

УДК 556.3.01

## ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, МЕТАСОМАТИЧЕСКАЯ И СКРЫТАЯ МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ МЕДНО-ПОРФИРОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КЫЗЫК-ЧАДР (РЕСПУБЛИКА ТЫВА)

**Иван Александрович Старостин<sup>1</sup>✉, Михаил Миргалимович Гирфанов<sup>2</sup>,  
Евгений Игоревич Ярцев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ»),  
Москва, Россия; starostin@tsnigri.ru✉

<sup>2</sup> Центральный научно-исследовательский институт цветных и благородных металлов (ФГБУ «ЦНИГРИ»),  
Москва, Россия; girfanov@tsnigri.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; evgenyrtsev@mail.ru

**Аннотация.** Измененные породы месторождения Кызык-Чадр сложены преимущественно кварцем и диоктаэдрическими калиевыми слюдами мусковит-фенгитового ряда, которые доминируют практически во всех зонах метасоматического ореола; парагенезисы альбита с хлоритом и эпидотом характерны лишь для периферических частей этого ореола, где проявлены изменения пропилитового характера. В центральных и глубоких частях ореола фиксируются кварц-калишпатовые изменения. С целью выявления скрытой минералогической зональности месторождения Кызык-Чадр выполнено петрографическое изучение метасоматитов, а также использованы результаты рентгено-структурного анализа и инфракрасной спектроскопии слюд, входящих в состав минерализованных кварц-серicitовых метасоматитов. По результатам рентгеновского и ИК-спектроскопического исследования светлослюдистых метасоматитов установлены элементы скрытой минералогической зональности, обусловленной вариациями соотношения фенгитового и мусковитового компонентов в их составе. Фенгитовая составляющая преобладает в центральных и глубоких частях рудно-метасоматического ореола месторождения, тогда как к его флангам и верхним частям последовательно увеличивается доля мусковитового компонента. Установленная тенденция коррелирует с общей направленностью минералогической рудно-метасоматической зональности и предположительно может объясняться сменой РТ-условий в объеме медно-порфировой рудно-магматической системы. Индикатор скрытой минералогической зональности по соотношению фенгит-мусковит можно использовать при поисках и оценке месторождений медно-порфирового типа как объективный критерий при увязке уже полученных рудных пересечений и прогнозировании рудных тел.

**Ключевые слова:** месторождение Кызык-Чадр, золотосодержащее молибден-медно-порфировое месторождение, скрытая минералогическая зональность, Республика Тыва

**Для цитирования:** Старостин И.А., Гирфанов М.М., Ярцев Е.И. Геологическое строение, метасоматическая и скрытая минералогическая зональность медно-порфирового месторождения Кызык-Чадр (Республика Тыва) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 5. С. 90–94.

## GEOLOGICAL FEATURES, HYDROTHERMAL ALTERATIONS, AND CRYPTIC MINERALOGICAL ZONATION OF THE KYZYK-CHADR PORPHYRY COPPER DEPOSIT (TYVA REPUBLIC)

**Ivan A. Starostin<sup>1</sup>✉, Mikhail M. Girfanov<sup>2</sup>, Evgeny I. Yartsev<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia;  
starostin@tsnigri.ru✉

<sup>2</sup> FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia;  
girfanov@tsnigri.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Moscow, Russia; evgenyrtsev@mail.ru

**Abstract.** The altered rocks of the Kyzyk-Chadr deposit are predominantly composed of quartz and potassium dioctahedral micas of the phengite-muscovite series, that dominate in almost all zones of the alteration halo. Parageneses of albite with chlorite and epidote are only characteristic of peripheral sections of the halo, subjected to the propylite-type alteration. Quartz-potassium feldspar alterations are distributed in the central and deep-seated sections of the halo. Petrographic investigations of hydrothermal alterations and results of the X-ray structural analysis and infrared (IR) spectroscopy of micas from the mineralized quartz-sericite metasomatites were applied to reveal a cryptic mineralogical zonation of the Kyzyk-Chadr porphyry copper deposit. Elements of the cryptic mineralogical zonation, revealed based on results of the X-ray study and IR spectroscopy of light-colored micaceous metasomatites of the deposit, are caused by variable proportions of the phengite and muscovite components in their composition. The phengite component predominates in the central and deep-seated sections of the alteration-mineralization halo of the deposit, while the muscovite component progressively increases toward its flanks and upper sections. This tendency correlates with the general vector of the mineralogical alteration-mineralization zonation and are

supposedly explained by changing PT conditions within the porphyry copper ore-magmatic system. The indicator of the cryptic mineralogical zonation by the “phengite-muscovite” relationship can be applied for prospecting and preliminary evaluation of porphyry copper type deposits, being used as an objective guide for correlation of already obtained ore-grade interceptions and forecasting the ore bodies.

