

Влияние геотектонических обстановок формирования вулканоплутонических поясов на металлогению медно-порфировых рудных районов и узлов

Аннотация. Оценено влияние геотектонических обстановок формирования вулканоплутонических поясов на рудно-формационную зональность находящихся в их пределах комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем, эквивалентных рудным районам и узлам. Отмечено, что сочетания разнотипных рудных месторождений, сопряжённых и совмещённых с медно-порфировыми в объёме единых систем, зависят от строения земной коры, положения и природы рудоносных магматических очагов, а также металлогении фундамента поясов. Установленные особенности комплексной металлогении рудно-магматических систем должны учитываться при прогнозе и поисках как медно-порфировых, так и ассоциирующих с ними месторождений иных рудно-формационных типов.

Ключевые слова: вулканоплутонические пояса, медно-порфировые месторождения, металлогения, рудно-магматические системы, рудно-формационные типы, рудные районы и узлы, прогноз, поиски.

ЗВЕЗДОВ ВАДИМ СТАНИСЛАВОВИЧ, доктор геолого-минералогических наук, начальник отдела, zvezdov@tsnigri.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»), г. Москва

The effect of the geotectonic settings of volcano-plutonic belts on the metallogeny of the porphyry copper ore regions and clusters

V. S. ZVEZDOV

Federal State Budgetary Institution "Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals" (FSBI "TSNIGRI"), Moscow

Annotation. The effect has been appreciated of the geotectonic settings of formation of volcano-plutonic belts on the ore-formation zonality of their related complex porphyry copper ore-magmatic systems (equivalent to ore regions and clusters). It is shown that combinations of different types of ore deposits, spatially and genetically associated with porphyry copper deposits within the volume of the unified systems, depend on the earth's crust structure, on the position and nature of the ore-bearing magmatic chambers, as well as on the metallogeny of the belt basements. The identified specific characteristics of the complex multiformal metallogeny of the ore-magmatic systems should be taken into account in the forecast and prospecting for both porphyry copper deposits and their associated ore deposits of other ore-formation types.

Key words: volcano-plutonic belts, porphyry copper deposits, metallogeny, ore-magmatic systems, ore-formation types, ore regions and clusters, forecast, prospecting.

Медно-порфировые месторождения (МПМ) локализованы в рудно-магматических системах (РМС) вулcano-плутонических поясов (ВПП), которые по преобладающему магматизму А. И. Кривцовым [9] были разделены на базальтоидные и андезитовидные. Петрология и металлогеническая специализация вулcano-плутонических ассоциаций (ВПА), участвующих в строении этих поясов, предопределяются глубинными «материнскими» очагами на границе нижнего слоя земной коры (ЗК) океанического, континентального и переходного типов с астеносферой, а также «промежуточными» очагами в её верхней части. Различия в составе магм и металлоносности этих очагов отражаются в характеристиках рудоносных плутонических формаций (комплексов), рудно-метасоматической зональности и вещественном составе руд месторождений медно-порфирового семейства, что в той или иной степени отражено в их отечественных (А. И. Кривцов, И. Г. Павлова, В. Т. Покалов, В. С. Попов и др.) и зарубежных (А. Сазерленд-Браун, Дж. Гриффитс, К. Гудвин, С. Кейт, Г. Вестра, Р. Силлитой, Дж. Оярзун, Дж. Фрутос, Дж. Лоуэлл, Дж. Джилберт, В. Холлистер, Д. Кокс, Д. Сингер и др.) классификациях.

Изучение медно-порфировых РМС, многие из которых обладают комплексной металлогенией, необходимо для совершенствования геолого-генетических основ прогнозирования медно-порфировых и ассоциирующих с ними месторождений, а также прогнозно-поисковых моделей рудных районов и узлов, эквивалентных таким системам. Петрология и рудно-формационная зональность комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем (КМП РМС), как и рудно-метасоматическая зональность и состав руд принадлежащих им месторождений медно-порфирового семейства, предопределяются геотектоническими обстановками образования ВПП, а именно строением ЗК, положением магматических очагов, продуцирующих ВПА, в т. ч. рудоносные, а также составом и металлогенией структурно-вещественных комплексов (СВК) фундамента (субстрата) поясов.

Геотектонические обстановки формирования вулcano-плутонических поясов. Положение и обстановки формирования ВПП с медно-порфировыми месторождениями в глобальных геоструктурах – островодужных, окраинно-континентальных орогенно-активизационных (кордильерского и андийского типов), внутриконтиненталь-

ных коллизионных орогенно-складчатых и рифтовых поздне- и постколлизионных – рассмотрены в работах многих отечественных и зарубежных исследователей.

Господствовавшая до 80-х годов XX века «геосинклинальная» гипотеза образования таких поясов в ходе эволюции ЗК сменилась концепцией дрейфа литосферных плит («новой глобальной тектоникой»), связывающей формирование океанической и континентальной коры с процессами дифференциации вещества мантии. Этой концепции, отводящей субдукционным процессам главенствующую роль в магмогенерации и рудообразовании, придерживается в настоящее время большинство геологов. Однако, её положениями нельзя объяснить многие наблюдаемые особенности положения (в геоструктурах) и геологического строения ВПП, в частности островодужных базальтоидных Филиппинского архипелага, где такие пояса формировались довольно длительное время (с раннего мела по плейстоцен) в сравнительно узкой зоне конвергентной границы Филиппинской и Евразийской плит без значительного латерального смещения. Кроме того, доминирующая плейттектоническая гипотеза не даёт полного объяснения возникновению внутриконтинентальных ВПП (и ассоциирующих с ними медно- и молибден-порфировых, редкометалльных и др. месторождений) на поздне- и постколлизионных стадиях эволюции ЗК. В появившейся в середине 1990-х годов монографии Д. Муллера и Д. Гровса [29], а позднее в работах Дж. Ричардса [31], С. Г. Соловьева [18] и др. специалистов эти вопросы «решены» предположением о появлении на этих стадиях крупных мантийных диапиров, внедрявшихся сквозь разрывы сплошности погружавшихся под континентальные окраины океанических плит в обстановках замедления и прекращения активной субдукции (деламинации ЗК). Процессы образования таких диапиров в результате постколлизионного растяжения, коллапса горных сооружений и эпиорогенного рифтогенеза описаны в монографиях В. Е. Хаиным и М. П. Ломизе [18], Н. В. Короновским и Л. И. Деминой [8] и др.

Не вдаваясь в детали существующих представлений о геотектонической эволюции литосферы и связанных с ней процессов магмогенерации и рудогенеза, автор настоящей статьи на основе обширных материалов предшествующих исследователей выделяет несколько обстановок

формирования ВПП с месторождениями медно-порфирового семейства. Очевидно, что с магматическими формациями таких поясов генетически связаны месторождения и других геолого-промышленных типов, но они не являются предметом обсуждения в этой работе.

Базальтоидные ВПП с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями представляют собой элементы энсиматических островных дуг (ОД), развивавшихся на океанической коре при субдукционных, рифтогенных и сопровождающих их магматических процессах. Такие пояса сложены в основном породами толеитовой и известково-щелочной серий натриевого профиля. По геотектонической позиции, строению и составу магматических комплексов эти пояса могут быть разделены на надсубдукционные – океанические и периокеанические и рифтовые [12].

С ВПА, слагающими островодужные ВПП первых двух обстановок, генетически связаны Au-Cu-порфировые и сопряжённые с ними в объёме единых систем скарновые и эпитеермальные месторождения цветных и благородных металлов. Руды Au-Cu-порфировых объектов характеризуются повышенной золотоносностью, довольно высокими содержаниями Cu при практически полном отсутствии Mo. С ВПА рифтогенных базальтоидных поясов ассоциируют Cu-порфировые объекты с низкими содержаниями Cu, Au и Mo. Рудно-метасоматическая зональность МПМ всех трёх названных обстановок в целом соответствует «диоритовой» модели, разработанной В. Холлистером [22].

К *океаническим* отнесены островодужные ВПП, сформированные непосредственно над конвергентными границами литосферных плит. ВПА, участвующие в их строении, составлены базальт-андезит-дацитовой и габбро-диорит-тоналитовой формациями. Завершающие порфировые фазы рудоносной существенно натриевой плутоногенной формации представлены порфировидными диоритами, кварцевыми диоритами, диоритовыми порфиритами. Руды МПМ обладают повышенными содержаниями Au при аномально низких Mo. Ярким примером являются пять разновозрастных (от раннего мела до плейстоцена) поясов островной дуги Санда (Восточная Зондская дуга, Индонезия) на границе Евразийской и Индо-Австралийской плит, протягивающейся на 1800 км в широтном направлении от о. Ява на западе до островов Сумбава, Флорес и Банда на востоке.

