

УДК 550.42:551.24

© Д. чл. УАГН М.С. Рафаилович*, И.М. Голованов**, О.А. Федоренко*,
В.В. Никоноров***

**ГЕОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И
ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗОЛОТОГО
ОРУДЕНЕНИЯ В ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ (НА ПРИМЕРЕ
ГИГАНТСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАЛО-МОНГОЛЬСКОГО
СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА)**

*Институт природных ресурсов ЮГГЕО, Казахстан, г. Алматы,

**Институт минеральных ресурсов, Узбекистан, г. Ташкент,

***Государственное агентство по геологии и минеральным ресурсам,
Кыргызская Республика, г. Бишкек

**Rafailovich M.S., Golovanv J.M., Fedorenko O.A., Nickonorov V.V.
GEOLOGY AND GEOCHEMICAL FEATURES AND
GEOCHEMICAL ZONING OF GOLD MINERALIZATION IN
BLACK SHALES (ON THE EXAMPLE OF GIGANTIC DEPOSITS
OF URAL – MONGOLIA BELT).**

Автореферат

Проведены обобщение и сравнительный анализ геолого-геохимических особенностей и вещественного состава гигантских месторождений золота "черносланцевого" типа Кумтор, Мурунтау, Бакырчик. По ряду индикаторных признаков (источники благородного металла, вмещающая среда, рудоконтролирующие структуры, метасоматическая зональность, минералого-геохимические черты) перечисленные гиганты характеризуются выраженным сходством, что важно для решения генетических вопросов, совершенствования технологии прогноза, поисков и промышленной разработки крупных концентраций золота в черных сланцах.

Золотое оруденение в черносланцевых толщах подразделяется на пять подтипов разноглубинных месторождений со своеобразными магматизмом, метасоматическими изменениями пород и минералого-геохимическими ассоциациями [15]: 1) мезоабиссально-абиссальный (5,0-7,0 км и более) гидротермально-метаморфогенный золото-редкометалльно-платиноидный в геохимически специализированных толщах R-V (прототип – месторождение Кумтор в Кыргызской Республике);

2) мезоабиссальный (3,0-6,0 км) золото-редкометалльный (с платиноидами, ураном) в надинтрузивных зонах скрытых батолитов и очагов гранитизации (гигантское месторождение Мурунтау в Узбекистане); 3) гипабиссально-мезоабиссальный (2,5-5,0 км) золото-мышьяк-ковый, расположенный выше фронта гранитизации на 2-3 км (месторождения Бакырчик в Казахстане, Нежданинское в Республике Саха, Кокпатас в Узбекистане); 4) гипабиссальный (1,5-3,0 км) золото-мышьяк-полиметаллический (с Ag, Sb, Hg), находящийся на расстоянии 3-5 км от батолитов, часто в связи с дайками среднего состава (Марджанбулак в Узбекистане, Кварцитовые Горки в Казахстане); 5) приповерхностный субвулканический (0,0-2,0 км) золото-мышьяк-серебро-сурьмяно-ртутный, сопряженный с брекчиевыми телами, малыми интрузиями, дайковыми комплексами пестрого состава (Высоковольтное в Узбекистане, Кючус в Республике Саха).

В настоящей статье на примере гигантских месторождений Кумтор, Мурунтау и Бакырчик рассмотрим характерные черты геологии, минералогии, элементного состава и зональности первых трех подтипов (мезотермальный класс месторождений Au).

Месторождение Кумтор. Золото-сульфидное месторождение Кумтор – эталон наиболее глубоких объектов "черносланцевого" типа – расположено на территории Срединного Тянь-Шаня в рифтогенной структуре рифей-вендского возраста, секущей выступ кристаллических пород нижнего-среднего протерозоя. Рифтогенные отложения представлены тремя литологическими комплексами: подстилающим вулканогенно-терригенным, рудовмещающим углеродисто-терригенным и перекрывающим карбонатно-терригенно-кремнистым. Отложения рудовмещающего комплекса (джетымтауская свита) отличаются повышенной углеродистостью (1,5-4,0 %), известковистостью, сингенетической рассеянной сульфидной минерализацией (пирит и пирротин), высоким геохимическим фоном Au, W, Ag, платиноидов (десятки кларков) [1, 5, 10, 13, 14, 23]. Углеродистые алевролиты, филлиты, сланцы джетымтауской свиты смяты в изоклинальные складки, осложнены надвигами, дислокационными преобразованиями – милонитизацией, гофрировкой, будинажем. Рудоносная зона смятия протяженностью до 1200 м и мощностью 300-400 м падает на юго-восток под углами 45-60° (рис. 1). На юго-восточном фланге рудного поля расположен скрытый массив гранитоидов пермского возраста, синхронный формированию концентрированного золотого оруденения. На самом месторождении Кумтор отмечаются редкие дайки среднего и кислого состава.

Золото-сульфидное оруденение локализуется в зонах гидротермального преобразования углеродистых филлонитов. Главные типы изменений: калишпатизация, альбитизация, серицитизация, хлорити-

зация, карбонатизация, пиритизация. Рудные тела послойные, реже секущие, жило-, пластообразные, линзо- и лентовидные, мощностью от десятков метров до 100-150 м и вертикальным размахом до 600-1000 м и более. Текстуры руд – вкрапленные, прожилково-вкрапленные, сетчато-прожилковые, полосчатые, пятнистые, брекчиевидные.