**Key words:** nitrogen thermal waters, Kuldur spa, geothermometers, hydraulic conductivity, hydrogeological model

**For citation:** Starostin I.A., Girfanov M.M., Yartsev E.I. Geological features, hydrothermal alterations, and cryptic mineralogical zonation of the Kyzyk-Chadr porphyry copper deposit (Tyva Republic). *Moscow University Geol. Bull.* 2022; 5: 90–94. (In Russ.).

**Введение.** Кызыкчарское рудное поле (Республика Тыва) с потенциальным золотосодержащим молибден-медно-порфировым месторождением (рудопроявлением) Кызык-Чадр расположено в области северо-западного замыкания каледонского Монголо-Тувинского вулкано-плутонического пояса (ВПП), сформированного на гетерогенном основании Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса [Гирфанов, 2019].

Месторождение находится в краевой части Ожинского полиформационного plutона (выступа), в составе которого выделяются образования таннуольского ( $\mathbb{E}_2$ ) и кызыкчадрского ( $\mathbb{E}_{2-3}$ ) интрузивных комплексов [Семенов, 2014]. Месторождение локализовано в пределах полифазного Кызык-Чадрского интрузивного массива габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формации одноименного комплекса. Кызык-Чадрский интрузивный массив с размерами  $12,5 \times 3$  км прорывает метаморфиты туматтайгинской толщи позднего докембрия и приурочен к зоне магматической активизации Туранского глубинного разлома, ограничивающего Ожинский выступ с юга.

Золотосодержащая молибден-медно-порфировая минерализованная зона месторождения Кызык-Чадр локализована в экзо-эндоконтакте крутопадающего дайкообразного тела, сложенного несколькими разновидностями (фазами внедрения) пород порфировой структуры, в том числе гранодиорит-порфирами, кварцевыми диоритовыми порфиритами, диоритовыми порфиритами и кварцевыми порфирами гранит-порфирового состава, отнесенными к кызык-чадрскому интрузивному комплексу (порфировый интрузив) [Андреев и др., 2021]. Порфировый интрузив прорывает среднезернистые породы гранит-гранодиоритового состава того же комплекса и вытянут в субширотном направлении более чем на 2300 м при горизонтальной мощности до нескольких сотен метров и протяженности по падению более 500 м.

Особенность минерализованной зоны месторождения — интенсивная тектоническая проработка оруденелых пород (катализ, милонитизация). Лишь в отдельных блоках сохраняются структурно-текстурные признаки, позволяющие идентифицировать породы главных и порфировых фаз кызыкчадрского комплекса. Штокверковое медно-молибденовое оруденение и сопровождающие его кварц-полевошпатовые и кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты прослежены бурением на глубину до

500 м, в ряде случаев без признаков выклинивания. Характерен комплексный медно-молибденовый с золотом состав руд при сравнительно невысоком среднем содержании меди (несколько десятых долей процента) и молибдена (тысячные–сотые доли процента).

Метасоматиты месторождения интенсивно пиритизированы. Кварцевые, реже кварц-карбонатные ветвящиеся прожилки часто образуют зоны интенсивного окварцевания мощностью 2,5–20 м. Прожилково-вкрапленная сульфидная минерализация представлена пиритом, халькопиритом, молибденитом, в подчиненном количестве присутствуют блеклые руды, борнит, халькозин, галенит, сфалерит, магнетит, редко субмикроскопические выделения самородного золота. По мере удаления от контакта порфирового тела интенсивность рудной минерализации резко снижается.

Зональность метасоматических изменений в пределах участка месторождения заключается в смене от центра к периферии следующих генерализованных метасоматических зон: калиевой, филлизитовой и пропилитовой (с внутренней и внешней подзонами) [Старостин, 2019].

Молибден-медное оруденение и сопровождающий его метасоматический ореол проявляются в геофизических и геохимических полях: пиритизированные кварц-серицитовые метасоматиты медно-порфирового месторождения отличаются повышенными значениями кажущейся поляризуемости, рудные тела маркируются крупными комплексными вторичными ореолами рассеяния меди, молибдена и других элементов-спутников.