Они состоят из отдельных вулcano-плутонических центров с Au-Cu-порфировыми месторождениями и сопряжёнными Au-Cu-скарновыми и эпитеермальными Au-Cu и Au-Ag объектами типов «высокой» (HS), «средней» (IS) и низкой (LS) сульфидизации. Наиболее крупные из них – порфировые месторождения Бату Хайджау, Тумпангпиту, Эланг, Хью'ю расположены в позднемиоцено-плиоценовом ВПП.

К *периокеаническим* относится большинство базальтоидных ВПП с месторождениями Au-Cu-порфирового типа. Такие пояса возникают при субдукции океанической коры под континентальную и располагаются в периокеанических островодужных структурах (между фронтальными прогибами, примыкающими к желобам, и внутренними (тыловыми) зонами островодужного пространства), нередко представляя собой их внешние барьерные зоны. Здесь проявлен известково-щелочной магматизм натриевого профиля. ВПА, продуктивная на Au-Cu-порфировые руды (с высокими содержаниями Au), представлена базальт-андезит-базальтовой и габбро-диорит-кварцеводиоритовой формациями с рудоносными фазами кварцевых диоритовых порфиринов и плагиогранит-порфиринов.

Примером являются базальтоидные ВПП Филиппинского архипелага на границе Евразийской и Филиппинской плит, принадлежащие так называемому Филиппинскому Мобильному поясу, протягивающемуся в меридиональном направлении от о. Лусон на севере до о. Минданао на юге. Рудоносные магматические формации этих поясов возникали несколько раз во временном интервале от раннего мела до плейстоцена, отражая цикличность островодужного магматизма, но во всех случаях они представлены породами натриевой известково-щелочной серии – диоритами-кварцевыми диоритами с порфировыми фазами того же состава и их излившимися аналогами. Здесь выделены рудные районы Манканьян, Багио, Маридукью, Атлас, Суригао и др. с более чем 50 Au-Cu-порфировыми (FSE, Гуинаоанг, Буаки, Кеннон, Блэк Маунтин, Наггет Хилл и др.) и сопряжёнными с ними эпитеермальными Au-Cu и Au-Ag (HS, IS и LS типов) месторождениями и проявлениями, наиболее крупные из которых сосредоточены на севере Восточно-Филиппинского пояса (о. Лусон). Ещё один пример подобных ВПП в ЮВ Азии – пояса Новобританской (месторождения Плесиуми, Эсис и Кулу)

и Соломоновой (Пангуна, Колуола) островных дуг на границе Индо-Австралийской и Тихоокеанской плит.

К этому же периокеаническому типу относятся базальтоидные ВПП Прибрежного минерагенического пояса запада Аляски, находящиеся над зонами субдукции вблизи границы Северо-Американской и Тихоокеанской плит. Расположенные в их пределах МПМ (Костелло Крик, Грабстейк, Ипдиан Пасс Лейк, Баумтофф и др.), по данным В. Холлистера, С. Анцалоне, Д. Рихтера [23], сопряжены с массивами диоритов, роговообманковых диоритов, реже гранатсодержащих диоритов, которые входят в состав раннетриасовых, раннеюрских, позднеюрско-раннемеловых и третичных островодужных ВПА, вулканогенная часть которых представлена базальтами, андезибазальтами и андезитами.

Периокеанические базальтоидные пояса с Au-Cu-порфировыми объектами также выделены в структурах Алеутской (Островной ВПП с месторождениями Пирамид, Драй Крик), Центрально-Американской (Панама – Рио Пинто, Патикан, Наваганди) и Антильской (Пуэрто-Рико, Ямайка – Рио Виви, Танама, Ла Муда, Коппер Майн Пойнт) островных дуг на границе Южно- и Северо-Американской литосферных плит [9].

Палеотектоническая позиция океанических и периокеанических островных дуг и входящих в их состав базальтоидных ВПП с Au-Cu-порфировыми месторождениями в определённой степени сходна. Все вышеназванные ОД с поясами этого типа приурочены к конвергентным границам литосферных плит, занимают надсубдукционную позицию и являются производными базитовых магматических очагов океанической ЗК. Вместе с тем, ВПП океанических ОД отличаются большей протяжённостью, линейной формой и отчасти строением в сравнении с периокеаническими [12].

В принципиально иной палеотектонической обстановке формируются *рифтогенные* базальтоидные ВПП с медно-порфировыми и скарново-медно-порфировыми объектами Уральской металлогенической провинции. Во внутриконтинентальных океанических рифтах глубокого заложения такие пояса – Ирендыкский (месторождения Салаватское, Вознесенское, Круглогорское), Новоалексеевский (Гумешевское), Верхнеуральский (одноимённое), Именновский (Воскресенское), Малоуральский (Новогоднее-Монто) – рас-

полагаются как непосредственно над претерпевшими орогенную инверсию базальтоидными прогибами, так и на их флангах (плечах). Продуктивная на медно-порфировые руды ВПА завершает натриевые серии базальтоидного магматизма и сменяет во времени однородную базальтовую и дифференцированные колчеданосные контрастную и непрерывную формации. Вулканогенная часть ВПА представлена базальт-андезибазальтовой либо андезибазальт-андезитовой формациями, плутоногенная – габбро-диорит-плагиогранитовой и габбро-диорит-тоналит (гранодиорит)-плагиогранитовой. Руды МПМ характеризуются малыми содержаниями Au и Mo.

К этому же типу геоструктур, с определённой степенью условности, можно отнести Кони-Тайгоносскую (Удско-Мургальскую) раздвигово-шовную (рифтогенную) зону, отделяющую Охотоморскую литосферную плиту от Азиатского континента. По существу, она представляет собой своеобразную структуру островодужного типа. В её пределах с позднего палеозоя по неокончательности формировались островодужные комплексы – вулканогенные и вулканогенно-терригенные базальт-андезитовые ($T-J_2$ и J_3-K_1), базальтовые и габбро-гранодиорит-тоналит-плагиогранитные (K_1), участвующие в строении одноимённого ВПП. На них в позднемеловое время были наложены формации андезитоидного Охотско-Чукотского пояса.

В юго-западном сегменте Удско-Мургальского ВПП (на Кони-Пьягинском полуострове) известны несколько медно-порфировых проявлений – Лора (наиболее крупное), Прямой, Икрумунское, Викинг, Антара, Тальниковое I и II и другие, которые ассоциируют с порфировыми фазами диорит-гранодиорит-тоналитовых интрузивов. В северо-западном (Чукотском) отрезке этого пояса с интрузивными массивами той же формации сопряжены медно-порфировые проявления Базовое и Моренное. Все названные объекты характеризуются низкими содержаниями Cu и Mo при практическом отсутствии Au.

В истории развития ОД в первых двух обстановках базальтоидные ВПП с Au-Cu-порфировыми месторождениями, в т. ч. крупными, образовывались несколько раз в течение длительных временных интервалов, что отражает цикличность островодужного магматизма. В третьей, рифтогенной, базальтоидные пояса возникали однократно. Здесь формировались преимущественно мелкие Cu-порфировые объекты с убогими содержаниями

металлов, что, вероятно, можно объяснить истощением потенциала рудоносных магматических очагов – продуцентов предшествующих медно-колчеданных месторождений [12].

Андезитовидные ВПП представляют собой линейные протяжённые окраинно-континентальные (аккреционные) и внутриконтинентальные (поздние и постколлизийные) геоструктуры, образовавшиеся на субстрате различного состава и возраста в орогенно-активизационном режиме. Для них характерен К-Na, Na-K и существенно К профиль магматизма (известково-щелочной, шошонитовой, щелочной серий) и широкий спектр рудных месторождений, включая Cu-Mo-, Mo-Cu-, Au-Mo-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые. (Под термином «андезитовидные ВПП», введённым в своё время А. И. Кривцовым [9], понимаются пояса, сложенные вулканогенными и плутоногенными формациями названных серий).

К *окраинно-континентальным* относится большинство поясов Востока России, Северной (Кордильеры) и Южной (Анды) Америк, Европы (Карпато-Балкано-Динарская система), Средней Азии (Казахстан, Узбекистан). Они образовались при субдукции океанических плит под континентальные на ЗК сиалического и переходного сиалофемического типов. Вместе с ОД, аккреционными призмами, фрагментами континентов и осадочных бассейнов такие надсубдукционные ВПП составляют глобальные орогенно-складчатые пояса [6–8]. В отличие от островодужных обстановок для них характерен более пологий угол наклона зоны субдукции [19]. Для центрального сектора андийских третичных ВПП, например где сосредоточены десятки МПМ, в т.ч. большинство крупнейших Cu-Mo-порфировых объектов мира, таких как Чукикамата, Эль Теньенто, Коллахаузи, Рио Бланко – Лос Бронсес, Ла Эскондидо и др. (Чили), этот угол не превышает 30°. В южном сегменте этих поясов, где зона субдукции имеет крутые углы падения, МПМ отсутствуют. Пологое падение субдукционной поверхности установлено и для Каролинской океанической плиты, погружавшейся в олигоцене под Австралийскую континентальную. В сформировавшихся здесь в миоцене–плейстоцене ВПП Новогвинейской металлогенической провинции находятся гигантские Au-(Mo)-Cu-порфировые объекты «переходных» окраинно-континентальных – коллизийных обстановок – Грасберг (Индонезия), Фрида Ривер, Уафи-Голпу Ок Теди (Папуа – Новой Гвинея).

