

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ ШТОКВЕРКОВ И ОБСТАНОВКИ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Рассмотрены морфология и обстановки формирования медно-порфировых штокверков. Показано, что формы штокверков и рудных тел зависят от морфологии рудоносных порфировых интрузивов и петрофизических характеристик вмещающих сред. Наличие малопроницаемых толщ в верхах рудно-магматических систем влияет на форму порфировых интрузивов и сопряжённых с ними рудоносных штокверков. Способность рудовмещающих пород к хрупким или пластичным деформациям, наряду с флюидонасыщенностью, исходной металлоносностью и размерами рудоносных магматических тел, определяет масштабы рудогенерирующих гидротермальных систем и в итоге запасы формирующихся медно-порфировых месторождений.

Ключевые слова: медно-порфировые месторождения, морфология, рудные тела, рудно-магматические системы, петрофизические характеристики, порфировые интрузивы, штокверки.

Месторождения медно-порфирового семейства (Au-Cu-, Au-Mo-Cu-, Cu-Mo-порфировые) локализованы во внутренних частях рудно-магматических систем (РМС) «порфирового» типа вулканоплутонических поясов (ВПП). Штокверковые руды этих объектов сосредоточены в эндо-экзоконтактовых зонах гипабиссальных и субвулканических порфировых интрузивов (штоков, даек), которые представляют собой завершающие фазы продуктивных плутоногенных формаций и нередко являются апофизами находящихся на глубине крупных магматических тел. Практика геолого-разведочных работ последних десятилетий в ряде стран Южной Америки (Чили, Перу, Аргентина, Боливия), Европы (Венгрия, Сербия, Болгария), Азии (Турция), Юго-Восточной Азии (Филиппины, Папуа-Новая Гвинея, Индонезия) показала, что такие системы обладают комплексной металлогенией. В их верхних периферийных частях, обычно в комагматичных вулканитах (туфовых и лавовых фациях, субвулканических телах, экструзивных куполах), при малом или умеренном уровнях эрозии нередко отмечаются эпитермальные Au-Cu или Au-Ag месторождения жильного, жильно-прожилкового, иногда стратоидного залежного типов. Во фланговых зонах, в фанеритовых интрузивах основных фаз рудоносных формаций или в более древних вулканогенных, осадочных и иных породах субстрата ВПП присутствуют золото-полисульфидные жильные месторождения, а при наличии карбонатных толщ – проксимальные Au-Cu, реже дистальные Pb-Zn скарновые объекты. Как показано в публикациях А.И.Кривцова, В.А.Коваленкера, Д.Кука, П.Холлинга, Г.Корбе, Т.Лича, Р.Силлитоу и др., основным источником рудного вещества месторождений перечисленных типов служат магматические очаги, продуцирую-



Звездов Вадим Станиславович

кандидат геолого-минералогических наук
заведующий отделом металлогении
metallogeny@yandex.ru

Мигачёв Игорь Фёдорович

доктор геолого-минералогических наук
главный научный сотрудник
mifigor@rambler.ru

Минина Ольга Васильевна

кандидат геолого-минералогических наук
старший научный сотрудник
minina@tsnigri.ru

ФГБУ Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва



щие рудоносные интрузивные и вулканогенные формации, что не исключает возможности его заимствования из вмещающих пород с регенерацией более древних руд.

Медно-порфировые штокверки и рудные тела, выделяемые по промышленным кондициям в их пределах, а также зоны рудовмещающих метасоматитов по форме в большинстве случаев подчинены морфологии рудоносных порфировых интрузивов. Их контуры в первом приближении «повторяют» контакты этих интрузивов – как боковые, так и апикальные. Промышленные руды сосредоточены во внутренних частях РМС – обычно в биотит-калишпатовой (биотитовой) и наложенной на неё филлизитовой метасоматических зонах – между их центральными слабооруденелыми подрудными зонами («кварцевыми ядрами») и пиритовыми ореолами фланговых и надрудных зон (пропилитов и аргиллизитов).

Разнообразие форм рудных тел медно-порфировых месторождений определяется различиями в морфологии порфировых интрузивов и их ориентировке в пространстве. Эти различия отражены в морфологической типизации рудных тел объектов, разработанной А.И.Кривцовым, И.Ф.Мигачёвым и В.Б.Шишаковым [12] по результатам морфоструктурного анализа более 100 детально разведанных и глубоко вскрытых месторождений мира с учётом систематик штокверковых месторождений В.И.Бирюкова, К.Л.Пожарицкого, Е.В.Пучкова, А.А.Фролова, Г.Н.Щербы и других исследователей. В зависимости от конфигурации горизонтальных сечений минерализованных зон и интрузивов, углов падения их ограничивающих поверхностей, вертикального размаха оруденения были выделены три морфологических типа рудных тел медно-порфировых месторождений с разделением первого на четыре подтипа (таблица), проведена их геометризация, построены усреднённые типовые модели, предложены формулы расчёта объёмов. К выделенным морфологическим типам впоследствии [11] добавлен четвёртый, включающий месторождения с уплощённой формой рудных тел, локализованных в лакколитообразных порфировых интрузивах под малопроницаемыми толщами.

Зависимость форм штокверков и рудных тел от морфологии порфировых интрузивов отражает структурно-генетическую связь процессов рудообразования с эволюцией медно-порфировых систем (МПС), для которых эти интрузивы служат

центрами и источниками энергии. Ведущую структурообразующую роль играют «каркасы» мелкой трещиноватости, контролирующие медно-порфировые штокверки, которые представляют собой системы разноориентированных рудных прожилков, жил и сопровождающей вкрапленности сульфидов и оксидов Cu, Mo, Fe и других металлов. «Каркасы», а также поровая проницаемость являются необходимым условием для крупномасштабной циркуляции рудоносных растворов и в итоге, наряду с литолого-фациальными факторами (геохимическими и петрофизическими барьерами), определяют морфологию формирующихся зон штокверковой минерализации и околорудных метасоматитов.

Отмеченная П.Гоу и Дж.Уолшем [19] на примерах медно-порфировых месторождений мезозойских и кайнозойских ВПП Папуа-Новой Гвинеи и Чили петрофизическая неоднородность геологических разрезов, а именно присутствие над внедрившимися магматическими телами малопроницаемых толщ, – один из важнейших факторов, определяющих условия рудоотложения и вероятность образования крупных объектов. Толщи малопроницаемых, не склонных к хрупким деформациям прочных или пластично деформирующихся (карбонатных, глинистых) пород в верхних частях геологических разрезов влияют на возникающие складчатые и разрывные структуры и, соответственно, на уровень подъёма рудогенерирующих расплавов. В упомянутых поясах рудоносные порфировые интрузивы локализованы ниже таких толщ, а в некоторых случаях на тех же гипсометрических уровнях, что и толщи, служившие своеобразными петрофизическими экранами как для магмы, так и для отделяющихся от неё флюидов. При региональном сжатии, способствующем появлению флюидонасыщенных окисленных расплавов, способных к переносу Cu, Au, SO₂ в верхнюю часть земной коры (и, соответственно, рудоносных интрузивов известково-щелочного профиля) [17, 26, 27], наличие малопроницаемых «экранирующих» толщ приводит к возникновению магматических и флюидных плюмов и создаёт таким образом обстановку, благоприятные для рудоконцентрации.

Такие условия, по-видимому, существуют на начальных этапах формирования РМС – в период накопления металлов в верхних (головных) зонах магматических колонн. На последующих этапах их эволюции обычно (но не всегда) происходит прорыв

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ РУДНЫХ ТЕЛ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО СЕМЕЙСТВА [11], С ДОПОЛНЕНИЯМИ

Типы	Подтипы	Идеальная поверхность, определяющая внешние и внутренние ограничения рудных тел	Приближённые объёмные формы рудных тел при различном положении эрозионного среза	Формы рудных тел в горизонтальных сечениях разных уровней	Месторождения
I. Рудные тела, конформные изометрическим в плане или слабоудлинённым порфировым штокам	I А. Рудные тела, конформные штокам с малыми и средними углами падения контактов	Разновысокие параболоиды вращения, полные или усечённые	Сочетания разновысоких, вложенных друг в друга параболоидов вращения, конус, усечённый конус, усечённый полый толстостенный конус	Круг, кольцо (сплошное или прерывистое), сближенные сегменты, серповидные фигуры	Клаймакс, Гендерсон, Квеста (США), Хадсон-Бей (Канада)
	I Б. Рудные тела, конформные штокам с большими углами падения контактов	Разновысокие вертикальные параболоиды вращения, высота внешнего из которых значительно превышает высоту внутреннего			
	I В. Рудные тела, конформные субвертикальным изометрическим штокам	Цилиндрические по верхности различного диаметра			
II. Рудные тела, конформные удлинённым в плане порфировым интрузивам с большими углами падения контактов	I Г. Рудные тела, конформные штокам, сужающимся с глубиной	Опрокинутые конусы с различными углами схождения образующих плоскостей	Опрокинутый усечённый полый толстостенный конус	Эллипс, деформированный эллипс, овал, вытянутое кольцо, группы утолщённых дуг различных радиусов	Сорское (Россия), Актогай (Казахстан), Прохорово (Болгария)
		Разновысокие эллиптические параболоиды, полные или усечённые	Сочетание разновысоких вложенных друг в друга эллиптических параболоидов, конус, усечённый конус, усечённый полый толстостенный конус		
III. Рудные тела, конформные наклонным порфировым интрузивам, расщепляющимся по восстанию на дайкообразные апофизы	-	Субпараллельные и сходящиеся под небольшими углами в горизонтальном и вертикальном направлениях плоскости	Пластина, клин с ветвлением на мелкие апофизы	Вытянутый прямоугольник с зубчатыми границами по простиранию, группа сближенных узких субпараллельных полос	Песчанка, Михеевское, Томинское, Салаватское (Россия), Коксай (Казахстан), Эндако (Канада), Цаган-Субурга, Сурвэн-Сухайт (Монголия)
IV. Рудные тела в лакколитоподобных порфировых интрузивах под структурно-петрофизическими экранами	-	Сходящиеся под небольшими углами в вертикальном направлении плоскости	Линзовидные, пласто- и грибообразные	Эллипс, параболический сегмент	Кызата, Сары-Чеку, Нижнекаульдинское (Узбекистан)

