

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.43 : 551.248.1 (571.52)

Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва)

Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М.

Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов (ЦНИГРИ), г. Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены условия локализации молибден-медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля в региональных структурах южного складчатого обрамления Сибирской платформы. Оруденение сформировано на салаирском (раннекаледонском) этапе развития Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП) в связи с малыми интрузиями кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса ($\mathcal{E}_{2-3}$). Становление рудоносного комплекса связывается с формированием аккреционно-коллизийного магматического пояса, заложённого на вулканогенно-осадочном островодужном субстрате ($V-\mathcal{E}_1$). Кызыкчадрский комплекс известен только в пределах Ожинского поднятия с одноимённым массивом таннуольского габбро-тоналит-плагиогранитового комплекса ($\mathcal{E}_2$). Предполагается, что аналогичные продуктивные на Мо-Си-порфировое оруденение кембрийские плутониты аккреционно-коллизийной стадии на ряде других площадей могли быть перекрыты вулканогенно-осадочными отложениями $O-S$ и D_1 или прорваны интрузивными массивами собственно коллизийного вулкано-плутонического пояса (ВПП) каледонского этапа и деформированы в ходе последующих геотектонических этапов. Позиция промышленных месторождений Мо-Си-порфирового рудно-формационного семейства в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП характеризуется приуроченностью к участкам пространственного сопряжения ареалов распространения магматических образований трёх геотектонических этапов: 1) островодужных вулканических поясов ($V-\mathcal{E}_1$), 2) «батолитовых» интрузивов и малых интрузий магматического пояса аккреционно-коллизийной стадии ($\mathcal{E}_{2-3}$), 3) коллизийного ВПП ($O-D_1$).

Ключевые слова: Центрально-Азиатский орогенный пояс, Алтае-Саянская складчатая область, Ожинский рудный узел, медно-порфировое оруденение, Кызыкчадрское рудное поле, палеогеотектоническая позиция, островная дуга, вулкано-плутонический пояс.

Для цитирования: Старостин И. А., Черных А. И., Гирфанов М. М. Палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского медно-порфирового рудного поля (Республика Тыва). Руды и металлы. 2023. № 4. С. 52–73. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10019.

Paleogeotectonic position of the Kyzyk Chadr porphyry copper ore field, Republic of Tyva

Starostin I. A., Chernykh A. I., Girfanov M. M.

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals (TSNIGRI), Moscow, Russia

Annotation. Regional-scale localization conditions of the Kyzyk-Chadr molybdenum-copper porphyry ore field in the southern folded frame of the Siberian Platform are considered. The porphyry mineralization of the field formed at the Salairian (Early Caledonian) phase of development of the Altai-Sayan segment of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB), in connection with small intrusions of the gabbro-diorite-granodiorite-granite Kyzykchadr Complex ($\mathcal{E}_{2-3}$). The formation of the ore-bearing complex was associated with an accretional-collisional magmatic belt superimposed on a Vendian–Early Cambrian volcanic-sedimentary island-arc substrate. The complex is only known within the local Ozhu uplifted block with a “batholithic” massif of the gabbro-tonalite-plagiogranite Tannu-Ola Complex ($\mathcal{E}_2$), but it is suggested that there could exist some analogous accretional-collisional Cambrian intrusions productive for Mo-Cu porphyry mineralization in some other areas, that were later overlapped by Ordovician–Silurian and Early Devonian volcanosedimentary deposits or broken by intrusive massifs of the Caledonian collisional volcano-plutonic belt. The rocks of the Salairian and Caledonian magmatic belts were deformed during subsequent geotectonic stages, primarily the Late Paleozoic collision, and overlain by younger sedimentary deposits. The position of economic-grade Mo and Mo-Cu porphyry deposits in the southern Altai-Sayan segment of the CAOB is assumed to be confined to areas of spatial superposition (overlapping) of magmatic belts of the three geotectonic stages: 1) island-arc volcanic belts ($V-\mathcal{E}_1$), 2) “batholithic” intrusions and small intrusions of the magmatic belt of the accretional-collisional stage ($\mathcal{E}_{2-3}$), 3) the collisional volcano-plutonic belt ($O-D_1$).

Keywords: Central Asian orogenic belt, Altai-Sayan folded region, Ozhu ore cluster, porphyry copper mineralization, Kyzyk-Chadr ore field, paleogeotectonic position, island arc, volcanic-plutonic belt.

For citation: Starostin I. A., Chernykh A. I., Girfanov M. M. Paleogeotectonic position of the Kyzyk Chadr porphyry copper ore field, Republic of Tyva. Ores and metals, 2023, № 4, pp. 52–73. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10019.



Медь и молибден входят в число стратегических видов полезных ископаемых и являются одними из наиболее востребованных промышленных видов сырья. В последнее десятилетие наблюдается заметный рост цен на эти металлы, особенно на медь. Высокий спрос на медь и рост объёмов её использования для производства проводов, аккумуляторов, электроприборов и увеличение её значимости в мировом переходе на «зелёную энергетику» определяют необходимость наращивания минерально-сырьевой базы.

Основным источником меди и молибдена в мире на ближнюю и дальнюю перспективу являются месторождения медно-порфирового семейства. Геологоразведочные и научно-исследовательские работы на этот тип рудных месторождений в России за последние 20 лет позволили раскрыть рудный потенциал ряда известных объектов (Песчанка, Малмыжское, Ак-Суг) и способствовали ускорению промышленного освоения некоторых месторождений (Михеевское, Томинское). Весьма перспективный в отношении оруденения медно-порфирового типа регион – Республика Тыва, где известно крупное разведанное и подготовленное к эксплуатации месторождение Ак-Суг и ряд недоизученных рудопроявлений. Одним из таких перспективных объектов является молибден-медно-порфировое рудопроявление (потенциальное месторождение) Кызык-Чадр – пока наиболее крупный рудный объект Кызыкчадрского рудного поля в составе Ожинского рудного узла.

Месторождение Кызык-Чадр открыто в 1951 г. В разные годы изучалось Э. Л. Варандом (1955–1956), Р. Т. Уссаром (1976–1977), М. И. Семёновым (2009–2015) и другими геологами. В 2017–2019 гг. силами АО «Сибирское ПГО» (АО «Росгеология») при участии ФГБУ «ЦНИГРИ» [1] (рис. 1, 2) на объекте были проведены ревизионные поисковые и оценочные работы.

Оценённые по результатам выполненных работ прогнозные ресурсы (кат. P_1 и P_2) Кызык-Чадра отвечают среднему по масштабам комплексному золото-молибден-медно-порфировому месторождению: около 870 тыс. т Cu



Рис. 1. Схема расположения молибден-медно-порфирового потенциального месторождения Кызык-Чадр, медно-порфирового месторождения Ак-Суг и молибден-порфирового Сорского месторождения

Fig. 1. Schematic map showing location of the Kyzyk-Chadr molybdenum-copper, Ak-Sug copper, and Sora molybdenum porphyry style ore deposits

при среднем содержании (C_{cp}) 0,34 %, 37 тыс. т Mo (0,015 %), 38 т Au (0,156 г/т) [1]. В настоящее время геологоразведочные работы в пределах Кызыкчадрского рудного поля продолжаются компанией АО «Росгеология». Выгодное географо-экономическое положение позволяет рассматривать объект как резервную базу проектируемого Аксугского ГОК. В рамках проекта освоения Аксугского месторождения планируется строительство автодороги длиной 320 км до горы Туран в 23 км западнее Кызык-Чадра.

Актуальной задачей является также прогноз и продолжение поисков оруденения медно-порфирового типа для дальнейшего укрепления минерально-сырьевой базы меди в пределах южной части Алтае-Саянского региона. Изучение золото-молибден-медно-порфирового потенциального месторождения Кызык-Чадр, входящего в состав одноимённого рудного поля, будет способствовать лучшему пониманию условий формирования оруденения и прогноз-поисковых критериев локализации.

Потенциальное месторождение Кызык-Чадр располагается в наиболее интенсивно дислоцированной осевой части зоны регионального разлома, сопровождаемого серией

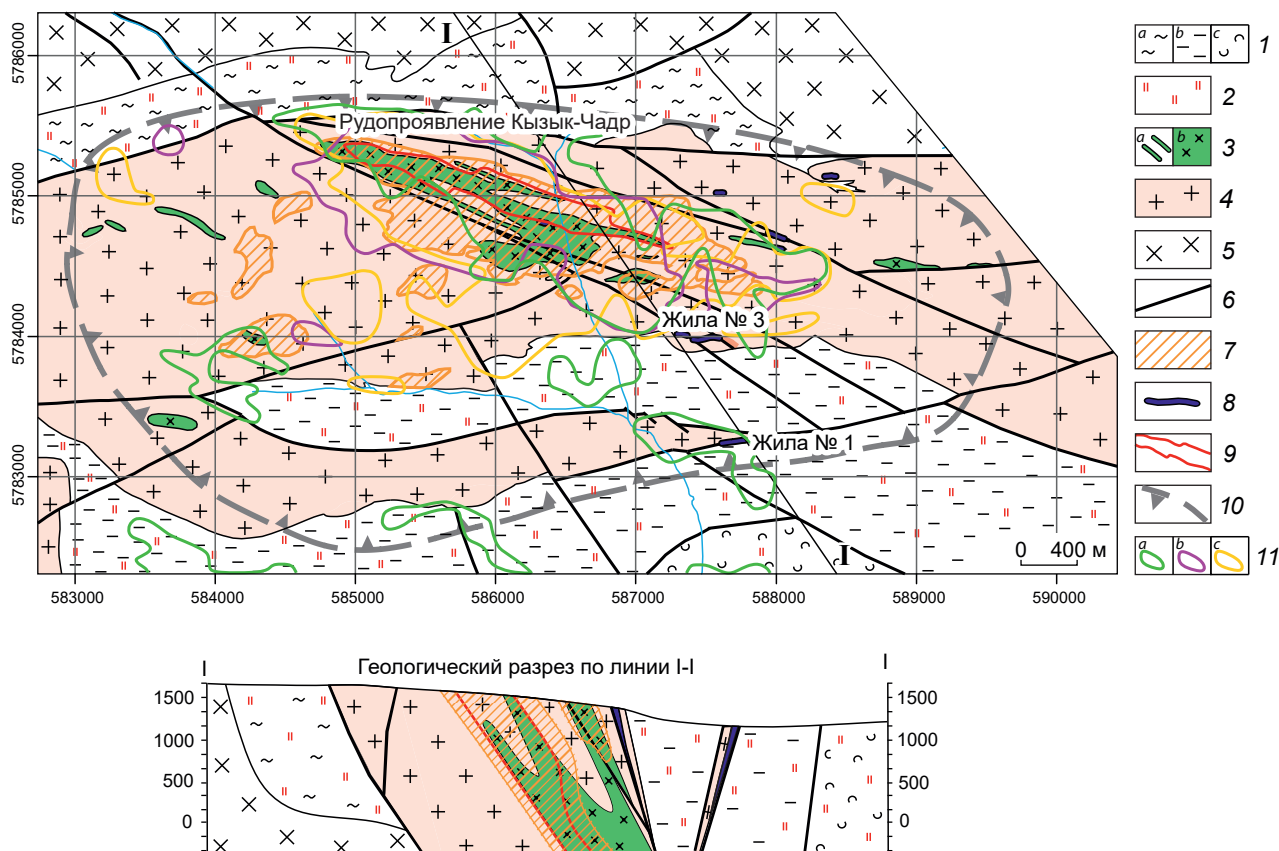


Рис. 2. Схема геологического строения Кызыкчадрского рудного поля (по Р. Т. Уссар, 1978 г., И. А. Бабкину и др., 2019, А. В. Андрееву и др., с изменениями и дополнениями):

