УДК 553.43’536
© И.Ф.Мигачёв, 2017

Основные геолого-структурные обстановки проявления медно-порфировых месторождений в рудных районах

И.Ф.МИГАЧЁВ (Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ФГУП ЦНИГРИ); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 129, к. 1)

Приводится характеристика рудных районов с медно-порфировым оруденением и принципы их выделения в геологическом пространстве. Выделяются две основные геолого-структурные позиции медно-порфировых месторождений в рудных районах: в пределах крупных батолитообразных плутонов и в связи со сравнительно небольшими интрузивами рудоносной формации. Это положение иллюстрируется примерами конкретных рудных районов. В зависимости от наличия в рудных районах других продуктов рудогенеза устанавливаются районы с «чистой», «совмещенной» и «унаследованной» металлогенией. Формирование рудных районов связывается с существованием и развитием вертикальных рудно-магматических колонн.
Ключевые слова: медно-порфировые рудные районы, месторождения, плутониты рудоносных формаций, плутоногенные поднятия, рудно-магматические колонны.

Мигачёв Игорь Федорович soteo@yandex.ru

Main geological and structural environments of porphyry copper deposits occurrence in ore districts

I.F.MIGACHEV (Federal State Unitary Enterprise Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, FSUE TsNIGRI)

Ore districts with porphyry copper mineralization and principles to distinguish them in geological environment are characterized. Two main geological and structural positions of porphyry copper deposits in ore districts are distinguished: within major batholitic plutons or associated with comparatively minor intrusives of the ore-bearing formation. This position is illustrated by examples of specific ore districts. Depending on the presence of other ore genesis products in ore districts, regions with «pure», «combined» and «inherited» metallogeny are defined. Ore district formation is associated with existence and development of vertical ore-magmatic columns.
Key words: porphyry copper ore districts, deposits, plutonites of ore-bearing formations, plutonogene rises, ore-magmatic columns.

Медно-порфировые рудные районы устанавливаются в пределах металлогенических зон, которые эквивалентны площадям развития продуктивных на медно-порфировое оруденение вулкано-плутонических ассоциаций. Последние составляют часть комплексов, слагающих андезитоидные вулкано-плутонические пояса (медно-порфировые провинции), и, как правило, возникают в начальные этапы их развития [2, 5, 7].

При металлогеническом районировании медно-порфировые рудные районы отвечают ареалам распространения рудоносных магматических формаций. Плутониты таких формаций входят в состав достаточно крупных плутонов или образуют поля сравнительно небольших по размеру интрузивов, содержащих порфировые тела. Нередко плутоногенные породы слагают до 50–60% площадей рудных районов при широком развитии здесь пород субстрата вулкано-плутонических поясов. В качестве обязательных элементов рудных районов выступают проявления и геохимические аномалии молибденовой, молибденово-медной, медно-мышьяковой, свинцово-цинковой, медно-скарновой, медно-турмалиновой и свинцово-цинковой золотосеребряной минерализаций, обнаруживающие пространственно-временные связи с продуктивными магматитами.

В структуре вулкано-плутонических поясов (ВПП) рудные районы представляют собой плутоногенные поднятия, характеризующиеся длительным развитием в режиме сводового поднятия в период формирования вулкано-плутонических поясов и в предшествующие тектономагматические циклы. В строении поясов они занимают краевое положение, как правило, располагаются в участках нарушения линейной конфигурации –

ветвления, коленообразных перегибов и крутых разворотов. Поднятия закономерно чередуются с вулканогенными прогибами, отделяясь от них поперечными и диагональными разломами. Для поднятий характерно увеличение мощности базальтового и сокращение гранитного слоя [3] при валообразной конфигурации поднятий поверхности Мохо, а также повышенные значения гравитационного поля [4].

Анализ позиции почти трехсот медно-порфировых месторождений в пределах рудных районов позволил выделить две принципиально отличающиеся обстановки их проявления и формирования.