С точки зрения некоторых исследователей [1, 18, 25, 29], аккреционные андезитовидные ВПП представляют собой островные дуги поздней («зрелой») стадии развития, для которой характерен калиевый субщелочной (шошонитовый) магматизм, с которым связывается возникновение МПМ. Продуктивную ВПА таких поясов составляют трахибазальт-трахиандезитовая и диорит-монцодиоритовая формации с рудоносной фазой порфировидных кварцевых монцодиоритов и монцонит-порфиров. В рудах ассоциирующих с ними объектов отмечаются значимые содержания Мо, основным источником которого считается деплетированная астеносфера.

Внутриконтинентальные ВПП с МПМ принадлежат орогенно-складчатым системам памиро-гималайского (Тибета, Ю. Китая, Ирана, Пакистана) либо монголо-охотского (Центральной Азии) типов, сформировавшимся при коллизии континентальных плит. На ранней и поздней стадиях этого процесса интенсивное латеральное сжатие вызывает складчато-сдвиговые деформации и метаморфизм зеленосланцевой, амфиболитовой, а в низах ЗК гранулитовой фаций. Раздавливание тектонических блоков на краях сталкивающихся литосферных плит приводит к горообразованию с увеличением мощности континентальной коры до 60–65 км. Рост горных сооружений также может быть связан с деламинацией (отслаиванием) литосферного корня орогенных сооружений с гравитационным отрывом и погружением в астеносферу тяжёлых базитовых блоков нижней части ЗК вместе с подстилающими их мантийными. Следствием этого процесса может являться быстрый подъём оставшейся части литосферы, сопровождаемый активным вулканизмом ввиду подъёма мантийного материала к подошве ЗК [8, 19].

Внутри континентов на границах сталкивающихся плит ВПП возникают в завершении позднеколлизийной и на постколлизийной стадиях развития орогенов при смене геодинамического режима сжатия растяжением, когда происходит тектонический коллапс горных сооружений, а ЗК утоняется с разрывом сплошности и возникновением рифтов. Через появившиеся «окна» внедряются астеносферные диапиры (плюмы), кровля которых достигает подошвы коры. В недрах орогенов, над астеносферными выступами, достигаются условия, достаточные для анатексиса осадочно-вулканогенных толщ с возникновением гранитных батолитов S-типа [20]. В зонах син-

и постколлизийного рифтогенеза (при замедлении или полной остановке субдукции) в составе продуктов магматизма начинают преобладать калиевые известково-щелочная и субщелочная (шошонитовая), реже щелочная серии – результат плавления нижней коры и верхов мантии. Продуктивный на медно-порфировое оруденение магматизм представлен в основном шошонитовой серией [18, 24, 27, 29, 31, 35]. К образовавшимся в таких обстановках МПМ перечисленными приверженцами такой концепции отнесены Cu-Мо-порфировые объекты Тибета (Юлонг, Маласонгдуо, Мангжонг, Кулонг, Жайма и др.) и Малого Кавказа (Каджаран), Au-Мо-Cu-порфировые – США (Бингхэм Каньон Уосатцкого ВПП и др.) и, предположительно, Сихотэ-Алиня (Лазурное, Малмыж), Папуа – Новой Гвинеи (Фрида Ривер, Ок Теди) и Индонезии (Грасберг).

Кроме отмеченных палеотектонических обстановок нахождения ВПП с МПМ существуют «переходные» варианты, в частности «окраинно-континентальная – коллизийная», к которой автор данной статьи относит третичные ВПП Новогвинейской металлогенической провинции с упомянутыми гигантскими Au-(Mo)-Cu-порфировыми месторождениями Грасберг, Фрида Ривер, Ок Теди, а также недавно введённым в эксплуатацию крупнейшим месторождением того же типа Уафи-Голпу.

Рассмотренные различия в геотектонической (геодинамической) позиции поясов, имеющих разные материнские магматические очаги – в коре океанического, континентального или переходного типов, безусловно отражаются в петрологии рудоносных ВПА и составляющих их формаций, рудно-метасоматической зональности, минералогии и составе руд МПМ, а также в металлогении КМП РМС, в объёме которых кроме медно-порфировых часто встречаются объекты других РФТ. Определённое значение имеют состав СВК фундамента (субстрата) поясов с древними месторождениями, которые подвергались регенерации (с переотложением рудного вещества) при тепловом воздействии плутонов продуктивных формаций.

Комплексная металлогения ВПП и медно-порфировых РМС. Андезитовидные аккреционные ВПП отличаются от базальтоидных островодужных более сложным строением и разнообразной металлогенией, что обусловлено их гетерогенным субстратом (фундаментом) и наличием магматических очагов – источников флюидов и руд-

ного вещества не только на границе ЗК с астеносферой, но и в её верхнем гранитном слое («промежуточных»). В поздне- и постколлизийных обстановках формирования внутриконтинентальных поясов такими источниками, вероятно, могли служить мантийные диапиры.

В наиболее полном виде выделяются три этапа развития *аккреционных* андезитовидных поясов [11, 28], которым соответствуют нижний, средний и верхний структурно-формационные этажи (СФЭ). С магматическими комплексами каждого СФЭ генетически связаны месторождения определённых РФТ. МПМ образуются на первом этапе при становлении ВПА – андезитовидных и комагматичных им габбро-диорит-гранодиоритовой либо диорит-гранодиорит-монцонитовой формаций, с которыми ассоциируют Au-Мо-Cu- и Cu-Мо-порфировые объекты. Для их руд характерны повышенные содержания Мо, источником которого считается континентальная ЗК [9, 22, 36] либо деплетированная астеносфера [1, 18, 25]. Среди вулканитов среднего этапа преобладают риолиты и риодациты. Плутогенные составляющие ВПА представлены гранодиорит-гранитной, гранит-лейкогранитной, лейкогранит-щёлочно-гранитной формациями с Мо-порфировыми, редкометалльными (Mo-W, Mo-U, Ta-Nb, (Be)-W-Mo), Sn-рудными; Au-Ag-ными с ведущей ролью Ag в рудах; Au-кварцевые; Cu-Sn- и (Sn)-Ag-полиметаллические. В заключительный этап образуются трахибазальт-трахиандезит-трахириолитовые серии вулканитов и комагматичные щелочно-гранитные–граносиенитовые (щелочной серии) с жильными и штокверковыми месторождениями редкоземельных элементов, Ag, флюорита, Sb и Hg.

ВПА *внутриконтинентальных* поздне- и постколлизийных ВПП сложены трахибазальт-трахиандезитовыми и комагматичными габбро-монцодиорит-монцонит-сиенитовыми формациями шошонитовой серии. С ними обычно сопряжены Cu-Мо-, Мо-Cu- и Au-(Mo)-Cu-порфировые и сопряжённые с ними Au-Cu-скарновые и эпитеральные Au-Cu и Au-Ag месторождения HS и IS типов.

От принадлежности к ВПП, различающимся по геотектонической позиции, зависят петрология рудоносных формаций, рудно-метасоматическая зональность и вещественный состав руд месторождений медно-порфирового семейства. Месторождения базальтоидных ВПП связаны

с формациями габбро-диорит-тоналитового ряда Na профиля, а андезитоидных – с K-Na- и Na-K формациями габбро-диорит-гранодиоритового и диорит-гранодиорит-монцонитового рядов [13], которые относятся к известково-щелочной и шонитовой магматическим сериям. Рудно-метасоматическая зональность объектов выделенных типов соответствует моделям – «диоритовой», «гранодиоритовой» и «монцонитовой», описанным в работах В. Холлистера [22], А.И. Кривцова с соавторами [10], Дж. Лоуэлла и Дж. Джилберта [26].

