

УДК 553.41/.48.044

© Н.К.Курбанов, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович, 2006

ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ СОПРЯЖЕНИЯ ПОЛИГЕННО-ПОЛИХРОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЦВЕТНЫХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ КОНВЕРГЕНТНОГО РЯДА

Н.К.Курбанов, В.Б.Чекваидзе, И.З.Исакович (ЦНИГРИ Роснедра МПР России)

В наиболее полном и завершенном виде сопряжение полигенно-полихронных месторождений цветных и благородных металлов конвергентного ряда проявлено в Болнисском рудном районе, охватывающем западный сегмент известной на Малом Кавказе энсиалической Сомхето-Кафанской островодужной структурно-формационной мегазоны. Эта многообразная в геолого-генетическом и геодинамическом отношениях мегазона возникла и развивалась одновременно (с юга) со столь же масштабной Севано-Акеринской эвгеосинклинально-троговой офиолитовой мегазоной [5, 6]. Период зрелой стадии развития указанной «пары» совпадает с началом замыкания офиолитового трога и постепенным превращением его в мощную зону цветного меланжа, надвинутого на Сомхето-Кафанскую островную дугу, с накоплением на их границах толщ олистостром [1, 2, 5].

Рассматриваемая «пара» в металлогеническом отношении может служить эталоном для характеристики геолого-генетических и прогнозно-поисковых моделей месторождений, тесно связанных друг с другом (во времени и пространстве) определенными рудно-формационными типами месторождений от медноколчеданных, колчеданно-полиметаллических до убогосульфидных золотых и медно-молибден-порфирировых, генетически обусловленных дифференцированными вулканогенными и вулканоплутоническими формациями и ассоциациями гибридного базальтоидно-гранитоидного ряда [3–16].

Следует подчеркнуть, что, в свою очередь, указанная «пара» является неотъемлемой составной частью обширной и весьма протяженной Средиземноморской металлогенической системы мегапровинций (рис. 1), приуроченных к сближенным, разноориентированным микроплитам (срединным массивам) западного и юго-западного сегментов Тетиса. Эти сегменты отличаются мозаично-блоковым строением, существенно влиявшим на состав, последовательность формирования, условия локализации и размещения вышеуказанных типов месторождений в перекрывающих осадочных и вулканоплутонических комплексах мезозоид и частично палеозоид. В этой связи металлогения Централь-

ной (наиболее обширной в юго-западном сегменте Тетиса) области, включающая медно-полиметаллическое, золотое, золото-серебряное и редкометальное оруденение, отличается удивительным разнообразием рудно-формационных типов, от медноколчеданных в Турции (Эргани-Маден) до полиметаллических массивно-жильных в Иране (Нахлак в Центральной пустыне). Фундамент наложенных локальных геосинклинальных структур и многочисленных вулканогенно-осадочных и осадочных

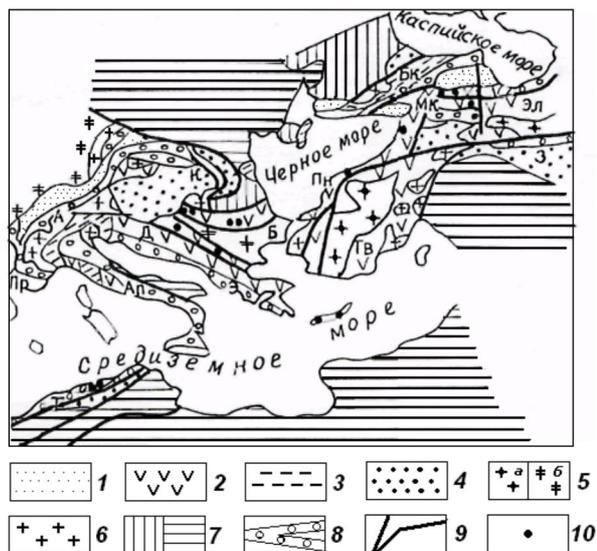


Рис. 1. Схема геологического строения Средиземноморья и размещения альпийских вулканогенных месторождений цветных металлов:

1 — впадины с кайнозойскими молассаами; 2 — ареалы развития мезокайнозойских вулканитов; 3 — терригенно-сланцевые складчатые зоны; 4 — верхнемезозойско-нижнекайнозойские флишевые осадки; 5 — выступы до-мезозойского метаморфического фундамента (а — байкальского, б — герцинского); 6 — площади эпигерцинской консолидации; 7 — Восточно-Европейская и Афродравийская платформы; 8 — офиолитовые шовные зоны; 9 — глубинные разломы; 10 — вулканогенные месторождения цветных металлов; горные сооружения: Пр Пиренеи, Т — Тель, Ап — Апеннины, А — Альпы, К — Карпаты, Д — Динариды, Э — Эллиниды, Б — Балканы, Пн — Понтиды, Тв — Тавриды, БК — Большой Кавказ, МК — Малый Кавказ, Эл — Эльбрус, З — Загрос

депрессий, рифтогенных впадин, с мигрирующим кратковременным спредингом, представляет собой в различной степени активизированные и часто различно ориентированные выступающие на поверхности протерозой-палеозойские срединные массивы, во многом определяющие как структурно-формационный облик наложенных геосинклинальных «пар» и депрессий, так и рудно-формационный состав месторождений и проявлений [5, 9, 11, 13].