1 – туматтайгинская свита ($\mathcal{C}_{1tt}$): *a* – метаморфизованные вулканогенно-осадочные отложения, нерасчленённые, *b* – песчаники и алевролиты пестроцветные, *c* – туфы, туфобрекчии, туфоконгломераты с прослоями лав среднего состава, алевролитов, песчаников; 2 – мигматизированные породы и породы контактового метаморфизма; кызыкчадрский габбро-диорит-гранодиорит-гранитный комплекс ($\mathcal{C}_{2-3kz}$): 3 – кварцевые диорит-порфиры, гранодиорит-порфиры, кварцевые порфиры, нерасчленённые: *a* – отдельные дайки, *b* – «порфировый интрузив», образованный сближенными телами порфировых пород различного состава; 4 – граниты, гранодиориты, кварцевые монзониты, диориты и габбродиориты, нерасчленённые; 5 – таннуольский диорит-тоналит-плагиигранитовый комплекс ($\mathcal{C}_{2-3t}$); 6 – разломы; 7 – участки интенсивных метасоматических изменений и сульфидной минерализации; 8 – кварцевые жилы, в том числе золотоносные; 9 – контур меднорудного тела по бортовому содержанию 0,2 %; 10 – контур Кызыкчадрского рудного поля; 11 – вторичные ореолы рассеяния: *a* – меди, *b* – молибдена, *c* – золота

Fig. 2. Schematic geological map of the Kyzyl-Chadr ore field (compiled using data of R. T. Ussar, 1978, I. A. Babkin et al., 2019, A. V. Andreev et al., 2019):

1 – Tumattaiga Formation ($\mathcal{C}_{1tt}$): *a* – metamorphosed volcanosedimentary deposits, undivided, *b* – sandstones and siltstones, varicolored, *c* – tuffs, tuffaceous breccias and conglomerates, with interlayers of lavas of intermediate composition, siltstones, and sandstones; 2 – migmatized rocks and hornfels; gabbro-diorite-granodiorite-granite Kyzylchadr Complex ($\mathcal{C}_{2-3kz}$) of the gabbro-diorite-granodiorite-granite association: 3 – quartz diorite porphyrites, granodiorite porphyries, and quartz porphyries, undivided: *a* – individual dikes, *b* – “porphyry intrusion” composed of contiguous bodies of various porphyry rocks; 4 – granites, granodiorites, quartz monzonites, diorites, and gabbrodiorites, undivided; 5 – Tannu-Ola Complex ($\mathcal{C}_{2-3t}$) of the diorite-tonalite-plagiogranite association; 6 – faults; 7 – zones of intense hydrothermal alterations and sulfide mineralization; 8 – quartz veins, including gold-bearing ones; 9 – copper ore body outlined by the cut-off grade Cu 0.2 %; 10 – Kyzyl-Chadr ore field outline; 11 – secondary dispersion halos: *a* – copper, *b* – molybdenum, *c* – gold



оперяющих тектонических нарушений различного порядка, выраженных зонами трещиноватости, катаклаза, милонитизации, рассланцевания, брекчирования. Месторождение сложено породами кызыкчадрского интрузивного комплекса, представленными преимущественно среднезернистыми гранитами, а также прорывающим их сложнопостроенным порфировым интрузивом, его апофизами и дайками. В краевой части порфирового интрузива присутствуют разрозненные тела приконтактных взрывчатых 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 [1].

Основные элементы строения Кызыкчадрского рудного поля в целом отвечают типовой модели медно-порфировых месторождений. Однако отмечается ряд особенностей морфологии рудных тел и вещественного состава этого месторождения: лентовидная в плане и поперечном сечении форма минерализованной зоны, редуцированное распространение калиевой зоны с практически полным отсутствием реликтов вторичного биотита и резкое преобладание филлизитовых изменений. Эти особенности могут быть обусловлены формированием оруденения в долгоживущей разломной зоне, экранирующим эффектом вмещающей интрузив метаморфизованной толщи и преимущественно кислым составом вмещающих оруденение интрузивных пород (см. рис. 2).

Региональное геологическое строение.

Алтае-Саянская складчатая область (АССО), в пределах которой располагается потенциальное месторождение Кызык-Чадр и ряд других молибден-медно-порфировых и молибден-порфировых объектов (месторождения Ак-Суг, Сорское и др.), рассматривается в качестве Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса (ЦАОП) – структуры планетарного масштаба, формирование которой продолжается уже более 700 млн лет [3, 13, 22,

26]. На сегодняшний день не существует единой точки зрения относительно истории формирования и развития этой территории.

Геологическое строение рассматриваемого региона изучено сравнительно хорошо. На значительной части территории АССО выполнена геологическая съёмка масштаба 1 : 200 000 второго поколения [11], на основе которой составлены Государственная геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000 (3-е поколение) [5–10], геологическая карта масштаба 1 : 2 500 000 (ВСЕГЕИ) [12] и другие общедоступные специализированные картографические материалы. Геологическому строению территории посвящены многочисленные публикации [3, 4, 13, 14, 17, 19, 20, 23, 24, 26], дающие следующие общие представления о геологической позиции Кызыкчадрского рудного поля.

Кызыкчадрское рудное поле (в составе Ожинского рудного узла) расположено в пределах Восточно-Тувинской складчатой системы АССО, в строении которой выделяются три структурных этажа: салаирский, каледонский и герцинский [20].

Салаирский структурный этаж [20] сложен венд-кембрийскими образованиями, представленными интенсивно дислоцированными вулканогенными и терригенными отложениями [5–10], прорванными мелкими габброидными и гранитоидными интрузиями раннего кембрия (майнский комплекс) и крупными батолитоподобными интрузивами диорит-тоналит-плагиогранитовой формации среднего-позднего кембрия (таннуольский, ольховский, когтахский комплексы)¹. В центральной части рассматриваемого региона, в южном крыле субширотного Хемчикско-Азасского взброса,

¹ Возраст пород главной фазы внедрения таннуольского комплекса в настоящее время с учётом ранее выполненных абсолютных датировок U-Pb методом (SIMS SHRIMP), принимается как средне-поздне-кембрийский, с вариациями от (515 ± 4) – (499 ± 6) в районе месторождения Ак-Суг до $496,4 \pm 4$ (Ожинский выступ); однако, по данным Rb-Sr изохронного датирования таннуольских гранитоидов Ожинского массива, выполненного в рамках геологического доизучения площади ГДП-200 (М. И. Семёнов и др., 2017 г.), верхняя возрастная граница формирования таннуольского комплекса сдвинута на начало ордовика $(458,4 \pm 2,8)$ – $(478,5 \pm 2,9)$ млн лет [11].

к востоку от его сочленения с северо-восточным Куртушибинским надвигом они образуют Ожинский выступ (горст-антиклиналь), ограниченный оперяющими разломами субширотного, северо-восточного, северо-западного направлений и поперечный оси Систигхемского прогиба. Выступ сложен в основном гранитоидами таннуольского комплекса (Ожинский батолит), прорывающими терригенно-вулканогенные отложения туматтайгинской свиты нижнего кембрия [18, 20].

В южной части выступа ороговикованные породы туматтайгинской свиты в экзоконтакте (провесе кровли) батолита, а также, по-видимому, и в самом батолите прорваны небольшим по площади полифазным интрузивным массивом, отнесённым к кызыкчадрскому комплексу габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации среднего–верхнего кембрия [14] (см. рис. 2). К Ожинскому выступу, большую часть которого составляют интрузивные образования таннуольского и кызыкчадрского комплексов, приурочен одноимённый рудный узел с Кызыкчадрским медно-порфировым рудным полем.

Каледонский структурный этаж [20] представлен ордовик-силурийскими вулканогенно-осадочными отложениями Систигхемского прогиба, смятыми в штамповые складки и прорванными совозрастными с ними лейкократовыми гранитоидами и монцонитоидами (тигертышский, беллыкский, кутурчинский, арголикский, столбовский, сибарский, юлинский, танзыбейский, огнитский комплексы) [5–10]. К этому структурному этажу относят также раннедевонские отложения трахиандезит-базальт-дацит-трахириолитовой формации Центрально-Тувинского прогиба, образующие крупные синклиналильные структуры [20]. Складчатые образования каледонского этажа разбиты многочисленными разрывными структурами [5–10].

Герцинский структурный этаж [20] выполнен отложениями среднего девона мелководной терригенно-карбонатной ритмично-слоистой формации, слагающими фрагменты наложенной Уюкской впадины и других структур.

В дальнейшем мы сосредоточимся на обсуждении магматических формаций салаирского и каледонского структурных этажей, связанных с формированием молибден-медно-порфирового оруденения региона.

Известно, что для регионального прогнозирования представляет интерес геотектоническая позиция рудного объекта на время его формирования, во многом определяющая рудно-формационный тип и, соответственно, особенности прогнозно-поисковой модели оруденения. Установление палеогеотектонической позиции Кызыкчадрского рудного поля позволит определить его рудно-формационную принадлежность в ряду медно-порфирового рудно-формационного семейства [15, 17].

Следует отметить, что формирование оруденения Кызыкчадрского рудного поля традиционно рассматривалось в связи с вулканоплутоническим поясом (ВПП) девонского возраста [15, 16, 28] (табл. 1). Однако значительно более древние значения датировки (средний–поздний кембрий), полученные относительно недавно для пород кызыкчадрского рудоносного комплекса [14], требуют пересмотра представлений о геотектонической позиции его формирования.

Сложность решения этой задачи для анализируемого объекта определяется широким распространением перекрывающих стратифицированных и прорывающих интрузивных формаций, а также значительными пострудными деформациями включающего его блока земной коры [3, 13, 27]. При этом палеогеотектоническая позиция Кызыкчадрского рудного поля реконструируется только по фрагментарно сохранившимся блокам пород рудоносных и подстилающих формаций.

Для реконструкции исходной картины нами использованы сводные геодинамические модели, включающие изучаемый регион, разработанные рядом исследователей на основе геотектонической концепции тектоники плит [3, 13, 20, 25].

В соответствии с этими представлениями современный Алтае-Саянский сегмент ЦАОП трактуется как «Алтае-Саянский коллаж» позднепротерозойско-палеозойского возраста



Табл. 1. Хронология представлений о кызыкчадрском габбро-диорит-гранодиорит-гранитовом комплексе и связанном с ним одноимённом рудном поле

Table 1. History of ideas regarding the gabbro-diorite-granodiorite-granite Kyzykchadr Complex and the related ore field

Авторы	Год	Возраст	Обстановка формирования
А. И. Кривцов, С. Т. Агеева, И. Ф. Мигачёв [16]	1982	D ₁₋₂	Саяно-Тувинский ВПП
Н. И. Гусев, Е. И. Берзон, М. И. Семёнов [14]	2014	Є ₂₋₃	Аккреционно-коллизийная
И. Ф. Мигачёв, В. С. Звездов, О. В. Минина	2016	PZ	Саяно-Тувинский ВПП
А. С. Якубчук [27]*	2017	Є ₃	Аккреционно-коллизийная

Примечание: * Кызыкчадрский комплекс в работе не рассматривается, но данная территория относится к аккреционно-коллизийной обстановке.