расплава сквозь малопроницаемые толщи с частичной или полной их ассимиляцией. При охлаждении, дефлюидизации и кристаллизации интрузивов в результате явлений гидроразрыва, контракции и сопутствующего им обрушения пород кровли (с приоткрыванием более древних трещин) возникают ореолы мелкой трещиноватости, по которым циркулируют рудоносные магматогенные растворы и метеорные воды, активизированные в тепловом поле плутонов. В результате их разгрузки в интрузив-надинтрузивных зонах формируются медно-порфиновые штокверки [11].

Подобные обстановки существовали не только в поясах Юго-Восточной Азии и Южной Америки, но и в мезозойских и палеозойских ВПП Северной Америки, Азии, Европы. Признаки влияния экранирующих толщ на рудогенез отмечаются как на месторождениях-гигантах, например Бингхэм, Санта Рита (США), Алмалык (Узбекистан), так и на рядовых объектах Речк (Венгрия), Кызата, Сары-Чеку, Нижнекаульдинское (Узбекистан), Цаган-Субурга, Хармагтай (Монголия), Златно (Чехия), Майданпек (Сербия) и др. В верхних частях рудовмещающих разрезов этих месторождений имеются склонные к пластичным деформациям, сравнительно малопроницаемые (для гидротермальных растворов) карбонатные (известняки, доломиты, мергели) или существенно глинистые толщи. Таковыми породами часто сложены провисы кровли рудоносных интрузивов или ксенолиты различных размеров, вплоть до гигантских. «Экранирующее» воздействие, способствующее концентрации металлов в обстановках внутриконтинентальных ВПП с преимущественно сиалическим фундаментом, могут оказывать породы с высокими прочностными свойствами, такие как рифейско-раннекембрийские гнейсы и амфиболиты, присутствующие в виде останцов в провисах кровли рудоносного интрузива крупнейшего медно-порфинового месторождения Эрдэнтуин-Обо (Монголия).

Немаловажным фактором, определяющим условия рудообразования, является также «энергетический потенциал» поднимающихся расплавов, т. е. их способность «прорывать» экранирующие толщи с их ассимиляцией. Он зависит от состава и флюидонасыщенности расплавов, влияющих на их вязкость и, соответственно, скорость подъёма и, конечно же, от размеров (объёмов) «всплывающих» магматических масс. Как показал анализ выборки из 68 медно-порфиновых месторождений мира

[15], существует определённая зависимость между площадями выхода на дневную поверхность рудоносных порфиновых фаз и крупностью сопряжённых с ними рудных объектов: с большими по размерам порфировыми интрузивами ассоциируют более крупные месторождения. Исключения – сравнительно незначительные площади порфиновых штоков на таких крупных месторождениях, как Эль Теньенте (Чили), Актогай, Айдарлы, Коунрад (Казахстан), Токепала (Перу) и др., – объясняются тем, что эрозией вскрыты лишь верхние части (апофизы) магматических тел, которые на глубине имеют более значительные размеры.

При прорыве мощными многофазными магматическими телами малопроницаемых толщ формируются в основном изометрические или удлинённые в плане штоки, реже дайкоподобные интрузивы и конформные их апикальным частям медно-порфиновые штокверки первых трёх морфологических типов (см. таблицу), обычно со значительным вертикальным размахом. На крупных объектах нередко отмечаются несколько рудогенерирующих порфиновых фаз, однако отложение основной массы руд обычно сопряжено со становлением интрузивов одной, реже двух из них. Их морфология и определяет форму рудных тел. Основные запасы металлов (Cu, Mo, Au, Ag, Re) при этом сконцентрированы в породах, вмещающих порфировые интрузивы. В этих случаях карбонатные толщи в значительных масштабах ассимилируются внедряющимся магматическим расплавом с образованием гибридных пород, таких как сиенит-диориты на Алмалыкском рудном поле (РП) [2] и «гибридные кварцевые монзониты» на месторождении Бингхэм [20]. «Останцы» – провисы кровли и ксенолиты известняков и доломитов – мраморизованы, скарнированы, на контактах с рудоносными интрузивами обогащены золотом, но в целом безрудны. На крупном месторождении Кальмакыр Алмалыкского РП мощная (на момент рудообразования) карбонатная толща, представленная на сегодняшний день сохранившимися от эрозии фрагментами в кровле рудного тела, в значительной степени повлияла на его форму, предопределив уплощённое субгоризонтальное верхнее ограничение.

В условиях, когда энергии небольших магматических тел недостаточно для прорыва вышележащих малопроницаемых толщ, формируются лакколитоподобные порфировые интрузивы. Сопряжён-

ные с ними штокверки и выделенные в их объёме рудные тела имеют линзовидную, пласто- или грибообразную форму, причём практически вся рудная минерализация сконцентрирована в их апикальных частях. В качестве немногочисленных примеров таких объектов, объединённых в четвёртый морфологический тип (см. таблицу), можно привести месторождения Кызата, Сары-Чеку и Нижнекальдинское в Узбекистане.

Таким образом, петрофизические свойства вмещающей среды, наряду с тектоническими факторами (магмовыводящими разломами и др.), влияют как на форму формирующихся порфировых интрузивов, так и на морфологию сопряжённых с ними рудоносных штокверков, что позволяет условно разделить рудогенерирующие медно-порфировые системы на два структурно-петрофизических типа: «открытый» и «закрытый» (подэкранный) [6, 11, 29]. Условия рудообразования в них могут быть проиллюстрированы на примере месторождений Алмалыкского рудного района (РР) в Узбекистане.

Алмалыкский рудный район, где сосредоточен ряд месторождений медных, золотых и полиметаллических руд, расположен в Срединном Тянь-Шане в Кураминской металлогенической зоне Бельтау-Кураминского ВПП, сформированного в среднем карбоне – ранней перми на южной окраине Северокаспийского микроконтинента. Субстрат пояса сложен терригенными флишоидными толщами (О–S), вулканитами (D₁) и терригенно-карбонатными отложениями (D₃–C₁). Рудный район, эквивалентный крупной РМС «порфирового» типа с комплексной металлогенией, тяготеет к восточному флангу значительного по размерам выступа фундамента, который несёт черты длительного (с силура до перми) воздымания с соответствующим сокращением мощностей перекрывающих стратифицированных комплексов и изменением их фациального состава, а также с широким развитием интрузивных образований того же возрастного диапазона. Более половины площади района, оценяемой в 850 км² [16], занимает крупный полихронный (C₁–C₃) Алмалыкский плутон, сложенный фанеритовыми габброидами, гранитоидами натриевого и калиевого профиля, сиенитами, сиенит-диоритами, а также породами завершающих фаз – гранодиорит-порфирами, кварцевыми монцонит-порфирами и диоритовыми порфиритами (рис. 1).

Золото-молибден-медно-порфировые месторождения района сопряжены с интрузивами гра-

нодиорит-порфиров так называемого алмалыкского типа (C₃), причём крупные объекты характеризуются значительными по размерам штоками, прорывающими массив диоритов – сиенит-диоритов (C₂–C₃), а рядовые – небольшими телами, локализованными непосредственно под толщей мраморизованных известняков и доломитов (D₃–C₁).

Крупные месторождения *Кальмакыр*, *Дальнее*, *Северо-Западный Балыкты* и *Карабулак*, фактически являющиеся участками единого гигантского объекта, часто называемого «Алмалыком» или «Большим Алмалыком», с запасами меди >23 млн т (при среднем содержании Cu 0,39%), молибдена 140 тыс. т (0,002% Mo), золота 2,2 тыс. т (0,37 г/т Au), серебра 13,4 тыс. т (2,2 г/т Ag) [28], сосредоточены в магматогенном поднятии в северо-западной части рудного района, где выделяется Алмалыкское рудное поле, эквивалентное одноимённой медно-порфировой системе. Перечисленные месторождения локализованы в эндо-экзоконтактовых зонах удлинённых в плане штоков гранодиорит-порфиров, которые представляют собой выступы единого на глубине интрузива и контролируются древними тектоническими структурами северо-западного (Северо-Западный Балыкты, Кальмакыр), восток-северо-восточного (Дальнее) и субширотного (Карабулак) простираения. Крутопадающие порфировые штоки, расщепляющиеся по восстанию на дайкоподобные апофизы, пересекают массив диоритов – сиенит-диоритов и кварцевые порфиры (риолиты, риодациты) раннедевонского возраста (рис. 2). Рудное поле разбито Кальмакырским и Карабулакским разломами на три тектонических блока: Северный, Центральный и Южный. Пострудное смещение Южного блока, к которому приурочены месторождения Северо-Западный Балыкты и Кальмакыр, относительно Центрального с месторождением Дальнее имеет взбросово-сдвиговый характер с амплитудой ~450 м, что предопределило различный уровень эрозии этих объектов – умеренный на Северо-Западном Балыкты и Кальмакыре, малый – на Карабулаке и Дальнем [13].