Больше половины из учтенных месторождений расположены в пределах крупных (более 100–150 км^2) батолитовых плутонов, которые могут быть сложены или только породами ранних, основных и порфировых фаз рудоносных формаций (полифазные плутоны), или кроме них включать более ранние интрузивы, преимущественно относящиеся к структурам основания ВПП (полихронные плутоны). Так, к полифазным батолитам рудоносных формаций приурочены рудные узлы и районы Куахоне (Перу), Петакилья-Ботиха (Панама), Хайленд-Вэлли (Канада), Гранит-Маунтин (США), Накозари (Мексика), Эрдэнтуинский (Монголия), Шаганско-Коксайский (Казахстан) и Аксугский (Россия), а к полихронным – районы Пампа-Норте-Чукикомата (Чили), Цагансубургинский (Монголия), Актогайский (Казахстан), Алмалыкский (Узбекистан). Батолиты расположены преимущественно в основании ВПП, хотя нередко их кровля представлена комагматичными вулканитами. По геофизическим данным они имеют лакколито- или воронкообразную форму (Актогайский массив, батолит Гичон-Крик района Хайленд-Вэлли), а их корневые трубообразные части диаметром 4–10 км прослеживаются до глубин 5–10 км и более. Медно-порфировые месторождения, ассоциируя с порфировыми интрузивами поздних фаз, чаще расположены в периферических, реже центральных зонах батолитов. Месторождения также локализуются в зоне ближнего экзоконтакта плутонов, в компенсационных грабенах, выполненных комагматичными вулканитами. В такой позиции находятся месторождения Кызата, Сары-Чеку (Узбекистан), Коксай (Казахстан), Лазурное, Находка (Россия).

Так, рудный район Хайленд-Вэлли (Канада) [8], расположенный в южной части Межгорного пояса, приурочен к многофазному концентрически зональному массиву Гичон-Крик площадью около 1000 км^2 (рис. 1). В Центральной части района находятся медно-порфировые месторождения Джерси, Ист-Джерси, Хуэстис, Иона (входящие в группу Бетлехем), Лорнекс, Вэлли-Коппер, Хаймонт, Джей-Эй (J.A.), Крэйн, Саут-Сис, Энн № 1, Майнекс и жильные меднорудные О.К. (Элвин), Сноусторм, Абердин.

Наиболее древние образования района принадлежат к пермо-карбоновой группе Кэйч-Крик, объединяющей осадочные и вулканогенные отложения.

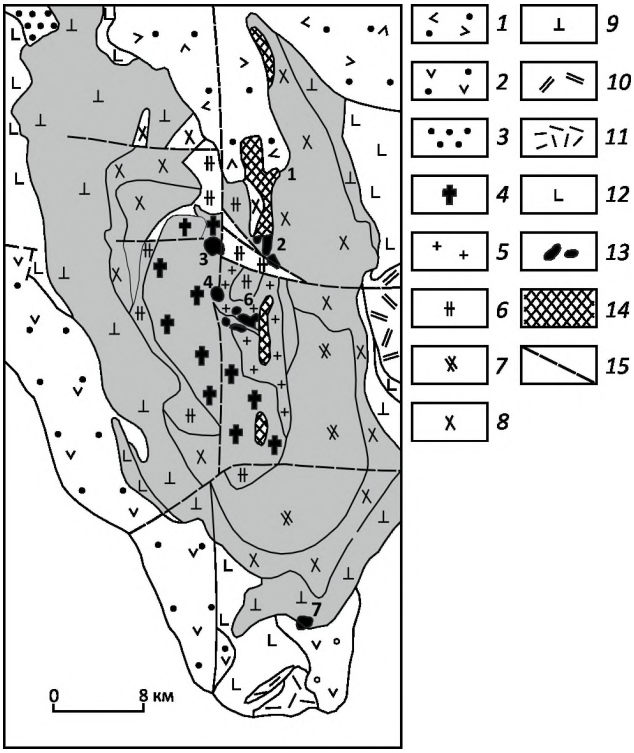

Рис. 1. Геологическое строение рудного района Хайленд-Вэлли [8]:

1 – третичные и *2* – меловые вулканогенно-осадочные породы; *3* – юрские осадочные породы; *4* – гранодиорит-кварцевые монцониты Бетсайда; *5* – гранодиориты Скина; *6* – гранодиориты Бетлехем; *7* – гранодиориты Чатауэй; *8* – кварцевые диориты–гранодиориты Гигон; *9* – диориты и кварцевые диориты гибридной фазы; *10* – магматиты фазы Гэмп-Лейк; *11* – магматиты фазы Койл; *12* – верхнетриасовые вулканогенно-осадочные породы; *13* – медно-порфировые месторождения и проявления: 1 – Саут-Сис, 2 – Бетлехем, 3 – Вэлли-Коппер, 4 – Лорнекс, 5 – Джей-Эй, 6 – Хай, 7 – Крэйгмонт; *14* – районы развития порфировых даек; *15* – разломы

На этом основании залегают позднетриасовые лавы базальтового и андезитового состава группы Никола.