В отличие от обширной мозаично-блоковой Центральной области (Турция и Иран) с разнообразными обстановкой рудолокализации, составом и масштабом месторождений различных рудно-формационных типов для северного обрамления рассматриваемых сегментов Тетиса (южные области активизации Восточно-Европейского кратона) характерны линейные протяженные геосинклинальные «пары» преимущественно с герцинским салифемическим фундаментом, где преобладают на доколлизиионном этапе медноколчеданные месторождения (Бор и Лика в Югославии, Радка, Красен, Челопек в Болгарии, Маднеули и другие Болнисского рудного района, Алавердское, Кафанское в Армении), а на коллизиионном и постколлизиионном — золото-барит-серебро-полиметаллическое колчеданное и собственно золото-убогосульфидное оруденение (Уэд Эль-Кебир, месторождения Восточных Карпат Румынии, Ридон, Крепелин в Югославии, Давид-Гареджи, Цетели-Сопели, Маднеули Болнисского рудного района; Кедабек, Гюмюшли в Азербайджане, район Мадана Болгарии, Арманис и другие в Армении). Завершает длительный процесс формирования разнотипных месторождений цветных и благородных металлов позднеколлизиионной и постколлизиионной металлогенических эпох широкое развитие молибден-медно-порфиновых месторождений, нередко с заключительной золото-серебряной стадией. К ним относятся неценные проявления Болнисского рудного района Грузии и Кедабекского рудного района Азербайджана, известные крупные месторождения Армении (Каджаран, Агарак).

Не менее масштабные коллизиионные и постколлизиионные рудообразовательные процессы связаны также с линейными вулканогенными и вулканоплутоническими структурно-формационными зонами южного складчатого обрамления Тетиса, вдоль северных окраин Африканского и Аравийского кратонов, металлогенический облик которых определяется прежде всего медно-молибден-порфиновыми и золото-сульфидно-кварцевыми месторождениями мирового класса (Майданпек в Югославии, Речк в Венгрии, Медет и Асарел в Болгарии, Сар-Чешме в Иране и др.) (см. рис. 1) [1–12].

Характеристика прогнозно-поисковой модели сопряжения полигенно-полихронных месторожде-

ний цветных и благородных металлов конвергентного ряда Маднеульского рудного узла. -В пределах Болнисского рудного района Южной Грузии наиболее рудонасыщенным является Маднеульский золото-медно-барит-полиметаллический рудный узел, расположенный в северном опущенном блоке крупного многоэтапного, многожерлового, полигенного вулканического аппарата Маднеули-Демирсу. Он входит в состав субширотной вулканогенной гряды Малокавказской энсиалической островной дуги и контролируется долгоживущим региональным Балчи-Маднеульским разломом субширотного восточно-северо-восточного простирания.

Благодаря длительному центростремительному геодинамическому режиму формирования разновозрастных рудоносных геологических формаций на площади многожерловой вулканической структуры Маднеули-Демирсу сосредоточены многоуровневые промышленные залежи четырех последовательно сменяющих друг друга рудных формаций — медноколчеданной, колчеданно-барит-полиметаллической, золото-малосульфидно-кварцевой и завершающей медно-порфировой.

В геологическом строении рудного узла, помимо вулканитов маднеульской, участвуют вышележащие вулканомиктовые отложения казретской, а также перекрывающие их вулканиты набакреевской свит (рис. 2).

Вулканиты рудоносных маднеульской и набакреевской свит и разделяющие их слоистые полимиктовые толщи казретской свиты характеризуются значительной пестротой состава и широкими вариациями фаций и мощностей. При этом, как показал анализ размещения сульфидного оруденения, фациальное строение вмещающей вулканической постройки во многом предопределило особенности концентрации руд и морфологию рудных залежей (см. рис. 2).

В составе пород маднеульской свиты выделяются следующие фации андезито-дацитовых, дацитовых и риолитовых вулканитов: агломераты; литокристалловитрокластические туфы; витрокристаллокластические туфы; лавы, лавобрекчии, туфолавы, игнимбриты. Их мощность варьирует от 150–200 до 650–900 м.

Учитывая, что отложения казретской свиты служат своеобразным маркирующим горизонтом, разделяющим два подэтапа интенсивной вулканической деятельности в районе (маднеульский и набакреевский), а также то, что в кровле и подошве свиты сосредоточены основные запасы колчеданного оруденения, важно подчеркнуть — породы свиты выполняли центральную кальдеру проседания, где в значительной мере замещены метасоматитами и залежами медноколчеданных (в подошве свиты) и барит-полиметаллических (в кровле сви-

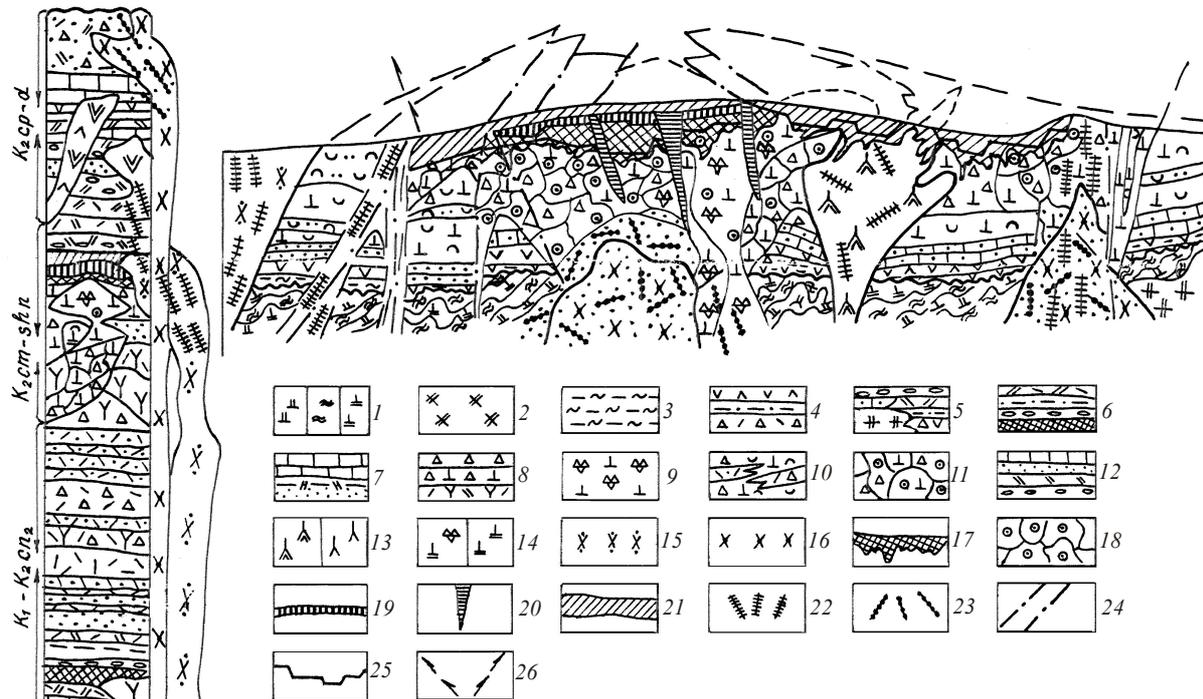


Рис. 2. Сводная прогнозно-поисковая модель Маднеульского рудного узла:

комплекс пород основания: 1 — метаморфические сланцы (а), орто-парагнейсы (б), метаморфизованные кварцевые диориты и гранодиориты (в), PZ_{1-2} ; 2 — плутогенная гранодиорит-гранитная формация (граниты, диориты, гранодиориты), PZ_3 ; юрский комплекс: 3 — терригенно-осадочная песчано-сланцевая формация, J_1h-t ; 4 — глинистые и слюдяные сланцы, песчаники, алевролиты, чередующиеся с туфами, J_2a-bt ; 5 — лавовые потоки, покровы, грубообломочные туфы основного, среднего составов, среднетружно-гиповулканические интрузии габбро-диорит-порфиритов, J_3o-t ; меловой комплекс: нижняя и средняя нерасчлененные толщи маднеульской свиты: 6 — терригенно-карбонатные горизонты и конгломераты, песчаники и рифогенные известняки, чередующиеся с туфами, реже лавами основного (андезито-базальты, базальты) и кислого (риодациты, риолиты) составов, $K_1^1-K_2ch$; 7 — туфы основного и кислого составов, рифогенные известняки, горизонты полимиктовых конгломератов и песчаников $K_1^1-K_2ch$, верхняя толща маднеульской свиты (андезито-дацит, дацит, риодацит, риолитовая непрерывно дифференцированная формация, переслаивающиеся с вулканомиктовыми песчаниками, яшмоидами, спекшими туфами); 8 — экструзивные брекчии с горизонтами мелко- и грубообломочных туфов, K_2cm_1 , 9 — агломератовые экструзивные брекчии жерла вулкана, $K_2cm_2-shn_1$, 10 — спекшиеся игнимбритоподобные туфолавы с горизонтами мелкообломочных туфов, K_2shn_2 , 11 — средне-мелкообломочные спекшиеся туфы, K_2shn_3 , 12 — мелкообломочные туфопесчаники и туфы (чаще спекшиеся), K_2cp-al ; 13 — субвулканические, экструзивные тела (а) и дайки (б) андезито-дацитовых и дацитовых порфиритов; 14 — субвулканические (а) и экструзивные (б) риолиты; 15 — поздне меловая гипабиссальная габбро-плаггиогранитная формация (гранодиориты, гранодиорит-порфиры, диориты, микродиоритовые порфиры); 16 — поздне меловые гиповулканические интрузии, завершающие поздне меловой вулканизм (гранодиориты, гранодиорит-порфиры, микродиориты, габбро-диориты, габбро-диабазы); рудные формации (семейства): семейство колчеданных руд, связанных с кислыми вулканитами: 17–21 — формация золото-цинково-медно-колчеданных руд: 17 — массивные, слоисто-полосчатые, пластообразные эксгалиационно-осадочные руды в кальдере проседания (ранний сольфатарно-фумарольный этап), 18 — подстилающие прожилково-вкрапленные штокверковые руды, охватывающие эксплозивные брекчии риодацитов жерла, 19–20 — семейство золото-колчеданно-барит-полиметаллических руд: 19 — слоисто-полосчатые эксгалиационно-осадочные полиметаллические руды над слоисто-полосчатыми золото-медноколчеданными рудами, 20 — секущие линзы барит-полиметаллических руд, часто в зальбандах крупосекущих кварц-яшмоидных линейных линз-жил; 21 — формация вторичных золотоносных кварцитов кровли медноколчеданных и колчеданно-барит-полиметаллических руд по всей кровле кальдеры проседания; 22 — семейство золото-сульфидно-кварцевых, (с алунитом и серицитом) руд, образующих секущие штокверковые и субпластовые линейные жильные системы в телетермальных метасоматитах, связанных с гиповулканически-гипабиссальными интрузиями габбро-плаггиогранитной формации позднего мела и (или) гиповулканическими интрузиями, завершающими поздне меловой вулканизм; 23 — семейство медно-порфировых руд (медно-молибденовое, медное и золото-медно-полиметаллическое краевых фаций), связанных с поздне меловыми плутогенными интрузиями гранодиорит-гранитной формации; 24 — тектонические нарушения (син- и пост-вулканического заложения); 25 — контуры карьера; 26 — границы кальдеры проседания

ты) руд (см. рис. 2).

Особо следует отметить наличие в обломках вулканокластов гидротермально измененных (вплоть до монокварцитов с вкрапленностью сульфитов) пород. Этот факт указывает на проявление гидротермальных процессов до вулканической деятельности более позднего набакреевского этапа.

Кровля отложений маднеульской свиты по отношению к современной поверхности образует в рельефе изометрично вогнутую структуру, где ее центральные части (кальдера проседания) опущены по сравнению с периферическими на 150–200 м и выполнены вулканомиктами казретской свиты.

В набакреевский этап вулканизма в пределы кальдеры внедрились субвулканические породы дацит-риолитового состава. Внедрение происходило главным образом по бортам кальдеры, как наиболее ослабленным участкам, с образованием крутых (подводящие каналы) и пологих субвулканических тел, а также выходящих на поверхность экструзий (вулканокуполов), которые опоясывают края кальдеры, фиксируя полукольцевые, крутопадающие и относительно пологопадающие согласно секущие разломы.

Помимо полукольцевых разломов, заложение которых, вероятнее всего, связано с началом образования кальдеры проседания, существенную роль в строении палеоструктуры месторождения играла многочисленная серия радиальных, преимущественно субвертикальных разломов, нередко выполненных риолитовыми субвулканическими дайками.