**Материалы и методы исследования.** Нами выполнено специализированное изучение метасоматических изменений месторождения Кызык-Чадр с использованием петрографических методов и результатов рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии. Изучалось распределение в пространстве вариаций состава диоктаэдрических слюд изоморфного ряда мусковит  $KAl_2[AlSi_3O_{10}]$   $(OH, F)_2$ -фенгит  $KAl_{2-x}(Mg, Fe)_x[Al_{1-x}Si_3+xO_{10}]$   $(OH, F)_2$  промежуточного состава между мусковитом и селадонитом. С этой целью проанализированы образцы из керна скважин, вскрывших различные части рудно-метасоматического ореола месторождения Кызык-Чадр — из внутренних зон этого ореола с медно-порфировой минерализацией (скважины С-902, С-908, С-910, С-922) и из его фланговой «без-

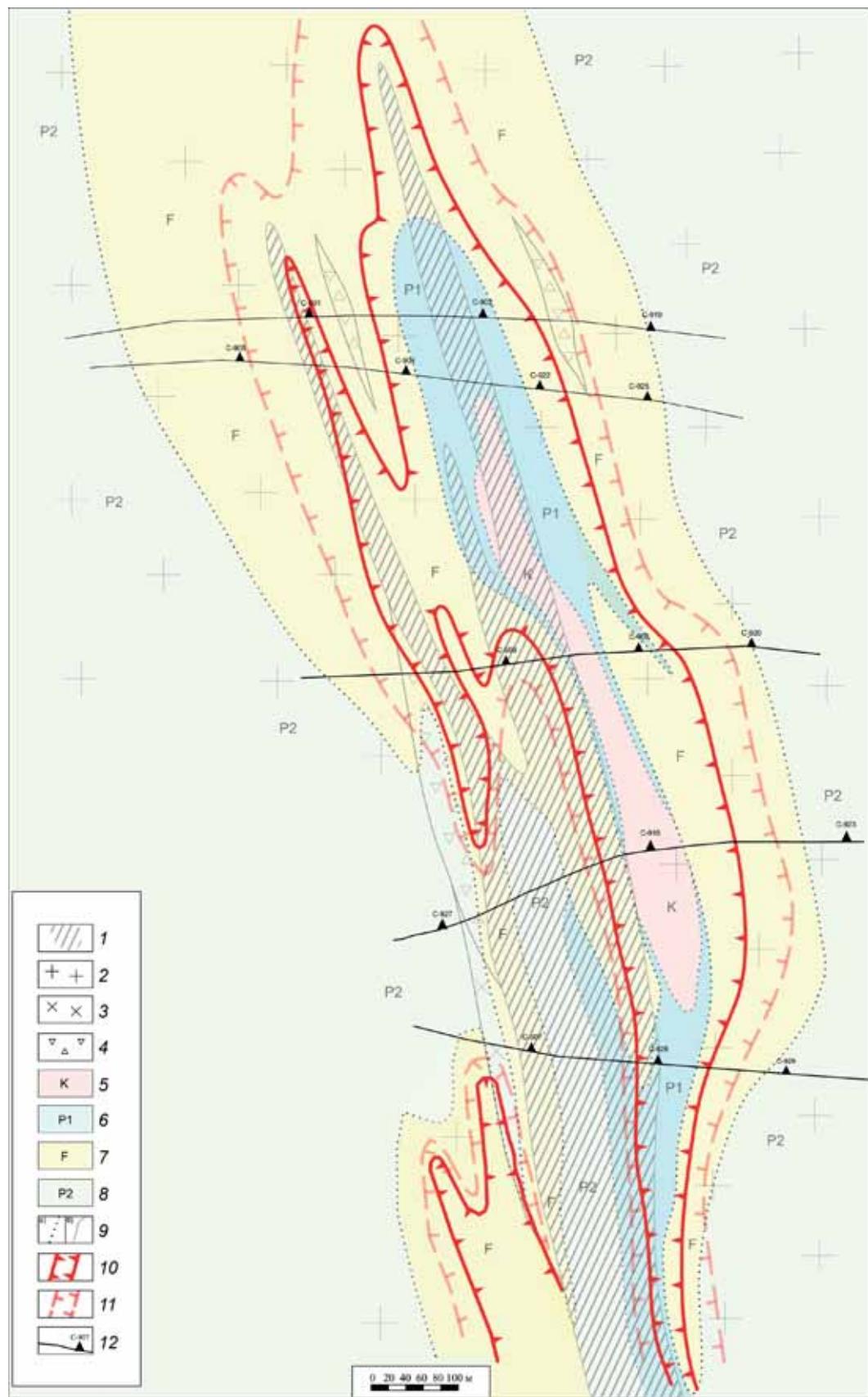


Рис. 1. Модель метасоматической зональности месторождения Кызык-Чадр. Вертикальное поперечное сечение: 1 — кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры рудоносного порфирового интрузива; 2 — граниты среднезернистые; 3 — кварцевые диориты, гранодиориты среднезернистые; 4 — брекчии (тектонического или эксплозивного генезиса); генерализованные зоны гидротермально-метасоматических изменений: 5 — калиевая: qz, kfsp  $\pm$  ab, chl; 6 — внутренняя пропилитовая: qz, chl, ab  $\pm$  kfsp, ser, cc; 7 — филизитовая: ser, qz  $\pm$  chl, cc; 8 — внешняя пропилитовая: chl, ep  $\pm$  ab, cc, ser, qz; 9 — границы: а — метасоматических зон; б — геологические; 10 — прогнозируемый контур меднорудного тела по  $C_{\text{борт}} \text{Cu} 0,2\%$ ; 11 — прогнозируемый контур распространения медной минерализации по  $C_{\text{Cu}} 0,05\%$ ; 12 — различные уровни эрозионного среза медно-порфировой рудно-магматической системы, отвечающие положению линий буровых профилей АО «Сибирское ПГО» (показаны устья и стволы скважин). Минералы метасоматических зон: ab — альбит, cc — кальцит, chl — хлорит, ep — эпидот, kfsp — калиевый полевой шпат, qz — кварц, ser — серицит