Породы массива Гичон-Крик, прорывающего и метаморфизующего отложения группы Никола, рассматриваются как комагматы ее вулканитов. Возраст всех фаз массива определен в 198±8 млн. лет, хотя по геологическим данным устанавливается омоложение фаз от внешних частей массива к внутренним. По размещению, составу и времени формирования выделяются четыре фазы. Гибридная краевая фаза образована диоритами и кварцевыми диоритами. Фаза Хайленд, объединяющая разности Гичон (от кварцевых диоритов до гранодиоритов) и Чатауэй (гранодиориты), связанные между собой постепенными переходами. К фазе Бетлехем отнесены роговообманковые гранодиориты, среди

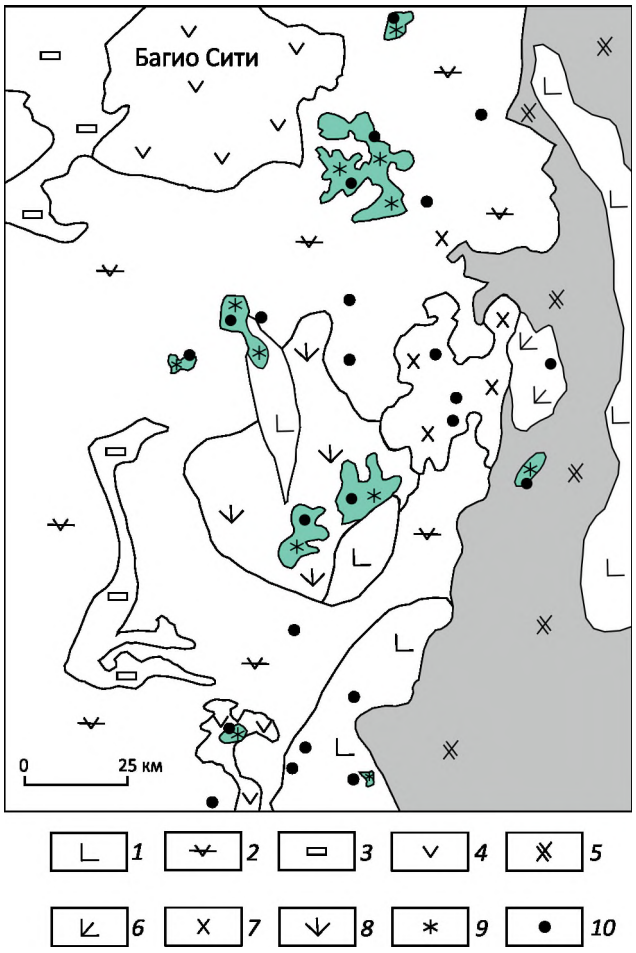

Рис. 2. Схема геологического строения рудного района Багио (о. Лусон, Филиппины). *По D.Cook, с упрощениями*:

1 – существенно вулканогенные образования (эоцен–олигоцен); *2* – вулканогенно-терригенные отложения (олигоцен–миоцен); *3* – известняки (миоцен–плиоцен); *4* – андезитовые порфириты (плиоцен–плейстоцен); интрузивные породы: *5* – Центрально-Кордильерский диоритовый комплекс (миоцен); *6* – габбро (миоцен); *7* – гранодиориты (миоцен); *8* – область распространения мафических даек и силлов (плиоцен); *9* – диоритовые порфиры (плиоцен–плейстоцен); *10* – золото-медно-порфировые и золоторудные с медью месторождения и перспективные проявления

которых выделяется более крупнозернистая разность – гранодиориты Скина. Породы фазы Бетсайда слагают центральную часть массива и варьируют по составу от кварцевых монцонитов до гранодиоритов. Медная и молибденово-медная минерализация проявлена в породах всех фаз, однако значительные скопления руд приурочены или к свите даек, сформированных после фазы Бетлехем, или к породам фазы Бетсайда (краевые и внутренние части) и ассоциирующим с ней дайкам.