Современная брахиформная структура месторождения представляет собой ярко выраженную унаследованную инверсионную структуру палеовулканического аппарата центрального типа, существенно осложненного элементами структур кальдеры. При этом число полукольцевых круто- и согласно секущих (нередко межслоевых) разломов возрастает по мере удаления от свода к крыльям Маднеульской брахиантиклинали.

Рассматриваемый рудный узел, как справедливо подчеркивает Г.А.Тварлчрелидзе (1978), — типичный представитель колчеданных месторождений типа «куроко», которым свойственны синвулканическая природа и гетерогенность. Месторождения рудного узла в этой связи являются комплексными и представлены: залежами колчеданных (медных и полиметаллических) руд; золотоносными вторичными кварцитами и жильными системами убого-сульфидных золото-кварцевых жил, которые пронизывают в виде штокверка пласт кварцитов в кровле кальдеры и широко развиты по периферии рудного узла на мелких месторождениях (Цетели-Сопели, Давид-Гареджи и др.); медно-порфиrowыми с редким молибденом, выраженными штокверковыми скоплениями кварц-халькопирит-пиритовых про-

жилков и порфиrowых вкрапленников.

Руды Маднеульского узла, локализованные в пределах описанной выше кальдеры проседания, многоярусны. Их промышленные залежи сконцентрированы в центральном блоке, где прослеживаются в широтном направлении на 1500, в меридиональном — на 800 и по вертикали — на 250–300 м. Выделены три рудных стратиграфических уровня: нижний медноколчеданный, средний колчеданно-барит-полиметаллический и верхний в виде двух блоков золотоносных вторичных кварцитов (так называемые «центральная» и «восточная» линзы). В ядре основания вулкана и на южном фланге рудовмещающей вулканической постройки, в экзоэндоконтактных зонах гранит-гранодиорит-порфиrowых, диорит и микродиорит-порфиrowых гипабиссально-гиповулканических интрузий сосредоточен основной объем медно-порфиrowых штокверково-вкрапленных руд. Этапы их формирования отражены на рис. 2 и 3.

Условия залегания и морфология нижних, наиболее ранних, медноколчеданных рудных тел. В связи с тем, что основной объем медноколчеданной залежи (ее субгоризонтальная часть) локализован в кровле маднеульской свиты и частично в базальном туфоконгломератовом горизонте казретской свиты, граница двух свит рассматривается как главный нижний уровень локализации колчеданного оруденения (см. рис. 3). В локализации Главной залежи медноколчеданных руд существенную роль сыграли метасоматические процессы, предшествовавшие рудоотложению и представленные ореолами прожилково-вкрапленных руд того же состава (рис. 4).

Отдельные пологие тела медноколчеданных руд отмечаются ниже основного уровня локализации среди обломочных разностей маднеульской свиты. Их положение обусловлено полукольцевыми пологими или согласно секущими срывами на границе неоднородных горизонтов обломочных пород. Расположены они этажно, тяготеют к участкам развития рудораспределяющих разломов радиальной системы, нередко переходят в крутосекущие штокверковые зоны (до глубин 250–300 м), где пересекаются дайковыми фациями гранодиорит-порфиrowой интрузии позднемелового возраста. В свою очередь, в последних проявлены прожилково-вкрапленные штокверковые руды медно-порфиrowого типа с молибденитом. Оруденелые гранит-гранодиорит-порфиры на поверхности выступают только вдоль южного обрамления Маднеульского рудного узла и в основании вулканического сооружения в виде полифазного интрузива (подсечен скважинами).

Условия залегания и морфология колчеданно-барит-полиметаллических рудных тел. В пределах месторождения занимают самые верхние гипсометрические уровни и распространены над меднокол-

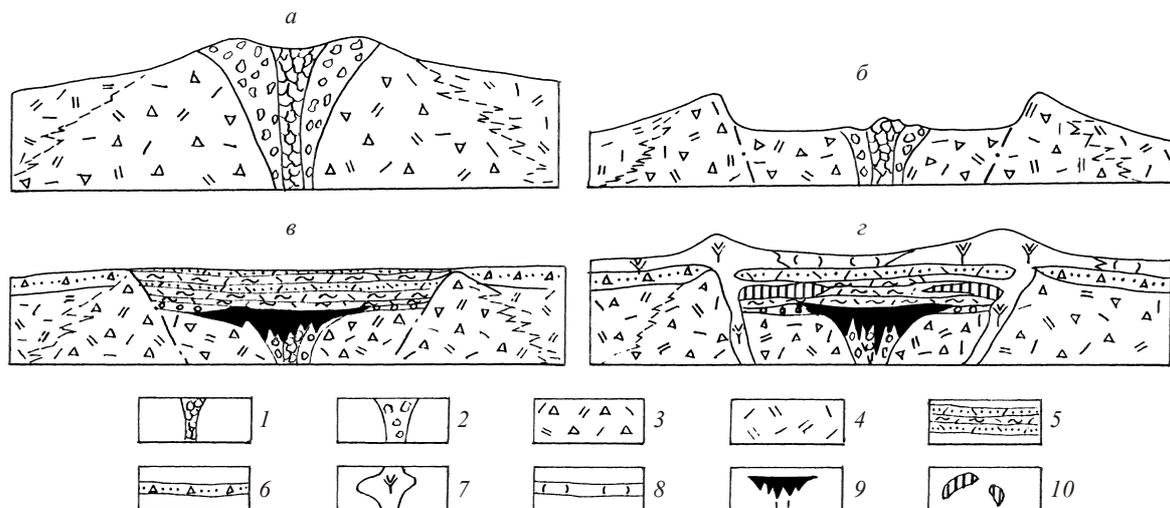


Рис. 3. Схема последовательности формирования Маднеульского рудного узла:

а — образование Маднеульского вулканического аппарата; *б* — образование кальдеры проседания на месте Маднеульской вулканической постройки; *в* — накопление вулканомиктовых отложений казретской свиты в пределах кальдеры, гидротермально-осадочная деятельность с последующим образованием медноколчеданных руд (первый рудный подэтап); *г* — вулканическая деятельность набакреевского периода — внедрение вдоль бортов кальдеры магматических расплавов с образованием крутых и пологих субвулканических тел и вулканокупольных структур, завершающая набакреевский вулканизм гидротермальная деятельность второго колчеданно-барит-полиметаллического рудного подэтапа; 1 — жерловые фации (жерловина) — аглютинаты; 2 — околожерловые фации — агломеративные туфы; 3 — прижерлово-удаленные фации — туфобрекчии; 4 — удаленные фации — мелко- и среднезернистые туфы; 5 — тонкослоистые и вулканомиктовые породы казретской свиты; 6 — грубослоистые вулканомиктовые породы казретской свиты; 7 — субвулканические тела и вулканокупола набакреевской свиты; 8 — туфы, туфобрекчии казретской свиты; 9 — медноколчеданные руды (первый рудный подэтап); 10 — колчеданные барит-полиметаллические руды (второй рудный подэтап)

чеданными, среди туфопесчаников и туфов верхней грубослоистой толщи казретской свиты, вблизи или непосредственно под вулканитами набакреевской свиты, нередко интенсивно замещающая последние (см. рис. 3). Образуют второй главный уровень стратиформных залежей (рис. 5). Между рудами выделенных групп непосредственных переходов не наблюдается. Более того, между рудными залежами двух главных уровней нередко прослеживаются линзы золотоносных кварцитов с убогой и рассеянной сульфидной вкрапленностью (см. рис. 3, 4).

Условия залегания и морфология золото-убого-сульфидно-кварцевых рудных тел. В пределах сближенных в пространстве и времени месторождений рудного узла золото и серебро установлено в виде редких попутных компонентов во всех типах медно-полиметаллических руд. Наибольшие содержания золота сосредоточены в серебро-барито-свинцовых рудах (Au_{cp} 5,7 г/т); золото отмечается также в штокверковых прожилках, относящихся к поздним стадиям рудного процесса и приуроченных к выше лежащим вторичным кварцитам (см. рис. 2–4). Главный объем золотого оруденения связан с вторичными кварцитами, перекрывающими «панцирем» разнотипные колчеданные руды (две линзы) и

фациально замещающими (в плане) по периферии пластообразные массивные залежи (см. рис. 3, 4). В большинстве случаев первичная структура в кварцитах полностью утрачена, но иногда отчетливо наблюдаются флюидалность, маркируемая поздними кварцевыми прожилками, и блоки серых интенсивно пиритизированных и окварцованных туфопесчаников.

Интенсивность развития кварцевых прожилков уменьшается от подошвы линз вторичных кварцитов к кровле, так же как количество прожилков и объем жильной массы резко сокращаются от центра к флангам, если принять за центр участок вторичных кварцитов над медноколчеданными рудами. В этом же направлении (от подошвы к кровлям линз) уменьшаются содержания золота и серебра (табл. 1).

1. Содержания Au и Ag на разных горизонтах месторождения Маднеули, г/т

Горизонт, м	Число проб	Au	Ag	Au/Ag
1110	58	0,9	8,8	1/9,8
1074	131	1,4	5,7	1/4,1
1050	141	8,6	14,7	1/1,7
1026	40	5,7	23,3	1/4,1

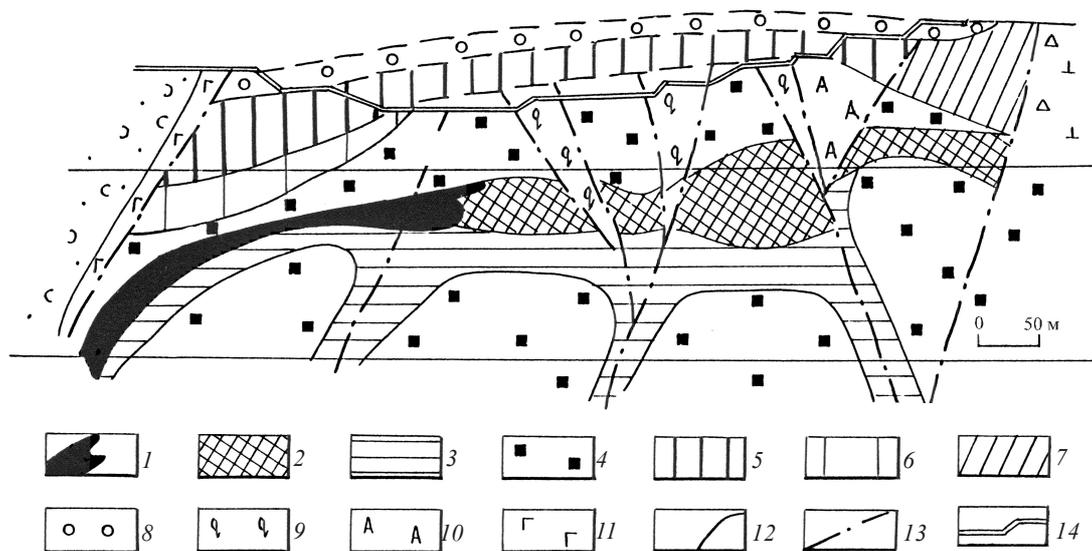


Рис. 4. Модель распределения золото-медно-полиметаллических рудных формаций различных типов на Маднеульском рудном узле:

медноколчеданные руды: 1 — массивные, 2 — штокверковые, 3 — жильные, 4 — ореолы рассеянной пиритовой минерализации; барит-полиметаллические руды: 5 — массивные, 6 — штокверковые, 7 — совмещение штокверковых барит-полиметаллических руд и метаколлоидных медноколчеданных, 8 — убогосульфидные золотые руды в кварцитах; 9 — яшмовидный кварц; 10 — алунит; 11 — гипс; 12 — границы руд и минералогических ореолов; 13 — тектонические нарушения; 14 — контур карьера Маднеульского рудного узла

