



СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.462'43'41 (571.52)

Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва

Geological structure, ore-metasomatic and mineralogical geochemical zoning of Au-Mo-Cu porphyry Kyzyk-Chadr deposit, Tyva republic

Андреев А. В., Гирфанов М. М.,
Старостин И. А., Авилова О. В., Кряжев С. Г.,
Юрмазов Д. Н., Бабкин И. А., Семёнов М. И.

Andreev A. V., Girfanov M. M.,
Starostin I. A., Avilova O. V., Kryazhev S. G.,
Yurmazov D. N., Babkin I. A., Semenov M. I.

Рассмотрены основные черты геологического строения, вещественный состав руд и метасоматитов, рудно-метасоматическая и изотопно-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр одноимённого рудного узла Ожинского рудного района Алтае-Саянской минерагенической провинции. Установлен комплекс геолого-поисковых признаков – элементов геолого-поисковой модели месторождения, который может быть использован для повышения эффективности проведения дальнейших геологоразведочных работ в пределах перспективных площадей Саяно-Алтайского региона.

Ключевые слова: золотосодержащее молибден-медно-порфировое оруденение, Алтае-Саянская провинция, Кызыкчадрский рудный узел, месторождение Кызык-Чадр, рудно-метасоматическая зональность, геолого-поисковые признаки.

Major geological structure features, ore and metasomatic composition, ore-metasomatic and isotope-geochemical zoning are considered for Kyzyk-Chadr deposit within the namesake ore cluster of Ozhinsky ore district, Altai-Sayany mineragenic province. A set of geological and prospecting evidence (elements of the deposit geological and prospecting model) was defined; it can be used to improve the efficiency of further exploration within Sayany-Altai region prospects.

Keywords: Au-rich Mo-Cu porphyry mineralization, Altai-Sayany province, Kyzyk-Chadr deposit, ore-metasomatic zoning, geological and prospecting evidence.

Для цитирования: Андреев А. В., Гирфанов М. М., Старостин И. А., Авилова О. В., Кряжев С. Г., Юрмазов Д. Н., Бабкин И. А., Семёнов М. И. Геологическое строение, рудно-метасоматическая и минералого-геохимическая зональность золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, Республика Тыва. Руды и металлы. 2021. № 1. С. 57–76. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10004.

For citation: Andreev A. V., Girfanov M. M., Starostin I. A., Avilova O. V., Kryazhev S. G., Yurmazov D. N., Babkin I. A., Semenov M. I. Geological structure, ore-metasomatic and mineralogical geochemical zoning of Au-Mo-Cu porphyry Kyzyk-Chadr deposit, Tyva republic. Ores and metals, 2021, № 1, pp. 57–76. DOI: 10.47765/0869-5997-2021-10004.

Золотосодержащее молибден-медно-порфировое месторождение (потенциальное месторождение) Кызык-Чадр выявлено и оценено в пределах Кызыкчадрского рудного узла Ожинского рудного района Алтае-Саянской минерагенической провинции. Месторождение открыто в 1951 г., опосредованно и разведывалось до 1977 г. В разные годы изучалось Э. Л. Варандом (1955–1956), Р. Т. Уссаром (1976–1977), М. И. Семёновым (2009–2015) и другими геологами. Из-за недостаточно высокого качества руд и удалённости от промышленных центров объект к освоению не привлекался. Ситуация принципиально изменилась в связи с началом строительства железной дороги Курагино-Кызыл (рис. 1), проходящей в 50 км к западу от месторождения. В 2017–2019 гг. после длительного перерыва на объекте были проведены ревизионные поисковые и оценочные работы силами АО «Сибирское ПГО» (подразделение АО «Росгеология») при участии ФГБУ «ЦНИГРИ» и ряда других организаций. Работы выполнены за счёт средств федерального бюджета. В результате на месторождении Кызык-Чадр оценены и апробированы прогнозные ресурсы меди кат. P_1 – 580 тыс. т, кат. P_2 – 290 тыс. т со средними содержаниями (C_{cp}) 0,34 %; молибдена кат. P_1 – 25 тыс. т, кат. P_2 – 12,5 тыс. т, C_{cp} – 0,015 %; золота кат. P_1 – 26,6 т, кат. P_2 – 13,2 т, C_{cp} – 0,156 г/т; серебра кат. P_1 – 132 т, кат. P_2 – 66 т, C_{cp} – 0,77 г/т.

В составе выполненного широкого комплекса геологоразведочных работ проведены специализированные геолого-минералого-геохимические исследования, позволившие уточнить вещественный состав руд и метасоматитов, выявить закономерности зонального строения рудно-метасоматического ореола месторождения Кызык-Чадр, позиции в нём меднорудной зоны и промышленного рудного тела.

Кызыкчадрский рудный узел (рис. 2) расположен в пределах Ожинского рудного района Алтае-Саянской минерагенической провинции, в области сочленения структур трёх разновозрастных складчатых систем: Западно-Саянской каледонской, Восточно-Тувинской салаиро-каледонской и наложенного герцинского Центрально-Тувинского прогиба [11]. Ожинский рудный район отвечает магматогенному

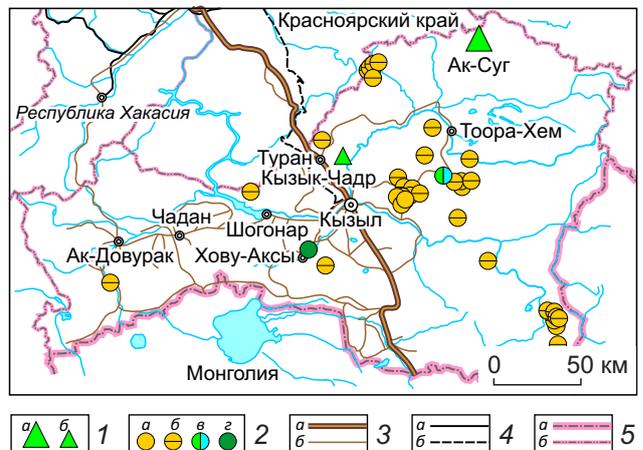


Рис. 1. Схема расположения месторождений цветных и благородных металлов на территории Республики Тыва:

1 – медно-порфировые месторождения: а – крупные, б – средние; 2 – прочие месторождения: а – золота коренного, б – золота россыпного, в – полиметаллов, г – кобальта; 3 – автомобильные дороги: а – федеральная Р257 «Енисей», б – прочие; 4 – железные дороги: а – действующие, б – проектируемые; 5 – административные границы: а – государственная, б – субъектов РФ

Fig. 1. Layout of base and precious metal deposits within Tyva Republic:

1 – porphyry copper deposits: а – major, б – medium-sized; 2 – other deposits: а – primary gold, б – placer gold, в – base metals, г – cobalt; 3 – highways: а – federal P257 “Yenisei”, б – projected; 4 – iron roads: а – active, б – projected; 5 – administrative borders: а – national, б – Russian subjects

палеоподнятию, сформированному одноимённым полиформационным плутоном неправильной овальной формы, который протягивается на 55 км в широтном направлении, достигая 16 км в поперечнике. Плутон сложен породами таннунского интрузивного комплекса габбро-плагиогранитовой формации среднего кембрия, вмещающими малые интрузии кызыкчадрского комплекса габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации среднего–позднего кембрия (возраст комплексов по [4]), и прорывает вендраннекембрийские метаморфизованные вулканогенно-осадочные образования туматтайгинской толщи. Вулканогенных образований,

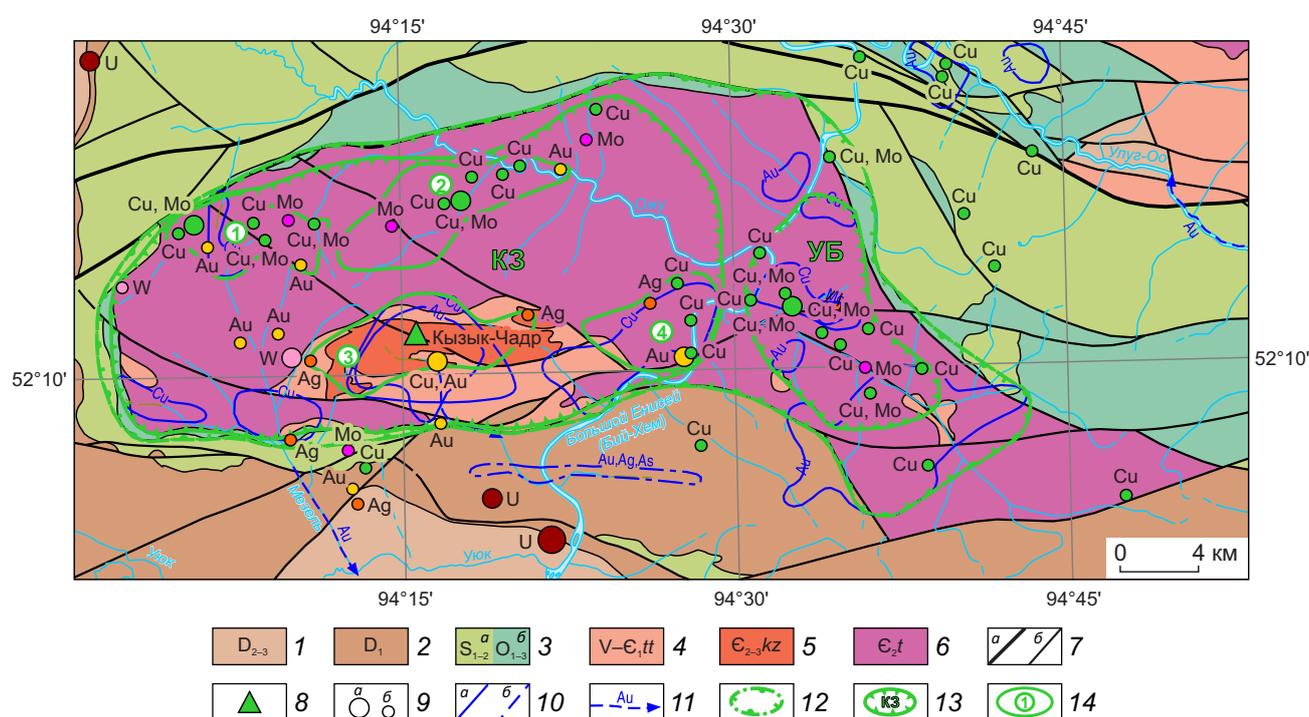


Рис. 2. Геологическая карта Ожинского рудного района, по материалам ГКК-200 (М. И. Семёнов и др., 2015 г.), [3]:

стратифицированные образования: 1 – терригенно-карбонатные озёрно-лагунные отложения Уюкской наложенной впадины (D_{2-3}), 2 – трахиандезибазальт-дацит-трахириолитовый кендейско-саглинский осадочно-вулканический комплекс Центрально-Тувинского прогиба (D_1), 3 – карбонатно-терригенные отложения Систигхемского прогиба (a – молассоидные (S_{1-2}), b – флишоидные (O_{1-3})), 4 – вулканогенно-терригенные метаморфизованные образования Ожинского выступа, туматтайгинская свита ($V-C_{1tt}$); интрузивные образования Ожинского выступа: 5 – габбро-диорит-гранитовый кызыкчадрский комплекс ($E_{2-3}kz$), продуктивный на золото-молибден-медно-порфировое оруденение, 6 – диорит-тоналит-плагиогранитовый таннуольский комплекс (E_{2t}); 7 – тектонические нарушения: a – главные, b – оперяющие; 8 – золотосодержащее молибден-медно-порфировое месторождение Кызык-Чадр; 9 – прочие рудные объекты: a – рудопроявления, b – пункты минерализации (состав оруденения показан цветом и условными знаками основных полезных компонентов); 10 – литохимические ореолы рассеяния: a – в коренных породах, b – в рыхлых отложениях; 11 – потоки рассеяния золота; контуры металлогенических таксонов: 12 – Ожинский золото-молибден-меднорудный район, 13 – рудные узлы (КЗ – Кызыкчадрский, УБ – Улубгусский (прогнозируемый)), 14 – рудные поля (1 – Тараскырское, 2 – Глухариное, 3 – Кызыкчадрское, 4 – Бийхемское)

Fig. 2. Geological map of Ozhinsky ore district, based on SGM-200 (M. I. Semenov et al., 2015), [3]:

stratified units: 1 – terrigenous-carbonate lacustrine-lagoonal deposits of Uyukskaya superimposed trench (D_{2-3}), 2 – trachyandesite-basalt-dacite-trachyrhyolite Kendeisky-Saglinsky volcanosedimentary complex of Central Tuva trough (D_1), 3 – carbonate-terrigenous sediments of Sistighemsky trough: (a – molassoid (S_{1-2}), b – flyshoid (O_{1-3})), 4 – volcanogenic-terrigenous metamorphosed units of Ozhinsky inlier, Tumattaiginskaya suite ($V-C_{1tt}$); intrusive units of Ozhinsky inlier: 5 – gabbro-diorite-granite Kyzyk-Chadr assemblage ($E_{2-3}kz$) productive for Au-Mo-Cu porphyry mineralization, 6 – diorite-tonalite-plagiogranite Tannuolsky complex (E_{2t}); 7 – tectonic deformations: a – major, b – feathering; 8 – Au-Mo-Cu porphyry Kyzyk-Chadr deposit; 9 – other ore deposits: a – occurrences, b – mineralization points (mineralization composition is shown in color and major metal symbols); 10 – lithochemical dispersion halos: a – in primary rocks, b – in loose sediments; 11 – gold dispersion flows; contours of metallogenic taxa: 12 – Ozhinsky Au-Mo-Cu ore district, 13 – ore clusters (K3 – Kyzyk-Chadr, UB – Ulubgussky (forecast)), 14 – ore fields (1 – Taraskyrskoye, 2 – Glukharinoye, 3 – Kyzyk-Chadr, 4 – Bikhemskoye)

образующих вулcano-плутонические ассоциации (ВПА) с перечисленными выше плутонитами, на территории рудного узла не выявлено.

Известные в пределах Ожинского плутона проявления медно-порфиrowого оруденения, объединяемые в Кызыкчадрский рудный узел, пространственно связаны с телами кызыкчадрского интрузивного комплекса [3, 4, 10, 11]. Последние образуют вытянутый в субширотном направлении ареал общей площадью ~ 150 км². Интрузивные тела габбро-диорит-гранодиорит-гранитного комплекса сопровождаются зонально построенными полями гидротермальных изменений (серицитизация, окварцевание, альбитизация, хлоритизация, калишпатизация), вторичными и первичными геохимическими аномалиями Cu и её элементов-спутников – Mo, Pb, Zn, Au, Ag, Sb, As и др. В геофизических полях узел выделяется градиентными зонами магнитного и гравитационного полей, маркирующими интрузивные массивы и рудоконтролирующие тектонические нарушения.

В пределах полей метасоматитов располагаются известные рудопроявления и пункты штокверковой, жильно-прожилковой и вкрапленной минерализации меди и молибдена медно-молибден-порфиrowой формации и сопряжённые с ними участки кварцевой, карбонатно-кварцевой жильной и жильно-прожилковой золотоносной минерализации. Известны шлиховые пробы с единичными знаками золота.

В пределах Кызыкчадрского рудного узла по совокупности поисковых признаков выделено несколько потенциальных рудных полей, наиболее изученным из которых на настоящий момент является Кызыкчадрское рудное поле (см. рис. 2). Помимо основного объекта – месторождения Кызык-Чадр – оно включает ряд слабоизученных проявлений и пунктов штокверковой (молибден)-медной прожилково-вкрапленной и жильной (жильно-прожилковой) золотосульфидно-кварцевой минерализации, сопровождающихся крупными ореолами метасоматических изменений комплексного состава. В геохимических полях выделяемые рудные поля оконтуриваются как аномальные зоны, образованные сближенными контрастными концентрически зональными комплексными

первичными и вторичными ореолами рассеяния основных элементов-индикаторов медно-порфиrowого оруденения – Cu (0,01–0,6 %), Mo (0,001–0,02 %), Au (0,01–0,3 г/т), а также элементов-спутников – Ag, Pb, Zn, As, Sb, Bi, Co и др.

Кызыкчадрское рудное поле (рис. 3) локализовано в пределах одноимённого массива продуктивного кызыкчадрского интрузивного комплекса габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формации южной краевой части Ожинского плутона, в участке пересечения разноориентированных оперяющих разрывных нарушений системы субширотного Хемчикско-Азасского глубинного разлома [3]. В плане Кызыкчадрский массив имеет линзовидную, выпуклую к северу форму, вытянут в субширотном направлении на 12,5 км при ширине около 3 км. Для массива характерен широкий диапазон дифференциации магматических образований как по составу, так и по текстурно-структурным особенностям. Отметим, что интенсивные тектоническая проработка и метасоматические изменения значительно затрудняют достоверную диагностику исходных петрографических разностей пород кызыкчадрского комплекса.

Главные фазы комплекса представлены среднезернистыми, часто неравномернозернистыми габбро, габбродиоритами, диоритами, кварцевыми диоритами, монцодиоритами, гранодиоритами, гранитами при преобладающей роли кислых дифференциатов.

В составе продуктивного интрузивного комплекса широко распространены порфиrowые породы, слагающие малые пластинообразные и дайкообразные тела, прорывающие гранитоиды главных фаз. Выделено несколько разновидностей порфиrowых пород: диоритовые порфириты, кварцевые диоритовые порфириты, монцодиорит-порфириты, гранодиорит-порфиры, а также «кварцевые порфиры» гранит-порфиrowого состава, которые могут рассматриваться совместно в составе единой «порфиrowой фазы» кызыкчадрского комплекса.

Стержневой структурой рудного поля является расположенный в центральной части массива сложно построенный порфиrowый интрузив, образованный сближенными в пространстве пластинообразными и дайкообразными

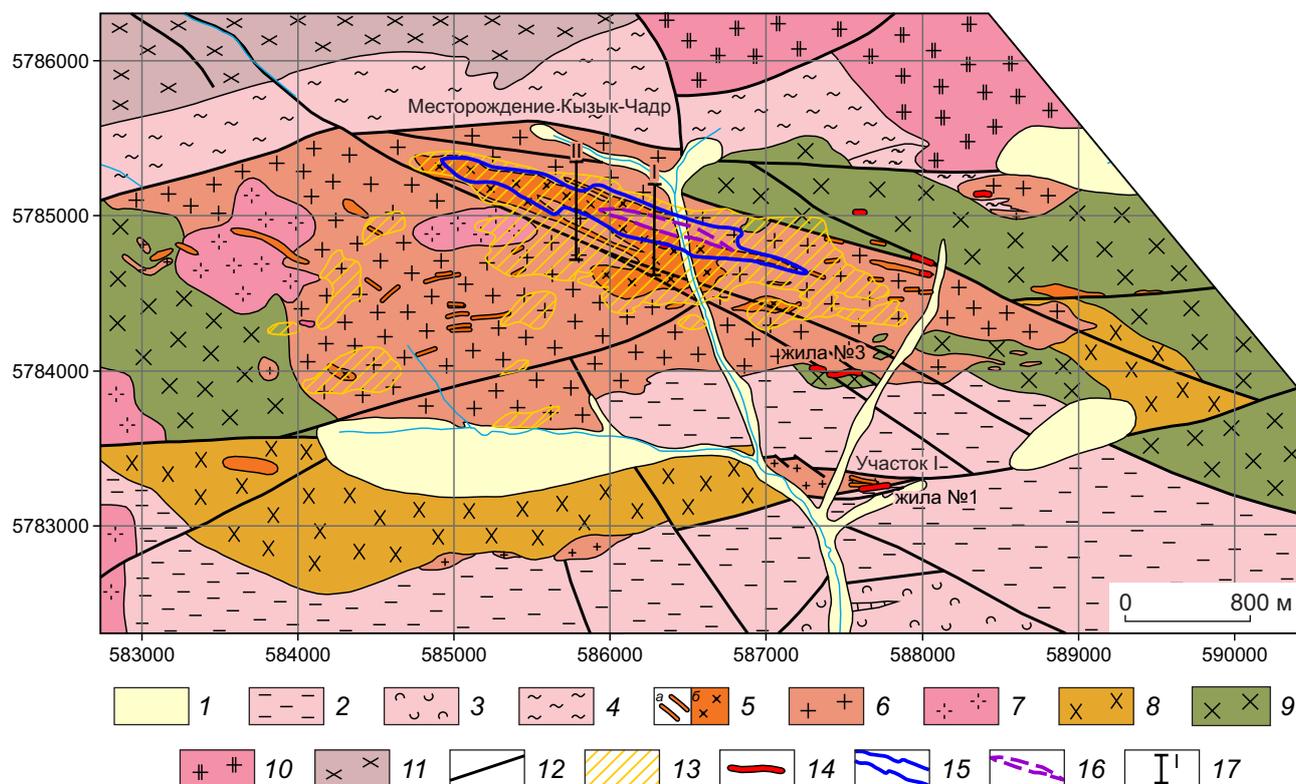


Рис. 3. Геологическая карта центральной части Кызыкчадрского рудного поля, по материалам предшествующих ГРП (Р. Т. Уссар, 1978 г.), с изменениями и дополнениями:

1 – аллювиальные и пролювиальные образования; туматтайгинская свита ($V-C_1t$): 2 – песчаники и алевролиты пестроцветные, 3 – туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты с прослоями лав среднего состава, алевролитов, песчаников, 4 – мигматиты, гнейсы и сланцы; кызыкчадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитовый комплекс ($C_{2-3}kz$), продуктивный на медно-порфировое и золото кварцевое оруденение: 5 – кварцевые диорит-порфириды, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчленённые (рудноносные фазы) (а – отдельные дайки, б – порфировый интрузив, образованный сближенными в пространстве дайкообразными телами порфировых пород различного состава), 6 – граниты, 7 – гранодиориты, 8 – кварцевые монзодиориты, 9 – диориты, габбродиориты; таннуольский габбро-плагиогранитный комплекс (C_1t): 10 – плагиограниты, тоналиты, 11 – диориты, кварцевые диориты; 12 – разрывные нарушения; 13 – участки интенсивных метасоматических изменений и сульфидной минерализации; 14 – кварцевые жилы, в том числе золотоносные; 15 – контур меднорудного тела по бортовому содержанию Cu 0,2 %; 16 – контур наиболее богатой части рудного тела по бортовому содержанию Cu 0,4 %; 17 – линии геологических разрезов

Fig. 3. Geological map of central Kyzyk-Chadr ore field, based on previous exploration (R. T. Ussar, 1978), modified and updated:

1 – alluvial and proluvial units; Tumattaiginskaya suite ($V-C_1t$): 2 – mottled sandstones and aleurolites, 3 – tuffs, tuff breccias, tuff conglomerates banded with intermediate lavas, aleurolites and sandstones, 4 – migmatites, gneisses and schists; Kyzyk-Chadr gabbro-diorite-granodiorite-granite assemblage ($C_{2-3}kz$) productive for porphyry copper and gold-quartz mineralization: 5 – quartz diorite-porphyrates, granodiorite porphyries, quartz porphyries, undivided (ore-bearing phases) (a – individual dikes, b – porphyry intrusive formed by spatially adjacent dike-like bodies of variably composed porphyry rocks), 6 – granites, 7 – granodiorites, 8 – quartz monzodiorites, 9 – diorites, gabbrodiorites; Tannuolsky gabbro-plagiogranite complex (C_1t): 10 – plagiogranites, tonalities, 11 – diorites, quartz diorites; 12 – ruptures; 13 – areas of advanced metasomatic alteration and sulfide mineralization; 14 – quartz veins including gold-bearing ones; 15 – contour of copper orebody based on Cu cutoff (0.2%); 16 – contour of the highest grade orebody portion based on Cu cutoff (0.4%); 17 – geological section lines

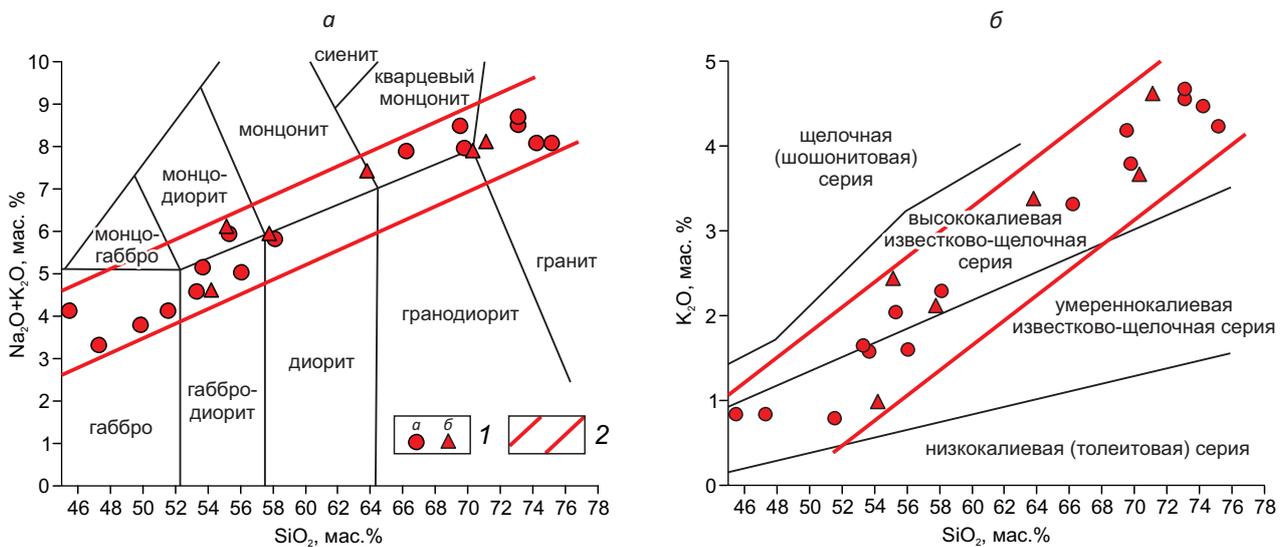


Рис. 4. Петрохимический состав пород кызыкчадрского интрузивного комплекса на диаграммах TAS (а) и $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (б):

1 – фигуративные точки пород: главных фаз (а), порфировых фаз (б); 2 – поля фигуративных точек

Fig. 4. Petrochemical rock composition of Kyzyk-Chadr intrusive complex in diagrams TAS (a) and $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ (b):

1 – figurative rock points: main phases (a), porphyry phases (b); 2 – figurative point fields

телями порфировых пород различного состава (преимущественно гранодиорит- и гранит-порфиры). Порфировый интрузив имеет неправильную плитообразную форму, вытянут в западно-северо-западном направлении на 2,5 км при ширине 50–500 м, имеет крутое, до вертикального, падение и располагается в целом согласно основным дизъюнктивным нарушениям рудного поля. Штокверковое золотосодержащее молибден-медно-порфировое оруденение месторождения Кызык-Чадр, сопровождающееся интенсивными метасоматическими преобразованиями, приурочено к экзо-эндоконтактной зоне рудоносного порфирового интрузива и контролируется зонами трещиноватости и расланцевания в гранитоидах главных фаз продуктивного комплекса.

По своим петрохимическим характеристикам породы кызыкчадрского комплекса относятся к породам известково-щелочной серии с повышенной калиевой щёлочностью. Они формируют петрохимический ряд с постепенным

возрастанием доли K_2O и общей щёлочности от основных разностей к кислым (рис. 4). Рудоносные гранодиорит- и гранит-порфиры по химическому составу полностью соответствуют кислым дифференциатам главных фаз кызыкчадрского комплекса. Породы таннуольского комплекса, слагающие большую часть Ожинского плутона к северу от Кызыкчадрского рудного узла, характеризуются гораздо более низкими значениями K_2O и общей щёлочности, а также рядом других петрохимических параметров [3], что позволяет чётко отделить от них породы продуктивного кызыкчадрского комплекса, в том числе их рудоносные порфировые фазы.

По своему химическому составу породы кызыкчадрского комплекса схожи с породами других интрузивных комплексов, с которыми связан ряд известных медно- и молибден-порфировых месторождений Сибирского региона и Монголии – Жирикенское, Сорское, Эрдентуин-Обо [12].



Пострудные дайки, широко распространённые в пределах Кызыкчадрского рудного узла, представлены диоритовыми порфиритами, андезитами и долеритами, которые часто затруднительно отнести к тому или иному интрузивному комплексу.

Установленные минералого-петрографические и петрохимические характеристики можно использовать для идентификации образований рудоносного кызыкчадрского комплекса в составе Ожинского плутона (в том числе по ретроспективным петрохимическим данным) и выделения на этой основе новых поисковых участков, перспективных на медно-порфировое оруденение.

В геофизических полях Кызыкчадрское рудное поле характеризуется чередованием участков повышенного и пониженного магнитного поля, отражающим сочетание зон гидротермальных изменений и рудной минерализации различных типов, а также аномалиями ВП, фиксирующими мощные зоны сульфидизации (пиритизации), развитые преимущественно на флангах штокверковых рудных тел.

Месторождение Кызык-Чадр – основной объект Кызыкчадрского рудного узла, традиционно относится по комплексу признаков к золото-молибден-медно-порфировому геолого-промышленному типу [3, 4, 10, 11]. Месторождение располагается в наиболее интенсивно дислоцированной осевой части зоны субширотного глубинного разлома, сопровождаемого серией оперяющих тектонических нарушений различного порядка, выраженных зонами трещиноватости, катаклаза, милонитизации, рассланцевания, брекчирования. Площадь месторождения сложена преимущественно среднезернистыми гранитами кызыкчадрского комплекса, прорванными сложно построенным порфировым интрузивом, его апофизами и дайками. В краевой части интрузива присутствуют разрозненные тела приконтактовых эксплозивных брекчий, что предполагает относительно малый эрозионный срез рудно-магматической системы объекта. В экзо-эндоконтактах порфирового интрузива развит конформный ему рудоносный штокверк с прожилково-вкрапленной рудной минерализацией, сопровождающейся

зонально построенным ореолом гидротермально-метасоматических изменений (см. рис. 3).

Минерализованная зона месторождения Кызык-Чадр, включающая потенциально-промышленные рудные тела, оконтуривается по изоконцентрате Cu 0,05 % и представляет собой крутопадающую линейную штокверковую зону (1700 × 100)–(300 × 300)–500 м, приуроченную к пластинообразному порфировому интрузиву. Минерализованная зона сопровождается первичными ореолами рассеяния Mo , Au , Ag и элементов-спутников – Pb , Zn и др. Вариации содержаний главных рудных компонентов в пределах минерализованной зоны составляют: Cu – 0,05–0,5 %, редко до 1–2,6 %; Mo – 0,005–0,02 %, редко до 0,08 %; Au – 0,0 n –0, n г/т, редко до 1–2 г/т; Pb – 0,004–0,03 %, редко до 0,1–0,4 %; Zn – 0,005–0,032 %, редко до 0,1–1 %. Содержания в рудах элементов-примесей по данным спектрального анализа составляют (в ppm): Sn – 10–30, Co < 10, Ni – 5–10, Ag – 0,5–1,0, W – 10–50, As – 60–800, Sb – 30–200, Hg – 5 ppb. По геохимическим признакам эрозионный срез объекта оценивается как верхнерудный.

Границы потенциально промышленных рудных тел в пределах минерализованной зоны выделяются только по данным опробования, по бортовому содержанию меди 0,2 %, и в целом конформны контактам порфирового интрузива. Главные попутные компоненты руд – молибден и золото, которые значительно повышают общую ценность руд. Кроме них в качестве попутных компонентов присутствуют серебро, рений, селен.

В верхней части рудного тела месторождения Кызык-Чадр развита зона гипергенеза. В её составе выделяется зона выщелачивания (с уменьшением содержаний Cu в рудных телах в 2–3 раза, до 0,1 % и ниже) мощностью 10–20 м, невыдержанная, от 0 м в плотных окварцованных участках до 100 м вдоль разрывных нарушений. Зона окисления развита до глубины 40–100 м, невыдержанная, преобладают полуюкисленные руды. Зона вторичного сульфидного обогащения проявлена фрагментарно.