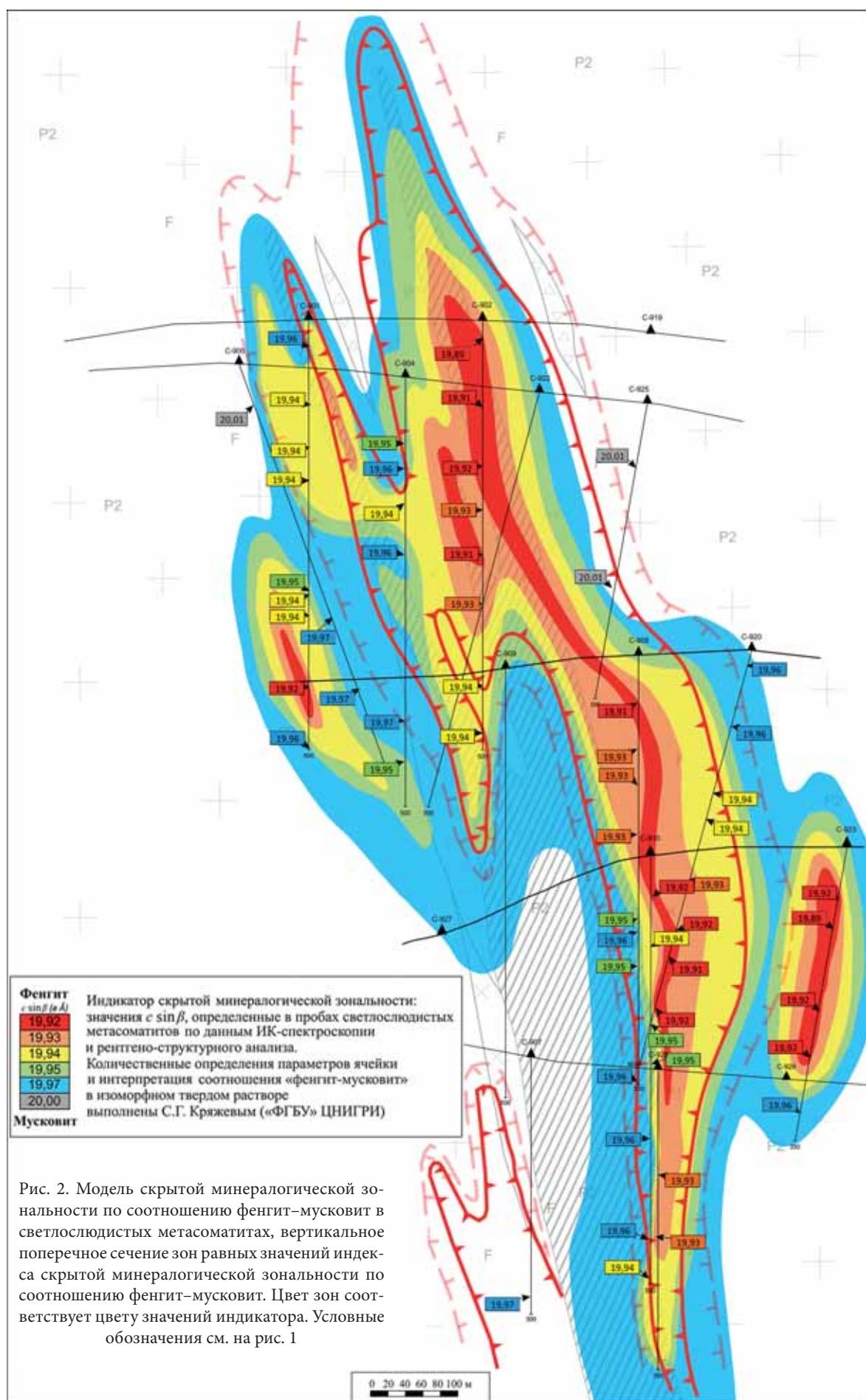


Рис. 2. Модель скрытой минералогической зональности по соотношению фенгит–мусковит в светлослюдистых метасоматитах, вертикальное поперечное сечение зон равных значений индекса скрытой минералогической зональности по соотношению фенгит–мусковит. Цвет зон соответствует цвету значений индикатора. Условные обозначения см. на рис. 1

рудной» зоны (скважины С-901, С-904, С-905, С-923). В слюдах определяли параметр элементарной ячейки  $csin\beta$ , характеризующий толщину слюдяного пакета, которая зависит как от изоморфизма в пределах слюдяного слоя (мусковит-фенгит), так и от характера межслоевого заполнения (калий-натрий) [Дриц, 1991]. Другие слюдистые фазы (парагонит, пирофиллит, гидрослюды, смектиты) не установлены. Определения выполнены С.Г. Кряжевым (отдел минералогии и изотопной геохимии ФГБУ «ЦНИГРИ»).

**Результаты исследований и их обсуждения.** Как показали результаты исследований, в пределах изученной части рудно-метасоматического ореола состав основных минералов метасоматитов достаточно однообразен. Измененные породы сложены преимущественно кварцем и диоктаэдрической калиевой слюдой мусковит-фенгитового ряда, которые доминируют практически во всех метасоматических зонах; парагенезис альбита с хлоритом и эпидотом характерен лишь для периферических частей ореола, где проявлены изменения пропилитового характера. В центральных и глубоких частях ореола фиксируются кварц-калишпатовые изменения.

По результатам рентгенофазового анализа и инфракрасной спектроскопии светлослюдистых метасоматитов месторождения Кызык-Чадр установлены

элементы скрытой минералогической зональности, обусловленной вариациями соотношения фенгитового и мусковитового компонентов в слюдистых агрегатах. При этом в качестве индикатора такой скрытой зональности принимается определяемое значение параметра  $csin\beta$ . Фенгитовая составляющая преобладает в центральных и глубоких частях рудно-метасоматического ореола