По петрологии рудоносных плутогенных формаций и составу руд месторождения семейства могут быть разделены на несколько групп в соответствии с принадлежностью разнотипным РМС: Au-Cu- и Cu-порфиновые «диоритовых» островодужных и рифтовых базальтоидных поясов (с повышенным содержанием Au в рудах при практическом отсутствии Mo); Cu-Mo-, Mo-Cu- и Au-Mo-Cu-порфиновые «гранодиорит-монцонитовых» окраинно-континентальных (аккреционных) и «монцодиорит-монцонит-монцогранитных» рифтогенных (поздне- и постколлизийных) андезитоидных ВПП (со значимым содержанием Mo); Au-(Mo)-Cu-порфиновые «диоритовых» и «диорит-монцонитовых» систем «переходных» аккреционных-коллизийных (рифтогенных) обстановок (с высоким содержанием Au).

Различия в геотектонической позиции отражаются также в запасах и содержаниях месторождений семейства, о чём свидетельствуют результаты анализа распределения этих объектов по сумме запасов категорий $C_1 + C_2$ (measured + indicated resources) и прогнозных ресурсов категории P_1 (inferred resources), а также средним содержаниям металлов в рудах, проведённого по базе данных USGS из 409 месторождений [34], дополненной сведениями по ряду отечественных и зарубежных объектов, разведанных в последние 15 лет. Самые значительные запасы Cu, Mo и Ag (и повышенные содержания Mo) – в Cu-Mo-порфиновых объектах андезитоидных аккреционных ВПП с фундаментом континентального типа, наибольшие запасы (и содержания) Au – в Au-Cu-порфиновых месторождениях островодужных базальтоидных (с океаническим субстратом) и Au-(Mo)-Cu-порфиновых «переходных» обстановок. Корреляция между запасами: Cu, Mo и Ag – высокая (0,75–0,88), Au, Cu и Ag – значительно слабее (0,23–0,33), Au и Mo – отсутствует. В отличие от запасов, значи-

мые корреляционные связи между средними содержаниями металлов, за исключением Au и Ag, не выявлены. В то же время отношения содержания Cu/Mo и Au/Mo в рудах, используемые в известных классификациях МПМ, характеризуются существенным перекрытием областей распределения и поэтому не являются надёжным критерием разделения медно-порфирового семейства на типы [5].

В объёме вышеназванных разнотипных систем кроме медно-порфировых, локализованных в их внутренних частях, часто присутствуют месторождения цветных и других благородных рудно-формационных типов (РФТ): во *фланговых* – мезотермальные Au-Cu-, Cu- и Au-Pb-Zn-скарновые, жильные, жильно-прожилковые и метасоматические (Au)-Ag-полисульфидные, Au-сульфидно-кварцевые, иногда Au-порфиновые; в *верхних периферийных* – эпитеермальные жильные, жильно-прожилковые и стратойдные Cu-Au- и Au-Ag «высокой (HS), средней (IS) и низкой (LS) сульфидизации», вулканогенные медные (типа манто), а также самородной серы. Перечисленные рудные объекты разных частей *комплексных медно-порфировых рудно-магматических систем*, нередко называемых «порфирово-эпитеермальными», генетически связаны с едиными магматическими очагами, поэтому названы «сопряжёнными». В системах палеозойских ВПП кроме них встречаются месторождения «совмещённого» типа – «унаследованного» в структурно-вещественных комплексах (СВК) субстрата поясов и «наложенного» – в ВПА более поздних этапов их развития [10, 28]. При металлогеническом районировании КПМ РМС могут выделяться как комплексные рудные районы (КРР) и узлы (КРУ).

Сопоставление отдельных медно-порфировых РМС с наиболее яркопроявленной комплексной металлогенией, изученных специалистами ЦНИГРИ на Урале, Чукотке, Камчатке, в Узбекистане и Казахстане, а также Филиппин, Индонезии, Папуа – Новой Гвинее, США, КНР и других стран (по материалам зарубежных публикаций), показало, что сочетания (наборы) РФТ в системах рифтовых и островодужных базальтоидных, окраинно- и внутриконтинентальных андезитоидных ВПП различны. В комплексе с петрологическими, рудно-метасоматическими и минералого-геохимическими характеристиками МПМ это позволило выделить КМП РМС нескольких типов (см. таблицу). Примечательно, что «диоритовые»

Таблица. КМП РМС базальтоидных и андезитовидных ВПП с месторождениями сопряжёнными, унаследованных и наложенных РФТ

Месторождения разных РФТ	КМП РМС базальтоидных ВПП		КМП РМС андезитовидных ВПП				Диоритовые монцитовые	
	Диоритовые внутриконтинентальных рифтогенных	Диоритовые перикеанических и океанических островодужных	Диоритовые внутриконтинентальных рифтогенных	Гранодиорит-монцитовые окраинно-континентальных (аккреционных)	Монодиорит-монцит- внутриконтинентальных	Диоритовые	Переходных окраинно-континентальных – коллизийных	
							7	8
1	2	3	4	5	6	7	8	
Сопряжённые РФТ								
Cu-порфировые	+							
Cu-Mo-порфировые	+			+	+			
Mo-Cu-порфировые	+			+	+			
Au-Mo-Cu-порфировые			+	+	+			
Au-(Mo)-Cu-порфировые						+		+
Au-Cu-порфировые		+						
Au-Cu- и Cu-скарновые	+	+	+	+	+	+		+
Au-Pb-Zn-скарновые				+				
Fe-скарновые (иногда с Au)	+	+	+					
Метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические				+				
Au- и Au-Ag-полисульфидные жильные, жильно-прожилковые			+	+				
Au-сульфидно-кварцевые жильные	+		+	+				
Au-кварцевые жильные	+		+					
Эпитермальные Cu-Au-ные HS типа		+		+	+			
Эпитермальные Au-Ag-теллуридные IS типа		+		+		+		
Эпитермальные Au-Ag-полисульфидные LS типа		+				+		

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Унаследованные РФТ							
Au-Cu-Fe-оксидный (IOCG)				+			
Cu-колчеданные	+						
Pb-Zn стратиформные в карбонатных толщах				+			
Fe-рудные статиформные магнетит-гематитовые			+				
Магматические Cu-Pt-магнетитовые	+						
Cu-Co и Cu-Au-Co стратиформные и страгоидные	+		+				
Наложенные РФТ							
Au-кварцевые, Au-халцедон-кварцевые				+			
(Au)-Ag жильные и штокервовые				+			
Редкометалльные (W-Mo) кварцевожилые, грейзеновые, скарновые, скарново-грейзеновые				+			
Au-As-Sb-Hg страгоидные, жилые			+	+			
Примеры КМП РМС	Вознесенская, Верхнеуральская, Круглогорская, Покровская, Первая, Вторая и Третья Северные, Тоупул-Ханмешевская и Гумешевская (Урал, Россия)	Бату Хайдау, Тумпантиту, Иланг, Хуу (Индонезия), Батто, Манкайян, Аглас, Суригао, Мариндукью (Филиппины); Сетон (Лаос)	Ауэрбаховская, Томинско-Березняковская (Урал, Россия); Саянская (Казахстан)	Екдэггычская (Баимская), Иннахская, Ольховская, Медьгорская, Малмыжско-Болонская, Пони-Мулинская, Соболань, Арбинская, Талданская, Елна-Адаминская, Малотойвямская, Центральнo-Камчатская (Россия); Алмалыкская, Каульдинская (Узбекистан); Коунрадская, Акчатауская (Казахстан); Речк-Лахоца, Злата Бания, Окно-де-Фьер, Златно, Бор, Майданпек (страны Восточной Европы)	Юлонг, Жанага, Маласонгдуо, Дуоксангдуо, Гетонг-нонг рудного пояса Юлонг; Кулонг, Жайма, Кситонгмен – Нютонгмен рудного пояса Гангдесе (КНР)	Фрида Ривер, Уафи-Голпу (Папуа – Новая Гвинея)	Грасберг-Эриберг (Индонезия); Ок Теди (Папуа – Новая Гвинея)

Примечание. «+» – отмечены РФТ, встречающиеся в КМП РМС выделенных типов.

системы с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями встречаются как в базальтоидных, так и в андезитовидных ВПП, а РМС с Cu-Mo-, Mo-Cu- и Au-Mo-Cu-порфировыми – и в окраинно-континентальных («гранодиорит-монзонитовые»), и во внутриконтинентальных (поздне- и постколлизийных) поясах («монцодиорит-монзонит-монцогранитные»). Подробное описание металлогении представительных типовых КМП РМС приведено в недавно изданных работах сотрудников ЦНИГРИ И. Ф. Мигачёва, О. В. Мининой, В. С. Звездова [3, 5, 13].