Массив Гичон-Крик при протяженности в субмеридиональном направлении 65 км и ширине около 20 км по геолого-геофизическим данным имеет форму уплощенной воронки, субвертикальная трубообразная часть которой диаметром 6–10 км начинается на глубине около 8 км. Породы каждой последующей фазы слагают вложенные друг в друга тела при наличии единого выводного канала и подобии внешним ограничениям массива.

Продольными разломами – сдвигами Лорнекс и Гичон-Крик и серией поперечных сбросов массив разделен на несколько блоков, различающихся по уровню эрозионного среза и рудоносности.

Рудный район Багио (о. Лусон, Филиппины), входящий в состав Восточно-Филиппинского вулкано-плутонического пояса [5], представляет собой сложно построенный полихронный батолитообразный массив (рис. 2). Его основную часть слагают габбро, диориты и гранодиориты Кордильерского комплекса миоцена, прорывающие олигоцен-миоценовые (?) вулканогенные и вулканогенно-осадочные комплексы эоцена-миоцена (?) островодужного этапа [6]. Более поздние интрузивные образования плиоцен-плейстоценового возраста представлены преимущественно небольшими массивами и штоками диорит-порфиров, которые в основном располагаются во вмещающих породах ближней экзоконтактовой зоны батолита, возможно, представляющей «провис кровли» над погружающейся на запад апикальной частью габбро-диорит-гранодиоритового интрузива. Не исключено, что диорит-порфиры образуют единую вулкано-плутоническую ассоциацию с андезит-дацитовыми вулканитами плиоцена–плейстоцена.

В пределах района известно более 10 золотомедно-порфировых и золоторудных с медью месторождений и перспективных проявлений, которые, как правило, пространственно ассоциируют с диорит-порфирами. Кроме того, в районе выявлены золотополиметаллические скарновые месторождения, а также массивные золотосульфидные руды в известняках, постепенно сменяющиеся золотополиметаллическими скарновыми на контактах с телами диорит-порфиров.

Ко второму типу обстановок нахождения месторождений относятся объекты, приуроченные к сравнительно небольшим (менее 60–50 км^2) интрузивам рудоносной формации. Они сложены породами основных и порфировых или очень редко только порфировых фаз. В последнем случае обычно вблизи рудных полей залегают тела гранитоидов основных фаз. Примерами первого варианта формирования месторождений могут служить рудные районы и узлы Токепала (Перу), Эль-Абра и Лос-Пеламбрес (Чили), Серро-Колорадо (Панама), Бингем (США), Сар-Чесме (Иран), Асарел (Болгария), Коунрад (Казахстан), Баимский и Малмыжский (Россия), а второго – Мичикилья, Морокоча (Перу), Эль-Сальвадор и Потрерильос (Чили), Моррисон, Коппер-Маунтин-Инжербелл (Канада), Моренс-Меткалф (США), Саиндак (Пакистан), Речк (Венгрия). Интрузивы залегают как в субстрате поясов,

так и среди комагматичных вулканитов. В последнем случае они и ассоциирующие оруденение нередко локализуются в центральных частях вулканоструктур (Асарел, Коунрад). Немногочисленные геофизические данные позволяют считать, что интрузивы представляют собой выступы и апофизы более крупных плутонов или самостоятельные трубообразные тела с значительной вертикальной протяженностью.

Так, в Баимском рудном районе (Россия, Чукотка), принадлежащем к Курьинскому вулкано-плутоническому поясу, рудоносные плутоногенные образования представлены интрузивами габбро-монцонит-сиенитовой формации (рис. 3). Они, как правило, сложены габбро-диоритами и диоритами первой фазы, монцонитами, сиенит-диоритами, монцодиоритами, кварцевыми диоритами основной фазы. Завершают формирование массивов «порфировые интрузивы» – кварцевые монцонит-порфиры, гранодиорит-порфиры, образующие штокообразные тела в пределах интрузивов основных фаз и редко во вмещающих породах. Положение интрузивных массивов контролируется разломами северо-западного и субмеридионального простирания и участками их сочленения с субширотными разрывами. Вулканогенная формация, входящая в состав продуктивной на медно-порфировое оруденение вулкано-плутонической ассоциации, представлена субщелочными базальтами и андезитами.