[27]. Он включает разновозрастные и разнотипные блоки земной коры, смещённые в результате аккреционно-коллизийных событий:

- выступы докембрийских континентальных блоков;
- элементы океанических и островодужных систем рифей-вендского и раннекембрийского возраста (Хамсаринская палеоостроводужная система): фрагменты островодужных вулканических гряд, аккреционного клина, задуговых прогибов, сложенных терригенно-карбонатными отложениями;
- средне-позднекембрийские «батолитовые» интрузивы и малые интрузии аккреционно-коллизийной стадии;
- разрозненные фрагменты раннепалеозойского (ордовик-раннедевонского) коллизийного ВПП (наземные вулканогенно-осадочные отложения многочисленных свит ордовика-силура) [5–10].

Чтобы конкретизировать палеотектонические условия формирования Кызык-Чадра на основе упомянутых выше общих геотектонических моделей, мы провели структурно-формационную интерпретацию материалов изданных геологических карт (масштабы 1 : 2 500 000–1 : 1 000 000 [5–10] и 1 : 200 000 [11]).

При этом выделялись стратиграфические и магматические комплексы, отвечающие основным геотектоническим структурам и их латеральным зонам, изучались их состав и взаимоотношения, определялся формационный тип и соответствующий палеогеотектонический режим.

При рассмотрении геотектонической позиции формирования Кызык-Чадра нами использованы современные возрастные оценки рудоносных интрузивных образований этого рудного поля, а также молибден-медно-порфирового Ак-Суг, молибден-порфирового Сорского месторождений, отвечающие среднему–позднему кембрию (табл. 2).

Геодинамическая интерпретация обстановки формирования оруденения Кызыкчадрского рудного поля. Последовательность смены геодинамических обстановок в процессе образования отложений салаирского венд-кембрийского структурного этажа изучаемой территории и механизм причленения к континенту островной дуги со становлением коллизийно-аккреционных структур обобщена на схеме (модели) геодинамического развития Хамсаринской островодужной системы, составленной нами на основе построений И. В. Гордиенко [13] (рис. 3). В венде–раннем кембрии в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП в процессе механизма субдукции океанической коры происходило развитие островодужной системы с типовой латеральной зональностью (преддуговой бассейн – аккреционная призма – вулканическая дуга – задуговой бассейн), элементы которой реконструируются по характерному набору фактических данных о геологическом строении, возрасте, составе и взаимоотношениях пород, позволяющих выделять «диагностические» геологические формации (как это показано на представленной схеме). Аккреция островной дуги к Сибирскому кон-

Табл. 2. Результаты изотопного датирования медно-порфировых систем месторождений Сорское, Ак-Суг и Кызык-Чадр

Table 2. Results of isotope dating of porphyry copper systems of the Sora, Ak-Sug and Kyzyk-Chadr ore deposits

Месторождение	Геологические комплексы	Результаты изотопного датирования (млн лет)		
		Ar-Ar [26]	U-Pb SHRIMP, LA-ICP-MS	Re-Os [2]
Сорское	Монцониты			(506 ± 2)–(502 ± 2)
	Лейкограниты			
	Дайки габброидов и сиенитов			(470 ± 2)–(468 ± 2) по молибдениту
	Гранит-порфиры	480–460		
	Молибденовые руды	440–420		
		405–402 389–388		
Ак-Суг	Кварцевые диориты		515 ± 4 [26]	(518 ± 2)–(511 ± 2) по молибдениту
	Гранодиорит-порфиры		499 ± 6 [26]	
	Плагииграниты и аплиты	497–462		
	Медно-сульфидные руды	404–401 336–324		
Кызык-Чадр [14]	Граниты		508 ± 7	
	Кварцевые порфиры		507 ± 2	
	Гранодиорит-порфиры		490 ± 4	

тиненту в среднем кембрии привела к интенсивным деформациям островодужных отложений и внедрению интрузивов аккреционно-коллизийной диорит-тоналит-плагиигранитовой формации (таннуольский, другие комплексы). В среднем–позднем кембрии внедрялись малые интрузии габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации (кызыкчадрский комплекс), с которыми связывается возникновение молибден-медно-порфирового оруденения (Кызыкчадрское рудное поле).

По представлениям ряда исследователей АССО [3, 13, 14, 20, 25, 27], в *рифее–венде* функционировал спрединговый механизм расширения Палеоазиатского океана с заложением энзиматической островной дуги (Хамсаринской) с обширным задуговым бассейном (см. рис. 3). Океанические базальты этого возраста в виде тектонических линз присутствуют в составе аккреционной призм. В подчинённом количестве здесь отмечаются вулканы среднего и, значительно реже, кислого состава. На этой стадии отмечается внедрение островодужных

интрузий существенно габбрового состава (с небольшой долей гранитов), отнесённых к нижнеканскому, нижнедербинскому и другим магматическим комплексам [5–10].

Раннекембрийской стадии развития территории отвечает продолжение океанического спрединга и формирования островодужной системы. Стадия маркируется массовым появлением наряду с базальтами продуктов андезит-риолитового магматизма, представленных преимущественно туфами среднего и кислого состава [5–10]. В преддуговом бассейне фиксируется накопление флишевых, в задуговом – карбонатной и карбонатно-терригенных формаций. В сложенных преимущественно вулканитами осевых частях островодужной системы в это время внедрялись малые интрузии габбро-плагиигранитной формации (майнский комплекс). Интрузивные образования майнского комплекса главным образом представлены плагиигранитами с порфировидной, реже гнейсовидной структурой. В подчинённом количестве в пределах комплекса отмечаются

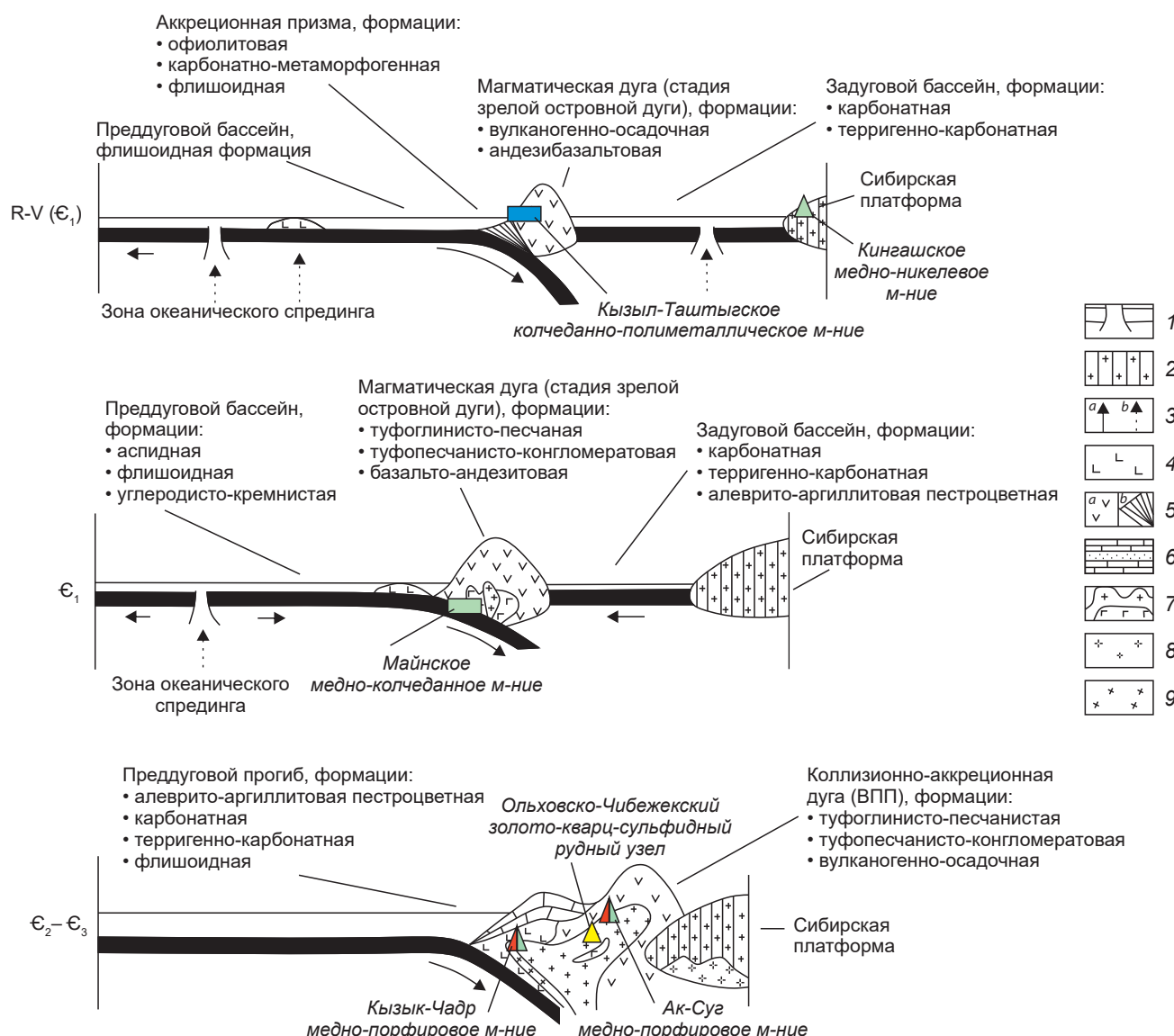


Рис. 3. Обобщённая модель геодинамического развития Хамсаринской островодужной системы в венде–раннем палеозое (по [13], с изменениями):

1 – океаническая кора (в том числе задугового бассейна) со спрединговыми зонами; 2 – континентальная кора (Сибирская платформа); 3 – потоки магм и флюидов в спрединговых зонах и «горячих точках» (a) и направления движения океанических и континентальных плит (b); 4 – симаунты; 5 – Хамсаринская островная дуга: a – вулканиты, b – аккреционная призма; 6 – осадочные карбонатно-терригенные отложения преддугового и задугового палеобассейнов; 7 – островодужные габброиды и гранитоиды (габбро-плагиогранитовая формация); аккреционно-коллизионные гранитоиды: 8 – диорит-тоналит-плагиогранитовая формация, 9 – габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формация

Fig. 3. Generalized geodynamic model of the Khamsara island-arc system in the Vendian–Early Paleozoic (modified after [13]):

1 – oceanic crust (including the back-arc basin) with spreading zones; 2 – continental crust (Siberian platform); 3 – directions of: a – flows of magmas and fluids in the spreading zones and “hot spots”, and b – movements of the oceanic and continental plates; 4 – seamounts; 5 – Khamsara island arc: a – volcanics, b – accretionary prism; 6 – sedimentary carbonate-terrigenous deposits of the forearc and back-arc paleobasins; 7 – island-arc gabbroids and granitoids (gabbro-plagiogranite igneous association); accretionary-collisional granitoids: 8 – diorite-tonalite-plagiogranite igneous association, 9 – gabbro-diorite-granodiorite-granite igneous association

роговообманковые и кварцсодержащие габбро. На участках перехода от габброидов первой фазы к плагиогранитам второй часто встречаются диориты и кварцевые диориты. Они не образуют обособленных тел с фиксированными границами и, возможно, являются гибридными образованиями [20].