Месторождения Алмалыкского РР характеризуются однотипной метасоматической зональностью, соответствующей классической «монцонитовой» модели Дж.Лоуэлла и Дж.Джильберта [23], и близкими структурно-текстурными и минералогическими особенностями руд. От апикальных частей порфировых интрузивов во вмещающие породы установлена такая последователь-

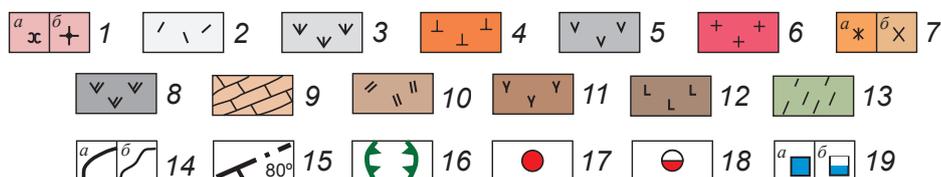
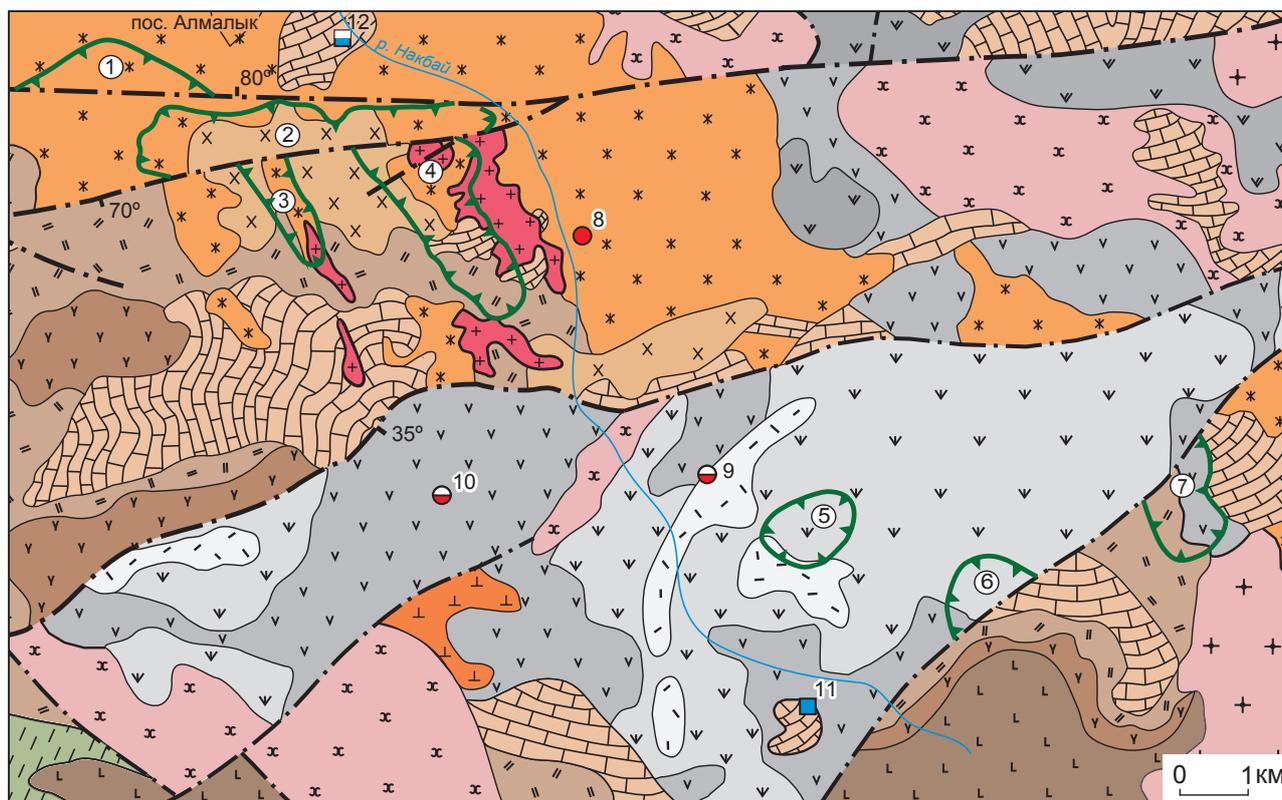


Рис. 1. СХЕМА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ АЛМАЛЫКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА С ПОЛОЖЕНИЕМ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РАЗНЫХ РУДНО-ФОРМАЦИОННЫХ ТИПОВ (составлена с использованием материалов Алмалыкской ГРЭ и САИГИМС):

формации Бельтау-Кураминского вулcano-плутонического пояса: 1 – позднего этапа, C_3 – P_1 (a – габбро-монцит-монцодиоритовая, б – гранодиорит-адамеллитовая), 2–7 – раннего этапа (2–5 – андезит-дацитовая, продуктивная на золото-гидрослюдисто-кварцевое оруденение, C_2m_1 – C_3 ; 2 – наadakский андезидацит-дацитовый лаво-пирокластический комплекс, 3–5 – акчинский андезит-андезидацитовый экструзивно-лаво-субвулканический комплекс: 3 – надрудная андезидацитовая толща нерасчленённая, 4 – экструзивные купола андезидацитов ранней генерации, 5 – подрудная андезитовая толща; 6, 7 – габбро-диорит-монцодиорит-гранодиоритовая формация (алмалыкский комплекс), продуктивная на медно-порфировое оруденение: б – рудоносные гранодиорит-порфиры и кварцевые монцит-порфиры, 7 – породы основной фазы (a – сиенит-диориты, б – диориты)); фундамент ВПП: 8 – минбулакский трахибазальт-трахиандезит-дацит-риолитовый комплекс (C_2b), 9 – известняки и доломиты (D_3 – C_1), 10–12 – андезибазальт-андезит-риодацитовая формация (D_1): 10 – риодациты (кварцевые порфиры), 11 – андезиты, 12 – андезибазальты; 13 – дислоцированные терригенные и вулканогенно-терригенные отложения (O–S); 14 – геологические границы (a – рудоносных порфировых интрузивов, б – вмещающих пород); 15 – основные разрывные нарушения; 16 – горизонтальные проекции штокерковых рудных тел золото-молибден-медно-порфировых месторождений, их номера: Карабулак (1), Дальнее (2), Северо-Западный Балыкты (3), Кальмакыр (4), Нижнекаульдинское (5), Кызата (6), Сары-Чеку (7); месторождения и проявления иных рудно-формационных типов, их номера: 17 – золото-кварцевое жильное Актурпак (8), 18 – золото-гидрослюдисто-кварцевые Каульдинское (9), Бичанзор (10), 19 – стратиформные колчеданно-полиметаллические в карбонатных породах (a – не преобразованное Кульчулак (11), б – скарнированное и частично регенерированное Кургашикан (12))