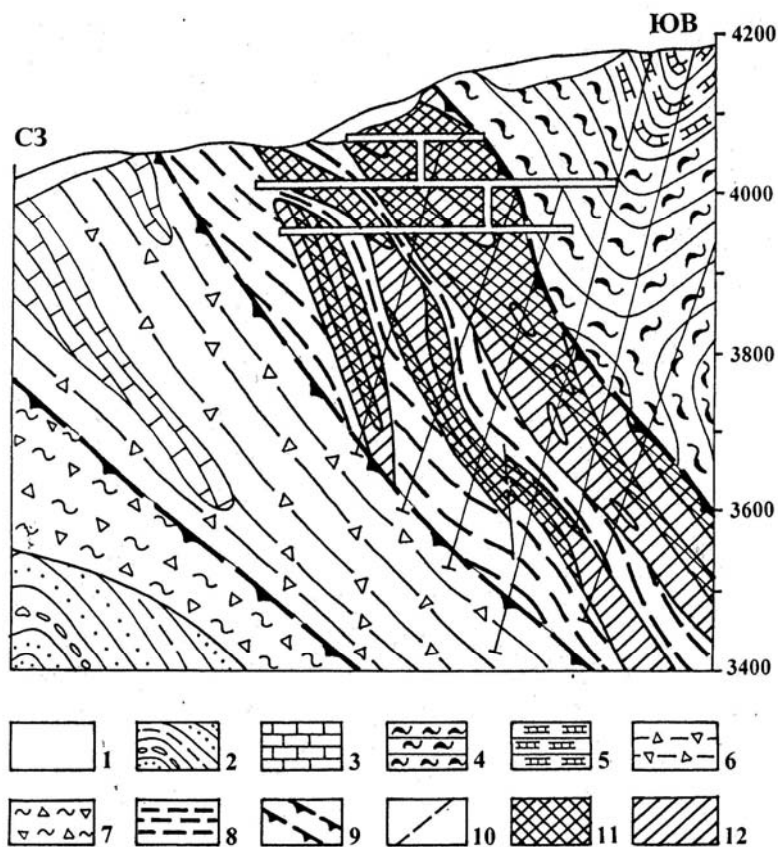


Рис. 1. Гигантское золото-сульфидное месторождение Кумтор (Кыргызская Республика). Геологический разрез [10]: 1 – ледники; 2 – флиш и моласса (С₁); 3 – известняки (Є-О₁); 4 – углисто-глинистые сланцы (филлиты) рудовмещающей джетымтауской свиты (рифей-венд); 5 – переслаивание филлитов и известняков (рифей-венд); 6 – тектонический меланж; 7 – мусорные глины; 8 – углеродистые милониты; 9 – надвиги; 10 – прочие разломы; 11-12 – руды с различной концентрацией золота.

Основные рудные минералы – золотоносный пирит (кубы, октаэдры, пентагондодекаэдры, губчатые выделения; среднее содержание в руде 10-20 %; золота в пирите 30-400 г/т, иногда до 1500 г/т), шеелит, гематит; подчиненные – халькопирит, марказит, пирротин, сфалерит, кобальтин, арсенопирит, галенит, тетраэдрит, висмутин, тетрадимит, теллуриды Au и Ag, самородные Au и Ag и др. Нерудные минералы – карбонаты (сидерит, анкерит, доломит, кальцит), ортоклаз, альбит, антракосолит, кварц, хлорит, барит, флюорит, стронцианит. Главный компонент руд – Au (среднее содержание 4,4 г/т). Серебро является попутно извлекаемым элементом. Промышленный интерес могут представлять W, Se, Te, платиноиды, S.

Руды формировались в два этапа: ранний рифей-вендский, характеризующийся отложением металлоносных углеродистых осадков джетымтауской свиты, и поздний пермский, связанный с коллизионной стадией (гранитоидный магматизм, метаморфизм, гидротермальный метасоматоз).

Образование золотой минерализации сопровождалось интенсивным перераспределением органического вещества: осветленные внутренние части золотоносных зон содержат реликтовые концентрации тяжелого углерода (0,1-0,5 %), породы внешнего обрамления (участки тектонического брекчирования за контурами рудных тел) обогащены легким углеродом – до 10-18 % [13].

Рудо- и ореолообразующие элементы: ведущие – Au, W, Ag, Ba, Cu, платиноиды; подчиненные – Mn, Cr, Ni, Co, Mo, As, Bi, Se, Zn, Pb, F, Sb, Hg. Морфология геохимических ореолов – струйчатая, полосчатая, лентовидная, согласующаяся с напластованием вмещающих пород, формой и условиями залегания рудных залежей (рис. 2). Генерализованная вертикальная геохимическая зональность (ВГЗ) эндогенных ореолов (снизу вверх): Co – Ni – Cr – W – Mo – Cu₁ – Bi₁ – As – Au – Ag₁ – Te – Bi₂ – Se – Cu₂ – Zn – Pb – Ag₂ – Sb – Sr – Ba – Hg [1]. Контрастным показателем зональности является отношение произведений содержаний элементов, представленных: в числителе – Zn, Pb, Ag, Ba, Sb, Sr и Hg, в знаменателе – Co, Ni, Cr, W, Mo, Cu и Bi. С глубиной значения этого показателя снижаются на три порядка через каждые 100 м. Вертикальная минералогическая зональность адекватна ВГЗ: кобальтин – шеелит – теллуриды никеля – пирит I – арсенопирит – самородный висмут – самородное золото – теллуриды Au и Ag – пирит II – теллуриды Cu, Bi, Pb и Ag – селениды – самородное серебро – кюстелит – галенит – сфалерит – блеклые руды – барит – стронцианит – сульфосоли Hg. Индикатором эрозионного среза руд служит типоморфизм пирита (габитус кристаллов и элементы-примеси). Кубический пирит надрудно-верхнерудных горизонтов обогащен As, Pb, Zn, Sr, Ba. Пентагондодекаэдрические кристаллы пирита средних горизонтов кон-

центрируют Au, Ag, Se, Te, Bi. На глубоких горизонтах развиты пириты октаэдрического габитуса, содержащие W, Cr, Ni, Co [1].