С основным и последовательно дифференцированным островодужным вулканизмом раннего кембрия связано формирование колчеданного оруденения (Майнское медно-колчеданное и Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождения) [19].

Позднее, в *среднем–позднем кембрии*, что соответствует по времени салаирскому этапу складчатости, произошло приращение, или аккреция, островодужной системы к Сибирскому континенту и обрамляющим его структурам Восточного Саяна предшествующей консолидации. Процессы аккреционной коллизии, в том числе предполагаемое рядом исследователей заклинивание зоны субдукции, привели к скупиванию и утолщению земной коры и трансформации островодужной системы в аккреционный ороген [3, 13, 27]. Данная коллизионно-аккреционная стадия геотектонического развития территории сопровождалась активизацией интрузивного магматизма. Произошло становление крупных батолитоподобных плутонов, сложенных породами различного состава. Основной объём таких плутонов сложен продуктами «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации, отнесёнными к средне-позднекембрийским таннуольскому, ольховскому и когтахскому интрузивным комплексам. Однако в их краевых частях известны малые интрузии различного состава – от существенно плагиогранит-порфировых, как на Ак-Суге (ранее выделялись в качестве самостоятельного аксугского интрузивного комплекса, в настоящее время отнесены к таннуольскому комплексу) до полифазных, относящихся к габбро-диорит-гранодиорит-гранитной формации. Последние присутствуют в Ожинском плутоне, локализованном в одноимённом выступе салаирского основания, где они выделены в самостоятельный кызыкчадрский интрузивный комплекс [11, 14].

На современном эрозионном срезе интрузивные тела кызыкчадрского комплекса проявлены в виде малых интрузий, сложенных породами нескольких фаз внедрения: среднезернистыми габбро, диоритами, биотитовыми двуполевошпатовыми гранитами, мелкозернистыми гранодиоритами и, наконец, кварцевыми диоритовыми порфиритами, с которыми непосредственно ассоциирует прожилково-вкрапленное медно-молибден-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля. Собственно интрузивные взаимоотношения между телами таннуольского и кызыкчадрского комплексов нами не наблюдались. Однако тела кызыкчадрского комплекса локализованы в ороговикованных осадочных и вулканогенно-осадочных породах туматтайгинской свиты раннего кембрия, предположительно в провесе кровли краевой части Ожинского плутона таннуольского комплекса (см. рис. 2), с внедрением и остыванием которого предположительно связано ороговикование.

Такие геологические и геохронологические соотношения изучаемых интрузивов и вмещающей толщи позволяют предположить, что малые интрузии кызыкчадрского комплекса, обособляющиеся в пределах Ожинского плутона, внедрились позднее крупных тел таннуольского комплекса на завершающем отрезке аккреционно-коллизионной стадии геотектонического развития Алтае-Саянского сегмента.

Следует отметить, что выделение кызыкчадрского комплекса в качестве индивидуального регионального подразделения (впервые выделен Н. С. Бухаровым с коллегами как девонский из состава кембрийского таннуольского комплекса при проведении ГС-50 в 1977 г., в 2017 г. Н. И. Гусевым с соавторами переведён из девона в кембрий [11]) остаётся дискуссионным.

Отвечающий по своим петрографическим и петрохимическим характеристикам габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой интрузивной формации кызыкчадрский комплекс отчётливо отличается от близкосоизовременных с ним таннуольского комплекса и его аналогов (ольховского и когтахского), сложенных плутонами «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации. Петрохимические от-

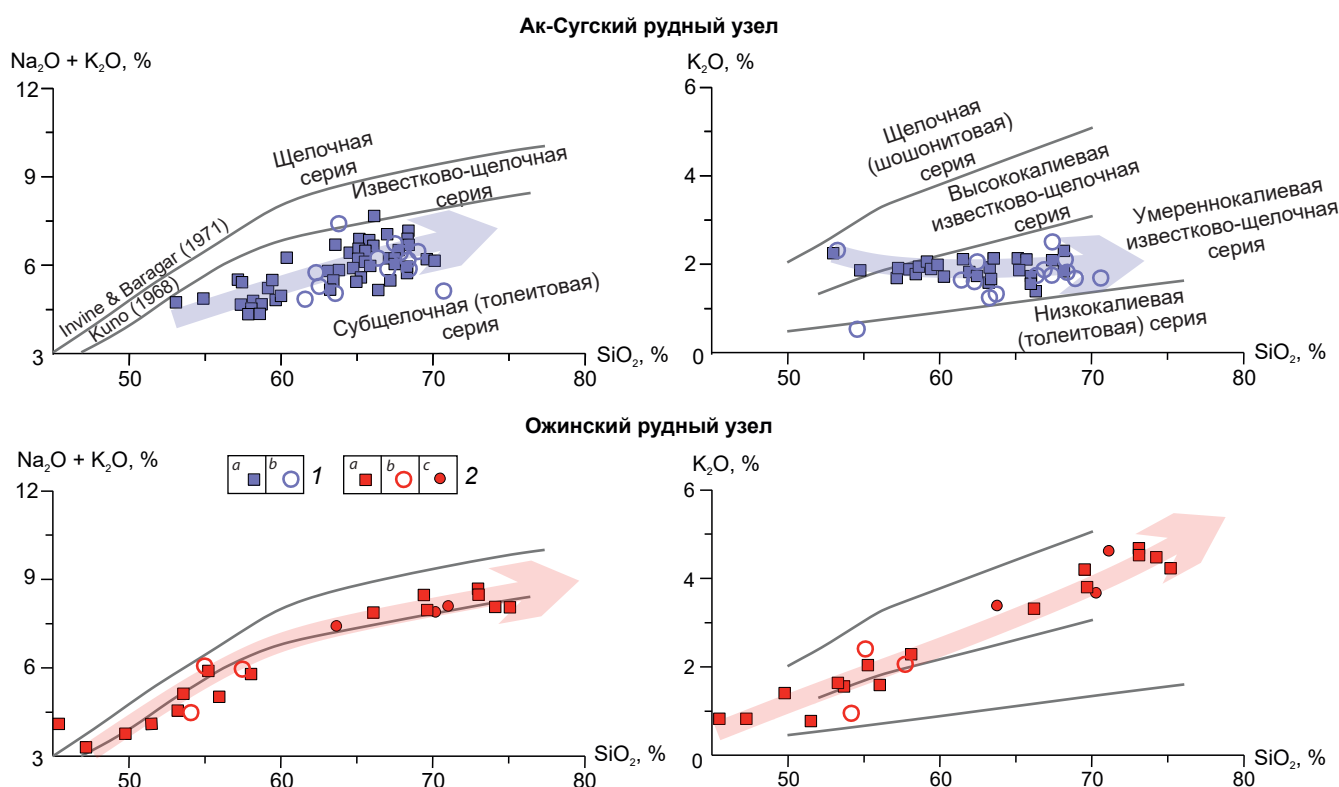


Рис. 4. Сравнительные диаграммы средних химических составов пород интрузивных комплексов, продуктивных на оруденение медно-порфирового типа в пределах Ак-Сугского [26] и Ожинского рудных узлов. Диаграмма для Ожинского узла с Кызык-Чадрским рудным полем составлена по данным авторов (силикатный анализ 30 отобранных проб интрузивных пород Ожинского плутона, отнесённых к таннуольскому и кызыкчадрскому комплексам, проведён в лаборатории АО «Сибирское ПГО»):

1 – фигуративные точки пород (по [26]): а – плутонической серии, b – порфировой серии; 2 – фигуративные точки пород кызыкчадрского комплекса: а – главных фаз, b – порфировых фаз основного и среднего составов, с – порфировых фаз кислого состава

Fig. 4. Comparative diagrams of the average chemical compositions of rocks of intrusive complexes productive for porphyry copper type mineralization within the Ak-Sug [26] and Ozhu ore clusters. The diagram for the Ozhu ore cluster with the Kyzyk-Chadr ore field was compiled according to the authors' data (silicate analysis of 30 samples of intrusive rocks from the Ozhu pluton, assigned to the Tannu-Ola and Kyzykchadr complexes, was performed in the laboratory of "Sibirskoe PGO"):

1 – figurative points of rocks of the Tannu-Ola Complex (after [26]): a – plutonic series, b – porphyry series; 2 – figurative points of rocks of the Kyzykchadr Complex: a – main phases, b – porphyry phases of basic and intermediate compositions, c – porphyry phases of silicic composition

личия проявляются в соотношениях как основных породообразующих оксидов, в частности по общей и калиевой щёлочности (рис. 4), так и редкоземельных элементов [14, 24]. Значимые различия, как было отмечено выше, имеются и по абсолютным датировкам (см. табл. 2). Современные изотопные датировки

(U-Pb, SHRIMP-II) таннуольского комплекса в районе месторождения Ак-Суг показали раннекембрийский возраст на уровне 509–520 млн лет, а кызыкчадрского в районе рудопрооявления Кызык-Чадр – более молодой, средне-позднекембрийский возраст 494–501 млн лет (см. табл. 2) [2, 14, 26].

Главное противоречие заключается в следующем. Крупные «батолитоподобные» плутоны таннуольского комплекса и его аналогов широко распространены в южной части Алтае-Саянского региона [5–10]. Кызыкчадрский же комплекс к настоящему времени выделен только в пределах Ожинского выступа [11, 14, 21], где он пространственно сопряжён с плутонитами таннуольского комплекса, предположительно прорывая последние, и нигде больше в Алтае-Саянском сегменте не известен. Такая «уникальность» интрузивных образований кызыкчадрского комплекса заставляет задуматься о его возможной прямой генетической связи с таннуольскими гранитоидами.

Вопрос о соотношении кызыкчадрского и таннуольского комплексов требует дальнейшего изучения и продолжения поисков аналогов кызыкчадрского комплекса в смежных районах.

Плутониты обоих комплексов в составе Ожинского плутона сформированы на островодужном субстрате, сложенном интенсивно дислоцированными и ороговикованными раннекембрийскими вулканогенно-осадочными и терригенными образованиями (туматтайгинская свита). Вулканиты среднего–позднего кембрия в исследуемом регионе развиты весьма ограниченно. Они представлены туфами и эффузивами различного, преимущественно среднего, реже кислого состава [5–10].

В региональном масштабе магматические образования данной стадии, включая таннуольский интрузивный комплекс и его аналоги, а также более поздние малые интрузии (кызыкчадрский, аксугский комплексы) и ограниченно проявленные вулканиты, могут рассматриваться в качестве салаирского аккреционно-коллизийного магматического пояса.

В металлогеническом отношении с образованиями изучаемого аккреционно-коллизийного магматического пояса связано оруденение различных типов.

В краевых контактовых зонах ряда интрузивов таннуольского комплекса располагаются месторождения и рудопроявления золота золото-сульфидно-кварцевого и золото-скар-

нового типов (Ольховско-Чибеевский, Мартайгинский, Восточно-Таннуольский и другие рудные районы).