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

золотоносность вторичных кварцитов обусловлена наложенной минерализацией в виде убогосульфидных кварцевых прожилков и жил;

зона окисления медноколчеданных и полиметаллических руд практически не отразилась на характере распределения золота во вторичных кварцитах;

приуроченность максимума штокверкового окварцевания к участку над медноколчеданными рудами, уменьшение общей золотоносности вверх по разрезу вторичных кварцитов, близость состава рудного минерального комплекса золотоносных кварцевых жил и прожилков к медноколчеданным и полиметаллическим рудам, попутная синхронная золотоносность медноколчеданных и полиметаллических руд свидетельствуют о единстве процесса золотого и медно-полиметаллического рудообразования и обусловлены, вероятнее всего, процессом регенерации в завершающую стадию сольфатарных изменений; приуроченность золотого оруденения к горизонту монокварцитов связана с интенсивным развитием трещиноватости в наименее пластичных породах.

Условия залегания и морфология молибден-медно-порфировых руд. Как уже отмечалось выше, основной объем проявлений штокверковых прожилково-

во-вкрапленных руд установлен в позднемиоценовых гипабиссально-гиповулканических полифазных гранит-гранодиорит-порфировой и гранодиорит-микродиорит-порфировой интрузиях, вскрытых в ядре вулканической постройки Маднеули-Демирсу (по данным единичных скважин, вскрывших оруденение на глубинах более 350–400 м от рудовмещающей кальдеры) и на дневной поверхности на уда-

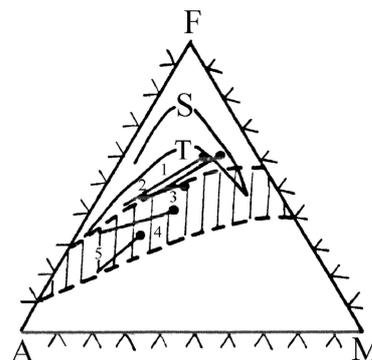


Рис. 5. Диаграмма FMA:

толеитовое поле ограничено трендами дифференциации интрузии Скаэргард и вулкана Тхингмули, известково-щелочная полоса заштрихована; андезитовые комплексы: 1 — Кафанский, 2 — Алавердский, 3 — Болнисский районы (медноколчеданные месторождения); риодацитовые комплексы: 4 — Алавердский, 5 — Болнисский районы (барит-полиметаллические месторождения)

ленном южном фланге рудного узла (см. рис. 2). Кроме того, системы крутых линейно-штокерковых прожилково-вкрапленных медно-порфировых руд (нередко с более частым проявлением вкрапленный молибденита) секут поздне меловые гипабиссальные интрузии габбро-плагиогранитной формации, прорывающие ранне-среднемеловые вулканогенно-вулканомиктовые отложения на флангах рудоносной многожерловой вулканической постройки рассматриваемого рудного узла (см. рис. 2). По данным А.И.Кривцова, В.С.Звезда [8], описываемый тип наиболее близок к сочетанию медно-порфировой и золото-медно-порфировой рудных формаций обширного семейства, связанного с поздние и постколлизийными этапами становления энсиалических островных дуг.

Прожилково-вкрапленные залежи медно-порфировых формаций охватывают обширные экзо-эндоконтактные ореолы рудоносных интрузий. Они развиваются в виде кварц-полисульфидных прожилков с халькопиритом (борнитом, магнетитом, весьма редко на глубоких горизонтах с молибденитом) в метасоматитах, характеризующихся выраженной зональностью: от кварц-магнетит-биотит(хлорит)-актинолит-ангидритовых в центре до пропиловых во внешних (часто симметричных) частях. Только в крутосекущих линейно-штокерковых порфировых зонах проявляется поздняя филлизитовая зона (кварц+пирит+слюды и глинистые минералы), наложенная на полевошпатовую.

Подводя итоги рассмотрения условий многоэтапного полигенно-полихронного формирования многоуровневых залежей Маднеульского рудного узла, связанных с четырьмя этапами рудоотложения цветных и благородных металлов и отражающих единый конвергентный ряд (см. рис. 2–4) в истории их становления, отметим следующее.

1. Начало процесса — это бурная эксплозивная деятельность (маднеульская свита), образование многожерловой постройки Маднеули-Демирсу.

2. Завершение вулканической деятельности ознаменовалось проседанием жерловой и прижерловой частей Маднеульского аппарата — образование кальдеры проседания.

3. Интенсивная вулканическая деятельность сменилась накоплением вулканогенно-осадочных пород (казретская свита) в кальдере проседания (обрушения) в субэвальной обстановке.

После литификации (диагенеза) осадков кальдеры сольфатарно-фумарольная деятельность привела к гидротермально-метасоматическим изменениям как нижних маднеульских вулканитов, так и слоистой толщи казретской свиты. Судя по структуре зон гидротермально измененных пород, движение гидротермальных, а затем и рудоносных растворов на месторождении определялось на глу-

бине, в жерловых фациях, радиальной системой синвулканических разрывов (узкие зоны метасоматической колонки первого типа), обусловивших и локализацию жерловин (основной и второстепенных) аппаратов Маднеули-Демирсу. Вблизи выхода растворов к палеоповерхности дна кальдеры движение их осуществлялось и по напластованию вулканогенно-осадочных пород (отсюда широкое площадное развитие гидротермально измененных пород — метасоматическая колонна второго типа) (см. рис. 3). В пользу образования минеральных агрегатов метасоматической колонны второго типа в связи с сульфатно-хлоридными и сульфатными газогидротермами (рН до 3) свидетельствует широкое развитие опалолитов и алунитов, содержащих гнездовые выделения самородной серы.