Судя по данным бурения, рудоносная зона, включающая потенциально промышленное медно-порфировое оруденение, может продол-

жаться на глубину до 700–800 м и более. Также возможно выявление не вскрытых на поверхности новых кулисообразных рудных тел, верхние выклинки которых вероятно вскрыты в пересечениях скважин на южном фланге месторождения.

Метасоматические изменения. Рудоносные порфиры и вмещающие их фанеритовые гранитоиды месторождения интенсивно гидротермально изменены на значительной площади. Главные минералы метасоматического ореола – кварц, серицит, хлорит, альбит, карбонаты, калишпат, мусковит, эпидот; изредка отмечается вторичный биотит в виде реликтов. Перечисленные вторичные минералы входят в состав следующих типов гидротермально-метасоматических изменений, традиционно выделяемых на месторождениях медно-порфиrowого типа: калиево-кремниевые, филлизитовые и пропилитовые [5, 6].

Калиево-кремниевые изменения проявлены калишпатизацией, окварцеванием и биотитизацией гранитоидов. На месторождении Кызык-Чадр реликты калиевых изменений выявлены в центральной (осевой) его части. Здесь кварц и калишпат образуют в породах неравномерно распространённые разнозернистые срастания в виде вкрапленности, зонков, гнёзд размером от первых миллиметров до первых сантиметров. Они также формируют штокверк калишпат-кварцевых, кварцевых, в меньшей степени кальцит-калишпат-кварцевых, иногда с хлоритом, прожилков мощностью от первых миллиметров до первых сантиметров. Вторичный биотит, характерный для изменений этого типа, установлен на месторождении Кызык-Чадр лишь в единичных случаях в виде хлоритизированных реликтов, в отличие от типичных медно-порфиrowых месторождений.

Филлизитовые изменения являются ведущим типом метасоматических изменений Кызык-Чадра. Размеры ореола развития филлизитовых изменений на поверхности рудного поля – около 4000 × 700 м. Изменения выражены интенсивными серицитизацией, окварцеванием и хлоритизацией, иногда развиты карбонатизация и альбитизация. При этом плагиоклаз замещается агрегатными псевдоморфозами се-

рицита, альбита, иногда карбоната, тёмноцветные минералы – кварцем, хлоритом, серицитом или мусковитом, калишпат – шахматным альбитом и кальцитом. Филлизиты сопровождаются штокверком кварцевых и карбонат-кварцевых прожилков и маломощных жил.

Развиваются филлизиты преимущественно по среднезернистым гранитам, а в пределах осевой части месторождения – по телам порфиrow. Наиболее интенсивно изменены породы, которые подверглись существенной тектонической проработке – катаклазу, брекчированию, рассланцеванию. Расположенные на флангах месторождения тела гранодиоритов, кварцевых диоритов и монзонитоидов кызыкчадрского комплекса слабо затронуты этими изменениями.

Филлизиты накладываются по системе разнорядковых трещин на более ранние калиево-кремниевые изменения, зачастую полностью их замещая. Степень окварцевания, серицитизации и карбонатизации возрастает с приближением к крупным осевым трещинным структурам, маркируемым зонами интенсивно проявленных изменений этого типа.

Широкое развитие филлизитовых изменений на месторождении Кызык-Чадр, как и редуцированное развитие калиево-кремниевых изменений, является характерной особенностью рассматриваемого объекта.

На глубоких уровнях степень серицитизации в изменениях этого типа значительно снижается, преобладают окварцевание и хлоритизация, усиливается альбитизация, и они постепенно переходят в пропилилоподобные образования существенно кварц-альбит-хлоритового состава.

Пропилитовые изменения на месторождении Кызык-Чадр представлены типичной для таких изменений минеральной ассоциацией: хлорит, минералы эпидот-цоизитового ряда, альбит, иногда кальцит, кварц, серицит. Собственно пропилитовые изменения развиты на периферии месторождения. С удалением от рудоносной зоны пропилиты переходят в зону слабых гидротермальных изменений, трудноотличимых от продуктов регионального метаморфизма.



Рудная минерализация. Руды месторождения Кызык-Чадр имеют относительно простой минеральный состав. Главные рудные минералы – пирит, халькопирит, молибденит; второстепенные – блёклые руды, борнит, магнетит, гематит, рутил; редкие – галенит, сфалерит, арсенопирит, энаргит, самородное золото (рис. 5).

Структуры руд неравнозернистые, гипидиоморфнозернистые, реже аллотриоморфнозернистые; микроструктуры – ситовидные, микропойкилитовые, разъедания, нитевидные, каёмчатые, реликтовые.

Текстуры руд вкрапленные, прожилково-вкрапленные, прожилковые, полосчатые. Микротекстуры – прожилковые, цементные, брекчиевые, сетчатые, брекчиевидные.

Пирит является наиболее распространённым рудным минералом месторождения и его периферии. Даже в пределах медно-рудной зоны месторождения количество пирита зачастую превышает количество халькопирита. Пирит образует вкрапленность, гнёзда, линзы, шлиры, прожилки совместно с кварцем, кальцитом, хлоритом в различных соотношениях. Количество пирита варьирует от долей до 5–7 %.

Халькопирит – основной медный минерал медно-порфировых руд месторождения, образует вкрапленность, микропросечки (в том числе в пирите), гнёзда в прожилках кварцевого, карбонат-кварцевого, кварц-калишпатового составов. Халькопирит иногда содержит включения галенита и пирита, в виде микропрожилков в пирите ассоциирует с блёклой рудой. Содержание халькопирита в метасоматитах редко превышает 1,5 %, с чем связано общее низкое содержание меди в руде.

Молибденит редко образует крупные скопления, в основном – мелкие тонкочешуйчатые выделения. Изредка молибденит представлен видимой вкрапленностью и гнёздами в прожилках кварца, примазками по тектоническим трещинам.

Самородное золото – один из важнейших попутных компонентов медно-порфировых руд, существенно повышающий их ценность. В рудах месторождения Кызык-Чадр золото преимущественно образует мелкие (от 1–5 мкм) включе-

ния в пирите, халькопирите и борните. В рудных и нерудных минералах месторождения присутствуют также более крупные обособления золота размерами до 0,1–0,2 мм (рис. 6).

Кроме основных рудных минералов в меднорудной зоне и на её периферии установлены редко встречающиеся магнетит, борнит, блёклая руда, рутил, галенит, сфалерит, арсенопирит.

Магнетит фиксируется в осевых частях рудной зоны, образует неравномерно распределённую вкрапленность, иногда неравномерно замещён гематитом. *Борнит* представлен вкрапленностью наряду с халькопиритом и пиритом и отмечен только в верхних частях минерализованной зоны. *Блёклая руда теннантит-ттраэдритового ряда* образует сростания с халькопиритом в микропрожилках. *Рутил* формирует тонкую вкрапленность, прожилковидные и гнездовые мелкозернистые скопления, часто пространственно ассоциирует с халькопиритом. *Галенит* и *сфалерит* присутствуют в виде вкрапленности и сростков в прожилках кварца и гнёздах окварцевания. *Арсенопирит* образует вкрапленность идиоморфных кристаллов, пересекается тонкими микропрожилками халькопирита в сростании с блёклой рудой.

По результатам минералогического изучения в ФГБУ «ЦНИГРИ» лабораторно-технологической пробы руд месторождения Кызык-Чадр, среднее содержание пирита в рудах составило 4,5 %, халькопирита 1,5 %. Молибденит, галенит, блёклая руда и магнетит присутствуют в виде незначительной примеси. Самородное золото преимущественно образует свободные мелкие зёрна размером 0,1–0,2 мм, в меньшем количестве присутствуют тонкие включения самородного золота в ассоциации с халькопиритом.

В приповерхностных условиях в верхней части минерализованной зоны неравномерно развита зона окисления и вторичного сульфидного обогащения переменной мощности. Степень преобразования первичных рудных минералов в основном умеренная. Халькозин, дигенит, ковеллин и куприт замещают халькопирит, часто с образованием тонких прожилков и каёмок; малахит, хризокolla, азурит образуют примазки; локально развиты дендриты и прожилки самородной меди. Наиболее широко распрост-

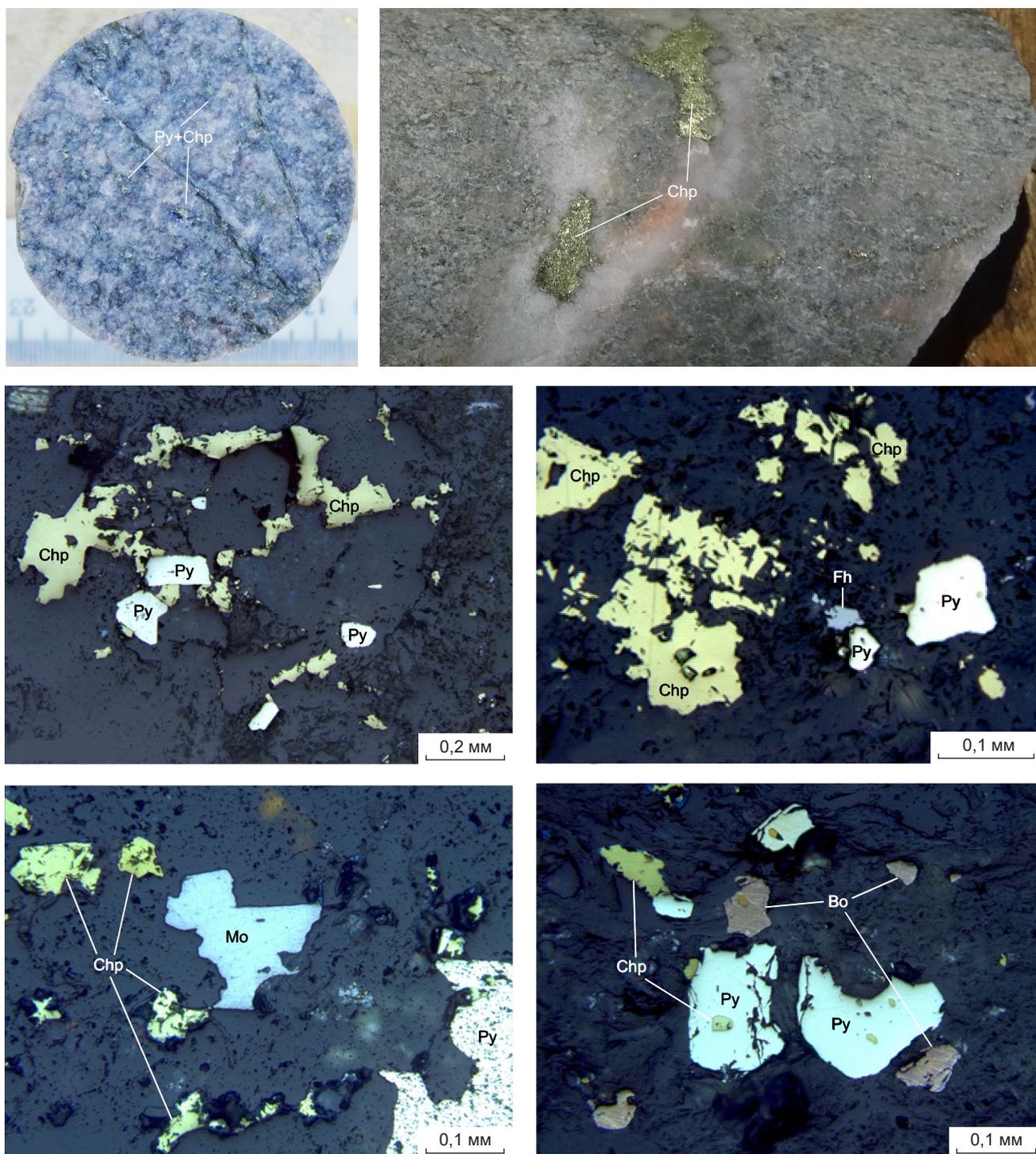


Рис. 5. Медно-порфировые руды месторождения Кызык-Чадр в образцах и полированных шлифах:

Py – пирит, Chp – халькопирит, Fh – блёклая руда, Mo – молибденит, Bo – борнит

Fig. 5. Kyzyl-Chadr porphyry copper ores in samples and polished sections:

Py – pyrite, Chp – chalcopyrite, Fh – fahlore, Mo – molybdenite, Bo – bornite

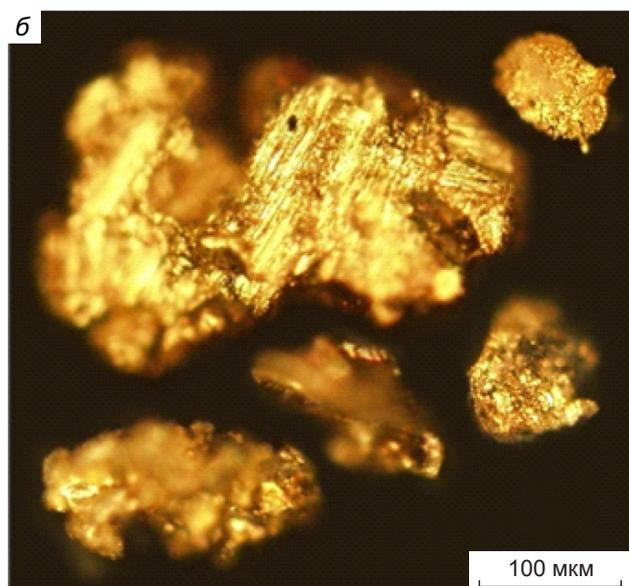
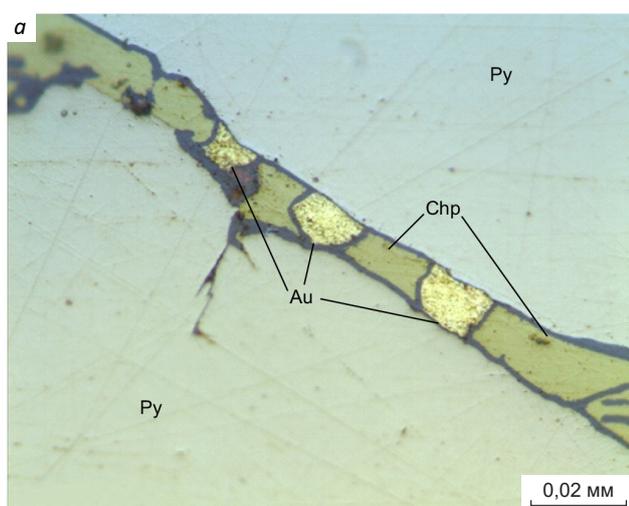


Рис. 6. Формы выделения самородного золота в рудах месторождения Кызык-Чадр в полированном шлифе (а), в гравиконцентрате лабораторно-технологической пробы (б):

Py – пирит, Chp – халькопирит, Au – золото

Fig. 6. Native gold forms in Kyzyk-Chadr ores in a polished section (a), in gravity concentrate of laboratory technological sample (b):

Py – pyrite, Chp – chalcopyrite, Au – gold

ранены гидроксиды железа, которые образуются по пириту и халькопириту.

На основании наблюдаемых минеральных соотношений и положения агрегатов в объёме рудно-магматической системы, а также по аналогии с известными месторождениями медно-порфиrowого типа, рудные минералы месторождения Кызык-Чадр объединены в следующие рудные минеральные ассоциации (от ранних к поздним): магнетитовая, халькопиритовая, молибденитовая, пирит-халькопиритовая, пиритовая, галенит-сфалеритовая (полисульфидная), блёкчлорудная [5].

Магнетитовая минеральная ассоциация представлена магнетитом, который на месторождении распространён ограниченно, преимущественно в виде редких микровключений в пирите, фиксирующихся обычно вблизи границы области распространения халькопиритовой ассоциации. Вероятно, эти выделения являются реликтами и могут свидетельствовать об интенсивном замещении рудно-метасоматических образований ранней стадии поздними.

Халькопиритовая ассоциация представлена халькопиритом, отличается практически полным отсутствием пирита. Она выявлена во внутренних частях минерализованного ореола месторождения, но, как правило, характеризуется относительно невысокими содержаниями меди. Может быть сопоставлена с магнетит-борнит-халькопиритовой ассоциацией крупных типовых медно-порфиrowых месторождений, однако на месторождении Кызык-Чадр магнетит и борнит в её составе практически не отмечаются (возможно, они замещены или разложены на поздних стадиях минералообразования).

Молибденитовая ассоциация выделена и оконтурена по наличию молибденитовой минерализации; её контур отвечает содержаниям $Mo > 0,005 \%$, т. е. промышленно извлекаемым концентрациям молибдена; обнаруживает видимую корреляцию с основной меднорудной пирит-халькопиритовой ассоциацией.

Пирит-халькопиритовая ассоциация сложена пиритом и халькопиритом с широкими вариациями их соотношений, контур её распространения отвечает содержаниям $Cu > 0,05 \%$. Повсеместно содержит примесь молибденита;

вероятно, образует с молибденитовой ассоциацией единый пирит-халькопирит-молибденитовый минеральный комплекс (тип руд).

Пиритовая ассоциация представлена пиритом, слагает «пиритовый ореол» во внешних частях филлизитовой зоны и во внешней пропилитовой зоне.

Галенит-сфалеритовая (полисульфидная) ассоциация представлена сфалеритом, галенитом, выделяется по повышенным (0,05–0,1 % и более) содержаниям этих элементов. Также в ассоциацию могут входить пирит, халькопирит, блёклые руды, золото. Как правило, сопровождается кварц-карбонатную прожилковую минерализацию.

Блеклорудная (медно-сурьяно-мышьяковистая) ассоциация представлена блёклыми рудами теннантит-тетраэдритового ряда, ассоциирующими с пиритом, борнитом, халькопиритом. Развита локально, в зонах разрывных нарушений, часто ассоциирует с полисульфидной ассоциацией, с которой, вероятно, образует единый полиметаллический минеральный комплекс.

Золоторудная минерализация на месторождении развита неравномерно. Её максимумы в значительной степени контролируются тектоническими нарушениями, в связи с чем часто совпадают с проявлениями полисульфидной и мышьяковистой минерализаций. В то же время во многих случаях отмечается сочетание повышенных содержаний золота с основными продуктивными пирит-халькопиритовой и молибденитовой минеральными ассоциациями. Кроме того, на флангах штокверкового рудного тела, на его выклиниваниях по простиранию и, вероятно, по восстанию присутствуют мало-мощные (до 14 м) непротивлённые (40–170 м) золотосульфидные минерализованные зоны с осевыми золотокварцевыми жилами.

Рудно-метасоматическая зональность (РМЗ) месторождения Кызык-Чадр определяется закономерным расположением в пространстве зон, образованных телескопированием гидротермально-метасоматических изменений калиево-кремниевого, филлизитового и пропилитового типов и связанных с их развитием рудных минеральных ассоциаций [1, 7, 13].

В поперечном сечении (рис. 7) зональность гидротермально-метасоматических изменений на месторождении заключается в смене от центра к периферии следующих генерализованных метасоматических зон: калиевой (кварц-калишпатовой), сохранившейся в виде реликтов; филлизитовой (кварц-серицитовой); пропилитовой с двумя подзонами – внутренней пропилитовой (кварц-хлоритовой) и внешней пропилитовой (эпидот-хлоритовой). В экзоконтактах порфирированного интрузива фрагментарно развито интенсивное прожилковое окварцевание («кварцевый штокверк»).

Калиевая зона определяется наличием интенсивно проявленных изменений калиево-кремниевого типа. Типоморфные минералы зоны – кварц и калишпат; широко развит хлорит, замещающий тёмноцветные минералы, однако, в отличие от типичных медно-порфирированных месторождений, практически не установлен вторичный биотит или его хлоритизированные реликты. В небольших количествах присутствуют наложенные альбит, серицит и другие минералы поздней системы. Калиевая зона распространена крайне ограниченно, что может быть результатом особенностей условий рудообразования.

Внутренняя пропилитовая зона определяется телескопированием тесно связанных с филлизитами пропилитоподобных образований и умеренно проявленных изменений калиево-кремниевого типа (аналоги этой зоны выделяются под различными названиями на всех значительных месторождениях медно-порфирированного типа [1, 2, 8, 13]). Типоморфные минералы зоны – кварц, хлорит, альбит, в подчинённых количествах могут присутствовать эпидот, серицит, карбонат; калишпат практически отсутствует. Данная зона достаточно определённо выделяется как визуально, так и по результатам петрографических исследований, содержит значительную долю меднорудной минерализации месторождения.

Филлизитовая зона определяется преобладанием интенсивных изменений филлизитового типа. Типоморфные минералы зоны – серицит, кварц, хлорит, иногда присутствуют карбонат, альбит, эпидот. Филлизитовая зона весьма



интенсивно и широко развита на месторождении, что так же, как и редуцированное развитие калиевой зоны, является характерной особенностью данного объекта.

Внешняя пропилитовая зона определяется преобладающим развитием собственно пропилитовых изменений на периферии месторождения. Типоморфные минералы зоны – хлорит, минералы эпидот-цоизитового ряда, альбит, иногда кальцит, редко серицит. Типичная периферическая зона рудно-метасоматических ореолов медно-порфириновых месторождений, переходящая в зону слабых гидротермальных изменений, трудно отличимых от продуктов регионального метаморфизма.

Общая морфология метасоматического ореола и его отдельных зон конформны пластинообразным телам кулисно построенного рудноносного порфирированного интрузива и его апофиз.