Проведённый анализ показал, что масштабы развития и сочетания перечисленных в таблице сопряжённых РФТ в КМП РМС базальтоидных и андезитовидных ВПП отличаются. При некотором сходстве в наборе типов эпитермальной золотой и золото-серебряной минерализации есть существенные различия в мезотермальной. Так, в КМП РМС базальтоидных поясов (при наличии среди вмещающих пород карбонатных и глинисто-карбонатных, в экзоконтактах рудоносных порфировых интрузивов) развиты Au-Cu- и Cu-скарновые магнетитовые залежи, однако Au-Pb-Zn-вые скарновые и метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические тела, характерные для фланговых зон РМС андезитовидных поясов, отсутствуют. Жильная и жильно-прожилковая Au- и Au-Ag-полисульфидная минерализация также существенно менее распространена, в то время как в пропиловых ореолах практически всех МПМ андезитовидных ВПП она широко развита. Кроме того, для систем базальтоидных поясов нехарактерны объекты совмещённых (наложенного и унаследованного) типов, которые нередки в КМП РМС андезитовидных ВПП.

Соотношения разновозрастного – медно-порфирового и унаследованного полиметаллического оруденения наблюдаются во многих системах андезитовидных поясов: Алмалыкской (Узбекистан), Бингхэм Каньон, Санта Рита, Резолюшюн в США; Речк-Лахоца, Злата Баня, Окно-де-Фьер, Златно, Бор, Майданпек в странах юго-восточной Европы. На флангах этих объектов развиты жильные и жильно-прожилковые полисульфидные (с Au и Ag) руды, а во вмещающих карбонатных толщах нередки стратиформные полиметаллические. Наиболее показательными примерами являются КМП РМС с супергигантскими Au-Mo-Cu-порфировыми месторождениями: Большой Алмалык Алмалыкского рудного района Бельгау-

Кураминского ВПП и Бингхэм Каньон района Бингхэм Уосатчского пояса.

Во внутренней зоне первой из названных систем, в известняково-доломитовой толще (D_3-C_1) фундамента ВПП, находилось (к 1980-м годам полностью отработано) частично регенерированное, изначально стратиформное, полиметаллическое месторождение *Кургашиинкан*. При формировании медно-порфировой РМС его пластообразные залежи в провисе кровли Алмалыкского многофазного плутона были интенсивно преобразованы с наложением скарновых минеральных ассоциаций, обогащены медью, золотом, селеном и теллуrom, со стороны висячего бока осложнены жильно-образными апофизами. Рудные залежи однотипного месторождения Кульчулак, расположенного южнее – во внешней зоне системы, таким изменениям не подвергались. Возможно, продуктами регенерации стратиформных залежей в тепловом поле интрузива продуктивной на медно-порфировые руды плутоногенной формации отчасти могут быть прожилки и мелкие жилы (Накпай, Карахана, Кальтасай и др.) поздних полисульфидных минеральных ассоциаций периферийных частей медно-порфировых штоков Кальмакыр, Дальнее, СЗ Балыкты – участков Алмалыкского месторождения, «разбитого» пострудными тектоническими перемещениями по Карабулакскому и Кальмакырскому разломам.

В КМП РМС Бингхэм Каньон с одноимённым крупнейшим Au-Mo-Cu-порфировым месторождением в карбонатных формациях интрузивной рамы отмечаются стратиформные залежи свинцово-цинковых руд миссисипского типа. Ореол рассеянной полисульфидной минерализации вокруг этого объекта простирается далеко за пределы пиритового ореола – до 8 км от рудоносного штока кварцевых монзонит-порфиров, что не может быть объяснено только проникновением и разгрузкой рудоносных магматогенных флюидов, как это сделано в обобщённой модели «телескопированной» медно-порфировой системы Р. Силитоу [33], тем более, что известняки и доломиты, особенно мраморизованные, отличаются низкой проницаемостью [4] и способностью пластично деформироваться при высоких температурах и давлении [2], что препятствует возникновению проводящих трещинных структур и течению по ним гидротермальных растворов. Более приемлемо предположение о частичной экстракции вещества древних полиметаллических

залежей метеорными водами, активизированными в тепловом поле крупного плутона, с последующим частичным переотложением на флангах системы.

Основные причины выявленных рудно-формационных различий КМП РМС базальтоидных и андезитовидных поясов – более мощная и разнородная ЗК континентального (сушевого) либо переходного (океанического) либо переходного (океанического) типов андезитовидных ВПП, наличие «промежуточных» магматических очагов в океаническом слое литосферы наряду с глубинными «материнскими» в приподнятой части базальтового слоя. Важно, что в промежуточных очагах «скапливалась» не только относительно окисленная (насыщенная серой в сульфатной форме), водонасыщенная магма изначально основного состава с халькофильными элементами (Cu, Au и др.) из глубинных очагов, но и магма из очагов в гранитном слое ЗК, обогащённом Mo, W, Sn, Ta, Nb, REE и др., которые появлялись в результате анатекстиса пород коры под воздействием тепловых потоков, восходящих от очагов кристаллизовавшейся мафической магмы мантийного происхождения. Возможными источниками Pb, Zn, Cu, Ag и др. металлов могли быть также стратиформные полиметаллические и Cu-Zn колчеданные месторождения, подвергшиеся регенерации в тепловом поле плутонов, продуктивных на Cu-порфировые руды. Этим и объясняется многообразие металлогении комплексных МП РМС андезитовидных поясов.

Установленные корреляционные связи между запасами основных полезных компонентов руд, а также между их содержаниями отражают различие в минеральных типах руд месторождений разных РФТ Cu-порфирового семейства. Так, высокая корреляция между запасами Cu, Mo и Ag обусловлена широким развитием полисульфидного типа руд, характерного для фланговых частей МП РМС андезитовидных ВПП. Он мало распространён в системах с Au-Cu-порфировыми месторождениями базальтоидных поясов, для которых характерны аномально низкие содержания (и запасы) Mo и высокие Au, отражающие повышенную золотоносность рудоносных магм в островодужных структурах с океаническим типом ЗК.

Происхождение и становление глубинных и промежуточных магматических очагов – источников рудоносных расплавов и флюидов для рудных, в т.ч. медно-порфировых, месторождений рассмотрены в публикациях И.И. Абрамовича,

А.Д. Щеглова, И.Н. Говорова, И.Д. Рябчикова, Н.В. Короновского, Л.И. Деминой, С.Г. Соловьёва, Д. Муллера, Д. Гровса, Дж. Ричардса, Р. Силли-тоу, Дж. Хронски, Р. Лоукса, Г. Бегга, С. Ларджа, Р. Мазура, Дж. Руиза, С. Титли и многих других отечественных и зарубежных исследователей. Согласно их разработкам, в окраинно-континентальных обстановках формирования андезитовидных ВПП с МПМ *глубинные очаги* возникали за счёт частичного плавления вещества субдуцируемой океанической плиты и вышележащего мантийного клина, подвергавшегося метасоматическому преобразованию под воздействием флюидов, поднимающихся от этой плиты при её дегидратации. Во внутриконтинентальных (поздние и постколлизийные) рифтовых обстановках образования поясов такие очаги появлялись при внедрении астеносферных диапиров сквозь разрывы сплошности в ЗК, которое сопровождалось повторным переплавлением мантийных и литосферных блоков, обогащённых металлами в предшествующих субдукционных процессах.

В обоих случаях основными источниками рудного вещества служили магмы из глубинных очагов переходной между литосферой и мантией зоны, производными которых являются формации шошонитовой серии, продуктивные на медно-порфировое и сопряжённое эпitherмальное благороднометалльное и скарновое оруденение, а также щелочной серии, с которыми генетически связаны более поздние редкометалльные и редкоземельные месторождения. Это, однако, не исключает участия в рудогенезе магм из промежуточных коровых очагов. Смешение расплавов мантийного и корового происхождения (многими исследователями рассматривается как одно из главных условий формирования МПМ мирового класса) приводило к образованию гибридных магм (от андезитовых до дацитовых) известково-щелочной серии, насыщенных летучими компонентами и металлами, которые имели меньшую плотность в сравнении с вышележащими комплексами гранитного слоя. Их подъём в верхние части ЗК был обусловлен в основном силами выталкивания («всплывания») и контролировался проницаемыми зонами, возникавшими при сдвиговых деформациях в областях сопряжения парных внутридуговых (осевых поясных) и поперечных по отношению к ним глубинных трансформных разломов. В режиме интенсивного латерального сжатия, который возникал на определённых

отрезках магматических дуг при субдукции океанических плит с асейсмичными хребтами и плато под континентальные окраины и приводил к росту мощности литосферы и подавлению вулканизма, на глубинах от 5 до 15 км возникали магматические очаги и флюидные плюмы с концентрацией металлов [32, 33]. Их разгрузка при орогенезе в благоприятных структурно-петрофизических условиях [4, 21] приводила к образованию крупных и гигантских МПМ.