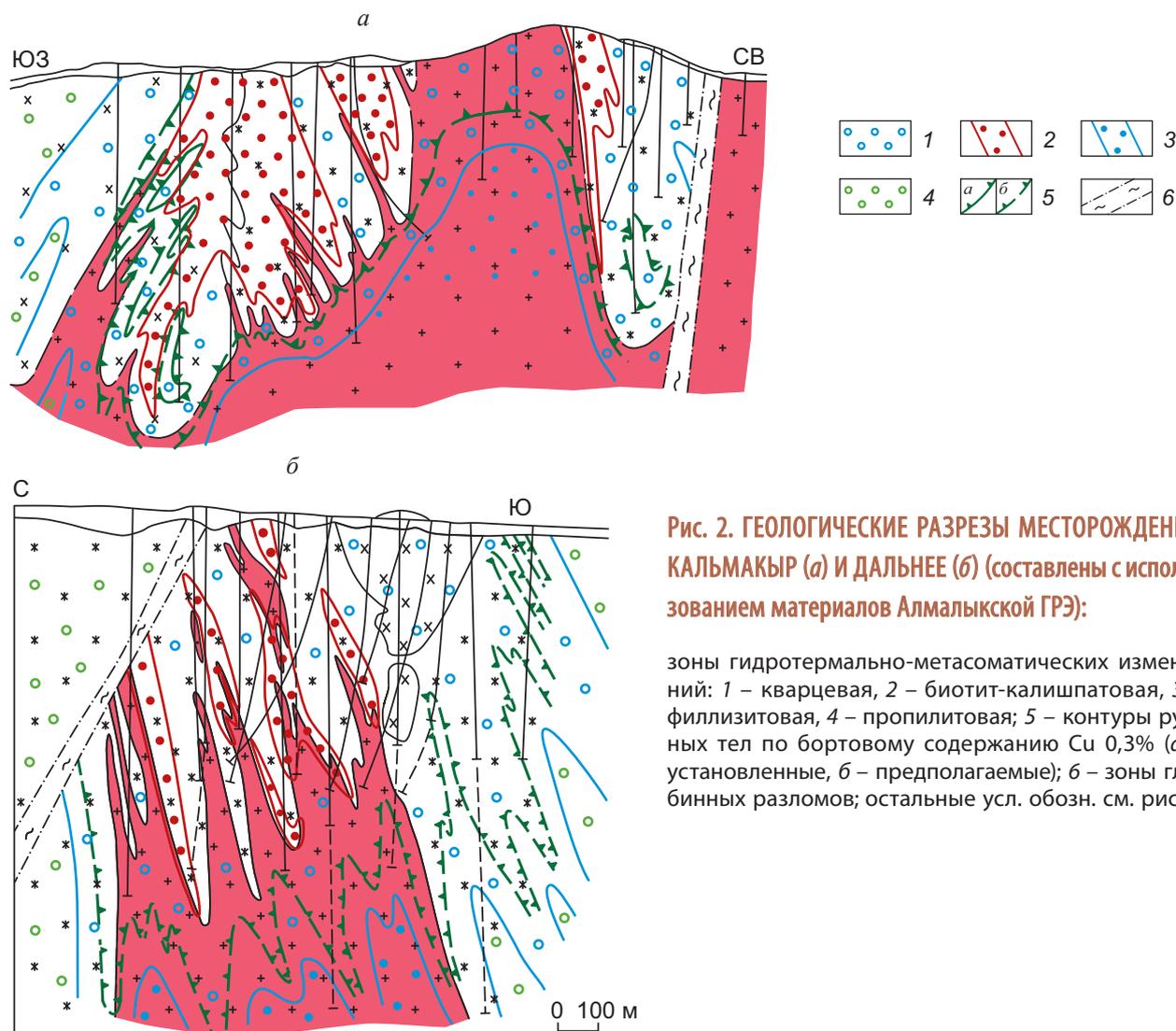


Рис. 2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАЗРЕЗЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЛЬМАКЫР (а) И ДАЛЬНЕЕ (б) (составлены с использованием материалов Алмалыкской ГРЭ):

зоны гидротермально-метасоматических изменений: 1 – кварцевая, 2 – биотит-калишпатовая, 3 – филлизитовая, 4 – пропилитовая; 5 – контуры рудных тел по бортовому содержанию Си 0,3% (а – установленные, б – предполагаемые); б – зоны глубинных разломов; остальные усл. обозн. см. рис. 1

ность метасоматических зон: кварцевая, биотит-калишпатовая, филлизитовая (наложенная на предшествующую, сохранившуюся фрагментарно) и пропилитовая (см. рис. 2), которые по набору и количественным соотношениям основных новообразованных минералов разделены на подзоны [3]. Молибденово-медные с золотом руды образованы вкрапленностью и гнёздами сульфидов, сульфидно-кварцевыми прожилками и более редкими жилами. Преобладающие во внутренних частях метасоматических колонок убогие вкрапленные руды по вертикали и латерали сменяются промышленными вкрапленно-прожилковыми, а затем прожилково-вкрапленными существенно пиритовыми («пиритовый» ореол) с отдельными мощными жилами с Au-Ag-полиметаллической минерализа-

цией. В том же направлении ранние минеральные ассоциации (кварц-калишпатовая с молибденитом, кварц-магнетитовая и кварц-молибденит-пиритовая) сменяются главной продуктивной кварц-молибденит-халькопирит-пиритовой с золотом и далее на флангах МПС – поздней кварц-полисульфидной с золотом и серебром. Наиболее поздние из рудообразующих (кварц)-халькопирит-пиритовая и (кварц)-пиритовая ассоциации (так называемые «сухие прожилки» без жильного сопровождения) тяготеют к осевой зоне штокверка. Объёмы прожилковой массы (в объёме вмещающих пород) составляют десятые доли процента для ранних и самых поздних ассоциаций, до 8–10% и более (в среднем от 2 до 4–5%) – для главной продуктивной (рис. 3).

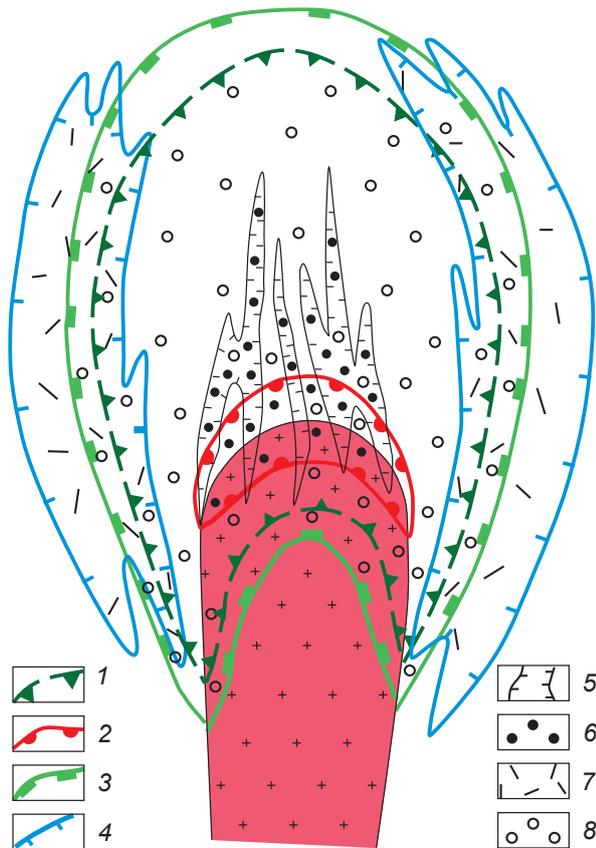


Рис. 3. ОБОБЩЁННАЯ МОДЕЛЬ ЗОНАЛЬНОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ ШТОКВЕРКОВ АЛМАЛЫКСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ:

1 – контур промышленного молибденово-медного с золотом оруденения; ареалы развития прожилков рудообразующих минеральных ассоциаций различных стадий формирования штоков: 2 – ранней (I), 3 – средней (II), 4 – поздней (III), 5 – завершающей (IV); средне-статистические объёмы рудных прожилков различных стадий (в % от объёма вмещающих пород): 6 – 0,2–0,4 (I, IV), 7 – 1,0–1,2 (III), 8 – 1,9–4,1 (II); остальные усл. обозн. см. рис. 1

Ориентировка рудных прожилков, в большинстве своём обладающих средними и крутыми углами падения, определяется морфологией кровли рудоносных интрузивов, что свидетельствует об едином плане деформаций в период становления порфировых штоков и возникновения (приоткрытия) рудовмещающих трещин преимущественно сколового типа. В соответствии с пространственной ориентировкой древних тектонических структур, контролирующей рудопродуцирующие интрузивы и их апофизы, на месторождениях Дальнее

и Карабулак преобладают рудные прожилки субмеридионального и субширотного простирания, на объектах Кальмакыр и Северо-Западный Балыкты – субширотного и северо-западного. Пострудные трещины, выполненные барит-ангидритовой и цеолит-карбонатной ассоциациями, в определённой степени наследуют рудовмещающую трещиноватость [3].

Рудоносные штоковёрки охватывают эндо-экзо-контактные зоны порфировых интрузивов, причём основной объём минерализации сосредоточен в надинтрузивных областях – во вмещающих гидротермально изменённых сиенит-диоритах, диоритах, кварцевых порфирах. Рудные тела геометрически описываются сочетанием разновысоких эллиптических параболоидов, вложенных друг в друга, т. е. могут быть отнесены ко второму морфологическому типу [12], а рудообразующая система, во внутренних частях которой они находятся, – к «открытому» типу, хотя присутствие толщ известняков и доломитов в верхах геологического разреза и привело к уплощённой форме и горизонтальной ориентировке верхнего ограничения Кальмакырского штоковёрка.

На флангах Алмалыкской МПС (РП) известны жильные золото-полисульфидные (с Te) месторождения Актурпак, Гольдуран, Акджен, Сартабуткан, а в терригенно-карбонатной толще (D_3-C_1) фундамента ВПП – стратиформные колчеданно-полиметаллические залежи (Кульчулак), которые в экзо-контактах рудоносных интрузивов скарнированы и частично регенерированы (Кургашикан).