месторождения, тогда как к его флангам и верхним частям последовательно увеличивается доля мусковитового компонента (рис. 2). Установленная тенденция в целом коррелирует с общей направленностью минералогической рудно-метасоматической зональности, предположительно ее можно объяснить сменой РТ-условий в объеме медно-порфировой рудно-магматической системы.

**Заключение.** Область развития существенно фенгитовых слюд фиксирует наиболее продуктивную зону медно-порфировой системы, вмещающую промышленные рудные тела. Это дает основание использовать индикатор скрытой минералогической зональности по соотношению фенгит-мусковит в качестве объективного критерия при увязке полученных рудных пересечений и прогнозировании рудных тел на ранних стадиях геологоразведочных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев А.В., Гирфанов М.М., Старостин И.А. и др. 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.

Гирфанов М.М., Андреев А.В., Авилова О.В., Старостин И.А. Геолого-поисковая модель золотосодержащих медно-порфировых объектов Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: Сб. тез. докл. IX Междунар. науч.-практ. конф., 2019. С. 166–167.

Дриц В.А., Коссовская А.Г. Глинистые минералы: слюды, хлориты. М.: Наука, 1991.

Меднопорфировые месторождения / Под ред. А.И. Кривцова. Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов. М.: ЦНИГРИ, 2001. 232 с.

Семенов М.И., Юркевич Л.Г. Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного plutона // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири. Красноярск: АО «Сибирское ПГО», 2019. С. 110–119.

Старостин И.А., Авилова О.В., Андреев А.В., Гирфанов М.М. Рудно-метасоматическая зональность медно-порфирового рудопроявления Кызык-Чадр (Республика Тыва) // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов: Сб. тез. докл. IX Междунар. науч.-практич. конф., 2019. С. 200.

Статья поступила в редакцию 16.05.2022, одобрена после рецензирования 08.06.2022, принята к публикации 22.11.2022