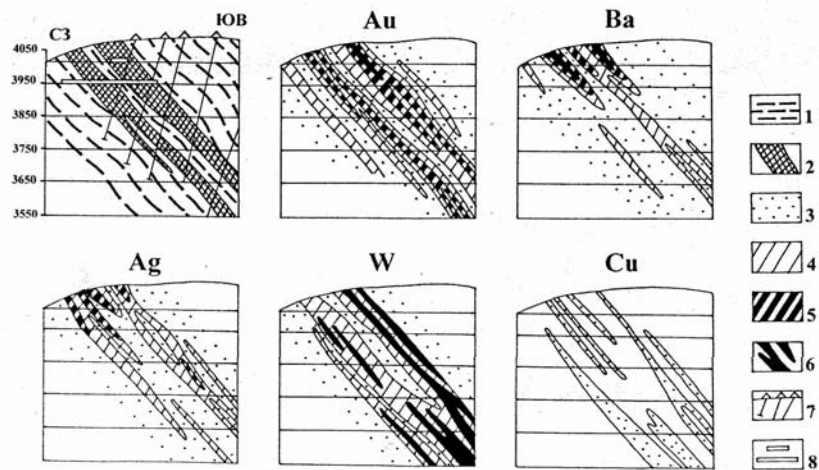


Рис. 2. Эндеогенные геохимические ореолы золото-сульфидного месторождения Кумтор (в разрезе по линии 56) [23]: 1 – милонитизированные углеродистые алевролиты, тиллоиды джетымтауской свиты; 2 – золотоносные зоны; 3-6 – геохимические ореолы (Au и Ag в усл. ед., Ba, W и Cu в %): 3 – Au менее 0,1, Ag менее 0,2, Ba менее 0,1, W менее 0,003, Cu 0,008-0,03; 4 – Au 0,1-1,0, Ag 0,2-1,0, Ba 0,1-0,3, W 0,003-0,01; 5 – Au 1,0-5,0, Ag 1,0-4,0, Ba 0,3-1,0; 6 – Au 5,0-20,0, Ba более 1,0, W 0,01-0,3; 7 – скважины; 8 – штольни.

Месторождение Мурунтау. Мезоабиссальное золото-кварцевое месторождение Мурунтау – один из крупнейших рудных объектов в мире, образец крупнообъемного многокомпонентного оруденения в черносланцевых толщах раннего палеозоя. Сверхглубокой скважиной СГ-10 (глубина 4296 м) обоснован значительный вертикальный размах оруденения (не менее 2,5-3,0 км), вскрыт Мурунтауский погребенный интрузив лейкогранитов (рис. 3, [6, 19]).

Месторождение расположено в Центральных Кызылкумах на восточном фланге Южно-Тамдытауской рудной зоны [6, 7]. Золотое оруденение локализовано в едином метатерригенном комплексе O_2-S_1 возраста – бесапанской свите сложнодислоцированных тонкослоистых углеродсодержащих песчаников, алевролитов, сланцев (А.К. Бухарин, И.А. Масленникова и др.). Отложения бесапанской свиты согласно залегают на вулканогенно-кремнисто-карбонатной тасказганской свите ($S-O_1$) и трансгрессивно перекрыты девон-каменноугольными карбонатными осадками. В составе бесапанской свиты выделяются четы-

ре подсвиты: нижний (черный) O_2 , серый O_{2-3} , пестрый O_3-S_1 и зеленый S_1 бесапаны. Отличительными особенностями пород пестрого бесапана, концентрирующего основной объем золотых руд, являются: слабовыраженная гранулометрическая дифференциация и низкая окатанность обломочного материала; наличие зерен фельзитов, спилитов, андезитов; присутствие осадочно-диагенетического, кластогенного пирита (от 0,0п до 3-5 %, в отдельных прослоях до 15-20 %) с микровключениями самородного золота, арсенопирита, галенита, сфалерита, блеклых руд; углеродистое вещество ряда керит-антраксолит-шунгит-битумоиды (до 3-5 %, в тонкообломочных породах до 8-10 % и более). Отложения пестрого бесапана подвержены метаморфизму фации зеленых сланцев.

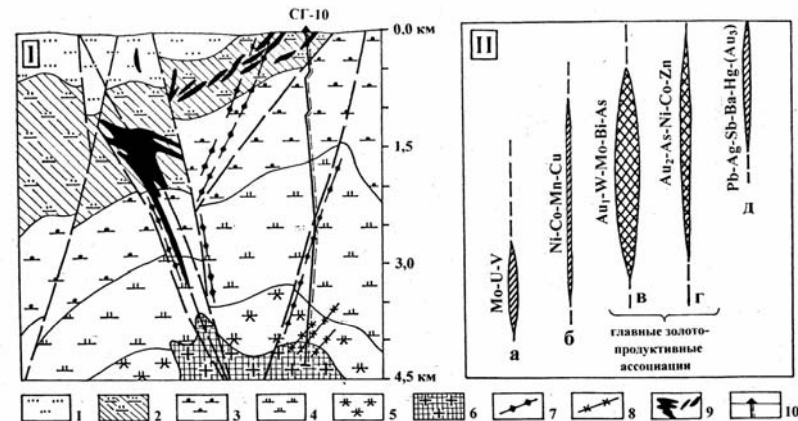


Рис. 3. Глубинный разрез через Мурунтауское рудное поле по профилю сверхглубокой скважины СГ-10 (I) и схема распределения геохимических ассоциаций в вертикальном диапазоне 0,0-4,0 км (II) (по материалам А.Д. Швецова, Э.Б. Бертмана, А.К. Воронкова, А.А. Кременецкого, Ю.А. Савчука, В.Ф. Скрабина и др.): 1-2 – отложения пестрого бесапана: 1 – верхняя пачка, 2 – средняя и нижняя пачки (золотопродуктивный горизонт); 3 – серый бесапан; 4 – нижний бесапан; 5 – верхний тасказган; 6 – Мурунтауский скрытый интрузив лейкогранитов; 7-8 – дайки: 7 – сиенит-диоритовые порфиры мурунтауского интрузивного комплекса, 8 – аплитовидные граниты; 9 – золоторудные залежи; 10 – сверхглубокая скважина СГ-10; а-д – геохимические ассоциации: а – тыловая урановорудная Мо-У-У, б – "сквозная" дорудная Ni-Co-Mn-Cu (образуется в стадии прогрессивного плутонометаморфизма), в – "сквозная" продуктивная золото-редкометаллическая додайковая, г – "сквозная" продуктивная Au-As-Ni-Co-Zn последайковая, д – фронтальная слабозолотоносная Pb-Ag-Sb-Ba-Hg-(Au).

Магматические образования (поздний палеозой) представлены дайками сиенито-диоритовых порфиритов (мурунтауский интрузивный комплекс), Мурунтауским скрытым интрузивом лейкогранитов, дайками пегматитов, аплитов и лейкогранитов, развитыми в надинтрузив-

живной зоне скрытого массива. Важной структурной особенностью является приуроченность месторождения к пересечению флексурного перегиба пород пестрого бесапана крутопадающими разрывами северо-восточного и субширотного направлений.