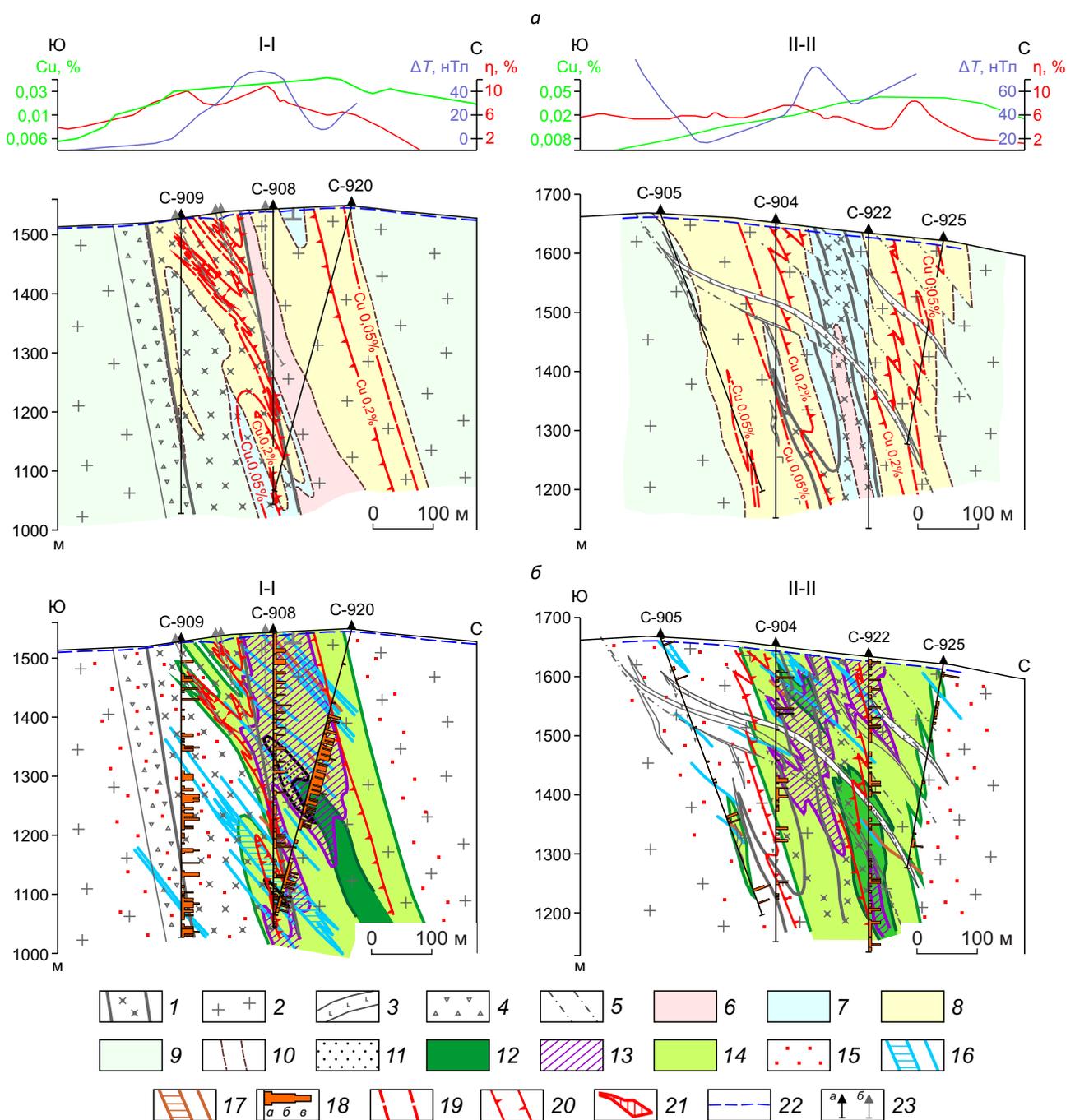
Рудная составляющая РМЗ заключается в смене от центра к периферии зон преобладающего распространения рудных минеральных и соответствующих им минералого-геохимических ассоциаций, занимающих определенное положение относительно системы зон гидротермально-метасоматических изменений. Редуцированная халькопиритовая ассоциация с реликтами магнетита в её краевых частях фиксируется во внутренних частях калиевой зоны. С удалением от предполагаемого центра системы, в участках сопряжения калиевой, внутренней пропилитовой и филлизитовой зон, локализуется собственно медно-порфирированное оруденение, представленное основной продуктивной пирит-халькопиритовой ассоциацией и тесно связанной с ней молибденитовой минеральными ассоциациями, развитыми в полосе общей мощностью от 150 до более 200 м. На флангах меднорудной зоны, во внешних частях филлизитовой и внешней пропилитовой зон развит широкий (до 400 м на южном фланге и до 200 м на северном) ореол пиритовой минерализации («пиритовый ореол»). Содержания пирита здесь достигают 3–5 % и более. Широкое развитие имеют кварц-пиритовые прожилки, изредка в прожилках отмечается молибденит. Медная минерализация в этой части рудной зоны крайне слабая, количество халькопирита редко дости-

гает 0,1 % в отдельных маломощных зонках. На периферии рудно-метасоматического ореола во внешней пропилитовой зоне отмечается бедная вкрапленность пирита.

Полиметаллическая минерализация, включающая полисульфидную (галенит-сфалеритовую) и блеклорудную минеральные ассоциации, распространена фрагментарно как во внутренних, так и внешних частях рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр и приурочена к дискордантным (диагональным в плане) крутопадающим зонам малоамплитудных тектонических разрывных нарушений.

Морфология и распределение зон рудной минерализации различного состава в поперечных сечениях рудоносной зоны месторождения Кызык-Чадр конформна морфологии порфирированного интрузива и зон метасоматических изменений.

В продольном сечении (рис. 8), как и в поперечных, намечаются элементы концентрической метасоматической зональности с локализацией редуцированной калиевой зоны в центральной части рудно-метасоматического ореола месторождения. Калиевая зона облекается внутренней пропилитовой зоной, сменяющейся на флангах интенсивно проявленной филлизитовой зоной. Как видно, общая морфология метасоматического ореола и его отдельных зон вполне конформны пластинообразным телам кулисно построенного порфирированного интрузива и его апофиз. Морфология и распределение в продольном сечении зон рудной минерализации различных составов также вполне конформна морфологии порфирированного интрузива и зон метасоматических изменений. Редуцированная халькопиритовая ассоциация с реликтами магнетита в её краевых частях меняется с удалением от предполагаемого центра системы на «базовую» пирит-халькопиритовую ассоциацию, затем на пиритовую «пиритового ореола». Полиметаллическая (галенит-сфалеритовая) ассоциация закономерно локализуется в узких крутопадающих линейных зонах, очевидно, контролируемых разрывными нарушениями. К ним же приурочены и локально проявленные участки развития блеклорудной минерализации. Молибденитовая минерализация по распреде-



лению её концентраций и контурам зон практически совпадает с пирит-халькопиритовой.

Таким образом, на месторождении проявлена концентрическая зональность, симметричная в поперечном и асимметричная в продольном сечениях (калиевая зона в наиболее полном виде развита только в восточной части оре-

ла, тогда как в западной резко преобладают филлизитовые изменения).

Минералогическая и изотопно-геохимическая зональность месторождения. Широкое развитие на месторождении интенсивных изменений филлизитового типа в значительной степени снижает контрастность рудно-метасо-

Рис. 7. Поперечные схематические разрезы через минерализованную зону месторождения Кызык-Чадр с метасоматической (а) и рудно-минералогической (б) нагрузкой; графики значений вызванной поляризуемости (η , %) и интенсивности магнитного поля (ΔT , нТл) по материалам Р. Т. Уссара, 1978 г., АО «Сибирское ПГО»; график содержания Cu (%) в ВОР по материалам АО «Сибирское ПГО»:

1 – рудоносный порфировый интрузив (кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры); 2 – породы главных фаз кызыкчадрского комплекса (преимущественно граниты); 3 – дайки среднего и основного составов, пострудные; 4 – мелкообломочные брекчии приконтактовых частей порфирового интрузива; 5 – малоамплитудные тектонические нарушения (зоны трещиноватости); генерализованные зоны гидротермально-метасоматических изменений: 6 – калиевая и внутренняя пропилитовая, нерасчленённые (q, cl, fsp, ab, bt \pm src, ca), 7 – внутренняя пропилитовая (q, cl, ab \pm src, fsp, ca), 8 – филлизитовая (src, q, cl \pm ab, ca), 9 – внешняя пропилитовая (ep, cl, ca, ab \pm src); 10 – границы метасоматических зон; области распространения рудных минеральных ассоциаций (от ранних к поздним): 11 – магнетитовая (реликты), 12 – халькопиритовая, 13 – молибденитовая ($Mo \geq 0,005$ %), 14 – пирит-халькопиритовая ($Cu \geq 0,05$ %), 15 – пиритовая, 16 – галенит-сфалеритовая (полисульфидная – $Pb + Zn \geq 0,01$ %), 17 – блеклорудная (медно-сурьмяно-мышьяковистая – $As + Sb \geq 0,01$ %); 18 – содержания Au по данным кернового опробования в градациях (а – 0,05–0,1; б – 0,1–0,5; в – $> 0,5$ г/т); 19 – контур распространения медной минерализации по C_{Cu} 0,05 %; 20 – контур меднорудного тела по $C_{борг}$ 0,2 % (рядовые руды); 21 – блок наиболее богатых руд $C_{ср}$ Cu 0,4 %, по АО «Сибирское ПГО» (на продольном разрезе); 22 – уровень зоны окисления и выщелачивания медных руд; 23 – поисковые скважины: а – работ АО «Сибирское ПГО» 2017–2019 гг., б – предшествующих ГРП

Fig. 7. Schematic cross-sections through Kyzyk-Chadr mineralized zone with metasomatic (a) and ore-mineralogical (b) loading; value charts of induced polarization (η , %) and magnetic field strength (ΔT , nTl) based on materials by R. T. Ussar, 1978, JSC Siberian PGO; Cu values chart (%) in secondary dispersion halos based on JSC Siberian PGO materials:

1 – ore-bearing porphyry intrusive (quartz diorite-porphyrates); 2 – rocks of Kyzyk-Chadr complex main phases (primarily granites); 3 – postore intermediate and basic dikes; 4 – clastic breccias of porphyry intrusive near-surface parts; 5 – low-amplitude tectonic deformations (fracture zones); generalized zones of hydrothermal-metasomatic alteration: 6 – undivided potassic and internal propylitic (q, cl, fsp, ab, bt \pm src, ca), 7 – internal propylitic (q, cl, ab \pm src, fsp, ca), 8 – phyllisite (src, q, cl \pm ab, ca), 9 – outer propylitic (ep, cl, ca, ab \pm src); 10 – metasomatic zone boundaries; distribution areas of ore mineral associations (early to late): 11 – magnetite (relics), 12 – chalcopyrite, 13 – molybdenite ($Mo \geq 0,005$ %), 14 – pyrite-chalcopyrite ($Cu \geq 0,05$ %), 15 – pyrite, 16 – galena-sphalerite (polysulfide – $Pb+Zn \geq 0.01\%$), 17 – fahlore ($Cu-Sb-As - As+Sb \geq 0.01\%$); 18 – Au grades based on core sampling data (a – 0.05-0.1; b – 0.1-0.5; c – > 0.5 g/t); 19 – contour of Cu mineralization distribution at 0.05% Cu; 20 – contour of copper body at 0.2% Cu cutoff (run-of-mine ores); 21 – block of the highest grade ore at 0.4% Cu (average) based on JSC Siberian PGO data (lateral section); 22 – level of copper ore oxidation and leaching zone; 23 – prospecting holes: a – activities by JSC Siberian PGO in 2017-2019, b – previous exploration

матической зональности объекта. В целях оценки возможности повышения эффективности минералогических методов при локальном прогнозировании в пределах площади работ были проведены специализированные исследования, нацеленные на выявление элементов скрытой минералого-геохимической зональности. Такую зональность демонстрируют, в первую очередь, рентгеноструктурные параметры слоистых силикатов и изотопный состав серы сульфидов.