Наконец, не менее важная роль газогидротерм сольфатарно-фумарольной деятельности в том, что вызванные ими процессы аргиллизации сопровождались интенсивным кислотным выщелачиванием, обусловившим подготовку пространства во вмещающих породах для последующего рудоотложения (см. рис. 3, 4) — золото-медноколчеданных, а затем золото-колчеданно-барит-полиметаллических (стратиформных массивных и прожилково-вкрапленных) и золото-малосульфидно-кварцевых прожилково-вкрапленных руд в сольфатарно-фумарольных кварцитах кровли. Завершает рудообразование в многожерловой вулканической структуре внедрение в основание ее ядра поздне меловой гипабиссально-гиповулканической полифазной порфировой интрузии с последующим развитием медно-порфирового оруденения.

Представляется, что прогнозно-поисковая (и одновременно геолого-генетическая) модель как вулканогенных, так и вулканоплутонических месторождений должна базироваться на господствующей концепции, согласно которой концентрирование рудного вещества является следствием сложного механизма взаимодействия гидросферы и литосферы, но при наличии прежде всего крупного источника эндогенной элизийной энергии.

С учетом сказанного столь удачное сочетание указанных процессов в концентрированной форме центростремительной геодинамики развития относительно компактной структуры крупного многофазного вулканокупольного многожерлового поднятия Маднеульско-Демирсурского рудного узла и его сателлитов предопределило образование сочетающихся на небольшой площади залежей четырех рудных формаций соответственно на четырех вертикальных уровнях (см. рис. 2). Объект стал эталонным для разработки прогнозно-поисковой (геолого-генетической) модели формирования гетерогенных полигенно-полихронных комплексных месторождений, связанных с длительными процессами регене-

рации и имеющими поступательный характер — от ранних залежей колчеданного семейства к поздним золото(серебро)-малосульфидно-кварцевым и медно-порфировым. Подчеркнем, что механизм оказался также эталонным (естественно, только на качественном уровне!) для многих рудных районов не только Малокавказской энсиалической островной дуги, но и ее продолжения на запад в Понтидах (Турция) и на восток в Эльбурс-Мешхед (Иран).

Отметим некоторые аспекты накопленной информации о механизме формирования такого типа прогнозно-поисковых моделей. На основе исследований медно-полиметаллических и золотых месторождений юго-западного сегмента складчатой системы Тетиса нами за основу принят многокомпонентный состав как гидротермально-осадочных, так и эпигенетических руд, механизм отложения которых определяется палеодинамическими и палеофациальными условиями становления генерирующих рудно-магматических систем. Нередко это зависит от петрохимических особенностей вулканитов при рециклинговом режиме фильтрации среды выщелачивания и привноса в бассейн рудоотложения полезных компонентов [3, 4, 7, 8] или в случае преобладания субинтрузивных комагматов и привноса из непосредственных источников, что видно на диаграмме *FMA* (см. рис. 5): в депрессиях или продуктах заполнения кальдер проседания, где в разрезе устанавливается антидромный ряд (K-Na андезиты–риодациты–риолиты и натриевые андезиты–андезито-базальты, относящиеся к разновозрастным циклам извержения), возможны обстановки совмещения в пространстве разнотипной минерализации, как на месторождениях Маднеули, Заглик, Алаверди и др.

Медноколчеданная минерализация сформировалась вслед за интенсивными восходящими движениями, о чем свидетельствуют субаэральные и переходные от субмаринных к субаэральным условиям накопления позднемеловых андезито-базальтовых комплексов (см. рис. 2, 5) Маднеульского рудного узла.

В наиболее изученных рудных узлах и полях масштабы промышленной минерализации оказались в прямой зависимости от объемов пород, слагающих вулканоструктуры, и от количества метал-

лов, содержащихся в них (табл. 2). При этом на месторождениях, связанных с сольфатарно-фумарольными процессами, мотив зональности, особенно предрудных метасоматитов (вторичных кварцитов, пропилитов субаэральных уровней), аналогичен наблюдаемым в гидротермально измененных породах областей современного вулканизма [5–7, 9, 10, 12–16], которые развиваются часто в объемах тел взрывных брекчий (см. рис. 5).

В этой связи в барит-полиметаллических рудах данные по изотопному составу водорода флюидных включений и кислорода в кварцах, барите и кальците могут интерпретироваться в пользу высокой доли участия метеорных вод в рудообразовательных процессах, которая растет во флюиде, отлагаящем баритовые руды. Напротив, в собственно медноколчеданной руде метеорная вода часто уступает по значению магматогенной (рис. 6). Интересно, что при этом сера сульфидов из руд Маднеули (впрочем, и большинства подобных других малокавказских месторождений) близка по изотопному составу метеорной, а сульфидов — утяжелена на $14 \pm 3\%$ (рис. 7). Незначительно облегчена сера сульфидов и сульфатов барит-полиметаллических руд по сравнению с медноколчеданными и медноцинковыми рудами [12–14].

Сульфиды гидротермально-осадочных залежей основного объема массивных медноколчеданных руд, сосредоточенных в виде пластообразной залежи в кальдере Маднеульской многожерловой вулканической постройки, устойчиво характеризуются более легкой серой ($\delta^{34}\text{S} = -2 \dots -11\%$).

Согласно аналитическим данным [2], рудообразующие флюиды Сомхето-Кафанской островной дуги Малого Кавказа, в том числе и Болнисского рудного района, были хлоридно-натриевого профиля, и перенос основных компонентов руд осуществлялся хлоридными комплексами [10, 12–16], а кремния — гидрокомплексами, так как гидросульфидные и (или) хлоридные модели для кремния и алюминия требуют высоких концентраций соответственно серы и хлора и маловероятны в рассматриваемых обстановках.