Со становлением средне-позднекембрийского аккреционно-коллизийного магматического пояса в Алтае-Саянском регионе связано также формирование ряда средних и крупных порфировых месторождений – медно-порфирового Ак-Суг, где малые интрузивные тела относятся в настоящее время к поздним фазам таннуольского комплекса, молибден-порфирового Сорского, а также молибден-порфирового Сорского в связи с гранитными интрузивами когтахского комплекса [4, 24, 29].

Золотосодержащее молибден-медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля пространственно и, по-видимому, генетически связано с интрузивными телами кызыкчадрского комплекса габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формации. Штокверковая рудная минерализация приурочена к «порфировому интрузиву», сложенному поздней фазой внедрения кызыкчадрского комплекса, внедрившемуся в краевую часть Ожинского батолита на позднем отрезке аккреционно-коллизийной стадии развития (см. рис. 2).

Последующие магматические образования *ордовика–раннего девона* (булжинский, бичебалыкский, большепорожский, джойский, бреньский, черносопский комплексы) [5–10] формировались уже в условиях развития собственно коллизийного ВПП. Они несут преимущественно серию мелких проявлений с молибденовой и редкометалльной минерализацией.

В качестве дополнительного обоснования представленной выше схемы могут быть приведены некоторые характеристики состава интрузивных комплексов диорит-тоналит-плагиогранитовой и габбро-диорит-гранодиорит-гранитовой формаций Алтае-Саянского сегмента и связанного с ними оруденения.

В составе первой фазы среднекембрийского таннуольского комплекса преобладают диориты, в меньшей степени распространены роговообманковые габбро и кварцевые диориты. Породы второй фазы варьируют по составу от тоналитов до плагиогранитов [1, 4, 14].



По данным С. В. Руднева [20], в кембрийских диорит-тоналит-плагиогранитной и тоналит-плагиогранитной ассоциациях пород Хамсаринской палеоостровной дуги плагиограниты относятся к толеитовой и низкоглинозёмистой известково-щелочной сериям, характерным для островодужного магматизма. Предполагается, что исходным для этих расплавов является метабазитовый субдукционный источник [13, 27]. Среди ордовикских гранитоидов преобладают уже высокоглинозёмистые плагиограниты известково-щелочной серии. Магмогенерирующим источником для ордовикских гранитоидов служил метабазитовый субстрат с варьирующей добавкой древнего корового материала. Таким источником могла быть океаническая кора Палеоазиатского океана, включающая докембрийский Тувино-Монгольский и другие микроконтиненты [3, 11].

По соотношению основных полезных компонентов в рудах месторождение Кызык-Чадр ($\text{Cu}/\text{Mo} = 23$, $\text{Cu}/\text{Au} = 20\,000$) ближе всего к месторождениям молибден-медно-порфирового рудно-формационного типа медно-порфирового семейства, сформированным в ВПП на вулканогенно-осадочном островодужном субстрате [18, 28].

Позиция Кызыкчадрского рудного поля и других медно-порфировых объектов в палеоструктурах южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП. На основе анализа данных о геологическом строении южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП, обобщённых предшествовавшими исследователями [3, 4, 11, 13, 14, 25] нами составлена металлогенограмма, отражающая последовательность формирования структурно-вещественных комплексов каледонского этапа развития данной территории. Реконструированы структурно-формационные ряды для основных стадий этого этапа (рис. 5).

На составленной металлогенограмме отражена приуроченность медно-порфирового оруденения Кызыкчадрского рудного поля (а возможно, и других медно-порфировых объектов южной части Алтае-Саянского сегмента) к стадии аккреции Хамсаринской островодужной системы к Сибирскому континенту в

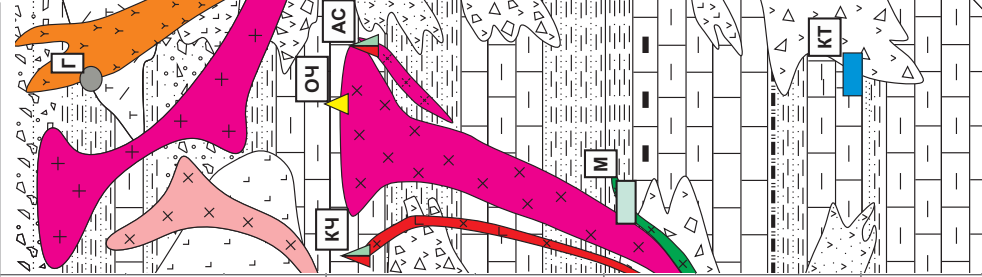
среднем-позднем кембрии, сопровождавшейся формированием аккреционно-коллизийного магматического пояса. В составе последнего распространены крупные плутоны «батолитовой» диорит-тоналит-плагиогранитовой формации (в том числе таннуольского комплекса). Такие плутоны в ряде случаев прорываются малыми интрузиями «пёстрого» состава, несущими медно-молибден-порфировое оруденение. В частности, медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля приурочено к телам кварцевых диоритовых порфиров Кызыкчадрского интрузивного комплекса среднего-позднего кембрия.

Как уже было отмечено, интрузивы, отвечающие по составу и времени образования магматитам Кызыкчадрского комплекса, к настоящему времени обнаружены только в пределах Ожинского выступа. Не исключено, что за его пределами они оказались перекрытыми или прорванными более молодыми породами раннепалеозойского коллизийного ВПП. Последние представлены вулканическими и интрузивными образованиями ордовика-силура (гранит-лейкогранитового и риолитоидного составов) и раннего девона (монцититоидного и трахиандезитоидного составов), типичными для подобных обстановок [17, 26].

С учётом полученных соотношений нами составлена схематическая структурно-формационная карта южной части Алтае-Саянского сегмента масштаба 1 : 3 000 000 (рис. 6).

Отметим, что в качестве «каркаса» при составлении такой карты была принята концепция ороклинального изгиба каледонской «Тувино-Монгольской магматической дуги» М. Михаласки с соавторами [29] на стадии общей коллизии в позднем палеозое-мезозое. Рассматриваемая нами площадь – юг Алтае-Саянского сегмента ЦАОП – располагается в наиболее деформированной области северо-западного замыкания этой структуры на границе Сибирского кратона.

Структурно-формационная карта составлена на основе изданной ГГК 1 : 2 500 000 (ВСЕГЕИ) с использованием имеющегося комплекта ГГК 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000. Выделенные на карте разновозрастные структурно-

Возраст	Геодинамические режимы (стадии геотектонического развития)	Интрузивные формации	Стратифицированные формации	Металлогенная грамма
D ₂ –Q	Горно-складчатое сооружение; пассивная окраина; рифтогенез; платформенные	Щелочные интрузивы позднего мезозоя (К); гранит-лейкогранитовые и трахидолеритовые комплексы позднего палеозоя (D)	Континентальные формации позднего палеозоя–мезозоя: карбонатные, терригенно-карбонатные, флишевые и вулканогенно-обломочные (преимущественно девонские) формации	
Перекрывающие и прорывающие формации (постраннедевонские)				
O–D ₁	Коллизионный вулканоплутонический пояс	Гранит-лейкогранитовая (белыкский, кутурчинский, аргонский, огнистый, большепорожский и др. комплексы) Монцитовая, гранит-лейкогранитовая (тигертышский, танзыбейский комплексы) Сиенитовая (столбовский, сайбарский, черносопкинский, юлинский комплексы)	молаассовая горно-складчатое сооружение базальтовая, туфопесчанисто-конгломератовая, андезитобазальтовая, трахириолитовая магматическая дуга коллизионного ВПП флишеидная терригенно-карбонатная континентальный склон и задуговой прогиб	
Є ₂₋₃	Аккреционно-коллизионный магматический пояс	Габбро-диорит-гранодиорит-гранитная (кызыкчадрский комплекс)	туфоглинисто-песчаная туфопесчанисто-конгломератовая вулканогенно-осадочная	магматическая (вулканоплутоническая) дуга аккреционно-коллизионного пояса
	Аккреция островных дуг	Диорит-тоналит-плагиогранитная «батолитовая» (таннуольский, ольховский, когтахский комплексы)	алеврито-аргиллитовая пестроцветная, карбонатная, терригенно-карбонатная, флишеидная	преддуговой и задуговой прогибы
Є ₁	Зрелые островные дуги	Габбро-плагиогранитная (майский)	алеврито-аргиллитовая пестроцветная, карбонатная, терригенно-карбонатная туфоглинисто-песчаная, туфопесчанисто-конгломератовая, базальто-андезитовая	задуговой бассейн
R–V (Є ₁)		Габбро-гранитная (нижнеканский, нижнедербинский, лысанский, казырский, акшепский, изыхский и др. комплексы)	аспидная, флишеидная, углеродисто-кремнистая	преддуговой бассейн
			карбонатная терригенно-карбонатная	задуговой бассейн

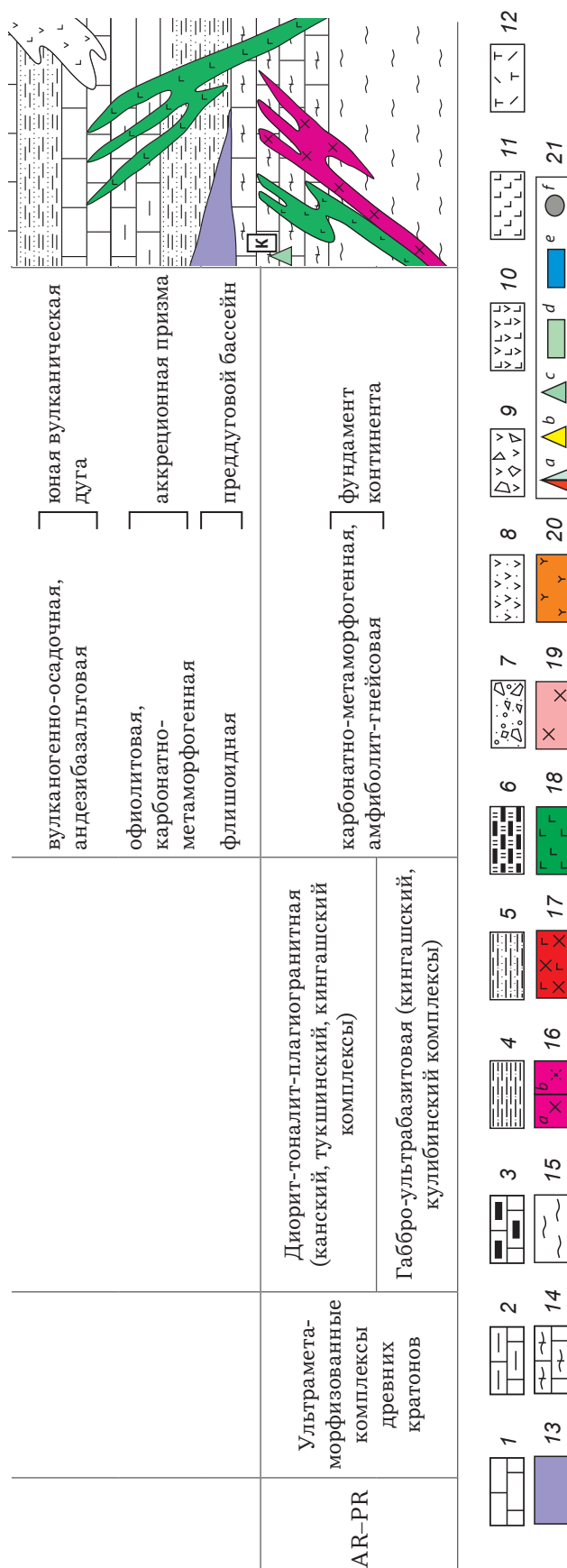


Рис. 5. Схема пространственно-временных соотношений геологических и рудных формаций (металлогенограмма) южной части Алтае-Саянского сегмента:

геологические формации: осадочные (1 – карбонатная, 2 – терригенно-карбонатная, 3 – аспидная, 4 – алевроит-аргиллитовая пестроцветная, 5 – флишевая, 6 – углеродисто-кремнистая, 7 – молассовая); вулканогенные (8 – туфоглинисто-песчаная, 9 – туфопесчаноконгломератовая/вулканогенно-обломочная, 10 – андезит-базальтовая/базальт-андезитовая, 11 – базальтовая, 12 – трахириолитовая, 13 – офиолитовая); метаморфические (14 – карбонатно-гранулитовая, 15 – амфиболит-гнейсовая); интрузивные (16 – диорит-тоналит-плагиогранитная; а – фанеритовые фазы, б – порфировые фазы; 17 – габбро-диорит-гранодиорит-гранитная; 18 – габбро-плагиогранитная; 19 – монзонитовая; 20 – сиенитовая); 21 – рудные формации: а – молибден-медно-порфировая (КЧ – Кызык-Чадр, АС – Ак-Суг), б – золото-кварц-сульфидная (ОЧ – Ольховско-Чибеевский рудный узел), с – медно-никелевая с габброидами (К – Кингашское), д – медно-колчеданная (М – Майнское), е – колчеданно-полиметаллическая (КТ – Кызыл-Таштыгское), ф – тантал-ниобиевая, неясного рудно-формационного типа (Г – Гольцевское)

Fig. 5. Diagram (metallogenogram) showing spatial and temporal relationships between the geological formations and mineralization of various types of the southern Altai-Sayan segment:

geological formations: sedimentary (1 – carbonate, 2 – terrigenous-carbonate, 3 – slate, 4 – siltstone-mudstone, varicolored, 5 – flysch, 6 – carbonaceous cherty, and 7 – molasse); volcanogenic (8 – tuffaceous clayey-sandy, 9 – tuffaceous sandstone-conglomerate / volcanogenic clastic, 10 – andesibasaltic / basaltic-andesitic, 11 – basaltic, 12 – trachyrhyolitic, 13 – ophiolite); metamorphic (14 – carbonate-granulitic, 15 – amphibolite-gneissic); intrusive (16 – diorite-tonalite-plagiogranite; a – faneritic phases, b – porphyritic phases; 17 – gabbro-diorite-granodiorite-granite; 18 – gabbro-plagiogranite; 19 – monzonite; 20 – syenite); 21 – mineralization types (ore formations): a – molybdenum-copper porphyry (KЧ – Kyzyl-Chadr, AC – Ak-Sug), b – gold-quartz-sulfide (OЧ – Olkhovsko-Chibezhek ore cluster), c – copper-nickel with gabbroids (K – Kingash), d – copper VMS (M – Mainskoe), e – polymetallic VMS (КТ – Kyzyl-Tashtygskeye), f – tantalum-niobium of unclear ore formational type (Г – Goltsevskoe)

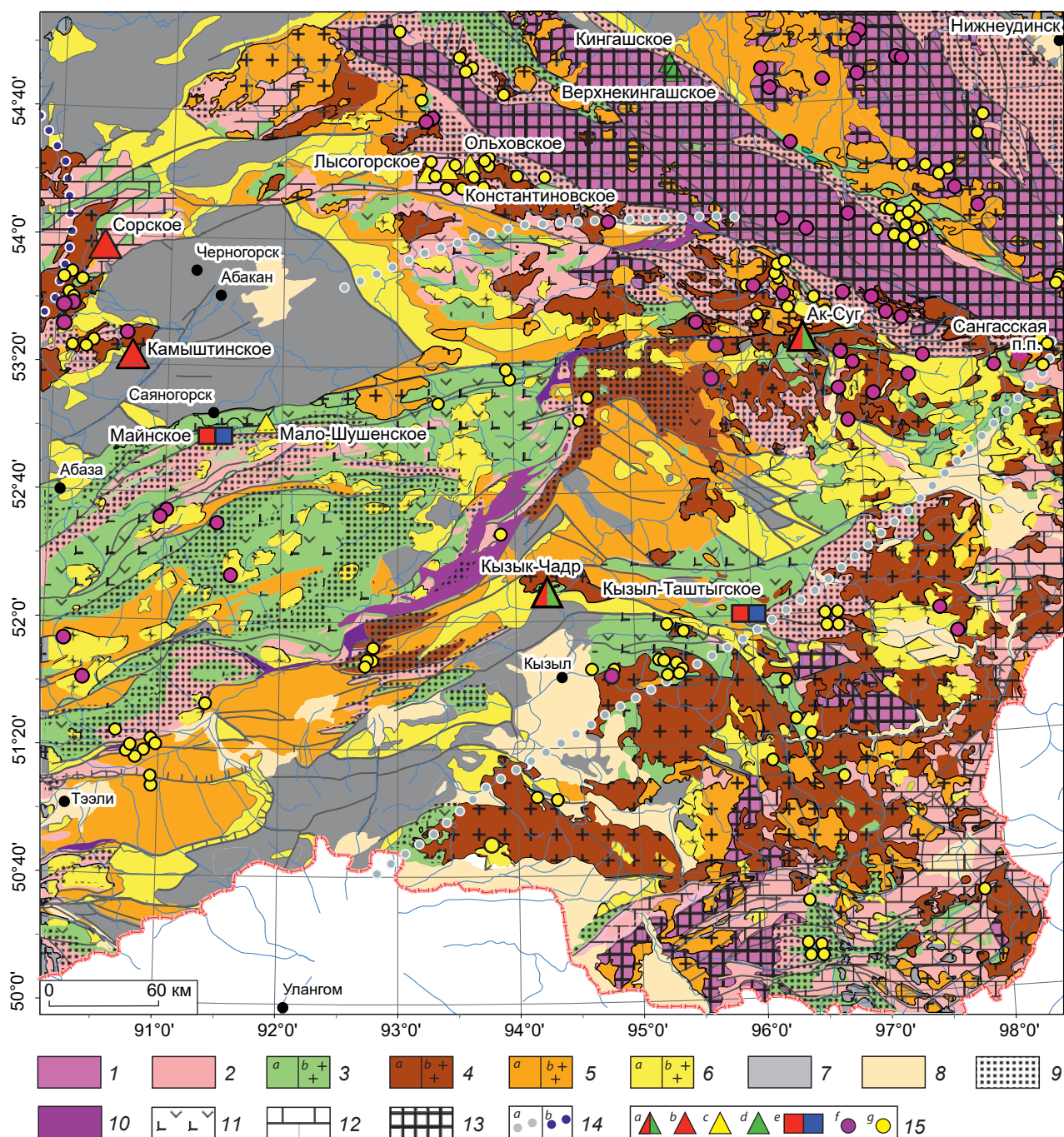


Рис. 6. Схематическая структурно-формационная карта южной части Алтае-Саянского сегмента (составлена с использованием [12]):

докембрийские образования: 1 – архей–протерозой; 2 – рифей–венд; 3 – раннекембрийские образования: а – стратифицированные толщи, b – габбро-плагиогранитные формации; 4 – средне-(позднекембрийские) образования: а – стратифицированные толщи, b – габбро-тоналит-плагиогранитная и габбро-диорит-гранодиорит-гранитная формации; 5 – ордовик-силурийские образования: а – стратифицированные толщи, b – габбро-монзонит-сиенитовая и гранит-лейкогранитная формации, нерасчленённые; 6 – раннедевонские образования: а – стратифицированные толщи, b – габбро-монзонит-сиенитовая и гранит-



лейкогранитовая формации, нерасчленённые; 7 – позднепалеозойские–раннемезозойские образования (D_2 –T); 8 – позднемезозойские–кайнозойские образования (J–N); геотектонические обстановки осадконакопления: 9 – преддуговой прогиб, 10 – аккреционная призма, 11 – магматическая дуга, 12 – задуговой бассейн, 13 – континент; 14 – магматические дуги: а – «Тувино-Монгольская», б – Уймен-Лебедская; 15 – месторождения и точки минерализации: а – молибден-медно-порфировые, б – молибденовые, с – золоторудные, d – медно-никелевые, e – колчеданно-полиметаллические, f – рудопроявления молибдена, g – рудопроявления золота

Fig. 6. Schematic structural-formational map of the southern Altai-Sayan segment (compiled using [12]):

Precambrian formations: 1 – Archean–Proterozoic, 2 – Riphean–Vendian; 3 – Early Cambrian formations: а – stratified sequences, b – gabbro-plagiogranite associations; 4 – Middle (Late Cambrian) formations: а – stratified sequences, b – gabbro-tonalite-plagiogranite and gabbro-diorite-granodiorite-granite associations, undivided; 5 – Ordovician–Silurian formations: а – stratified strata, b – gabbro-monzonite-syenite and granite-leucogranite formations; 6 – Early Devonian formations: а – stratified sequences, b – gabbro-monzonite-syenite and granite-leucogranite formations, undivided; 7 – Late Paleozoic–Early Mesozoic formations (D_2 –T); 8 – Late Mesozoic–Cenozoic formations (J–N); geotectonic settings: 9 – forearc trough, 10 – accretionary prism, 11 – magmatic arc, 12 – back-arc basin, 13 – continent; 14 – magmatic arcs: а – Tuva-Mongolian, b – Uymen-Lebed; 15 – deposits and mineralization points: а – molybdenum-copper porphyry, b – molybdenum, c – lode gold, d – copper-nickel, e – polymetallic VMS, f – molybdenum ore occurrences, g – gold ore occurrences

формационные комплексы соответствуют геотектоническим режимам (стадиям геотектонического развития) на приведённой выше металлогенограмме (см. рис. 5).

На основе генерализации выделенных на схематической структурно-формационной карте ареалов распространения различных геологических формаций составлена схема распределения кембрийских, ордовикско-силурийских и раннедевонских магматических образований в южной части Алтае-Саянского сегмента (рис. 7). Анализ этой схемы и размещения месторождений медно-порфирового типа показывает, что позиция промышленных месторождений медно-молибден-порфирового рудно-формационного семейства в южной части Алтае-Саянского сегмента Центрально-Азиатского орогенного пояса характеризуется приуроченностью к участкам пространственного совмещения (наложения) поясов распространения магматических образований трёх геотектонических этапов: островодужных вулканических поясов, «батолитовых» интрузивов аккреционно-коллизионных магматических поясов заключительной (аккреционной) стадии развития островных дуг и коллизионных вулкано-плутонических поясов.

Заключение.

