элементов-спутников по скважине № 113 низкие и не превышают (в %): Cu – 0,1; Pb – 0,15; Zn – 0,15; As – 0,05; Ag – 0,0005; Ni – 0,5; W – 0,1. Скважиной № 114 повышенные (0,1 г/т) содержания золота по рудной зоне установлены лишь в одной пробе на глубине 86,6–87,8 м, а в остальных в интервале 39,3–150,0 м содержания золота не превышают – 0,01–0,08 г/т.

Медно-молибден-порфировое, медно-порфировое оруденение с золотом распространено также на Суранашском, Ильдегемском, Уландрыкском, Калгутинском, Кокоринском, Плотбищенском, Ракитовском, Киселёвском и других участках Горного Алтая.

**Интерпретация результатов.** По соотношениям основных рудообразующих компонентов порфировое оруденение с золотом в регионе можно отнести к трём геолого-промышленным типам: медно-молибден-золото-порфировому, медно-золото-порфировому и золото-порфировому [1–4, 7]. В каждом типе наблюдаются свои специфические минеральные ассоциации и геохи-

мический спектр главных и сопутствующих химических элементов. В рудах отмечаются от 1 до 2 генераций золота. Проба ранней генерации более высокая, чем поздняя. Кроме того, в поздней генерации, помимо меди, серебра и висмута, появляется ртуть. Варьирование тяжёлого изотопа серы ( $^{34}\text{S}$ ) в пиритах от  $(-0,5)$  до  $(-8,7)$ , указывающие на мантийные значения. Температуры кристаллизации продуктивных ассоциаций с золотом колеблются от 200 до 250 °С, характерные для мезотермальных месторождений. Рудогенерирующий магматизм и порфиоровое оруденение формировались в процессе мантийно-корового взаимодействия [1, 6].

### Заключение

Таким образом, в регионе встречаются кембрийские и девонские месторождения и проявления медно-золото-порфиорового типа, из которых наиболее крупными являются девонские объекты. В рудах отмечены от 1 до 2 генераций золота, кристаллизация которого осуществлялась при температурах

от 200 до 250 °С, указывающие на мезотермальные условия генерации. Вариации тяжёлого изотопа серы в сульфидах обусловлены различными физико-химическими условиями кристаллизации золото-содержащих руд.

### Список литературы

1. Гусев А.И., Гусев Н.И. Магмо-флюидодинамическая концепция эндогенного рудообразования на примере Горного Алтая и других регионов // Региональная геология и металлогения, Санкт-Петербург, 2005. – №23. – С. 119-129.
2. Гусев А.И., Попов С.В., Дзагоева Е.А., Белозерцев Н.В. Петрология и рудоносность магмо-рудно-метасоматических систем Талицко-Бащелакского района Алтая. – Бийск: Изд-во БПГУ, 2010. – 205 с.
3. Гусев А.И. Минерагеня и полезные ископаемые Республики Алтай. – Бийск: Изд-во АГАО, 2010. – 385 с.
4. Гусев А.И. Петрология и флюидный режим порфиоровых систем // Успехи современного естествознания, 2011. – № 6. – С. 16-19.
5. Гусев А.И. Минерагеня и полезные ископаемые Алтайского края. – Бийск: Изд-во ГОУВПО АГАО, 2011. – 365 с.
6. Гусев А.И. Металлогения золота: на примере Горного Алтая и Горной Шории. – Gamburg: Palmarium Academic Publishing, 2012. – 370 с.
7. Гусев А.И. Золото-порфиоровое оруденение Черёмуховой Сопки Синохинского рудного поля (Горный Алтай) // Современные наукоёмкие технологии, 2013. – № 1. – С. 94-98.