Рядовые по запасам золото-молибден-медно-порфировые месторождения *Нижнекаульдинское* Каульдинского РП, *Кызата* и *Сары-Чеку* Саукбулакского РП, приуроченные к лакколитоподобным штокам гранодиорит-порфиров и относящиеся к четвёртому морфологическому типу, находятся в центральной части Алмалыкского РР в основании и прибортовых частях Центрально-Алмалыкского вулканотектонического грабена. Два первых объекта локализованы под толщами мраморизованных известняков и доломитов и залегающих на них вулканитов андезит-дацитовой формации. Месторождение Сары-Чеку, расположенное в поднятом блоке в юго-восточном борту грабена, частично эродировано. Оно является частью некогда единого (с месторождением Кызата) объекта, «разорванного» в результате взбросо-сдвига по Мисханскому разлому с амплитудой вертикального пе-

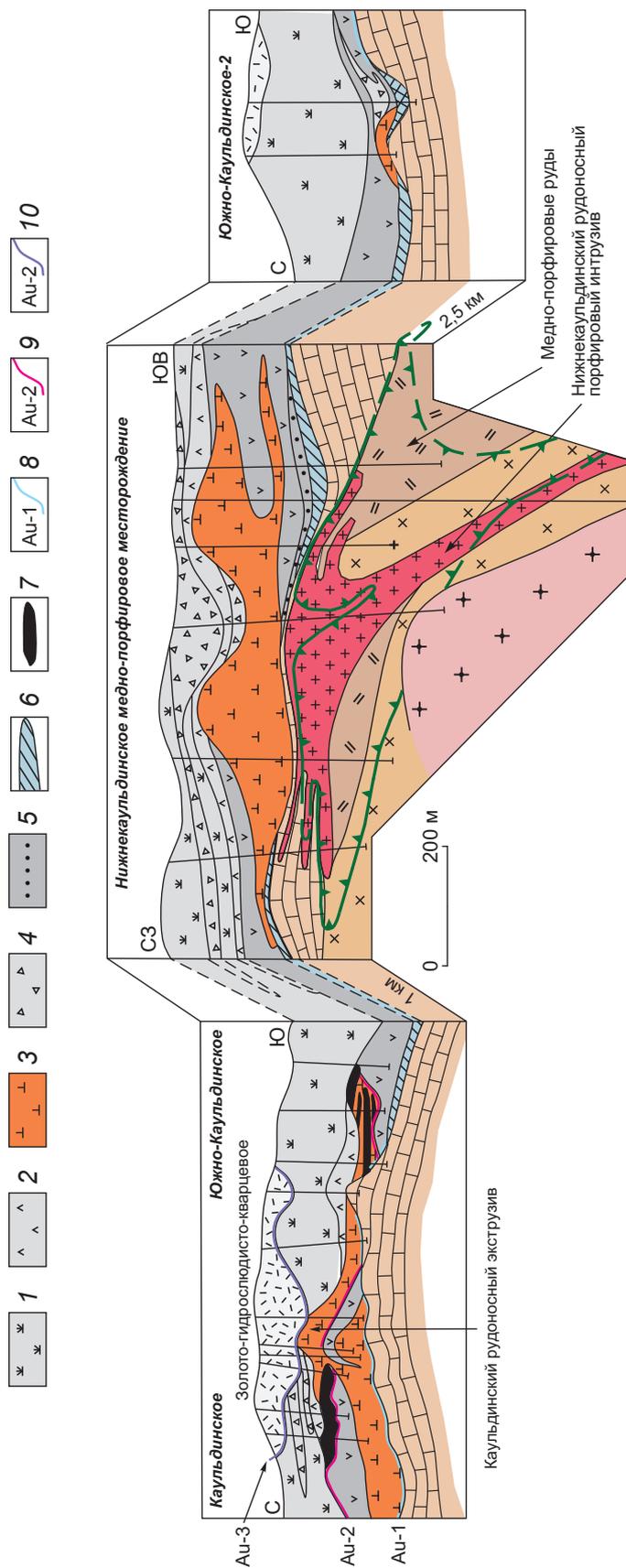


Рис. 4. РАЗРЕЗЫ НИЖНЕКАУЛЬДИНСКОГО МЕДНО-ПОРФИРОВОГО И КАУЛЬДИНСКОГО ЗОЛОТО-ГИДРОСПЛЮДИСТО-КВАРЦЕВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ:

надрудная андезидацитовая толща акчинского андезит-андезидацитового комплекса: 1 – полифировые андезидациты (туфы, лавы, экструзивные купола), 2 – мелкопорфировые андезидациты; 3 – рудоносные экструзивные купола андезидацитов поздней генерации; 4 – вулканомиктовые породы, продукты разрушения и перемыва экструзивных куполов; 5 – базальная толща известняковых конгломератов, песчаников, алевролитов; 6 – золото-содержащие кварциты; 7 – залежи золото-гидрослюдисто-кварцевых руд; литолого-стратиграфические уровни локализации золоторудных залежей и горизонтов повышенной концентрации золота; 8 – нижний золотосодержащих кварцитов на палеоповерхности карбонатной толщи, 9 – средний (основной) гидрослюдисто-кварцевых метасоматитов и золоторудных залежей на палеоповерхности андезитовой толщи, 10 – верхний гематит-алунит-каолинит-пирофиллитовых кварцитов и аргиллизитов на палеоповерхности андезидацитовая толщи; остальные усл. обозн. см. рис. 1

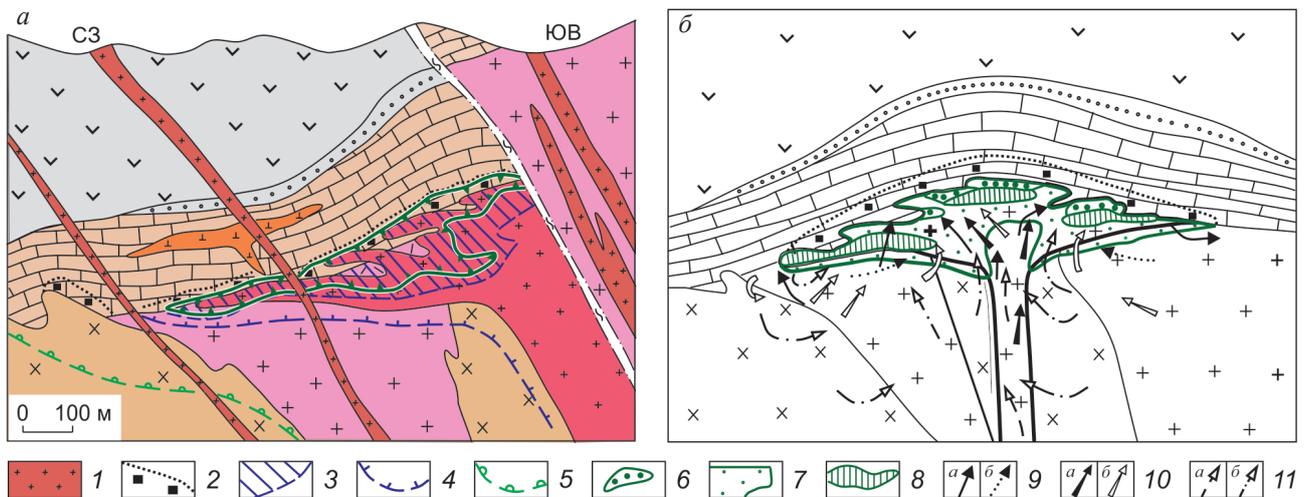


Рис. 5. МЕДНО-ПОРФИРОВОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ КЫЗАТА ПОД «ЭКРАНОМ» МАЛОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОД: а – СХЕМАТИЧЕСКИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗРЕЗ, б – МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ РУДОНОСНОГО ШТОКВЕРКА:

1 – пострудные гранитоидные дайки; 2 – карбонат-хлорит-эпидот-актинолитовые скарны; околорудные метасоматиты (под экранирующей карбонатной толщей); 3 – серицит-кварцевые и кварц-хлорит-серицитовые, 4 – хлорит-серицитовые, 5 – пропилиты; участки распространения рудных прожилков последовательных стадий формирования медно-порфинового штокверка: б – ранней, 7 – средней, 8 – завершающей; направления миграции магматогенных флюидов (а) и активизированных метеорных вод (б) по стадиям образования РМС: 9 – ранней, 10 – средней, 11 – завершающей; остальные усл. обозн. см. рис. 1, 2

ремещения 500–700 м, горизонтального – 2,0–2,5 км [2] (см. рис. 1).

Небольшое по запасам *Нижнекаульдинское месторождение* локализовано на глубинах 580–960 м от современной поверхности в породах основания вулканотектонического грабена, в лакколито-подобном теле гранодиорит-порфиоров – кварцевых монзонитов, а также во вмещающих сиенит-диоритах и раннедевонских риолитах его лежачего бока. Морфология и ориентировка кровли рудоносного интрузива, а также его апофиз-силлов, определяются элементами напластования вмещающей карбонатной толщи, мощность которой сокращена, возможно, в результате ассимиляции магматическим расплавом. В апикальной части порфиоровый интрузив «надстраивается» куполообразным экструзивно-субвулканическим телом комагматичных андезидацитов мощностью до 400 м, залегающим в толще андезитовых лав (рис. 4). Это тело, по-видимому, обеспечивало необходимый температурный режим для отложения медно-порфировых руд, дополняя своим объёмом сокращённую мощность пород кровли рудоносного интрузива – мраморизованных известняков и вулканитов андезитовой толщи.

Рудное тело – грибообразное, подобное форме порфиорового интрузива. Руды представлены вкрапленностью и прожилками пирита, халькопирита и молибденита в карбонат-серицит-хлорит-кварцевых метасоматитах, развитых по гранодиорит-порфирам, сиенит-диоритам, риолитам. В экзоконтактах тела рудоносных гранодиорит-порфиоров известняки мраморизованы и содержат незначительную наиболее раннюю скарновую халькопирит-магнетит-пиритовую минерализацию. Промышленные концентрации меди и молибдена связаны с золото-молибденит-халькопирит-пиритовой минеральной ассоциацией, слагающей разноориентированные прожилки и гнёзда. Выделяются также более поздняя кварц-ангидрит-карбонат-полисульфидная (с содержаниями Au до 2,2 г/т, Ag до 39 г/т) и пострудная кварц-карбонатная ассоциации.