Месторождение представляет собой слабоэродированный гигантский штокверк (мегаштокверк) с сочетанием пологозалегающих субсогласных и крутопадающих секущих рудных зон. Штокверковые залежи, выделенные по бортовому содержанию золота 2,0 г/т (среднее содержание в карьере 3,7 г/т), состоят из комбинаций простых и сложных кварцевых жил, зон жильно-прожилкового окварцевания, прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд в гидротермально измененных породах.

Гидротермальные изменения подразделяются на: додайковые биотит-полевошпат-кварцевые и последайковые кварц-хлорит-альбитовые, кварц-серицитовые, углеродистые и аргиллизитовые [6,7]. С додайковыми площадными кремнещелочными изменениями связана максимально продуктивная (80-90 % промышленных запасов Au) шеелит-карбонат-калишпат-кварцевая минеральная ассоциация (самородное золото, шеелит, молибденит, минералы Bi, арсенопирит). С последайковыми метасоматитами сопряжены менее продуктивные золото-пирит-арсенопирит-кварцевая, полиметаллическая карбонат-кварцевая, серебро-адуляр-карбонат-кварцевая, антимонит-пирит-карбонат-кварцевая, антимонит-пирит-кальцитовая, киноварь-кварц-диккитовая ассоциации.

Самородное золото подразделяется на кластогенное, хемогенное, метаморфизованное, связанное с углеродистыми минералами, гидротермалитами, кварцевыми жилами и штокверками. Самородное золото I додайковой ассоциации (дендриты, октаэдры, пластинчатые, губчатые, прожилковые, комковидные выделения) имеет максимально высокую пробу 840-940. Самородное золото II последайковой золото-пирит-арсенопирит-кварцевой ассоциации (пылевидные, угловатые, пластинчатые формы) отличается пониженной пробностью 749-873. Золото III, образующее сростания с полиметаллическими сульфидами (галенитом, сфалеритом), характеризуется пробностью 355-732. Высокосеребристое золото IV и кюстелит (проба 285-355) ассоциируют с поздними серебряными минералами [6].

Руды и гидротермалиты характеризуются длительным (десятки млн. лет) и полистадийным формированием, контрастным спектром элементов, разнообразием видов и векторов эндогенной геохимической зональности. Ведущие элементы месторождения – Au, W, Bi, Mo, As, Ag, U, металлы платиновой группы; подчиненные – Mn, V, Ni, Co, Cu, Pb, Zn, Sb, Ba, Hg, Se, B и др. [2, 5, 6, 20]. Поликомпонентная геохимическая специализация характерна как в целом для пестрого беса-

пана, так и для отдельных его литологических разновидностей, углеродистого вещества, осадочно-диагенетического пирита. Повышенный фон элементов в пестром бесапане (Au, W, As, Mo и др.) фиксируется в рудном поле и за его пределами. Метаалевролиты и метаалевропелиты имеют наиболее высокие средние содержания Au (соответственно 76 и 32 мг/т). Кероген и сингенетический пирит в породах пестрого бесапана обогащены Au – соответственно 0,9-1,4 и 0,1-1,0 г/т. Кремнисто-щелочные метасоматиты, развитые по углеродистым осадкам, содержат Au 0,15-1,2 г/т [6].

Интрузивные породы также отличаются аномальным геохимическим фоном. Дайки сиенито-диоритовых порфиритов (мурунтауский комплекс), пегматитов, плагиогранит-порфиров специализированы на Au, Ag, As, Bi, W, Mo, Cu, Pb, Zn; лейкограниты верхней части Мурунтауского скрытого интрузива – на Ag, Bi, W, Mo, U.

Геохимические ассоциации образуют следующий регрессивный ряд: дорудная Ni-Co-Mn-Cu (стадия прогрессивного плутонометаморфизма); ранняя урановорудная Mo-V-U (развита в породах тасказганской свиты на глубинах 2-3 км); золото-редкометалльная продуктивная додайковая Au-W-Mo-Bi-As (в связи с кремнещелочным метасоматозом); золотопродуктивная последайковая Au-As-Ni-Co-Zn (золото-пирит-арсенопирит-кварцевая); поздние и пострудные Au-Pb-Zn-Ag-Bi (золото-полиметаллическая), Au-Ag (золото-серебро-адуляр-кварцевая), Ag-Pb-Sb-Hg-Ba (антимонит-киноварь-кварц-кальцит-барит-аргиллизитовая).

По С.В. Григоряну, ВГЗ месторождения выглядит следующим образом: W, Mo, Co, Ag₁, Au – Bi – As – Cu, Zn, Pb, Ag₂. По Э.Б. Бертману, ряд зональности эндогенных ореолов таков: W₁ – (W₂-Bi-Au₁) – (Mo-Cu-As-Co-Ni-Au₂) – (Zn-Pb₁) – (Pb₂-Sb-Ag).

Характерной особенностью месторождения является интерференция геохимических полей различных стадий минерализации. Пологозалегающие субсогласные рудные залежи с ранним золото-кварц-редкометалльным парагенезисом имеют фаціальную зональность: Mn, Ni, Mo, Cu, Ag (тыловая зона) – W, Mo, Bi, As, Au (стволовая зона) – As, Ba, Ag, B (фронтальная зона). Крутопадающие, секущие рудные тела с поздними минеральными комплексами характеризуются развитием Co, Mo, W, As и Au на нижних и средних уровнях, ореолов Cu, Pb, Bi, As, Ag, Sb на верхних (Ю.И. Петров, Е.В. Янишевский).

Генерализованная модель ВГЗ месторождения Мурунтау представляется в следующем виде (см. рис. 3): U-Mo-V (ураноносная ассоциация в корневой части месторождения) → Ni, Co, Cu, W, Mo, As, Au₁ ("сквозные" высокотемпературные дорудная и ранняя рудная золото-кварц-редкометалльная ассоциации) → Ni, Co, As, Zn, Au₂ ("сквозная" рудная среднетемпературная золото-пирит-арсенопирит-

кварцевая ассоциация) → Zn, Pb, Ag, Sb, Ba, Hg, В (заключительные средне- и низкотемпературные ассоциации на верхних выклинках и флангах рудных залежей).