Геодинамические обстановки возникновения материнских (рудоносных) магматических очагов островодужных базальтоидных поясов с мафитовым океаническим субстратом в принципе те же, что и для андезитовидных аккреционных. Поступавшие из этих очагов рудообразующие флюиды мантийного происхождения были обогащены в основном Cu и Au. Сформированные в таких условиях Au-Cu-порфировые месторождения нередко сопровождаются Au-Cu-, Cu- и Fe-скарновыми, а также Cu-Au и Au-Ag (HS, IS и LS типов) объектами. Из-за строения океанической ЗК (отсутствия гранитного слоя и соответственно промежуточных очагов) совмещённые – более поздние (наложенные) и унаследованные РФТ в КМП РМС, естественно, отсутствуют.

В РМС базальтоидных рифтовых ВПП Cu-порфировые и сопряжённые с ними месторождения редко ассоциируют с более древними объектами в СВК фундамента, что обусловлено автономным развитием структурно-формационных зон с собственной металлогенией. Такие РФТ, как Cu-Zn-колчеданный или хромитовый, предшествующие Cu-порфировому, иногда проявлены в перивулканических зонах ВПП, например в Ирэндикском (Вознесенская РМС) на южном Урале, что, однако, является следствием интенсивной надвиговой тектоники.

В обстановках с присутствием фемических блоков в субстрате окраинно-континентальных андезитовидных ВПП принадлежащие им КМП РМС по набору сопряжённых РФТ и содержаниям Au в рудах «сближаются» с золото-медно-порфировыми системами базальтоидных ВПП. Примеры – Екдэкгычская (Баимская), Алмалыкская в Узбекистане, Пеббл в США. Так, повышенные содержания и Au, и Mo в рудах и, соответственно, колоссальные запасы этих металлов Au-Mo-Cu-порфирового месторождения Пеббл Прибрежного пояса на Аляске обусловлены, по-видимому, положением названного ВПП между Цен-

тральной и Внутренней тыловой зонами мезозойско-кайнозойского подвижного пояса Кордильер. Первая, по данным Г. Плафкера и Х. Берга [30], в целом развивалась на континентальном основании, вторая – на океаническом с мафическими и ультрамафическими комплексами мантийного происхождения.

Наоборот, металлогения КМП РМС некоторых рифтогенных базальтоидных поясов с «переходным» сиало-фемическим фундаментом близка к наблюдаемой в системах аккреционных андезитовидных. Примером являются комплексные системы ВПП Урала, довольно подробно описанные в работах И. Ф. Мигачёва с соавторами [5, 13 и др.].

В КМП РМС переходных аккреционно-коллизийных обстановках образования третичных ВПП также отмечаются сочетания сопряжённых РФТ и высокие содержания Au (при низких Mo) в рудах, близкие к наблюдаемым в системах базальтоидных поясов. В РМС Новогвинейского провинции – Грасберг-Эрцберг (Индонезия), Ок Теди, Фрида Ривер – Нена, Уафи-Голпу (Папуа Новая Гвинея) гигантские Au-(Mo)-Cu-порфировые месторождения ассоциируют с Au-Cu-скарновыми (при отсутствии полиметаллических!), а также эпитепральными Au-Cu- и Au-Ag-ными (HS и IS типов). Содержания золота в их рудах достигает первых г/т. Спецификой этих объектов является развитие рудоносных плутогенных комплексов двух серий – известково-щелочной на раннем этапе развития островной дуги на окраине австралийского кратона и шошонитовой на поздне-коллизийной стадии [3].

По мнению Д. Муллера, Д. Гровса, Дж. Хронски, Р. Лоукса, Г. Бегга, С. Г. Соловьева и других исследователей, повышенная золотоносность руд порфировых месторождений поздне- и постколлизийных обстановок обусловлена процессами базификации переходного слоя между литосферой и мантией при прорыве астеносферных диапиров через разрывы сплошности в погружавшихся плитах. Такие «окна» возникали в результате постколлизийного растяжения, коллапса горных сооружений и эпиорогенного рифтогенеза. Основным источником рудоносных флюидов, Cu и Au были базитовые расплавы, производными которых явились монцонитоидные интрузивные формации повышенной калиевой щёлочности (шошонитовой серии). Механизм их возникновения описан выше. Этим и объясняется близкий вещественный состав руд новогвинейских

Au-(Mo)-Cu-порфировых месторождений с порфировыми объектами базальтоидных поясов островных дуг Филиппин, Санда, Новобританской, Соломоновой, Алеутской, Центрально-Американской, Антильской и др., а также сходство металлогении вмещающих их КМП РМС в части сопряжённой благороднометалльной и скарновой минерализации.

Выводы.

1. Многие медно-порфировые месторождения, особенно крупные и гигантские, локализованы во внутренних частях крупномасштабных РМС с комплексной металлогенией, которым эквивалентны рудные районы и узлы. В таких системах кроме медно-порфировых присутствуют месторождения цветных и благородных металлов других (сопряжённых) РФТ, но все они генетически связаны с едиными рудоносными магматическими очагами. Во фланговых частях КМП РМС встречаются *мезотермальные*: Au-Cu-, Cu- и Au-Pb-Zn скарновые, жильные, жильно-прожилковые и метасоматические (Au)-Ag-полисульфидные, Au-сульфидно-кварцевые, иногда Au-порфировые, в *верхних периферийных* – эпитеpmальные жильные, жильно-прожилковые и стратитидные Cu-Au- и Au-Ag «высокой (HS), средней (IS) и низкой (LS) сульфидизации», а также самородной серы.

2. Различия в геотектонических обстановках формирования ВПП отражаются не только в петрологии рудоносных плутогенных формаций, рудно-метасоматической зональности, содержаниях и запасах месторождений медно-порфирового семейства, но и в сочетаниях и масштабах развития сопряжённых с ними в объёме единых КМП РМС месторождений цветных и благородных металлов других РФТ. В комплексных системах базальтоидных поясов, в экзоконтактах рудоносных порфировых интрузивов – во вмещающих карбонатных и глинисто-карбонатных отложениях, нередко присутствуют скарновые магнетитовые залежи с Au и Cu, но Au-Pb-Zn-вые скарновые, метасоматические (Au)-Ag-полиметаллические руды, характерные для дистальных фланговых зон РМС андезитидных ВПП, отсутствуют. Жильная и жильно-прожилковая Au- и Au-Ag-полисульфидная минерализация также менее распространена, в то время как практически на всех МПМ андезитидных ВПП она присутствует во фланговых зонах рудных штокверков и пропиловых ореолах в виде жил.

3. По петрологии продуктивных формаций и составу руд месторождений медно-порфирового семейства возможным сочетаниям сопряжённых с ними объектов других РФТ комплексные РМС могут быть разделены на несколько групп: «диоритовые» с Au-Cu- и Cu-порфировыми месторождениями островодужных и рифтовых базальтоидных поясов; «гранодиорит-монцонитовые» с Cu-Mo- и Au-Mo-Cu-порфировыми окраинно-континентальных (аккреционных) андезитидных ВПП; «монцодиорит-монцонит-монцогранитные» с Mo-Cu- и Cu-Mo-порфировыми рифтогенных (поздне- и постколлизийных) поясов; «диоритовые» и «диорит-монцонитовые» с Au-(Mo)-Cu-порфировыми «переходных» аккреционных – коллизийных (рифтогенных) ВПП.

4. Андезитидные окраинно- и внутриконтинентальные ВПП отличаются от базальтоидных островодужных более сложным строением и разнообразной металлогенией, что обусловлено их гетерогенным субстратом (фундаментом) и наличием магматических очагов – источников флюидов и рудного вещества не только на границе ЗК с астеносферой, но и в её верхнем гранитном слое («промежуточных»). В поздне- и постколлизийных обстановках такими источниками, вероятно, могли служить также мантийные диапиры.

Среди КМП РМС андезитидных поясов нередки полихронные и полиформационные системы. В их объёме кроме объектов *сопряжённых* РФТ встречаются месторождения и проявления *совмещённого* типа: сформировавшиеся на более поздних этапах развития поясов (редкометалльные (W-Mo), (Au)-Ag, Au-As, Sb-Hg и др.), а также древних СВК фундамента ВПП (Pb-Zn стратиформные в карбонатных толщах, реже железорудные магматические и скарновые, Au-Cu-Fe-оксидные, Cu-Zn-колчеданные). В базальтоидных поясах таких систем практически нет, за исключением единичных случаев в ВПП рифтовых структур, когда подобное совмещение разновозрастных РФТ обусловлено надвиговой тектоникой (Вознесенская РМС Ирендыкского ВПП на Урале).