Среднее по запасам (около 2 млн т меди) *месторождение Кызата*, как и *Нижнекаульдинское*, размещается в породах основания вулканотектонического грабена, однако мощность толщи мраморизованных известняков и доломитов над рудоносным штокверком здесь достигает 500 м (рис. 5, а). Прожилково-вкрапленные молибденово-мед-

ные с золотом руды со средним содержанием Cu 0,85% развиты в апикальной части лакколитоподобного штока гранодиорит-порфиоров, «срезанного» на юго-западном фланге Мисханским разломом. Экранирующее воздействие карбонатной толщи отразилось в линзообразной форме рудного тела и отсутствии отчётливой рудно-метасоматической зональности. Высокотемпературные биотит-ортоклазовые метасоматиты и прожилки ранних безрудных кварцевой, кварц-калишпатовой и кварц-магнетитовой минеральных ассоциаций практически полностью «уничтожены» наложенными метасоматитами филлизитовой зоны (продуктами кислотного выщелачивания), во внутренних подзонах которой и локализован штокверк основной продуктивной кварц-молибденит-халькопирит-пиритовой и завершающей (кварц-халькопирит)-пиритовой ассоциаций (см. рис. 5, а).

В отличие от объектов Алмалыкского рудного поля, на месторождении Кызата, наряду с рудными прожилками со средними (30–60°) углами падения, отмечается большое количество полого залегающих (0–30°). Густота (количество на погонный метр) и среднестатистическая мощность (в основном за счёт более мощных субгоризонтальных) рудных прожилков превышают установленные на упомянутых объектах. Их объём в породах в среднем ~10%, в интервалах богатых руд до 50–60%, а иногда 80%, что на порядок выше, чем на месторождениях Кальмакыр, Дальнее и Северо-Западный Балыкты. Соответственно, среднее содержание Cu в рудах в два и более раз выше [5].

Уплотнённая морфология рудовмещающих метасоматических зон и штокверковых рудных тел медно-порфировых месторождений Каульдинского и Саукбулакского РП свидетельствует об их становлении в условиях «закрытых» (подэкранных) МПС. Роль структурно-петрофизических экранов для металлоносных гидротермальных растворов, сформировавших медно-порфировые штокверки, сыграла малопроницаемая, склонная к пластичным деформациям доломито-известняковая толща, а также залегающие на ней куполообразные экструзивно-субвулканические тела андезидацитов. Такие условия предопределили не только специфическую форму гранодиорит-порфировых интрузивов, сопряжённых с ними зон метасоматических изменений и медно-порфировых штокверков, но и латеральную рудно-формационную зональность рудообразующих систем в целом, отличную

от «классической» концентрической, отражённой в моделях Р.Силлитоу, Дж.Лоуэлла и Дж.Джилльберта и других исследователей.

Латеральный тип зональности Каульдинской МПС (РП) установлен и детально описан О.В.Мининой [14]. «Стержневым» элементом этой системы является Нижнекаульдинское Au-Mo-Cu-порфировое месторождение, а на флангах расположены рудные залежи Каульдинского золото-гидрослюдисто-кварцевого месторождения и другие, менее значительные проявления золоторудной минерализации, контролируемые тремя литолого-стратиграфическими уровнями разреза рудоносной андезит-дацитовой формации (C₂m₁-C₃) в пределах Каульдинской палеовулканической котловины площадью ~10 км² (см. рис. 4). К нижнему уровню (палеоповерхности подстилающей карбонатной толщи) приурочена пластообразная залежь (мощностью >10 м) месторождения Южно-Каульдинское-2, локализованная в прикупольной депрессии небольшого андезидацитового экструзива, продукты разрушения которого содержат рудокласты, а также маломощные плащеобразные тела слабозолотоносных сульфидизированных кварцитов. На основном среднем уровне (контакте андезитовой и андезидацитовой толщ) локализованы линзо- и пластообразные залежи (мощностью от 0,3–0,5 до 19–28 м) Центрального и Южного участков Каульдинского месторождения со средним содержанием Au от 8,3 до 13,4 г/т и Ag от 3 до 6 г/т. На верхнем уровне, соответствующем палеоповерхности андезидацитовой толщи, развиты плащеобразные тела алуниг-гематит-пирофиллитовых кварцитов и каолинитов мощностью до 30–40 м с невысоким (до 1–2 г/т) содержанием Au.

Золотоносные метасоматиты всех трёх уровней являются продуктами фумарольно-сульфатарной деятельности и по составу соответствуют аргиллизитам верхних частей МПС, однако их пространственное положение относительно Нижнекаульдинского Au-Mo-Cu-порфирового месторождения отражает не вертикальную, а латеральную зональность. Каульдинское золоторудное месторождение, хотя и располагается на более высоком уровне разреза, чем Нижнекаульдинское медно-порфировое, гораздо больше удалено от него по латерали – не менее чем на 1 км. На фланги системы смещены и алуниг-гематит-пирофиллитовые кварциты верхнего золотоносного уровня. В то же время слабозолотоносные кварциты нижнего уровня,

отвечающие наиболее раннему этапу становления рудообразующей системы, распространены как в центральной её части, вмещающей медно-порфировое месторождение, так и на флангах.

Поскольку гранодиорит-порфиры, вмещающие Au-Mo-Cu минерализацию, и комагматичные им вулканы с золотым оруденением принадлежат одной продуктивной вулканоплутонической ассоциации, т. е. являются производными единого рудоносного магматического очага, можно предположить, что одним из факторов, предопределивших латеральный тип рудно-формационной зональности Каульдинской МПС, может быть «растекание» металлоносных флюидов под экраном малопроницаемых пород. Возможность возникновения латерального флюидного потока, приводящего к образованию «передовых» аргиллизитов с золоторудными месторождениями типа «высокой» сульфидизации на флангах рудообразующих систем, а не непосредственно над интрузивами с меднопорфировым оруденением, подтверждена геологическими наблюдениями на ряде объектов Юго-Восточной Азии. Например, в рудообразующей системе Лепанто (Филиппины) одноимённое золоторудное месторождение «смещено» по латерали от центра медно-порфирового (FSE) более чем на 1 км [18, 24]. Возможность формирования золоторудных аргиллизитов на флангах медно-порфировых систем также обоснована термодинамическим моделированием газоотделения от порфировых интрузивов Дж.Хеденквистом и Ю.Тараном [21].

Латеральный тип рудно-формационной зональности – ведущий для Алмалыкского РР в целом. Пространственные соотношения крупных меднопорфировых объектов, сосредоточенных в северном блоке фундамента (магматогенном поднятии), с одной стороны, и эпитермальных золоторудных залежей Каульдинского месторождения, локализованных в вулканитах Центрально-Алмалыкского грабена, с другой, обусловлены присутствием в контурах рудного района пары взаимосвязанных структур, определяющих позицию соответствующих месторождений: поднятого блока фундамента, необходимого для становления плутонитов, продуктивных на медно-порфировые руды, и примыкающего к нему компенсационного вулканотектонического грабена, заполняющегося вулканитами андезит-дацитовой формации с эпитермальной золоторудной минерализацией. Подобные соотношения медно-порфировых, золоторудных и золото-

серебряных месторождений в крупных РМС «порфирового» типа, которым эквивалентны рудные районы с комплексной металлогенией, отмечены и в ВПП Востока России [7].

Влияние структурно-петрофизических условий формирования на морфологию и строение меднопорфировых штокверков подтверждается результатами их детального картирования, выполненного по стенкам Кальмакырского карьера и керну разведочных скважин месторождений Дальнее, Северо-Западный Балыкты и Кызата по профилям вквост простирания рудоносных порфировых интрузивов, а также на Коксайском молибден-медно-порфировом месторождении в Казахстане, отнесённом по форме рудного тела к третьему морфологическому типу. Фиксировались количество и мощность прожилков разного заполнения, что позволило рассчитать (по десятиметровым интервалам) объёмы прожилковой массы разновозрастных минеральных ассоциаций в процентах от объёма вмещающих пород. Результаты этих исследований в сочетании с анализом геолого-структурных условий рудолокализации, рудно-метасоматической и геохимической зональности, минерального и вещественного составов руд позволили расшифровать строение рудоносных штокверков, установить тенденции их развития во времени и пространстве [3–5, 11].

Для медно-порфировых штокверков первых трёх морфологических типов, которые принадлежат «открытым» в структурно-петрофизическом отношении РМС, была установлена концентрическая минеральная зональность, обусловленная центробежной (от контактов порфировых штоков во вмещающие породы) направленностью наращивания штокверков от ранней к поздней стадии формирования и центростремительной – на завершающей (см. рис. 3). Для уплощённых штокверков четвёртого типа «закрытых» систем, характеризующихся «спрессованностью» (наложением друг на друга) разновозрастных рудообразующих ассоциаций, выявлена противоположная – центростремительная (от кровли в глубь порфировых тел) – тенденция развития (см. рис. 5, б).

Характер пространственно-временной эволюции штокверков в «открытых» системах можно объяснить «свободным» разрастанием рудовмещающих трещинных каркасов в надинтрузивных областях, сложенных в основном склонными к хрупким деформациям породами, и сопряжённым с ним минералообразованием в возникающих полостях,

которое по мере остывания рудопроизводящих магматических тел («затухания» источника энергии и металлоносных флюидов) сменяется отложением поздних минеральных ассоциаций на более глубоких уровнях МПС. Установленная инверсия направленности разрастания штокверков не противоречит математическим моделям охлаждения и дегазации порфировых интрузивов, описанных в ряде публикаций [1, 8, 25 и др.]. Сопоставимые результаты получены сравнительно недавно [20] на одном из крупнейших Au-Mo-Cu-порфировых месторождений мира – Бингхэм в США (штат Юта). Здесь детальное картирование штокверка с оценкой объёмов прожилков разновозрастных рудообразующих минеральных ассоциаций в карьере и по скважинам показало, что поздние кварц-серцит-пиритовая с золотом и кварц-полисульфидная ассоциации смещены на периферию МПС относительно более ранних золото-медьсодержащей и кварц-молибденитовой, сопряжённых с ранними биотит-калишпатовыми метасоматитами.