1. Молибден-медно-порфировое оруденение Кызыкчадрского рудного поля сформировано

на раннекаледонском (салаирском) этапе развития Алтае-Саянского сегмента ЦАОП в связи со становлением малых интрузий кызыкчадрского габбро-диорит-гранодиорит-гранитового комплекса среднего–позднего кембрия, на стадии образования аккреционно-коллизионного магматического пояса, заложенного на вулканогенно-осадочном островодужном субстрате венд-раннекембрийского возраста.

2. Предполагаемые площади размещения продуктивных на молибден-медно-порфировое оруденение кембрийских плутонитов аккреционно-коллизионной стадии южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП на отдельных участках перекрываются ордовик-силурийскими и раннедевонскими вулканогенно-осадочными отложениями и прорываются интрузивными массивами собственно коллизионного ВПП каледонского геотектонического этапа.

3. Породы салаирского и каледонского магматических поясов были интенсивно деформированы в ходе последующих геотектонических этапов – в первую очередь в процессе позднепалеозойской коллизии, и перекрыты более молодыми осадочными отложениями.

4. По основным характеристикам состава продуктивного магматизма, руд и метасоматитов оруденение Кызыкчадрского рудного поля может быть отнесено к молибден-медно-

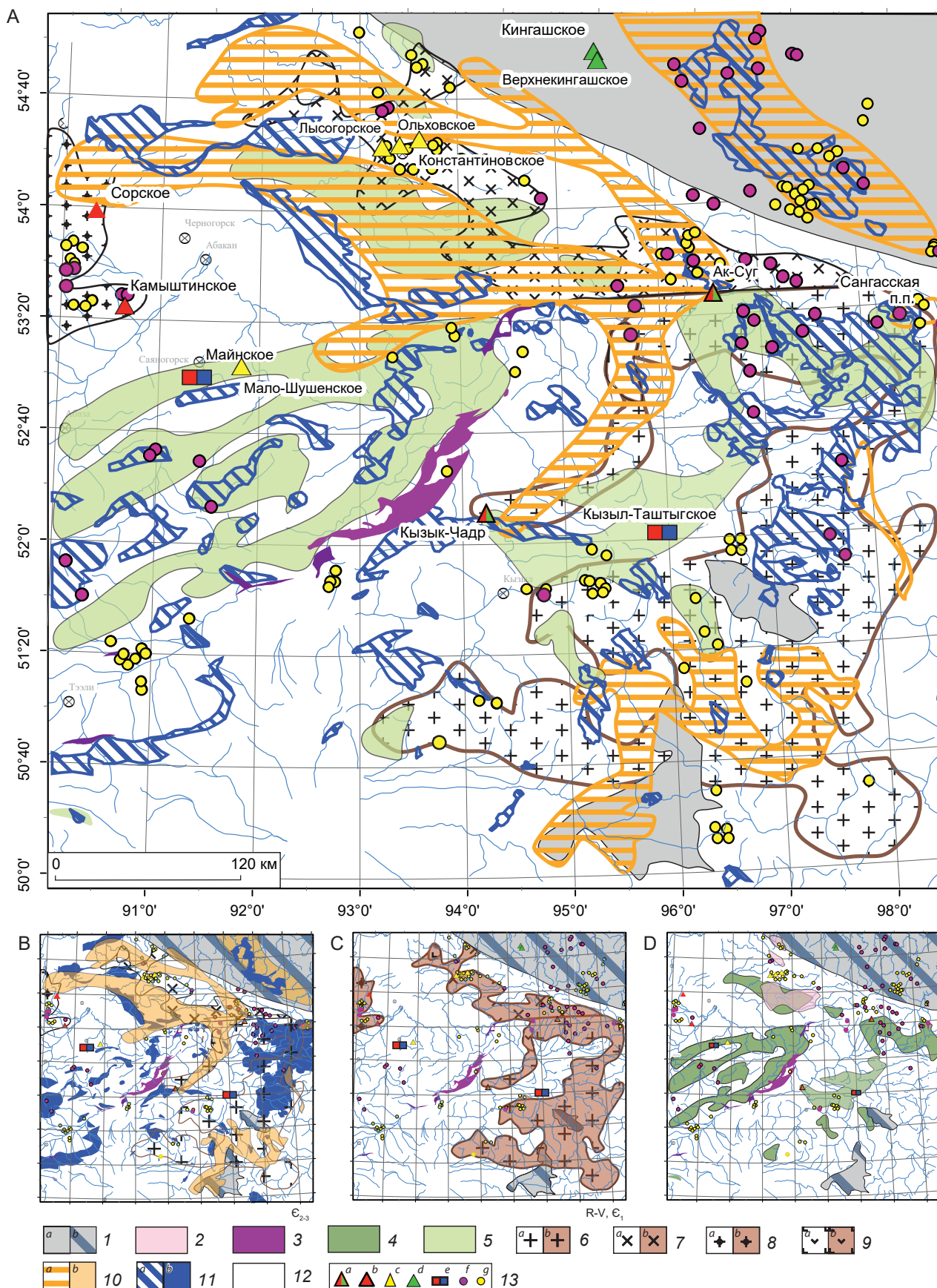




Рис. 7. Схема распространения кембрийских, ордовикско-силурийских и раннедевонских магматических образований в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП: А – схематическая структурно-формационная карта; карты-врезки для этапов: В – ордовик-силур и ранний девон (окраинно-континентальный ВПП), С – средний-поздний кембрий (аккреционно-коллизийная «батолитовая» стадия), D – рифей-венд и ранний кембрий (островодужная обстановка):

структурно-формационные комплексы: 1 – докембрийских кратонных блоков (в том числе Сибирская платформа) (а – на схематической карте, б – на врезках); рифейско-раннекембрийских островных дуг: 2 – рифей-вендской зрелой островной дуги (только на врезке), 3 – вендский офиолитовый (аккреционной призмы), 4 – раннекембрийские зрелой островной дуги (только на врезке), 5 – рифей-вендские и раннекембрийские островодужные, нерасчленённые (только на карте); *средне-позднекембрийских аккреционно-коллизийных обстановок:* батолитовые плутоны (6 – таннуольского, 7 – ольховского, 8 – когтахского интрузивных комплексов: а – на карте, б – на врезке), 9 – вулканы (а – на карте, б – на врезке); *ордовик-раннедевонских коллизийных обстановок:* 10 – ордовик-силурийские образования гранит-лейкогранитового и габбро-монзонит-сиенитового состава коллизийного ВПП (а – на карте, б – на врезке), 11 – раннедевонские образования монзонитоидного и трахиандезитоидного составов коллизийного ВПП (а – на карте, б – на врезке); 12 – прочие; 13 – **месторождения и рудопроявления полезных ископаемых:** а – молибден-медно-порфировые, б – молибденовые, с – золоторудные, d – медно-никелевые, e – колчеданно-полиметаллические, f – рудопроявления молибдена, g – рудопроявления золота

Fig. 7. Schematic maps showing distribution of the Cambrian, Ordovician–Silurian, and Early Devonian igneous associations in the southern portion of the Altai-Sayan segment of the CAOB: A – schematic structural-formational map; inset maps for the stages: B – Ordovician–Silurian and Early Devonian (continental-marginal volcano-plutonic belt), C – Middle–Late Cambrian (accretionary-collisional “batholithic” phase), D – Riphean–Vendian and Early Cambrian (island-arc setting):

structural and formational complexes of the principal geotectonic phases: 1 – Precambrian cratonic blocks (including the Siberian Platform) (a – on the schematic map, b – on the insets); Riphean–Early Cambrian island arcs: 2 – Riphean–Vendian mature island arc (only on the inset), 3 – Vendian ophiolites (accretionary prism), 4 – Early Cambrian of the mature island arc (only on the inset), 5 – Riphean–Vendian and Early Cambrian island arcs, undivided (only on the map); *Middle through Late Cambrian accretionary-collisional settings:* batholith plutons (6 – Tannu-Ola, 7 – Olkhovka, 8 – Kogtakh intrusive complexes: a – on the map, b – on the inset), 9 – volcanics (a – on the map, b – on the inset); *Ordovician–Early Devonian collisional settings:* 10 – Ordovician–Silurian granite-leucogranite and gabbro-monzonite-syenite associations of the collisional volcano-plutonic belt (a – on the map, b – on the inset), 11 – Early Devonian monzonitoid and trachyandesitoid associations of the collisional volcano-plutonic belt (a – on the map, b – on the inset), 12 – others; 13 – **ore deposits and occurrences:** a – molybdenum-copper porphyry, b – molybdenum, c – lode gold, d – copper-nickel, e – polymetallic VMS, f – molybdenum occurrences, g – gold occurrences

порфировой формации (по А. И. Кривцову, 1981 г.).

5. Позиция промышленных месторождений медно-молибден-порфирового рудно-формационного семейства в южной части Алтае-Саянского сегмента ЦАОП характеризуется приуроченностью к участкам пространствен-

ного совмещения (наложения) ареалов распространения магматических образований трёх геотектонических этапов: 1) островодужных вулканических поясов (V–Є₁); 2) «батолитовых» интрузивов и малых интрузий магматического пояса аккреционно-коллизийной стадии (Є_{2–3}); 3) коллизийного ВПП (O–D₁).

Список литературы

1. 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-Чад, Республика Тыва // Руды и металлы. – 2021. – № 1. – С. 57–76.
2. Берзина А. Н., Берзина А. П., Гимон В. О. Су-Мо-порфировое месторождение Аксуг (Северо-Восточная Тува): хронология процессов магматизма и рудообразования (U-Pb, Re-Os изотопные данные), металлогенические следствия // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 9. – С. 1330–1349.
3. Буслов М. М., Джен Х., Травин А. В., Отгонбаатар Д., Куликова А. В., Чен Минг, Глори С.,