Месторождение Бакырчик. Гипабиссально-мезоабиссальное золото-сульфидное месторождение Бакырчик расположено в Калбинском регионе Восточного Казахстана. Золото-сульфидное оруденение залегает в углеродисто-терригенных породах бакырчикской (по Н.А. Фогельман) свиты каменноугольного возраста (алевролитах, аргиллитах, песчаниках), содержащих рассеянную сульфидную (пирит, реже пирротин), карбонатно-железистую (сидерит, анкерит) и фосфатную минерализацию. Характерны рудоносные тектоно-гравитационные микститовые слои – грубокластические, несортированные и нестратифицированные комплексы пород, обломки которых (песчаники, алевролиты, сланцы) сцементированы углисто-глинистым материалом, игравшим важнейшую роль в формировании и распределении золотой минерализации [12]. Диагенетические и ранние метаморфические изменения относятся к цеолитовой фации. В тектонитах присутствуют метаморфогенные вкрапленные и прожилковые новообразования серицита, кварца, карбонатов, шунгита, хлорита, дисульфидов железа [4, 8, 12]. Главная структура месторождения – Кызыловская зона смятия, милонитизации, кливажа и приразломной дисгармонической складчатости мощностью 80-120 м, падающая на север, северо-запад под углами 30-50° (рис. 4). Рудоконтролирующими являются участки тонкого переслаивания углистых алевролитов и песчаников, каркасы разрывов северо-западного и субширотного направлений (надвиги, сдвига-взбросы). Магматические образования – гранитоидный массив, скрытый под месторождением на глубине 3,0-3,5 км, и дайки базальтоидов, гранодиорит-порфиров и гранит-порфиров, отмечающиеся в зоне рудоносного надвига.

На месторождении развиты углеродисто-серицитолитовая, каолинит-гидрослюдистая, кварц-серицитовая, серицит-флогопит-карбонатная, хлорит-альбитовая и другие метасоматические ассоциации [9, 17, 22]. Ведущим типом гидротермальных изменений является углеродисто-серицитолитовый. Общее количество углерода от 0,3 до 26,5 %, в среднем во вмещающих терригенных породах 0,3-1,0 %, в рудных зонах 2,5-6,0 % (Л.Г.Марченко). Углерод представлен окисленной (карбонаты) и восстановленной (антракосолит, шунгит, керит, битумоиды) формами [8].

Карбонаты образуют метасоматические тела различного состава (доломитовые, доломит-анкеритовые, брейнеритовые). Керит-антракосолит-шунгиты и битумоиды имеют "сквозное" развитие в рудоносной толще. В ореоловом пространстве преобладают спиртобензолный битумоид, в рудных телах – хлороформенный. В рудной зоне присутствуют графит и карбин [8, 12].

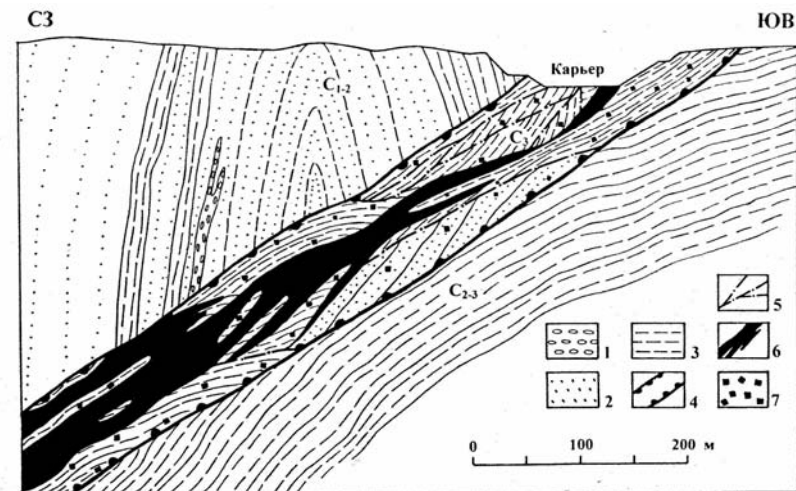


Рис. 4. Геологический разрез через Центральное рудное тело золото-сульфидного месторождения Бакырчик (по материалам Казан-Чункурской ГРП, В.М. Яновского, Ю.В. Чудинова [14]):

1-3 – отложения каменноугольного возраста: 1 – конгломераты, гравелиты, 2 – песчаники, 3 – углистые алевролиты и глинистые сланцы; 4 – Кызыловская зона смятия; 5 – разломы, тектонические трещины; 6 – рудное тело; 7 – рассеянная сульфидная минерализация.

Метасоматическая зональность месторождения выглядит следующим образом (рис. 5). Углеродисто-каолинит-гидрослюдистые метасоматиты проявлены на верхних горизонтах, углеродисто-серицитолитовые изменения имеют повсеместное распространение (максимально выражены в центральной части), серицит-флогопит-карбонатная (с апатитом и турмалином) ассоциация занимает нижние уровни. Развитые на глубоких горизонтах карбонатные скопления (брейнерит, анкерит, доломит) ассоциируют с кварцем, самородным золотом, халькопиритом, шеелитом. В надрудной и верхнерудной зонах распространены альбит-хлоритовые изменения (10-20%) [22].