Рентгенофазовый анализ и ИК-спектроскопия показали, что в пределах рудно-метасоматического ореола месторождения состав основных минералов метасоматитов достаточно однообразен и представлен преимущественно кварцем и диоктаэдрической калиевой слюдой мусковит-фенгитового ряда, которые доминируют практически во всех метасоматических зонах. В подобных случаях минералогическая зональность может быть проявлена наиболее отчётливо только в вариациях количества слю-

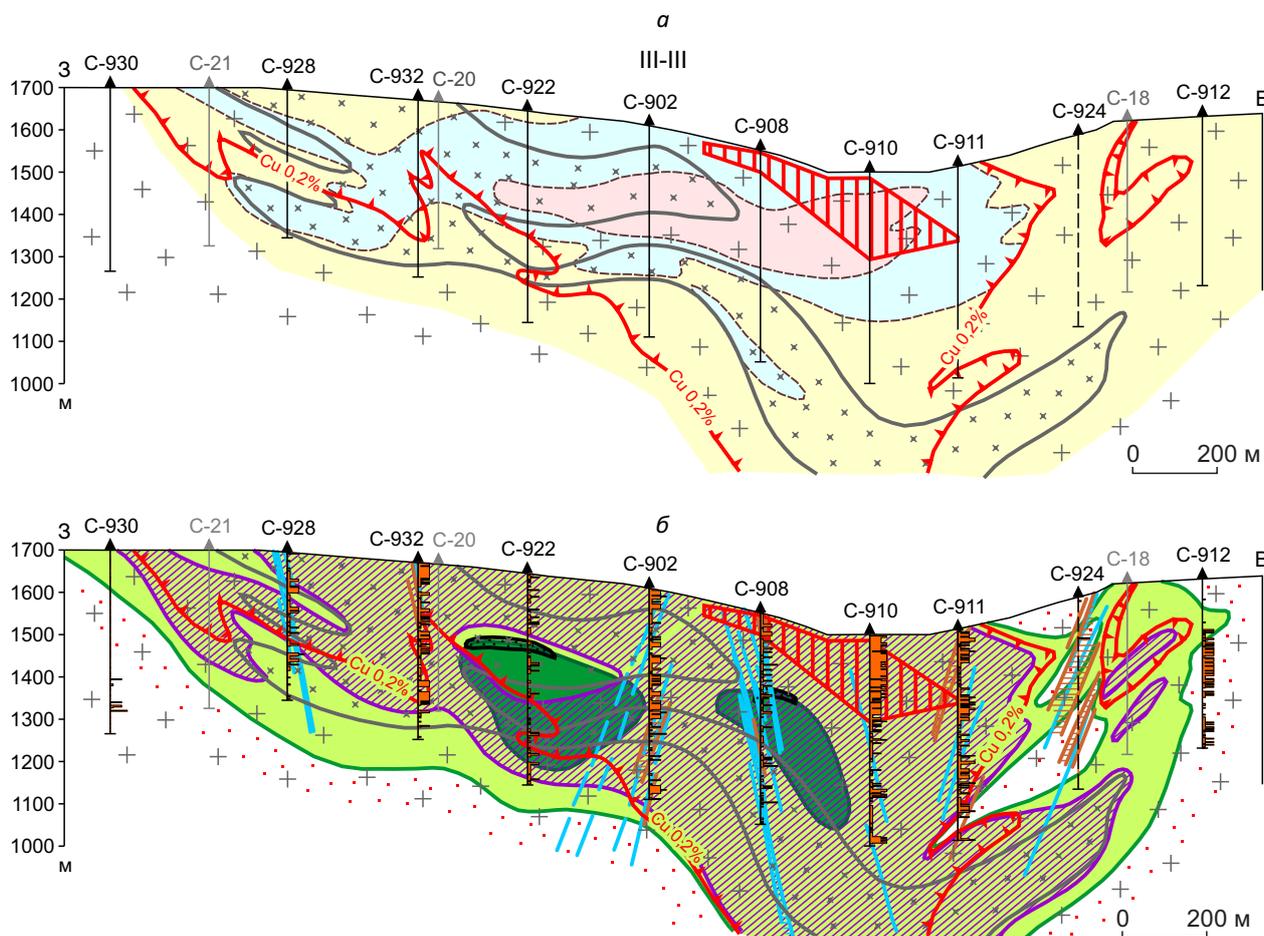


Рис. 8. Продольные схематические разрезы через минерализованную зону месторождения Кызык-Чадр с метасоматической (а) и рудно-минералогической (б) нагрузкой:

усл. обозн. см. рис. 7

Fig. 8. Lateral schematic sections through Kyzyk-Chadr mineralized zone with metasomatic (a) and ore-mineralogical (b) loading:
see Fig. 7 for legend

ды, а также в изменчивости её химического состава.

Анализ распределения параметра $C \sin \beta$ (элементарной ячейки слюды) серицита из разных метасоматических зон показывает направленное и достаточно монотонное изменение в составе. От флангов к центральной, наиболее продуктивной части месторождения наблюдается отчётливое увеличение доли фенгитового компонента (рис. 9, а), параллельно происхо-

дит существенное снижение отношения слюда/кварц в метасоматитах. Область развития фенгитовых слюд фиксирует наиболее продуктивную часть месторождения, вмещающую промышленные рудные тела, что даёт основание использовать этот показатель при проведении ГРП.

Минеральные равновесия, от которых зависит осаждение сульфидов меди в гидротермальных системах, определяются главным об-

разом фугитивностью кислорода. Этим же фактором контролируется изотопный состав сульфидной серы [9], что служит основанием для использования величины $\delta^{34}\text{S}$ в качестве показателя физико-химической зональности рудно-магматических систем.

На месторождениях медно-порфирового типа отмечено снижение $\delta^{34}\text{S}$ от рудных тел к надрудному «пиритовому» ореолу и в направлении от центра к флангам, отражающее рост окислительного потенциала среды. Результаты выполненных определений величины $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов месторождения Кызык-Чадр (см. рис. 9, б) выявили аналогичную закономерность. Они в полной мере подтверждают прямую однозначную корреляционную связь между повышением доли тяжёлого изотопа серы в сульфидах и концентрациями меди в рудах. Непрерывность поля фигуративных точек на графике свидетельствует в пользу генетического единства изученных сульфидов при определяющей роли повышения фугитивности кислорода на флангах рудообразующей системы. С этим же фактором можно связать и концентрирование полезных компонентов руд в восстановительной зоне и использовать распределение значений $\delta^{34}\text{S}$ для прогноза оруденения.

С практической точки зрения важно отметить, что корреляционная зависимость между составом слюд, $\delta^{34}\text{S}$ и содержаниями меди достаточно близка к функциональной и указывает на определяющую роль того же фактора (или факторов) в концентрации полезных компонентов в рудах. Данный вывод может служить основанием для более широкого использования рентгенометрических и изотопных данных при выявлении метасоматической зональности и прогнозе оруденения медно-порфирового типа в пределах различных перспективных площадей.

Заключение. Выполненные исследования позволили уточнить основные особенности геологической позиции и строения золотосодержащего молибден-медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр, вещественный состав и зональность его рудно-метасоматических образований, морфологию прогнозируемых рудных тел, выявить элементы их скрытой мине-

ралого-геохимической и изотопно-геохимической зональности.

Месторождение Кызык-Чадр обнаруживает основные черты, позволяющие отнести его к медно-порфировому геолого-промышленному типу и использовать в качестве эталонного для разработки регионально адаптированной геолого-поисковой модели объектов этого перспективного типа.

Основные элементы строения месторождения Кызык-Чадр в целом отвечают типовой модели медно-порфировых месторождений [1, 7, 13]: штокверковое золотосодержащее медно-молибденовое оруденение приурочено к порфировым интрузивам; рудно-метасоматический ореол, зональный относительно центральной (осевой) части месторождения, насыщенной телами порфировых даек, представлен последовательно сменяющимися друг друга в направлении от центра к периферии зонами (калиевой (кварц-калишпатовой) с убогой рудной минерализацией существенно халькопиритового состава; внутренней пропилитовой (кварц-хлоритовой) с потенциально промышленным молибденит-халькопирит-пиритовым оруденением; филлизитовой (кварц-серицитовой) с молибденит-халькопирит-пиритовым оруденением во внутренних частях и существенно пиритовой минерализацией («пиритовый ореол») во внешних частях; пропилитовой (эпидот-хлоритовой) с бедной вкрапленностью пирита).