Формирование минеральной зональности залежей протекало в условиях градиентов температур, фу-

2. Масштабы промышленной минерализации в зависимости от объемов пород

Сравниваемые показатели	Рудные районы	
	Болнисский	Заглик-Кедабекский
Количество металлов (Cu, Zn, Pb) в месторождениях, млн. т	1,6	0,27
Объемы рудоносных впадин-рифтов, км ³	425	75–77
Объемы пропилитизированных пород, км ³	790	100
Объемы метасоматитов, ореолов рудных залежей, км ³	26	6–7
Количество металлов в рудоносных рифтогенных впадинах, млн. т	112	29
Количество металлов в пропилитах, млн. т	298	42

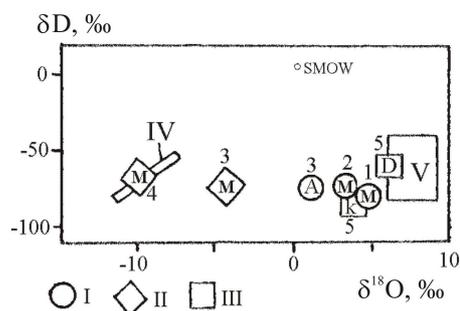


Рис. 6. Изотопный состав воды минералоотлагавших флюидов вулканогенных месторождений Малого Кавказа:

А — Алаверди; D — Давид-Гареджи; К — Кафан; М — Маднеули; минеральные типы: 1 — серноколчеданные, 2 — медноколчеданные, 3 — барит-полиметаллические, 4 — баритовые, 5 — карбонатные; величины δD соответствуют изотопному составу воды флюидных включений, $\delta^{18}O$ — изотопному составу кислорода воды, равновесной с кислородом кристаллических решеток кварца (I), барита (II) и кальцита (III); изотопный состав: IV — современных грунтовых вод региона, V — магматогенных вод

гитивности кислорода и серы. Окончательному формированию рудных тел, по-видимому, соответствовали устойчивые градиенты температур от 140–170 (на верхних уровнях) до 260–320°C (на нижних).

Из проведенного анализа условий формирования месторождений Маднеульского рудного узла (и, по-видимому, подобных месторождений Сомхето-Кафанской островной дуги и юго-западного сегмента Тетиса в целом) видно, что гидротермальным процессам предшествовали: накопление мощных терригенно-вулканогенных отложений в рифтогенных впадинах (начало зарождения энсиалической островной дуги); образование сложно построенных,

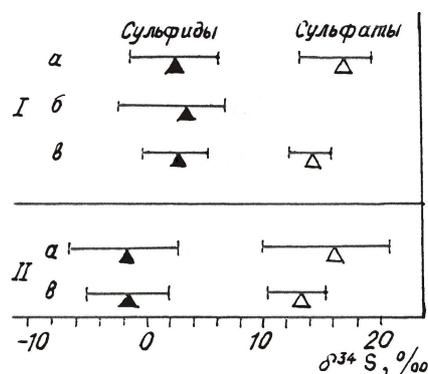


Рис. 7. Изотопный состав серы в минералах месторождений Малого Кавказа:

треугольниками показан средний изотопный состав серы; районы: а — Болнисский, б — Кафанский, в — Алавердский; руды: I — медноколчеданные и медно-цинковые, II — барит-полиметаллические и баритовые

многофазных и многожерловых вулканогенных гряд непрерывно дифференцированной формации, очаги выплавления магм которых, вероятнее всего, размещались на глубинах не более 20–25 км и отличались горизонтами пониженной вязкости, выявленными магнитотеллурическим зондированием [1, 2, 4–6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И.И., Клушин И.Г.* Геодинамика и металлогения складчатых областей. — Л.: Недра, 1987.
2. *Аревадзе Д.В., Гогшвили В.Г., Ярошевич В.З.* Геология и генезис Маднеульского медно-барит-полиметаллического месторождения (Южная Грузия) // Геология рудных месторождений. 1983. № 6. С. 10–22.
3. *Камишлина Е.М., Кривцов А.И.* Рудообразующие процессы и системы // Советская геология. 1989. № 6. С. 68–74.
4. *Курбанов Н.К.* Вулканогенные формации базальтоидного ряда и связь с ними колчеданного оруденения в различных провинциях СССР // Эволюция вулканизма в истории Земли. М., 1974.
5. *Курбанов Н.К.* Медноколчеданные, меднопорфировые, барит-полиметаллические и золоторудные месторождения металлогенической провинции Малого Кавказа // Геология СССР. Т. 47. М., 1976.
6. *Курбанов Н.К.* Колчеданные месторождения Кавказского региона // Тр. XXVII Международного конгресса. М., 1984.
7. *Курбанов Н.К., Фогельман Н.А.* Гетерогенность и конвергентные ряды месторождений золотоносных рудно-энергетических систем // Отечественная геология. 1996. № 1. С. 11–20.
8. *Меднопорфировые месторождения / А.И.Кривцов, В.С.Звездов, И.Ф.Мигачев и др.* — М.: ЦНИГРИ, 2001.
9. *Основные черты геологии и структуры Маднеульского рудного поля / Н.К.Курбанов и др.* // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1983. Т. 58. Вып. 2.
10. *Скиннер Дж.Б.* Генетическое разнообразие гидротермальных месторождений // Геохимия гидротермальных руд, месторождений. М., 1982.
11. *Состояние и пути дальнейшего совершенствования методов поисков скрытых (слепых) рудных тел свинцово-цинковых, золото-серебряных и медных, оловянных и вольфрамовых месторождений / Н.К.Курбанов и др.* — М., 1973.
12. *Твалчреидзе Г.А.* Металлогеническое районирование Центрального Средиземноморского пояса // Тектоника Средиземноморского пояса. М., 1980. С. 108–119.
13. *Франклин Дж.М., Лайдон Дж.У., Сангстер Д.Ф.* Колчеданные месторождения вулканической ассоциации // Генезис руд, месторождений. М., 1984. Т. 2. С. 39–252.
14. *Ярошевич В.З.* Генетические особенности месторождений основных рудных формаций Кавказа по данным изотопных исследований: Автореф. дис... канд. геол.-минер. наук. — Тбилиси, 1985.
15. *Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration / J.Hedenquist, E.Izawa, A.Arribas et al.* // Resource Geology Special Publication. Number 1. Tokyo, 1996.
16. *Hedenquist J., Henley R.* The importance of CO₂ on freezing point measurement of fluid inclusions: evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposits // Econ. Geol. 1985. Vol. 80. P. 1379–1406.