Ведущий промышленный тип руд – золото-сульфидный вкрапленный и прожилково-вкрапленный с количеством сульфидов до 10-20 %, иногда более. Рудные тела ленточной, линзовидной и жилкообразной форм значительной мощности прослежены на глубину более 1,0-1,5 км. Рудные минералы образуют пять парагенетических ассоциаций: дорудную мельниковит-пирит-пирротин-марказитовую (с никелином, пентландитом); рудные золото-пирит-арсенопиритовую (с кубанитом, герсдорфитом), золото-кварц-полиметаллическую (с блеклой рудой, халькопиритом, галенитом, сфалеритом) и золото-кварц-

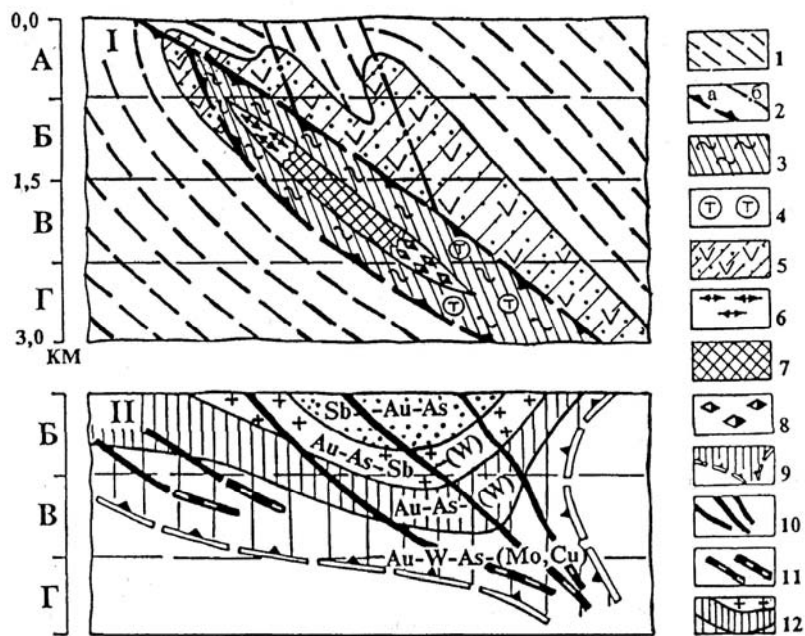


Рис. 5. Модели метасоматической (I) и геохимической (II) зональностей Бакырчикского золоторудного поля. Составил М.С. Рафаилович с использованием материалов Л.Г. Марченко, М.М. Старовой, Б.В. Чекваидзе:

1 – углеродисто-терригенные породы; 2 – разрывные структуры: а – надвиги, б – оперяющие разломы; 3 – серицититизация; 4 – турмалинизация; 5 – хлорит-альбитовые изменения; 6-8 – гидротермальные изменения в контуре крупной рудной залежи: 6 – углеродисто-каолинит-гидрослюдистые, 7 – углеродисто-серицитолитовые, 8 – серицит-флогопит-карбонатные; 9 – контур рудного пучка (в проекции на вертикальную плоскость); 10-11 – осевые линии рудных залежей: 10 – установленные, 11 – предполагаемые; 12 – геохимические зоны; А-Г – уровни: А – фронтальный, Б – прифронтальный, В – промежуточный, Г – тыловой.

карбонат-шеелит-халькопиритовую (с брейнеритом, доломитом, айкинитом, свободным золотом); пострудную кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовую (с марказитом, переотложенным золотом) [7, 9]. Золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация имеет "сквозное" распространение, мельниквит-пирит-пирротин-марказитовая и золото-кварц-карбонат-шеелит-халькопиритовая развиты на больших глубинах, золото-кварц-полиметаллическая и кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая тяготеют к средним и верхним горизонтам. В суммарном балансе золота ведущее значение (более 90%) имеет вкрапленная и прожилково-вкрапленная золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация. На верхних горизонтах пирит преобладает над арсенопиритом (соот-

ношение 3,5:1), на средних и глубоких пирит подчинен (1:3). В стволовой зоне преобладают сложные формы пирита ($\{210\}$, $\{210\}+\{100\}$, $\{100\}+\{111\}$), в корневой и апикальной – кристаллы кубического габитуса. Пириты содержат микровключения самородного золота, арсенопирита, халькопирита, галенита, блеклых руд. Для арсенопирита свойственны игольчатые, призматические, столбчатые кристаллы. Пириты и арсенопириты содержат Au (пириты десятки, редко сотни г/т; арсенопириты сотни г/т), Sb (до 0,0n-0,н %), Pb (до 0,н %), Cu (до 1,0-1,5 %), Ag (первые г/т), Sn, Mo, W, Bi (тысячные, сотые доли %). Содержания As в пирите сверху вниз снижаются более чем в 5 раз (1,0-1,5 % на верхних горизонтах, 7-8 % на нижних). Самородное золото имеет пленочную, каплевидную, шаровую, амeboобразную, комковую, дендритоподобную, жилковидную формы. Ведущее значение имеют микроскопические и субмикроскопические пыле- и амeboвидные выделения золота в пирите и арсенопирите. Подчиненными являются свободное комковидное золото, отмечающееся в кварц-полиметаллическом и кварц-карбонат-шеелит-халькопиритовом парагенезисах, и тонкое переотложенное золото, ассоциирующее с поздними кварцем, антимонитом, тетраэдритом. Золото-пирит-арсенопиритовые руды содержат также ассоциацию тонкодисперсных интерметаллидов Pt-Au-Ni, никелистого золота и сульфоселенидов никеля [11].

По данным изучения изотопного свинца сульфидных минералов (пирита, арсенопирита, галенита) и различных фаз органического вещества, процесс формирования месторождения растянут на сотни млн. лет с неоднократной ремобилизацией свинца (включая древний, Pz_{1-2}) и связанного с ним оруденения, последующим их переотложением на геохимическом и структурном барьерах бакырчикской свиты. Образование рудных компонентов включало пять этапов: E_1 (560 ± 18 млн. лет), O_3-S_1 (447 ± 10 млн. лет), C_2 (320 ± 15 млн. лет), T_1 (230 ± 20 млн. лет) и K_2 (100 ± 25 млн. лет) [18].

Геохимическую специализацию месторождения определяют Au, As, Sb, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, W, Sn, Bi, Co, Ni, V, P и др. Широко распространены следующие элементные ассоциации (в скобках соответствующая минеральная ассоциация): "сквозная" Au-As (золото-пирит-арсенопиритовая), верхнерудно-надрудная Au-Sb-As (кварц-карбонат-антимонит-тетраэдритовая), среднерудная Cu-Pb-Zn (халькопирит-сфалерит-галенит-блеклорудная), средне-нижнерудная As-Ni-Co (совмещенные пирит-пирротин-марказитовая и пирит-арсенопиритовая) и нижнерудная W-Cu-Mo (кварц-карбонат-шеелит-молибденит-халькопиритовая). Элементы подразделяются на: контрастные Au, As, Sb, W (сотни-первые тысячи кларков), менее контрастные Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Co, P (единицы-первые десятки кларков) и слабоконтрастные Sn, Bi, Ni, V (единицы кларков). Содержания Au в

околорудных ореолах 0,01-1,0 г/т, в рудных телах первые г/т-25 г/т (среднее по месторождению 9,4 г/т). Содержания As соответственно равны 0,005-0,6 % и 0,7-1,4 % (0,9%). Положительные корреляционные связи образуют пары Au-As, As-Sb, Cu-As, Cu-W, Cu-Co, Co-Ni.