Возникновение магматических очагов в сиалическом слое и «промежуточных» в его верхней части отражается в более «богатом» наборе «сопряжённых» (с медно-порфировым) типов оруденения, а также «появлении» объектов совмещённых типов, поскольку с магматическими формациями каждого из СФЭ андезитидных ВПП генетически связаны месторождения определённых РФТ.

Кроме того, в объёме некоторых комплексных систем присутствуют более древние месторождения субстрата поясов, претерпевшие регенерацию в тепловом поле интрузивов продуктивных формаций с частичным переотложением рудного вещества в виде поздних полисульфидных минеральных ассоциаций МПМ. В обстановках с присутствием фемических блоков в фундаменте андезитовидных ВПП и, наоборот, сиалических – в основании базальтоидных, то есть при ЗК переходного типа, выделенные в их пределах КМП РМС по набору сопряжённых РФТ и содержаниям Au в рудах «сближаются».

5. КМП РМС, эквивалентные по масштабам рудным районам и узлам с комплексной металлогенией, могут рассматриваться как закономерные совокупности магматических и рудных формаций, которые возникают в ходе эволюции очагов на границе астеносферы и литосферы океанического, континентального и переходного типов, а также в верхнем слое ЗК, где на относительно

небольших глубинах (до 15 км) появляются очаги, непосредственно продуцирующие медно-порфировые и сопряжённые с ними месторождения. Эти формации образуют вертикально-латеральные ряды, изучение строения которых может быть использовано при прогнозе как медно-порфировых, так и ассоциирующих с ними месторождений иных РФТ, что и было сделано [14–17] при прогнозно-металлогеническом районировании территорий Дальневосточного, Уральского и Приволжского ФО и России в целом. В перспективных металлогенических зонах Амурско-Сихотэ-Алинской, Охотско-Чукотской, Корякско-Камчатской, Уральской и других минерагенических провинций выделены и окартированы потенциальные рудные районы и узлы с ранжированием по перспективности и рекомендуемой очередности постановки ГРР различного масштаба.

Автор признателен Татьяне Александровне Чуриловой за техническую помощь в подготовке статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамович И. И.* Геодинамика и мантийные корни рудных формаций. – М.: МПР, 1998. – 140 с.
2. *Воларович М. П., Баюк Е. И., Ефимова Г. А.* Упругие свойства минералов при высоких давлениях. – М.: Наука, 1975. – 131 с.
3. *Звездов В. С.* Обстановки формирования и комплексная металлогения медно-порфировых рудно-магматических систем // Смирновский сборник – 2024: Материалы XXXV Смирновских научных чтений, посвященных 270-летию юбилею Московского университета.
4. *Звездов В. С.* Структурно-петрофизические обстановки формирования медно-порфировых штоков // Отечественная геология. – 2021. – № 6. – С. 3–44.
5. *Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Комплексные медно-порфировые рудно-магматические системы андезитовидных и базальтоидных вулканоплутонических поясов // Отечественная геология. – 2023. – № 5. – С. 35–71.
6. *Зоненшайн М. Н., Кузьмин М. И., Морален В. М.* Глобальная тектоника, магматизм и металлогения. – М.: Недра, 1976. – 327 с.
7. *Ковалев А. А.* Новая парадигма металлогении. – М.: МГУ, 2010. – 248 с.
8. *Короновский Н. В., Демина Л. И.* Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. – М.: КДУ, 2011. – 234 с.
9. *Кривцов А. И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М.: Недра, 1983. – 255 с.
10. *Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В.* Медно-порфировые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
11. *Кривцов А. И., Мигачев И. Ф.* Металлогения андезитовидных вулканоплутонических поясов. Ч. 1. – М.: ЦНИГРИ, 1997. – 326 с.
12. *Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Конкин В. Д.* Палеотектоническая позиция базальтоидных вулканоплутонических поясов с медно-порфировыми месторождениями // Руды и металлы. – 2024. – № 3. – С. 28–46.
13. *Мигачев И. Ф., Звездов В. С., Минина О. В.* Формационные типы медно-порфировых месторождений и их рудно-магматические системы // Отечественная геология. – 2022. – № 1. – С. 26–48.
14. *Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С.* Корякско-Камчатский регион – потенциальная медно-порфировая провинция // Отечественная геология. – 2020. – № 4–5. – С. 3–23.
15. *Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С.* Мезокайнозойские вулканоплутонические пояса –

- новая перспективная провинция Юго-Западной Чукотки // Отечественная геология. – 2014. – № 6. – С. 12–23.
16. Мигачев И. Ф., Минина О. В., Звездов В. С. Перспективы территории Российской Федерации на медно-порфировые руды // Руды и металлы. – 2015. – № 1. – С. 74–92.
 17. Минина О. В., Мигачев И. Ф., Звездов В. С. Прогнозно-металлогеническое районирование южной части Дальневосточного региона на медно-порфировое оруденение // Отечественная геология. – 2019. – № 1. – С. 35–49.
 18. Соловьев С. Г. Металлогения шощонитового магматизма. – М. : Научный мир, 2014. – 528 с.
 19. Хаин В. Е., Ломизе М. Г. Геотектоника с основами геодинамики. – М. : КДУ, 2010. – 560 с.
 20. Хаин В. Е., Тычков С. А., Владимиров А. Г. Коллизионный орогенез: модель отрыва субдуцированной пластины океанической литосферы при континентальной коллизии // Геология и геофизика. – 1996. – № 1. – С. 5–16.
 21. Gow P. A., Walshe J. L. The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu ± Au deposits: examples from New Guinea and Chile // Economic Geology. – 2005. – V. 100. – P. 819–833.
 22. Hollister V. F. Geology of the porphyry copper deposits in the Western hemisphere. – New York: Society of Mining Engineers, 1978. – 219 p.
 23. Hollister V. F., Anzalone S. A., Richter D. H. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory // Can. Min. and Met. Bull. – 1975. – V. 68, № 756. – P. 104–112.
 24. Hou Z., Cook N. J. Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue // Ore Geology Reviews. – 2009. – № 36 (1). – P. 2–24.
 25. Hronsky J. A. M., Groves D. A., Loucks R. R., Begg G. C. A unified model for gold mineralisation in accretionary orogens and implications for regional-scale exploration targeting methods // Miner. Deposita. – 2012. – V. 47. – P. 339–358.
 26. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits // Economic Geology. – 1970. – V. 65. – P. 373–409.
 27. Ludington S., Hammarstrom J. M., Robinson G. R. [et al.] Porphyry copper assessment of the Tibetan Plateau, China // USGS Scientific Investigations Report 2010–5090-F. – 2012. – 63 p.
 28. Migachev I. Complex ore nodes of marginal volcanoplutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. – 1993. – № 15. – P. 199–209.
 29. Muller D., Groves D. I. Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization. – Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1997. – 238 p.
 30. Plafker G., Berg H. C. Overview of the geology and tectonic history of Alaska // The geology of Alaska, geology of North America/Eds. G. Plafker, H. C. Berg/Geol. Soc. America. – 1994. – V. G-1. – P. 989–1021.
 31. Richards J. P. Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits – products of remelting subduction-modified lithosphere // Geology. – 2009. – V. 37, № 3. – P. 247–250.
 32. Richards J. P. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu- (Mo-Au) deposit formation // Economic Geology. – 2003. – V. 98. – P. 1515–1533.
 33. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems // Economic Geology. – 2010. – V. 105. – P. 3–41.
 34. Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C. Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models // U. S. Geological Survey Open-File Report 2008–1155. Online version. – 2008.
 35. Soloviev S. G., Kryazhev S. G., Dvurechenskaya S. S. [et al.] The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 13. – P. 1–27.
 36. Wallace S. R. The Clymax-type molybdenite deposits: what they are, where they are, and why they are // Economic Geology. – 1995. – V. 90. – P. 1359–1380.