Почти все известные в рудном районе медно-порфировые объекты, в том числе и крупное месторождение Песчанка, обнаруживают пространственную связь с «порфировыми» телами.

Биргильдинско-Томинский рудный район расположен на северном фланге позднедевонско-раннекаменноугольного Увельско-Еленовского вулкано-плутонического пояса (Россия, Южный Урал). Рудоносный интрузивный комплекс в пределах района представлен преимущественно штоками порфировых и порфировидных диоритов, к которым и приурочены медно-порфировые месторождения и проявления (рис. 4), а за границами рудного района известны интрузивные массивы, сложенные породами основных фаз этого комплекса – диоритами и кварцевыми диоритами. Продуктивная на медно-порфировое оруденение вулкано-плутоническая ассоциация, кроме интрузивов, включает породы андезитовой формации.

Наиболее значительными медно-порфировыми месторождениями района являются Томинское и Биргильдинское. Кроме того, здесь известны пластообразные золото- и серебросодержащие халькопирит-пирит-сфалеритовые руды в карбонатных породах субстрата пояса, а также золотосеребряное эпитермальное Березняковское месторождение, приуроченное к телам субвулканических диоритовых порфиритов в составе андезитовой формации.

Нередко рудные районы с крупными медно-порфировыми месторождениями отличаются специфической

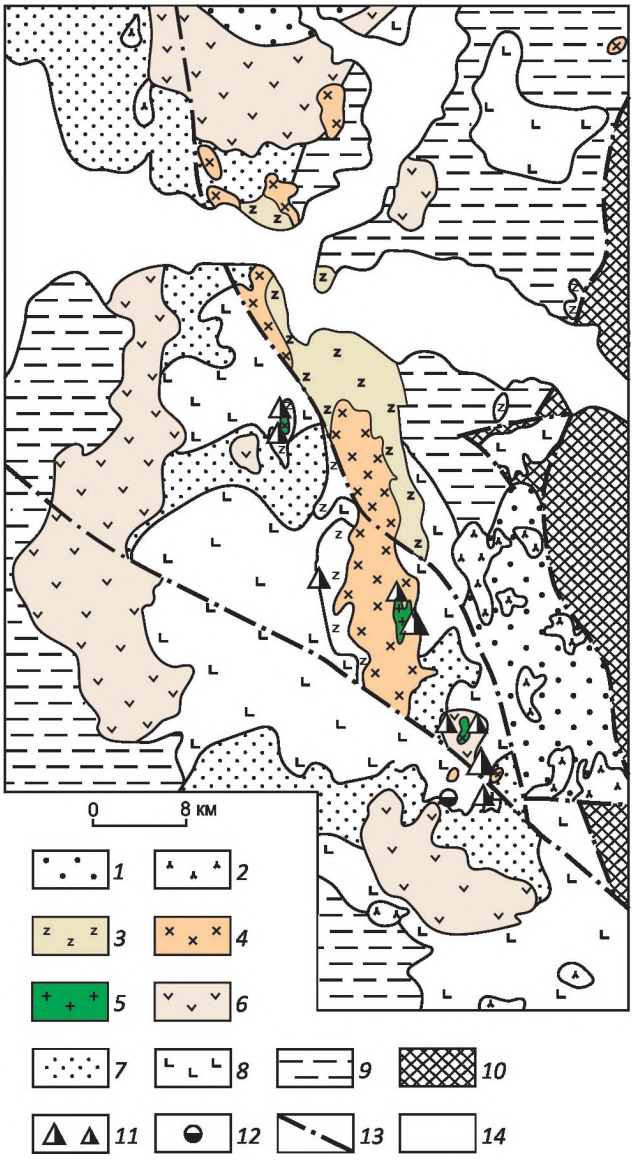

Рис. 3. Упрощенная схема геологического строения Баимского рудного района. *По В.Г.Каминскому с упрощениями и дополнениями*:

1–2 – образования K_1: *1* – терригенные верхнемолассовые, *2* – субвулканические и интрузивные среднего и кислого составов; *3–5* – рудоносная плутоногенная формация, J_3–K_1; *3* – габбро, габбро-диориты, *4* – монцониты и кварцевые монцониты, *5* – монцонит-гранодиорит-порфиры; *6* – субщелочные андезиты, андезито-дациты; *7* – терригенно-вулканогенные образования, J_3; *8–10* – образования субстрата вулкано-плутонического пояса: *8* – существенно вулканогенные, базальт-андезит-дацит-риолитовые, $J_{2–3}$, *9* – существенно терригенные, $J_{2–3}$, *10* – гипербазитовые и кремнисто-базальтовые комплексы, $PZ_{2–3}$; *11–12* – месторождения и проявления: *11* – медно-порфировые, *12* – золотосеребряные; *13* – основные разрывные нарушения; *14* – четвертичные отложения

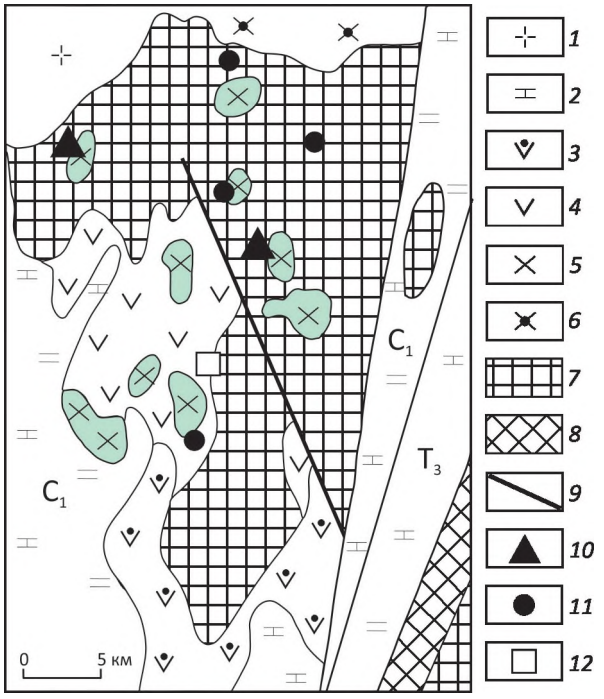

Рис. 4. Схема строения Биргильдинско-Томинского медно-порфирового рудного района (Урал). *По О.В.Мининой*:

1–2 – послерудные образования: *1* – среднекаменноугольные гранитоиды Челябинского массива, *2* – терригенно-карбонатные (C_1) и терригенные угленосные (T_3) отложения; *3–6* – магматические образования позднедевонско-раннекаменноугольного Увельско-Еленовского ВПП: *3* – субщелочная андезитовая формация, C_1t, *4–6* – продуктивная вулкано-плутоническая ассоциация (ВПА), D_3–C_1: *4* – андезитовая формация, *5* – рудоносные интрузивы порфировых и порфировидных диоритов и кварцевых диоритов (биргильдинско-томинский комплекс), *6* – диориты основной фазы продуктивной диорит-плагиогранитовой формации (мариинновский комплекс); фундамент ВПП: *7* – палеозойский (вулканиты риолит-базальтовой формации и гранитоиды ордовика, известняки и кремнисто-глинистые сланцы силура, терригенные породы девона), *8* – докембрийский (гнейсы и кристаллосланцы); *9* – основные разрывные нарушения; месторождения: *10* – медно-порфировые, *11* – золото(сульфидно)-кварцевые жильные и штокверковые, *12* – свинцово-цинковое в карбонатной толще фундамента

геолого-тектонической позицией. В этом случае рудоносные вулкано-плутонические ассоциации развиваются на образованиях островодужных структур предшествующих тектономагматических циклов развития (Коунрадский и Актогайский районы) или же здесь, в фундаменте вулкано-плутонических поясов, располагаются более древние рифтогенные швы с базальтоидным или щелочным базальтоидным магматизмом (Алмалыкский и Баимский рудные районы).