Рудные тела, слагающие Бакырчикское поле, имеют пучкообразную морфологию и объемно-концентрическую геохимическую зональность (см. рис. 5). В вертикальной плоскости выделяются зоны: верхняя Sb-Au-As, первая промежуточная Au-As-Sb (с W), вторая промежуточная Au-As (с W) и нижняя Au-W-As (Cu, Mo). Отмечаются два вектора геохимической зональности: центробежная вертикальная (вектор ориентирован по восстанию рудного пучка) и центростремительная горизонтальная (от флангов к центру). Основными запасами золота (более 80 %) и высококонтрастной геохимической зональностью характеризуется Главное рудное тело, расположенное в осевой зоне пучка [16]. Ряд ВГЗ руд и эндогенных ореолов: V, Ni, Co, Cr – Sn, Zr, Cu, Mo, W – As, Au – Zn, Pb, Ag – Sr, Ba – Sb, Hg [14]. С этим рядом согласуется упорядоченность элементов-индикаторов в пирите и арсенопирите (снизу вверх): Sn, Bi, As, – Ni, Co, Mo – Cu, Zn, Pb – Ag, Sb [21].

Сравнительный анализ месторождений Кумтор, Мурунтау и Бакырчик. Золоторудные гиганты "черносланцевого" типа различаются: возрастом рудовмещающих толщ (на Кумторе – это R-V, на Мурунтау – O₃-S₁, на Бакырчике – C), околорудными изменениями пород (на Кумторе и Мурунтау доминирует калишпатизация, на Бакырчике – углеродисто-серицитолитовый метасоматоз), морфологией и условиями залегания рудных тел (Мурунтау – крутопадающий мегаштокверк, Кумтор и Бакырчик – относительно пологозалегающие минерализованные залежи), соотношениями золота, кварца и сульфидов (на Мурунтау преобладает свободное золото в кварце, на Кумторе и Бакырчике – тонкое золото в ассоциации с сульфидами), минералого-геохимической специализацией оруденения (Кумтор – Au, Te, W, платиноиды; Мурунтау – Au, Ag, W, As, Bi, U, платиноиды; Бакырчик – Au, As) и некоторыми другими признаками, отражающими местные, специфические особенности формирования объектов.

Сравнительный анализ обнаруживает удивительное сходство, единообразие, высокий уровень структурированности, близкий минералого-геохимический сценарий эволюции рассмотренных выше месторождений. Выделим наиболее выразительные региональные и локальные черты подобия месторождений Кумтор, Мурунтау и Бакырчик.

1. Длительная рудоподготовка (предистория), многоступенчатость, полихронность, металлогеническая преемственность рудообразующих процессов, формирование месторождений в мезотермаль-

ной обстановке на протяжении десятков, первых сотен млн. лет при кооперативном эстафетно-унаследованном взаимодействии нескольких источников и механизмов концентрирования благородного металла (осадочно-диагенетического, метаморфогенного, флюидно-магматогенного) [3, 4, 12, 18].

2. Знаковые рудоконтролирующие структуры – зоны смятия, рассланцевания, будинажа, надвиги, межслоевые срывы, развивающиеся на определенных гипсометрических уровнях углеродсодержащих толщ, обеспечивающие (при благоприятном сочетании других факторов) формирование крупнообъемных рудных тел (мегаштокверки, многотоннажные минерализованные зоны) большой вертикальной протяженности (не менее 1,0-1,5 км).

3. Слабая гранулометрическая дифференциация и низкая окатанность обломочного материала углеродсодержащих толщ (джетымтауская, бакырчикская свиты, пестрый бесапан); тектоно-гравитационные микститы; углеродистое вещество керит-антраксолит-шунгит-битумоидного ряда; кластогенное золото, пирит и пирротин; сингенетическая специализация пород на Au, W, As, U, P, платиноиды; низкие фации метаморфизма (зеленосланцевая, цеолитовая); многоплановая роль субстрата по отношению к оруденению (ресурсная, барьерная, структурообразующая и др.).

4. Парагенезис, пространственное сочетание оруденения с дифференцированным магматизмом пестрого состава C-P возраста. На уровне корневых частей рудные залежи месторождений через систему глубинных разломов связаны с апикальными выступами гранит-лейкогранитовых батолитов (см. рис. 3), на верхнерудном срезе они сопряжены с дайковыми образованиями среднего, кислого и субщелочного состава (мурунтауский, кунушский комплексы).

5. Колоссальные масштабы метасоматоза, изменчивый состав измененных пород, упорядоченная метасоматическая зональность с наличием во всех объектах стволовой, апикальной и корневой метасоматических зон. Стволовая зона сложена кварц-серицитовыми или кварц-серицит-хлоритовыми гидротермалитами, апикальная зона – кварц-диккитовыми, кварц-каолинитовыми, хлорит-альбитовыми, корневая – высокотемпературными калишпатитами, карбонатсодержащими (брейнерит, анкерит, железистый доломит) породами. Углеродистое вещество при метасоматозе мигрирует с переотложением и концентрацией на флангах рудных залежей ("шунгитовые чехлы", "участки обогащения легким углеродом" и др.).