Вместе с тем, отмечается ряд особенностей морфологии рудных тел и вещественного состава этого месторождения: ярко выраженный линейный (лентовидный в плане) характер и крутое падение рудоносной зоны и её составляющих, редуцированное распространение наиболее продуктивной на типовых медно-порфировых месторождениях калиевой метасоматической зоны с практически полным отсутствием реликтов характерного для неё вторичного биотита и резкое преобладание филлизитовых изменений. Эти особенности могут быть обусловлены формированием оруденения в пределах долгоживущей разломной зоны, экранирующим эффектом вмещающей интрузив метаморфизованной толщи и преимущественно

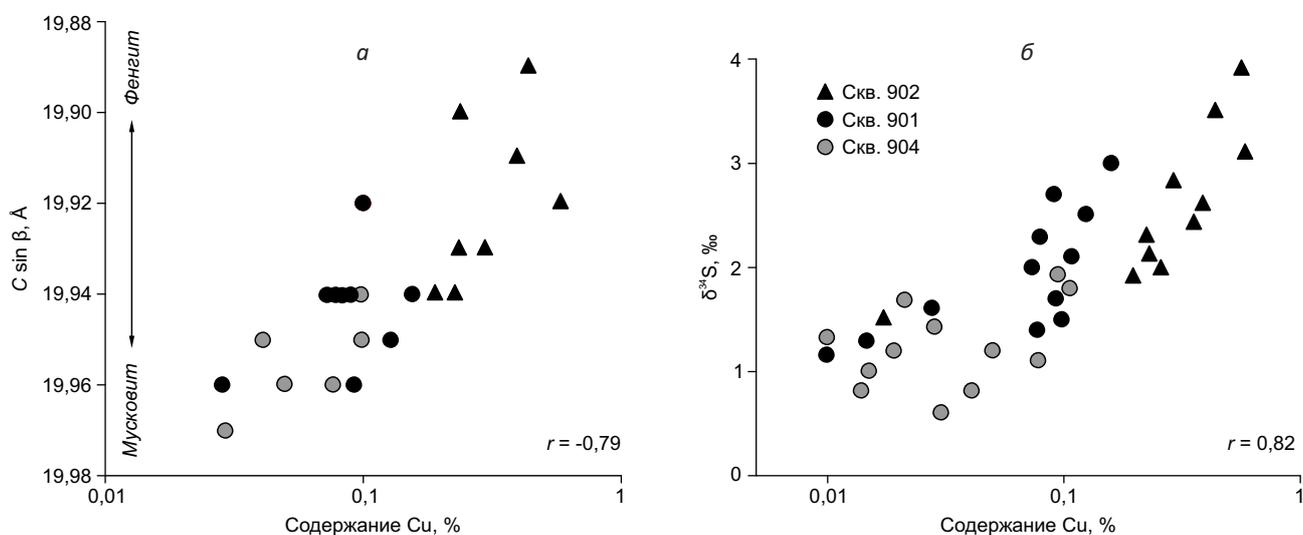


Рис. 9. Зависимость между содержанием меди и составом серицита (а); зависимость между содержанием меди и изотопным составом серы сульфидов (б) в метасоматитах месторождения Кызык-Чадр

Fig. 9. Relationship between Cu grade and ceresite composition (a), Cu grade and S isotope composition of sulfides (b) in Kyzzyk-Chadr metasomatites

кислым составом вмещающих оруденение интрузивных пород.

Комплекс критериев и признаков меднопорфиорового оруденения, выявленных, или уточнённых в ходе проведённых исследований, мо-

жет быть использован в качестве элементов геолого-поисковой модели для повышения эффективности проведения дальнейших геологоразведочных работ в пределах Алтае-Саянской минерагенической зоны.

Список литературы

1. Гирфанов М. М. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфиоровых месторождений – условия образования и модели : автореф. дис. на соискание учёной степени канд. геол.-минерал. наук. – М. : ЦНИГРИ, 1993. – 25 с.
2. Голованов Н. М., Николаев Е. Ж., Кажихин М. А. Комплексная прогнозно-поисковая модель меднопорфиоровой формации. – Ташкент : Фан, 1988. – 202 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXXV (Уюк). – [Электронный ресурс]. – М. : ВСЕГЕИ, Московский филиал, 2019.
4. Гусев Н. И., Берзон Е. И., Семёнов М. И. Кызыкчадрское медно-порфиоровое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 59. – С. 70–79.
5. Кривцов А. И., Мигачёв И. Ф., Минина О. В. Минералого-геохимические типы руд меднопорфиоровых месторождений – золотоносность и зональность // Геохимия. – 1985. – № 10. – С. 1417–1429.
6. Кривцов А. И., Мигачёв И. Ф., Попов В. С. Меднопорфиоровые месторождения мира. – М. : Недра, 1986. – 240 с.



7. Медно-порфировые месторождения. К 300-летию горно-геологической службы России / под ред. А. И. Кривцова. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с. – (Модели месторождений благородных и цветных металлов).
8. Мигачёв И. Ф., Гирфанов М. М., Шишаков В. Б. Медно-порфировое месторождение Песчанка // Руды и металлы. – 1995. – № 3. – С. 48–58.
9. Омото Х., Рай Р. Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. – М. : Мир, 1982. – С. 405–450.
10. Рогов Н. В. Магматические и другие структуры, перспективы и некоторые особенности металлогении Кызык-Чадрского Au-Cu-Mo месторождения Тувы // Магматизм и металлогения рудных районов Тувы. – Новосибирск : Наука, 1992. – С. 108–119.
11. Семёнов М. И., Юркевич Л. Г. Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного плутона // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири : сборник статей. – Красноярск : АО «Сибирское ПГО», 2019. – С. 110–119.
12. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimon V. O. Paleozoic–Mesozoic Porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) Deposits within the Southern Margin of the Siberian Craton: Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis (a Review) // Minerals. – 2016. – V. 6, I. 4. – DOI: 10.3390/min6040125.
13. John D. A., Ayuso R. A., Barton M. D. [et al.]. Porphyry copper deposit model: Scientific Investigations Report 2010-5070-B / USGS // Mineral Deposit Models for Resource Assessment. – Reston, VA, USA, 2010. – 169 p.

References

1. Girfanov M. M. Rudno-metasomaticheskaya zonal'nost' medno-porfirovykh mestorozhdenii – usloviya obrazovaniya i modeli: avtoref. dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. geol.-mineral. nauk. [Ore-metasomatic zoning of porphyry copper deposits – formation conditions and models. Extended abstract of candidate's thesis], Moscow, TsNIGRI Publ., 1993, 25 p.
2. Golovanov N. M., Nikolaev E. Zh., Kazhikhin M. A. Kompleksnaya prognozno-poiskovaya model' medno-porfirovoi formatsii [Integrated predictive exploration model of porphyry copper formation], Tashkent, Fan Publ., 1988, 202 p.
3. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii masshtaba 1 : 200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Zapadno-Sayanskaya. List N-46-XXXV (Uyuk) [State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200 000. Second edition. West Sayan series. Sheet N-46-XXXV (Uyuk)], Moscow, VSEGEI, Moscow branch Publ., 2019.
4. Gusev N. I., Berzon E. I., Semenov M. I. Kyz'kchadrskoe medno-porfirovoe mestorozhdenie (Tuva): geokhimicheskie osobennosti i vozrast magmatizma [Kyz'kchadr copper-porphyry deposit (Tuva): geochemical features and age of magmatism], *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2014, No 59, pp. 70–79. (In Russ.).
5. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Minina O. V. Mineralogo-geokhimicheskie tipy rud medno-porfirovykh mestorozhdenii – zolotonosnost' i zonal'nost' [Mineral and geochemical types of ores of copper-porphyry deposits – gold content and zoning], *Geokhimiya* [Geochemistry International], 1985, № 10, pp. 1417–1429. (In Russ.).
6. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S. Medno-porfirovoe mestorozhdeniya mira [World porphyry copper deposits], Moscow, Nedra Publ., 1986, 240 p.
7. Medno-porfirovye mestorozhdeniya. K 300-letiyu gorno-geologicheskoi sluzhby Rossii [Copper-porphyry deposits. To the 300th anniversary of the mining and geological service of Russia], Moscow, TsNIGRI Publ., 2001, 232 p.
8. Migachev I. F., Girfanov M. M., Shishakov V. B. Medno-porfirovoe mestorozhdenie Peschanka [Peschanka porphyry copper deposit], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 1995, No 3, pp. 48–58. (In Russ.).
9. Omoto Kh., Rai R. Izotopy sery i ugleroda [Sulfur and carbon isotopes], *Geokhimiya gidrotermal'nykh rudnykh mestorozhdenii* [Geochemistry of hydrothermal ore deposits], Moscow, Mir Publ., 1982, pp. 405–450. (In Russ.).
10. Rogov N. V. Magmатические и другие структуры, перспективы и некоторые особенности металлогении Кызык-Чадрского Au-Cu-Mo месторождения Тувы [Magmatic and other structures, prospects and some features of metallogeny of the Kyz'k-Chadr Au-Cu-Mo deposit in Tuva], *Magmatizm i metallogeniya rudnykh raionov Tuvy* [Magmatism and metallogene-

- ny of ore regions of Tuva*], Novosibirsk, Nauka Publ., 1992, pp. 108–119.
11. Semenov M. I., Yurkevich L. G. Geologiya, geokhimiya i rudonosnost' Ozhinskogo intruzivnogo plutona [Geology, geochemistry and ore content of the Ozhinsky intrusive pluton], *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Tsentral'noi Sibiri: sbornik statei* [Geological structure and minerals of Central Siberia: collection of articles], Krasnoyarsk, AO "Sibirskoe PGO", 2019, pp. 110–119. (In Russ.).
 12. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimon V. O. Paleozoic–Mesozoic Porphyry Cu(Mo) and Mo(Cu) Deposits within the Southern Margin of the Siberian Craton: Geochemistry, Geochronology, and Petrogenesis (a Review), *Minerals*, 2016, V. 6, I. 4, DOI: 10.3390/min6040125.
 13. John D. A., Ayuso R. A., Barton M. D. [et al.]. Porphyry copper deposit model: Scientific Investigations Report 2010-5070-B, USGS, *Mineral Deposit Models for Resource Assessment*, Reston, VA, USA, 2010, 169 p.

Авторы

Андреев Антон Вадимович

старший научный сотрудник¹
aandreev@tsnigri.ru

Гирфанов Михаил Миргалимович

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник¹
girfanov@tsnigri.ru

Старостин Иван Александрович

младший научный сотрудник¹
starostin@tsnigri.ru

Авилова Ольга Владимировна

научный сотрудник¹
avilova@tsnigri.ru

Кряжев Сергей Гаврилович

доктор геолого-минералогических наук
заведующий отделом минералогии и изотопной геохимии¹
kryazhev@tsnigri.ru

Юрмазов Дмитрий Николаевич

главный геолог²

Бабкин Игорь Александрович

ведущий геолог²

Семёнов Михаил Иванович

начальник партии²

¹ ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», г. Москва

² АО «Сибирское ПГО», г. Красноярск

Authors

Andreev Anton Vadimovich

senior researcher¹
aandreev@tsnigri.ru

Girfanov Mikhail Mirgalimovich

PhD
leading researcher¹
girfanov@tsnigri.ru

Starostin Ivan Alekseevich

junior researcher¹
starostin@tsnigri.ru

Avilova Olga Vladimirovna

researcher¹
avilova@tsnigri.ru

Kryazhev Sergey Gavrilovich

PhD
Head of department of mineralogy and isotope geochemistry¹
kryazhev@tsnigri.ru

Yurmazov Dmitriy Nikolaevich

chief geologist²

Babkin Igor' Aleksandrovich

leading geologist²

Semenov Mikhail Ivanovich

Head of the party²

¹ FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia

² JSE «Siberian PGO», Krasnoyarsk, Russia