Уплотнённая форма, отсутствие отчётливой рудно-метасоматической зональности, повышенная густота рудных прожилков в медно-порфировых штокверках Нижнекаульдинского и Саукбулакского рудных полей, их центростремительное наращивание на ранних и средних стадиях эволюции обусловлены экранирующим воздействием малопроницаемой толщи мраморизованных карбонатных пород и перекрывающих их экструзивно-субвулканических андезидацитов в кровле рудоносных порфировых интрузивов.

Рассмотренные тенденции развития штокверков в разнотипных в структурно-петрофизическом отношении РМС подтверждены минералого-геохимическими исследованиями месторождений Актогай, Айдарлы (Казахстан) и Кызата (Узбекистан), позволившими по изотопному составу кислорода кварца рудообразующих ассоциаций оценить долю участия вод немагматического происхождения в рудогенезе [6]. Полученные данные свидетельствуют не только о росте метеорной составляющей в гидротермальных растворах к поздним стадиям рудоотложения, что на протяжении многих лет отмечалось в отечественных и зарубежных публикациях, но и о существенной разнице в объёмах таких вод, вовлечённых в конвекцию в различных частях РМС.

На месторождениях первого и второго морфологических типов Актогай и Айдарлы (см. таблицу),

относящихся к «открытым» системам, эти объёмы, рассчитанные по значениям $\delta^{18}\text{O}$ кварца продуктивной кварц-молибденит-(борнит)-халькопирит-пиритовой ассоциации, максимальны (до 85%) в верхних периферических частях и минимальны в центральных (<35%). Это согласуется с метасоматической зональностью большинства медно-порфировых месторождений, выраженной в смене с глубиной аргиллизитов и филлизитов биотит-калишпатовыми (биотитовыми) метасоматитами, и в целом не противоречит математическим моделям тепло- и массопереноса, разработанным Р.Хенли и А.Макнаббом [22], Д.Нортоном [25], А.И.Кривцовым с соавторами [9, 10, 11] и др.

На месторождении Кызата, принадлежащем к «закрытой» системе, расчётная доля метеорной составляющей в направлении к периферии объекта по мере удаления от крупного разлома, к зоне которого предположительно приурочена корневая часть рудоносного интрузива, уменьшается приблизительно с 70 до 45%. Выявленная изотопная зональность, противоположная установленной на объектах «открытых» систем, отражает центростремительную направленность наращивания рудоносного штокверка под структурно-петрофизическим экраном со смещением области минералоотложения из апикальных в глубокие подошвенные и корневые части порфирового интрузива.

Очевидно, что двумя «крайними» вариантами обстановок – «открытой» и «закрытой» – не исчерпывается многообразие структурно-петрофизических условий формирования РМС. Возможны многочисленные переходные варианты систем с «промежуточными» элементами строения, присущими как первой, так и второй группе. К ним, в принципе, могут принадлежать отдельные штокверки первых трёх морфологических типов (например, месторождение Кальмакыр).

Наличие малопроницаемых толщ в верхах геологических разрезов на ранних стадиях эволюции РМС в условиях регионального сжатия способствует возникновению магматических и флюидных плюмов с концентрацией металлов. Однако разгрузка гидротермальных растворов и отложение основной массы руд происходит, по-видимому, в период разрядки тектонических напряжений после прорыва таких толщ рудоносными расплавами и образования каркасов мелких трещин в ходе дефлюидизации и контракции охлаждающихся плутонов, а также трещин обрушения в их кровле с приоткры-

ванием древних разрывных структур различного происхождения. Эти каркасы являются необходимым условием для циркуляции гидротермальных растворов и рудоотложения.

В «открытых» РМС породы рамы обычно более проницаемы, чем раскристаллизованные порфи́ровые интрузивы, что определяет возможность возникновения крупнообъёмных конвективных ячеек, размеры которых по латерали, судя по параметрам зон пропилитизации, достигают 5 км и более. Широкомасштабная, многооборотная циркуляция вод с проникновением в горячие затвердевшие части интрузивов и выносом рудного вещества в верхние проницаемые зоны приводит к формированию штокверков значительных размеров и вертикального размаха (первых трёх морфологических типов), внешние границы которых максимально удалены от контактов порфи́ровых тел. Для них характерны отчётливо выраженная концентрическая зональность, сравнительно невысокие содержания металлов в рудах, широкомасштабные надрудные геохимические ореолы. При этом основные запасы молибденово-медных вкрапленно-прожилковых руд сосредоточены в надынтрузивных зонах.

Вероятность формирования крупных и сверхкрупных месторождений в таких условиях, по-видимому, зависит от флюидонасыщенности (не менее 4–5 вес. %) и изначальной металлоносности магматических очагов и продуцируемых ими порфи́ровых интрузивов, наличия на начальных стадиях становления РМС малопроницаемых толщ в верхах геологических разрезов, которые приводили к образованию флюидных плюмов и концентрированию металлов в головных частях магматических колонн, но впоследствии были прорваны и полностью или частично ассимилированы с возникновением гибридных гранитоидов. Определённую роль играет и рудоносность пород интрузивной рамы – наличие в них надфоновых содержаний металлов (древних геохимических ореолов), а также более ранних месторождений субстрата ВПП (стратиформных полиметаллических в карбонатных толщах, медно-цинково-колчеданных и др.), подвергнувшихся регенерации в тепловом поле плутонов с экстракцией и переотложением (активизируемыми метеорными водами) рудного вещества на более высоких уровнях систем.

В «закрытых» системах порфи́ровые интрузивы более проницаемы, чем вышележащие поро-

ды. Наличие структурно-петрофизических экранов ограничивает вертикальную протяжённость конвективных ячеек, которые, охватывая штоки и породы их экзоконтактов, имеют уплощённую форму. Объёмы активируемых метеорных вод определяются водонасыщенностью лишь ближайшего окружения магматических тел и поэтому относительно невелики. Соответственно, незначительны и масштабы заимствования ими рудного вещества из вмещающих пород. В результате образуются линзовидные, пласто- или грибообразные штокверки четвёртого типа, локализованные в основном во внутриинтрузивных зонах. Таким объектам присущи некоторая «спрессованность» рудно-метасоматических колонок с элементами обратной зональности (по векторам вниз от контактов порфи́ровых тел с вышележащими экранирующими толщами), повышенные густота и среднестатистическая мощность рудных прожилков и, соответственно, концентрация металлов в рудах, угнетённое развитие надрудных ореолов рассеяния элементов [5]. Определяющими факторами «закрытых» РМС, помимо экранирующих толщ, могут служить сравнительно большие глубины (>3 км) образования рудоносных интрузивов и недостаточная обводнённость окружающих пород [8]. Не исключено, что к подобным объектам относятся некоторые редкометалльные месторождения.

Таким образом, условия «закрытых» РМС со сравнительно небольшими рудоносными порфи́ровыми интрузивами, локализованными непосредственно под толщами малопроницаемых пород, способствуют формированию сравнительно «компактных» месторождений рядового класса по запасам с довольно высокими содержаниями металлов в рудах.

Выводы. Главными факторами, определяющими морфологию медно-порфи́ровых штокверков и оконтуренных в их пределах по промышленным кондициям рудных тел, являются форма апикальных частей рудоносных порфи́ровых интрузивов и петрофизические характеристики вмещающих пород, от которых во многом зависят условия рудонакопления. При отсутствии локальных «структурных ловушек» и геохимических барьеров разгрузка металлоносного флюидного потока из магматического очага может привести к возникновению обширных геохимических ореолов без промышленно значимых скоплений металлов. Петрофизические свойства среды, наряду с флюидонасыщен-

ностью и исходной металлоносностью магм, влияют на масштабы рудогенерирующих систем, а в итоге – на запасы формирующихся месторождений.

На начальных стадиях становления РМС наличие малопроницаемых, пластично деформируемых карбонатных толщ или пород с высокими прочностными свойствами в верхах геологических разрезов замедляет подъём расплавов, что приводит к возникновению флюидных плюмов и способствует накоплению металлов в головных частях магматических колонн. На последующих стадиях эволюции рудообразующих систем при прорыве таких толщ магмой (с частичной или полной ассимиляцией карбонатных пород и возникновением «гибридных» гранитоидов) рудоносные порции расплава (порфиновые фазы) внедряются не непосредственно в малопроницаемые толщи, а в породы основных фаз продуктивных плутогенных формаций, включая их «гибридные» разности.