REFERENCES

1. Abramovich I. I. Geodinamika i mantiynyye korni rudnykh formatsiy [Geodynamics and mantle roots of ore formations], Moscow, MPR publ., 1998, 140 p. (In Russ.)
2. Volarovich M. P., Bayuk E. I., Efimova G. A. Uprugiyе svoystva mineralov pri vysokikh davleniyakh [Elastic properties of minerals at high pressures], Moscow, Nauka publ., 1975, 131 p. (In Russ.)
3. Zvezdov V. S. Obstanovki formirovaniya i kompleksnaya metallogeniya medno-porfirovnykh rudno-magmaticheskikh sistem [Formation environments

- and complex metallogeny of copper-porphyry ore-magmatic systems], Smirnovskiy sbornik – 2024, Materialy XXXV Smirnovskikh nauchnykh chteniy, posvyashchennykh 270-letnemu yubileyu Moskovskogo universiteta [Smirnov collection – 2024: Proceedings of the XXXV Smirnov scientific readings dedicated to the 270th anniversary of Moscow University]. (In Russ.)
4. Zvezdov V.S. Strukturno-petrofizicheskiye obstanovki formirovaniya medno-porfirovykh shtokverkov [Structural and petrophysical settings for the formation of copper-porphyry stockworks], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2021, No. 6, pp. 3–44. (In Russ.)
 5. Zvezdov V.S., Migachev I.F., Minina O.V. Kompleksnyye medno-porfirovyye rudno-magmaticheskiye sistemy andezitoidnykh i bazal'toidnykh vulkanoplutonicheskikh poyasov [Complex copper-porphyry ore-magmatic systems of andesitic and basaltoid volcanoplutonic belts], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2023, No. 5, pp. 35–71. (In Russ.)
 6. Zonenshayn M.N., Kuz'min M.I., Moralen V.M. Global'naya tektonika, magmatizm i metallogeniya [Global tectonics, magmatism and metallogeny], Moscow, Nedra publ., 1976, 327 p. (In Russ.)
 7. Kovalev A.A. Novaya paradigma metallogenii [New paradigm of metallogeny], Moscow, MGU publ., 2010, 248 p. (In Russ.)
 8. Koronovskiy N.V., Demina L.I. Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok [Magmatism as an indicator of geodynamic conditions], Moscow, KDU publ., 2011, 234 p. (In Russ.)
 9. Krivtsov A.I. Geologicheskiye osnovy prognozirovaniya i poiskov medno-porfirovykh mestorozhdeniy [Geological foundations of forecasting and prospecting for copper-porphyry deposits], Moscow, Nedra publ., 1983, 255 p. (In Russ.)
 10. Krivtsov A.I., Zvezdov V.S., Migachev I.F., Minina O.V. Medno-porfirovyye mestorozhdeniya. Ser. Modeli mestorozhdeniy tsvetnykh i blagorodnykh metallov [Copper-porphyry deposits. Series: Models of deposits of non-ferrous and noble metals], Moscow, TSNIGRI publ., 2001, 232 p. (In Russ.)
 11. Krivtsov A.I., Migachev I.F. Metallogeniya andezitoidnykh vulkano-plutonicheskikh poyasov. Ch. 1 [Metallogeny of andesitic volcano-plutonic belts. Part 1], Moscow, TSNIGRI publ., 1997, 326 p. (In Russ.)
 12. Migachev I.F., Zvezdov V.S., Konkin V.D. Paleotektonicheskaya pozitsiya bazal'toidnykh vulkano-plutonicheskikh poyasov s medno-porfirovymi mestorozhdeniyami [Paleotectonic position of basaltoid volcano-plutonic belts with copper-porphyry deposits], Rudy i metally [Ores and Metals], 2024, No. 3, pp. 28–46. (In Russ.)
 13. Migachev I.F., Zvezdov V.S., Minina O.V. Formatsionnyye tipy medno-porfirovykh mestorozhdeniy i ikh rudno-magmaticheskiye sistemy [Formation types of copper-porphyry deposits and their ore-magmatic systems], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2022, No. 1, pp. 26–48. (In Russ.)
 14. Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S. Koryaksko-Kamchatskiy region – potentsial'naya medno-porfirovaya provintsiya [Koryak-Kamchatka region – a potential copper-porphyry province], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2020, No. 4–5, pp. 3–23. (In Russ.)
 15. Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S. Mezokaynozoyakiye vulkano-plutonicheskiye poyasa – novaya perspektivnaya provintsiya Yugo-Zapadnoy Chukotki [Mesozoic-Cenozoic volcano-plutonic belts – a new promising province of Southwestern Chukotka], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2014, No. 6, pp. 12–23. (In Russ.)
 16. Migachev I.F., Minina O.V., Zvezdov V.S. Perspektivy territorii Rossiyskoy Federatsii na medno-porfirovyye rudy [Prospects of the territory of the Russian Federation for copper-porphyry ores], Rudy i metally [Ores and Metals], 2015, No. 1, pp. 74–92. (In Russ.)
 17. Minina O.V., Migachev I.F., Zvezdov V.S. Prognoznometallogenicheskoye rayonirovaniye yuzhnoy chasti Dal'nevostochnogo regiona na medno-porfirovoye orudneniye [Forecast and metallogenic zoning of the southern part of the Far Eastern region for copper-porphyry mineralization], Otechestvennaya geologiya [Domestic Geology], 2019, No. 1, pp. 35–49. (In Russ.)
 18. Soloviev S.G. Metallogeniya shoshonitovogo magmatizma [Metallogeny of shoshonite magmatism], Moscow, Nauchnyy mir publ., 2014, 528 p. (In Russ.)
 19. Khain V. Ye., Lomize M.G. Geotektonika s osnovami geodinamiki [Geotectonics with the basics of geodynamics], Moscow, KDU publ., 2010, 560 p. (In Russ.)
 20. Khain V. Ye., Tychkov S.A., Vladimirov A.G. Kollizionnyy orogenez: model' otryva subdutsirovannoy plastiny okeanicheskoy litosfery pri kontinental'noy kollizii [Collision orogenesis: a model of detachment of a subducted plate of oceanic lithosphere during continental collision], Geologiya i geofizika [Geology and Geophysics], 1996, No. 1, pp. 5–16. (In Russ.)
 21. Gow P.A., Walshe J.L. The role of preexisting geologic architecture in the formation of giant porphyry-related Cu ± Au deposits: examples from New Guinea and Chile, Economic Geology, 2005, V. 100, pp. 819–833.
 22. Hollister V.F. Geology of the porphyry copper deposits in the Western hemisphere, New York, Society of Mining Engineers, 1978, 219 p.
 23. Hollister V.F., Anzalone S.A., Richter D.H. Porphyry copper deposits of southern Alaska and contiguous Yukon Territory, Can. Min. and Met. Bull., 1975, V. 68, No. 756, pp. 104–112.

24. *Hou Z., Cook N.J.* Metallogenesis of the Tibetan collisional orogen: A review and introduction to the special issue, *Ore Geology Reviews*, 2009, No. 36 (1), pp. 2–24.
25. *Hronsky J.A.M., Groves D.A., Loucks R.R., Begg G.C.* A unified model for gold mineralisation in accretionary orogens and implications for regional-scale exploration targeting methods, *Miner. Deposita*, 2012, V. 47, pp. 339–358.
26. *Lowell J.D., Guilbert J.M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits, *Economic Geology*, 1970, V. 65, pp. 373–409.
27. *Ludington S., Hammarstrom J.M., Robinson G.R.* [et al.] Porphyry copper assessment of the Tibetan Plateau, China, USGS Scientific Investigations Report 2010–5090-F, 2012, 63 p.
28. *Migachev I.* Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting, *Resource Geology Special Issue*, 1993, No. 15, pp. 199–209.
29. *Muller D., Groves D.I.* Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1997, 238 p.
30. *Plafker G., Berg H.C.* Overview of the geology and tectonic history of Alaska, *The geology of Alaska, geology of North America*, Eds. G. Plafker, H. C. Berg, Geol. Soc. America, 1994, V. G-1, pp. 989–1021.
31. *Richards J.P.* Postsubduction porphyry Cu-Au and epithermal Au deposits – products of remelting subduction-modified lithosphere, *Geology*, 2009, V. 37, No. 3, pp. 247–250.
32. *Richards J.P.* Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu- (Mo-Au) deposit formation, *Economic Geology*, 2003, V. 98, pp. 1515–1533.
33. *Sillitoe R.H.* Porphyry Copper Systems, *Economic Geology*, 2010, V. 105, pp. 3–41.
34. *Singer D.A., Berger V.I., Moring B.C.* Porphyry copper deposits of the world: database and tonnage models, U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1155. Online version, 2008.
35. *Soloviev S.G., Kryazhev S.G., Dvurechenskaya S.S.* [et al.] The superlarge Malmyzh porphyry Cu-Au deposit, Sikhote-Alin, eastern Russia: Igneous geochemistry, hydrothermal alteration, mineralization, and fluid inclusion characteristics, *Ore Geology Reviews*, 2019, V. 13, pp. 1–27.
36. *Wallace S.R.* The Clymax-type molybdenite deposits: what they are, where they are, and why they are, *Economic Geology*, 1995, V. 90, pp. 1359–1380.

Статья поступила в редакцию 08.11.24; одобрена после рецензирования 20.11.24; принята к публикации 20.11.24.
The article was submitted 08.11.24; approved after reviewing 20.11.24; accepted for publication 20.11.24.

По всем вопросам, связанными со статьями, следует обращаться в редакцию
по тел. +7 (495)315-43-65 доб. 227
E-mail: ogeo@tsnigri.ru

Адрес редакции: 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, корп. 1