В то же время для магматогенных поднятий, кроме медно-порфирового оруденения, характерно наличие разнотипных и разновременных продуктов рудогенеза, образовавшихся как в более поздние этапы развития ВПП, так и в связи с формированием структур их субстрата [7]. Это позволяет выделить три группы медно-порфировых рудных районов. К первой из них относятся районы, в которых развиты медно-порфировые месторождения, а также минерализация иной рудноформационной принадлежности – полисульфидная, золото-серебро-полисульфидная, входящие в единые крупные рудно-магматические системы с латерально-вертикальным зональным строением и различным уровнем эрозионного среза. Примерами таких районов с «чистой» металлогенией могут служить районы Хайленд-Вэлли (Канада), юга Скалистых гор (США), Эрдэнтуинский (Монголия), Актогайский (Казахстан). Во вторую группу могут быть включены районы с месторождениями различных этапов развития андезитоидных поясов или «совмещенной» металлогенией АВПП. Здесь могут быть пространственно совмещены медно-порфировые, оловорудные, редкометалльные, золотосеребряные и другие объекты. Таким набором рудных формаций обладают Коунрадский, Кендыктасский (Казахстан) районы, область «риолитового максимума» Андийского ВПП. Районы с «унаследованной» металлогенией, образующие третью группу, характеризуются сочетанием рудных объектов субстрата андезитоидных поясов с месторождениями самих поясов. При этом возможно преобразование и перераспределение рудного вещества более древних объектов при воздействии на них плутоногенных и рудогенных процессов ВПП [7]. «Унаследованная» металлогения характерна для Панагюрского (НРБ), Алмалыкского (Узбекистан) районов и для округа Бингем (США). Во всех рудных районах близкое пространственное совмещение проявлений различных рудных формаций приводит к появлению комплексных рудных узлов.

Строение плутоногенных поднятий и интрузивных тел рудоносных формаций с учетом геофизических данных и обстановок концентрации медно-порфировых месторождений позволяют высказать предположение о существовании здесь в период формирования андезитоидных вулкано-плутонических поясов вертикальных рудно-магматических колонн, включающих выступы мантийного материала – первичные глубинные магматические очаги – промежуточные очаги андезитоидных магм – батолитовые интрузии над выступами очагов – ареалы интрузивных тел рудоносной формации. Последние могут представлять собой выступы или апофизы батолитов или непосредственно сообщаться с куполами промежуточных очагов. Возможно, что границы плутоногенных поднятий определяются конфигурацией промежуточных очагов и очерчивают их проекцию на поверхности.

Общая сумма данных по соотношению медно-порфирового оруденения и интрузивных тел рудоносных

формаций допускает возможность рассмотрения медно-порфирового рудообразования как следствия двух взаимосвязанных процессов: насыщенности андезитовых магм рудными компонентами, а также экстракции и мобилизации таких компонентов из блоков корового материала при ассимиляции их в промежуточном очаге; обособлении рудного вещества при дифференциации магм в промежуточных очагах и выведении его в зоны рудоотложения близ-одновременно с внедрением «порфировых» расплавов, происходящими в результате единого «типового» процесса дифференциации вслед за отделением и продвижением в верхней части земной коры более ранних магм основных фаз рудоносных комплексов при общности путей миграции тех и других. Рудный процесс и генерация «порфировых» расплавов связаны общностью происхождения, что подтверждается пространственно-временной близостью тех и других. При этом порфировые интрузивы могут рассматриваться в качестве «проводников» несколько более поздних рудоносных флюидпотоков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Золоторудные* месторождения островных дуг Тихого океана // Ю.М.Щепотьев, С.С.Вартанян, В.Ю.Орешин, Б.Г.Гузман. – М.: ЦНИГРИ, 1989.
2. *Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Попов В.С.* Медно-порфировые месторождения мира. – М.: Недра, 1986.
3. *Павлова И.Г.* Медно-порфировые месторождения. – Л.: Недра, 1978.
4. *Попов В.С.* Геология и генезис медно- и молибден-порфировых месторождений. – М.: Наука, 1977.
5. *Принципы* и методы прогноза скрытых месторождений меди, никеля и кобальта / М.Б.Бородаевская, А.И.Кривцов, А.П.Лихачев и др. – М.: Недра, 1987.
6. *Cooke D.B. et al.* Evidence for magmatic-hydrothermal fluids and ore-forming processes in epithermal and porphyry deposits of the Baguio District, Philippines // Economic Geology. 2011. № 8. Pp. 1399–1424.
7. *Migachev I.* Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. № 15. Pp. 199–209. 1993.
8. *Porphyry* deposits of the Canadian Cordillera // CIM bull. Vol. 15. 1976.