При охлаждении, дефлюидизации и кристаллизации рудоносных порфировых интрузивов за счёт явлений гидроразрыва, контракции и сопряжённого с ними обрушения пород надынтрузивной кровли образуются системы мелкой густой трещиноватости. По ним осуществляется широкомасштабная многооборотная циркуляция магматогенных рудоносных флюидов и активизируемых метеорных вод. Такие условия, характерные для РМС «открытого» в структурно-петрофизическом отношении типа, благоприятствуют выносу и интегральному накоплению металлов в верхних проницаемых зонах систем с максимальной экстракцией рудного вещества из промежуточных очагов. Источниками рудного вещества, наряду с магматическими очагами, могут быть породы интрузивной рамы (например, гранитоиды основных фаз продуктивных формаций с надфоновым содержанием металлов), а также более древние стратиформные полиметаллические, медно-цинково-колчеданные и иные месторождения субстрата ВПП, подвергшиеся регенерации в тепловом поле интрузивов. В результате формируются штокверки трёх первых морфологических типов, характеризующиеся значительными размерами и вертикальным размахом, отчётливой концентрической зональностью, сравнительно невысокими содержаниями металлов в рудах, широкомасштабными надрудными геохимическими ореолами. При этом основные запасы руд обычно сосредоточены в надынтрузивных зонах. При определённых условиях, рассмотренных

выше, образуются крупные и гигантские месторождения.

В обстановках, когда энергии небольших магматических тел недостаточно для прорыва вышележащих малопроницаемых толщ, формируются лакколитоподобные порфиновые интрузивы и сопряжённые с ними уплощённые штокверки четвёртого морфологического типа. Для них характерны «спрессованность» рудно-метасоматических колонок с элементами обратной зональности, повышенные густота рудных прожилков и содержания металлов в рудах, «угнетение» надрудных геохимических ореолов. В РМС «закрытого» (подэкранного) типа формирование крупных и сверхкрупных объектов маловероятно из-за сравнительно невысокого энергетического потенциала небольших по размерам магматических тел (иначе бы они прорвали и ассимилировали вышележащие толщи), ограниченного объёма отделяющихся металлоносных флюидов, а также из-за малопроницаемых толщ, ограничивающих вертикальную протяжённость конвективных ячеек циркулирующих растворов и возможность заимствования ими рудного вещества из вмещающих пород. В таких условиях образуются сравнительно «компактные» рядовые по запасам месторождения с относительно богатыми рудами.

Рассмотренные обстановки формирования РМС, определяющие морфологию и внутреннее строение медно-порфировых штокверков и рудных тел, а в итоге запасы металлов, должны учитываться при построении геолого-поисковых моделей рудных полей и месторождений и проведении поисковых работ.

Авторы выражают глубокую признательность Татьяне Александровне Чуриловой, оказавшей большую помощь в оформлении приведённых в статье иллюстраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барнэм К.У. Магмы и гидротермальные флюиды // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М., 1982. С. 71–121.
2. Голованов И.М., Николаева Е.И., Кажихин М.А. Комплексная прогнозно-поисковая модель меднопорфировой формации. – Ташкент: ФАН, 1988.
3. Звездов В.С. Строение рудоносных штокверков меднопорфировых месторождений // Геология рудных месторождений. 1983. № 3. С. 17–30.

4. Звездов В.С., Кривцов А.И., Старостин В.И. Структурно-петрофизические условия формирования меднопорфировых месторождений // Геология рудных месторождений. 1985. № 5. С. 3–21.
5. Звездов В.С., Мигачев И.Ф. Строение и условия формирования не выходящего на дневную поверхность меднопорфирового месторождения Кызата // Геология рудных месторождений. 1986. № 1. С. 73–80.
6. Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Гирфанов М.М., Заури Н.М. Обстановки формирования меднопорфировых рудно-магматических систем // Геология рудных месторождений. 1989. № 4. С. 23–37.
7. Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Прогнозно-поисковые модели комплексных рудно-магматических систем вулканоплутонических поясов Востока России // Отечественная геология. 2011. № 3. С. 13–21.
8. Звездов В.С., Тихонов В.С. Тепломассоперенос в меднопорфировых рудообразующих системах по данным математического моделирования // Руды и металлы. 1995. № 6. С. 52–57.
9. Кривцов А.И. Распределение масс и содержаний металлов в гидротермальных рудообразующих системах // Отечественная геология. 1996. № 8. С. 13–20.
10. Кривцов А.И., Звездов В.С., Гирфанов М.М., Егорова И.В. Количественные характеристики рудообразующих меднопорфировых систем // Отечественная геология. 1995. № 1. С. 17–28.
11. Кривцов А.И., Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Минина О.В. Меднопорфировые месторождения. Сер. Модели месторождений цветных и благородных металлов. – М.: ЦНИГРИ, 2001.
12. Кривцов А.И., Мигачев И.Ф., Шишаков В.Б. Морфологическая классификация меднопорфировых месторождений. Обзор. – М.: ВИЭМС, 1980.
13. Меднопорфировые месторождения Алмалыка / Х.Т.Тюляганов, В.Г.Гарьковец, М.Р.Рамазанов, и др. – Ташкент: ФАН, 1974.
14. Минина О.В. Каульдинская рудно-магматическая система в Узбекистане как основа прогноза и поисков эпitherмальных золоторудных месторождений в комплексных рудных районах // Отечественная геология. 2006. № 3. С. 83–90.
15. Минина О.В., Звездов В.С., Мигачев И.Ф., Гирфанов М.М. Крупные меднопорфировые рудно-магматические системы и их геотектоническая позиция: Обзор. Сер. Геология, методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. – М.: ВИЭМС, 1991. Вып. 6.
16. Шаякубов Т.Ш., Голованов И.М., Рахубенков А.Т. Меднопорфировое месторождение Дальнее. – М.: Недра, 1983.
17. Cook D.R., Hollings P., Walshe J.L. Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls // Econ. Geol. 2005. Vol. 100. P. 801–818.
18. Corbett G.J., Leach T.M. Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration and mineralization // Soc. of Econ. Geol. Spec. Pub. 1998. № 6. 1–237.
19. 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 // Econ. Geol. 2005. Vol. 100. P. 819–833.
20. Gruen G., Heinrich C.A., Schroeder K. The Bingham Canyon Porphyry Cu-Mo-Au Deposit. II. Vein Geometry and Ore Shell Formation by Pressure-Driven Rock Extension // Econ. Geol. 2010. Vol. 105. P. 69–90.
21. Hedenquist J.W., Taran Y.A. Modeling the formation of advanced argillic lithocaps: volcanic vapor condensation above porphyry intrusions // Econ. Geol. 2013. Vol. 108. P. 1523–1540.
22. Henley R.W., McNabb A. Magmatic vapor plums and ground-water interaction in porphyry copper emplacement // Econ. Geol. 1978. Vol. 73. № 1. P. 1–20.
23. Lowell J.D., Guilbert J.M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits // Econ. Geol. 1970. Vol. 65. P. 373–409.
24. Mitchell A.G., Leach T.M. Epithermal gold in the Philippines: island arc metallogenesis, geothermal systems and geology. – New York: Academic Press, 1991.
25. Norton D.L. Fluid and heat transport phenomena typical of copper-bearing pluton environments // Advances in geology of porphyry copper deposits of the southwestern North America. Tucson, 1983. P. 59–72.
26. Richards J.P. Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation // Econ. Geol. 2003. Vol. 98. P. 1515–1533.
27. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems // Econ. Geol. 2010. Vol. 105. P. 3–41.
28. 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.
29. Zvezdov V.S., Migachev J.F., Girfanov M.M. Porphyry copper deposits of the CIS and the models of their formation // Ore Geology Reviews. 1993. Vol. 7. № 6. P. 511–549.

MORPHOLOGICAL TYPES OF PORPHYRY COPPER ORE-BEARING STOCKWORKS AND THEIR FORMATION ENVIRONMENTS

V.S.Zvezdov, I.F.Migachev, O.V.Minina
(Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow)

Porphyry copper stockwork morphology and formation environments are discussed. It is shown that stockwork and orebody forms depend on morphology of ore-bearing porphyry intrusion apical parts and host environment petrophysical features. Presence of low-permeability strata in ore-magmatic system tops affects porphyry intrusion and associated ore-bearing stockwork form. Ore-hosting rock brittle or ductile deformability, along with fluid saturation, initial metal content and sizes of ore-bearing intrusive bodies, determines the scales of ore-generating hydrothermal system manifestation within porphyry copper deposits.

Keywords: porphyry copper deposits, morphology, porphyry intrusions, stockworks, petrophysical features.



АВТОРАМ

1. Статьи направляются на e-mail: rudandmet@tsnigri.ru, rudandmet@yandex.ru. К тексту прилагаются сведения об авторе (авторах) – имя, отчество, фамилия, место работы, должность, учёная степень, учёное звание, телефон, e-mail. В конце статьи ставятся подписи всех авторов.
2. Плата с авторов за публикацию не взимается. Автор, подписывая статью и направляя её в редакцию, тем самым предоставляет редакции право на её опубликование в журнале и размещение в сети «Интернет».
3. Обязательно наличие УДК, аннотации (500–600 знаков) и ключевых слов на русском и английском языках.
4. Максимальный объём статьи – 20 страниц в редакторе MS Word, включая таблицы, графику, список литературы. Таблицы и рисунки помещаются в отдельные файлы (их максимальный размер 23×16 см).
5. Иллюстративные материалы (не более 5–7) представляются в цветном или чёрно-белом варианте в одном из следующих форматов: CDR для векторной графики, JPG, BMP, TIFF для фотографий, диаграмма MS Excel. Подписи прилагаются на отдельной странице после списка литературы.
6. Направление в редакцию работ, опубликованных ранее или же намеченных к публикации в других изданиях, не допускается.