6. Полная эволюция минералообразования со следующими общими стадиями: дорудной пирит-пирротин-марказит-никелин-кобальтин-герсдорфитовой, рудными золото-редкометалльной (самородное золото, шеелит, молибденит, висмутин, халькопирит, теллури-

ды), золото-пиритовой или золото-пирит-арсенопиритовой, золото-серебро-кварц-сульфосольно-блеклорудно-полиметаллической, заключительной позднерудной (или пострудной) кварц-карбонат-марказит-антимонит-тетраэдритовой (с переотложенным тонким золотом, минералами Sr, Hg, Ba). Характерными являются перекристаллизация минеральных агрегатов, разнообразные структуры распада, наличие реакционных и гибридных соединений, коррозионные и цементные структуры, микропарагенезисы в минералах-концентраторах. Нерудные минералы (кварц, карбонат) имеют не менее 3-4 генераций при значительном температурном диапазоне (420-75° С) [18].

7. Контрастные геохимические поля, широкий спектр элементов (не менее 15-20), в целом однотипная высокодифференцированная ВГЗ с четырьмя реперными зонами: подрудно-нижнерудной (Co, Ni, V, Cr, Mo, W), среднерудной (As, Cu, W, Bi, Te), верхнерудной (Ag, Zn, Pb, Sb, As) и верхнерудно-надрудной (Ba, Sr, B, Sb, Hg). Золото в рядах ВГЗ занимает две устойчивые позиции: ниже-средне-рудную (золото-редкометалльная ассоциация) или среднерудную (золото-пирит-арсенопиритовая, золото-пиритовая, золото-теллуридная ассоциации). Геохимический индикатор гигантских месторождений - повышенные (до промышленных) концентрации платиноидов (Pt, Pd, Os).

Подобие месторождений Кумтор, Мурунтау и Бакырчик может служить основой для решения важнейших генетических вопросов, моделирования гигантских скоплений руд золота в черных сланцах, формирования рациональных прогнозно-поисковых комплексов, совершенствования технологии геологоразведочных и добычных работ на крупных объектах "черносланцевого" типа.

Литература

1. **Аникин С.И.** Геология и минералого-геохимические особенности золото-теллур-редкометалльного оруденения в углеродистых толщах венда Кумторского рудного поля (Срединный Тянь-Шань) // Автореф. канд. дисс. Бишкек, 1992. 22 с.
2. **Бертман Э.Б.** Минералого-геохимические парагенезисы и зональность месторождения Мурунтау // Докл. АН УзССР. 1975. № 5. С. 45-47.
3. **Голованов И.М.** Сопоставление комплексных прогнозно-поисковых моделей золото-кварцевого (Мурунтау) и золото-медно-порфирикового (Кальмакыр) типов месторождений // Состояние и проблемы совершенствования методики локального прогнозирования рудных месторождений. Ташкент, 1999. С. 44-49.

4. **Жаутиков Т.М.** Золотоносность углеродистых формаций Казахстана // Изв. АН КазССР. Сер. геол. 1983. № 3. С.18-25.
5. **Ермолаев Н.П., Чиненов В.А., Хорошилов В.Л.** Платиноиды в черных сланцах Средней Азии // Отечественная геология. 1994. № 4. С. 3-11.
6. **Золоторудное месторождение Мурунтау.** Ташкент, 1998. 540 с.
7. **Золоторудные месторождения СССР.** Геология золоторудных месторождений Казахстана и Средней Азии. Т. 2. М., 1986. 287 с.
8. **Марченко Л.Г., Шиповалов Ю.В., Ищенко В.В.** Метасоматические критерии оценки перспектив золотого оруденения в терригенно-углеродистых формациях // Опыт прогнозирования и оценки золоторудных месторождений Казахстана. Алма-Ата, 1985. С. 35-44.
9. **Металлогения Казахстана.** Рудные формации. Месторождения руд золота. Алма-Ата, 1980. 224 с.
10. **Минерально-сырьевая база** Кыргызской Республики на рубеже перехода к рыночной экономике. Бишкек, 1998. 233 с.
11. **Нарсеев В.А., Матвиенко В.Н., Захаров А.В.** Новый тип золото-платиновой минерализации // Геология и генезис месторождений платиновых металлов. М., 1992. С. 48.
12. **Нарсеев В.А., Гостев Ю.В., Захаров А.В. и др.** Бакырчик (геология, геохимия, оруденение). М., 2001. 174 с.
13. **Никифоров А.В.** Геолого-минералогическая характеристика многокомпонентных сульфидно-вкрапленных руд золота в углеродистых сланцах (на примере месторождения Кумтор) // Автореф. канд. дисс. М., 1993. 20 с.
14. **Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М.** Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. М., ЦНИГРИ, 1995. 175 с.
15. **Рафаилович М.С.** Некоторые особенности гидротермального минералообразования в черных сланцах (на примере руд золота) // Геохимия, минералогия и литология черных сланцев. Сыктывкар, 1987. С.60.
16. **Рафаилович М.С.** Вертикальная геохимическая зональность ведущих геолого-промышленных типов месторождений золота и ее использование при поисковых работах (метод. рекомендации). Алма-Ата, 1989. 69 с.
17. **Рафаилович М.С., Алексеева Л.К.** Метасоматические формации золоторудных месторождений Казахстана // Геология и разведка недр Казахстана. 1996. № 5-6. С. 13-21.
18. **Рафаилович М.С., Любецкий В.Н., Старова М.М., Кошевой О.Г.** Крупные месторождения золота Казахстана: условия ло-

кализации, общие и специфические черты, отличия от мелких объектов // Геология и разведка недр Казахстана. 1995. № 5. С. 40-46.

19. **Рудные месторождения Узбекистана** // Отв. редактор И.М. Голованов. Ташкент, 2001. 661 с.

20. **Скрябин В.Ф., Гурьянов В.Ф., Джураев А.Д.** Первичные геохимические ореолы месторождения Мурунтау // Отечественная геология. 1997. № 11. С. 11-16.

21. **Старова М.М., Старова В.В., Рафаилович М.С.** Некоторые факторы фазовой неоднородности сульфидов и изменчивости минерально-геохимической зональности золотого оруденения в черносланцевых толщах // Минералогия – народному хозяйству. Л., 1987. С. 110-111.

22. **Чекваидзе Б.В.** Золото-углеродистая формация. Околорудные метасоматиты // Геология золоторудных месторождений СССР. Т.5. М., 1990. С. 47-49.

23. **Шиганов А.А.** Геолого-геохимические особенности суперкрупного месторождения золота Кумтор // Геология и разведка недр Казахстана. 1998. № 1. С. 34-45.