- Семаков Н. Н., Рубанова Е. С., Абилдаева М. А., Войтишек Е. Э., Трофимова Д. А. Тектоника и геодинамика Горного Алтая и сопредельных структур Алтае-Саянской складчатой области // Геология и геофизика. – 2013. – № 10. – С. 1600–1627.
4. Ветров Е. В., Черных А. И., Бабин Г. А. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм восточно-таннуольского сектора тувинского магматического пояса: геодинамическая позиция, возраст и металлогения // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60, № 5. – С. 641–665.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-45 (Горно-Алтайск). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2006.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-46 (Кызыл). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист М-47 (Кунгур). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2010.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 (Новокузнецк). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2005.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-46 (Абакан). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1 000 000 (3-е поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-47 (Нижеудинск). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2011.
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 200 000 (2-е издание). Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXXV (Уюк). Объяснительная записка. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019.
12. Геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 2 500 000. – СПб. : Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017.
13. Гордиенко И. В., Метёлкин Д. В. Эволюция субдукционного магматизма на неопротерозойской и венд-раннепалеозойской активных окраинах Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57, № 1. – С. 91–108.
14. Гусев Н. И., Берзон Е. И., Семёнов М. И. Кызыкчадрское медно-порфировое месторождение (Тува): геохимические особенности и возраст магматизма // Региональная геология и металлогения. – 2014. – № 59. – С. 70–79.
15. Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Гирфанов М. М., Заури Н. М. Обстановки формирования медно-порфировых рудно-магматических систем // Геология рудных месторождений. – 1989. – № 4. – С. 23–37.
16. Кривцов А. И., Мигачёв И. Ф., Попов В. С. Медно-порфировые месторождения мира. – М. : Недра, 1986. – 236 с.
17. Кривцов А. И., Гирфанов М. М., Шишаков В. Б., Дубова Т. А., Емельянов С. А. Комплексные модели месторождений порфирового типа цветных и благородных металлов. Атлас. – М. : ЦНИГРИ, 1995.
18. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачёв И. Ф., Минина О. В. Медно-порфировые месторождения. – М. : ЦНИГРИ, 2001. – 232 с.
19. Кузнецов В. В., Серавина Т. В., Кузнецова С. В., Елишина С. Л. Условия локализации колчеданно-полиметаллического оруденения Улугуйской минерогенической зоны (Республика Тыва) // Отечественная геология. – 2020. – № 3. – С. 3–17.
20. Руднев С. Н., Гибшер А. С., Семёнова Д. В. Вендский островодужный интрузивный магматизм Озёрной зоны западной Монголии // Геология и геофизика. – 2021. – Т. 62, № 6. – С. 765–781.
21. Семёнов М. И., Юркевич Л. Г. Геология, геохимия и рудоносность Ожинского интрузивного плутона // Геологическое строение и полезные ископаемые Центральной Сибири : сборник статей. – Красноярск : Сибирское ПГО, 2019. – С. 110–119.
22. Сотников В. И. Медно-молибден-порфировая рудная формация: природа, проблема объёма и границ // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47, № 3. – С. 355–363.
23. Старостин И. А., Гирфанов М. М., Столяров И. О. Палеотектоническая позиция Кызыкчадрского рудного поля (Республика Тыва) в региональных геотектонических структурах // IV Молодёжная научно-образовательная конференция «Рудная школа ЦНИГРИ 2023. Минерально-сырьевая



база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче»: сборник тезисов докладов. – М.: ЦНИГРИ, 2023. – С. 166–167.

24. Черных А. И., Ветров Е. В. Геологическое строение и металлогения западной части Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) – на основе новых геохимических и изотопно-геохронологических данных // Отечественная геология. – 2017. – № 2. – С. 4–21.
25. Черных А. И., Ширококов А. Ю., Арсентьева И. В. Металлогения золота Восточно-Таннуольского рудного района (Республика Тыва) // Руды и металлы. – 2021. – № 2. – С. 40–67.
26. 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. – № 6 (6). – P. 1–25.
27. Yakubchuk A. Evolution of the Central Asian Orogenic Supercollage since Late Neoproterozoic revised again // Gondwana Research. – 2017. – № 47. – P. 372–398.
28. Migachev I. F. Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting // Resource Geology Special Issue. – 1993. – № 15. – P. 199–209.
29. Mihalasky M. J., Ludington S., Hammarstrom J. M., Alexeiev D. V., Frost T. P., Light T. D., Robinson G. R. Jr., Briggs D. A., Wallis J. C., Miller R. J. Porphyry Copper Assessment of the Central Asian Orogenic Belt and eastern Tethysides – China, Mongolia, Russia, Pakistan, Kazakhstan, Tajikistan, and India // U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–X. – 2015. – 106 p. – DOI: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090X>.
1. Andreev A. V., Girfanov M. M., Starostin I. A., Avilova O. V., Kryazhev S. G., Yurmazov D. N., Babkin I. A., Semenov M. I. Geologicheskoe stroenie, rudno-metasomaticheskaya i mineralogo-geokhimicheskaya zonal'nost' zolotosoderzhashchego molibden-medno-porfirovogo mestorozhdeniya Kyz'yk-Chadr, Respublika Tyva [Geological structure, ore-metasomatic and mineralogical geochemical zoning of Au-Mo-Cu porphyry Kyz'yk-Chadr deposit, Tyva republic], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2021, No 1, pp. 57–76. (In Russ.).
2. Berzina A. N., Berzina A. P., Gimon V. O. Cu-Mo-porfirovoe mestorozhdenie Aksug (Severo-Vostochnaya Tuva): khronologiya protsessov magmatizma i rudoobrazovaniya (U-Pb, Re-Os izotopnye dannye), metallogenicheskie sledstviya [The Aksug porphyry Cu-Mo deposit (Northeastern Tuva): chronology of magmatism and ore formation processes (U-Pb and Re-Os isotope data) and metallogenetic implications], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2019, V. 60, No 9, pp. 1330–1349. (In Russ.).
3. Buslov M. M., Dzhen Kh., Travin A. V., Otgonbatar D., Kulikova A. V., Chen Ming, Glori S., Semakov N. N., Rubanova E. S., Abildaeva M. A., Voitishchek E. E., Trofimova D. A. Tectonika i geodinamika Gornogo Altaya i sopredelnikh struktur [Tectonics and geodynamics of Gorny Altai and adjacent structures of the Altai-Sayan folded area], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2013, V. 54, No 10, pp. 1600–1627. (In Russ.).
4. Vetrov E. V., Chernykh A. I., Babin G. A. Ranepaleozoiskii granitoidnyi magmatizm vostochno-tannuol'skogo sektora tuvinskogo magmaticheskogo poyasa: geodinamicheskaya pozitsiya, vozrast i metallogeniya [Early paleozoic granitoid magmatism in the eastern tannu-ola sector of the tuvinian magmatic belt: geodynamic setting, age, and metallogeny], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2019, V. 60, No 5, pp. 641–665. (In Russ.).
5. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-45 – (Gorno-Altaysk). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-45 (Gorno-Altaysk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2006.
6. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-46 (Kyzyl). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-46 (Kyzyl). Explanatory note], St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2008.
7. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List M-47 (Kungurug). Ob'yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet M-47 (Kungurug). Explanatory note], St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2008.

- rug). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2010.
8. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-45 (Novokuznetsk). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet N-45 (Novokuznetsk). Explanatory note], St. Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2005.
9. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-46 (Abakan). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet N-46 (Abakan). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2008.
10. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 1 000 000 (3-e pokolenie). Seriya Altae-Sayanskaya. List N-47 (Nizhneudinsk). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (3rd generation). Altai-Sayan series. Sheet N-47 (Nizhneudinsk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2011.
11. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. M-b 1 : 200 000 (2-e izdanie). Seriya Zapadno-Sayanskaya. List N-46-XXXV (Uyuk). Ob"yasnitel'naya zapiska [State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 200,000 (2nd edition). The Western Sayan series. Sheet N-46-XXXV (Uyuk). Explanatory note], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2019.
12. Geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Scale 1 : 2 500 000 [Geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 2,500,000], St. Petersburg, Kartograficheskaya fabrika VSEGEI Publ., 2017.
13. Gordienko I. V., Metelkin D. V. Evolyutsiya subduktionnogo magmatizma na neoproterozoiskoi i vendrannepaleozoiskoi aktivnykh okrainakh Paleoaziat-skogo okeana [The evolution of the subduction zone magmatism on the Neoproterozoic and early Paleozoic active margins of the Paleasian ocean], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2016, V. 57, No 1, pp. 91–108. (In Russ.).
14. Gusev N. I., Berzon E. I., Semenov M. I. Kyzylchadrskoe medno-porfirovoe mestorozhdenie (Tuva): geokhimicheskie osobennosti i vozrast magmatizma [Kyzylchadr copper-porphyry deposit (Tuva): geochemical features and age of magmatism], *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2014, V. 59, pp. 70–79. (In Russ.).
15. Zvezdov V. S., Migachev I. F., Girfanov M. M., Zairi N. M. Obstanovki formirovaniya medno-porfirovykh rudno-magmaticheskikh sistem [Conditions of formation of copper-porphyry ore-magmatic systems], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1989, No 4, pp. 23–37. (In Russ.).
16. Krivtsov A. I., Migachev I. F., Popov V. S. Medno-porfirovyye mestorozhdeniya mira [Copper-porphyry deposits of the world], Moscow, Nedra Publ., 1986, 236 p.
17. Krivtsov A. I., Girfanov M. M., Shishakov V. B., Dubova T. A., Emel'yanov S. A. Kompleksnye modeli mestorozhdenii porfirovogo tipa tsvetnykh i blagorodnykh metallov. Atlas [Complex models of porphyry deposits of non-ferrous and precious metals. Atlas], Moscow, TsNIGRI Publ., 1995.
18. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Medno-porfirovyye mestorozhdeniya [Porphyry copper deposits], Moscow, TsNIGRI Publ., 2001, 232 p.
19. Kuznetsov V. V., Seravina T. V., Kuznetsova S. V., Elshina S. L. Usloviya lokalizatsii kolchedannopolimetallichesкого orudneniya Ulugoiskoi mineragenicheskoi zony (Respublika Tyva) [Localization conditions of pyrite-polymetallic mineralization in the Ulugojskaja mineragenic zone (Republic of Tuva)], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2020, No 3, pp. 3–17. (In Russ.).
20. Rudnev S. N., Gibsher A. S., Semenova D. V. Vendskii ostrovoduzhnyi intruzivnyi magmatizm Ozernoi zony zapadnoi Mongolii [Vendian island-arc intrusive magmatism of the Lake zone of Western Mongolia (geological, geochronological, and petrochemical data)], *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2021, V. 62, No 6, pp. 765–781. (In Russ.).
21. Semenov M. I., Yurkevich L. G. Geologiya, geokhimiya i rudonosnost' Ozhinskogo intruzivnogo plutona [Geology, geochemistry and ore content of the Ozhinsky intrusive pluto], *Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Tsentral'noi Sibiri: sbornik statei* [Geological structure and minerals of Central Siberia: collection of articles], Krasnoyarsk: Sibirskoe PGO Publ., 2019, pp. 110–119.
22. Sotnikov V. I. Medno-molibden-porfirovaya rudnaya formatsiya: priroda, problema ob"ema i granits [Copper-molybdenum-porphyry ore formation: nature, the problem of volume and boundaries],



- Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2006, V. 47, No 3, pp. 355–363. (In Russ.).
23. Starostin I. A., Girfanov M. M., Stolyarov I. O. Paleotektonicheskaya pozitsiya Kyzylchadskogo rudnogo polya (Respublika Tyva) v regional'nykh geotektonicheskikh strukturakh [Paleotectonic position of the Kyzylchad ore field (Republic of Tyva) in regional geotectonic structures], IV Molo-dezhnaya nauchno-obrazovatel'naya konferentsiya "Rudnaya shkola TsNIGRI 2023. Mineral'no-sy-r'evaya baza almazov, blagorodnykh i tsvetnykh metallov – ot prognoza k dobyche": sbornik tezisov dokladov [IV Youth scientific and educational conference "Mining school TsNIGRI 2023. Mineral resource base of diamonds, precious and non-ferrous metals – from forecast to production": collection of abstracts], Moscow, TsNIGRI Publ., 2023, pp. 166–167.
 24. Chernykh A. I., Vetrov E. V. Geologicheskoe stroenie i metallogeniya zapadnoi chasti Vostochno-Tannuol'skogo rudnogo raiona (Respublika Tyva) – na osnove novykh geokhimicheskikh i izotopno-geokhronologicheskikh dannyykh [Geological structure and metallogeny of East Tannuol ore district western part (Tyva Republic) – new geochemical and isotope-geochronological data], *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2017, No 2, pp. 4–21. (In Russ.).
 25. Chernykh A. I., Shirobokov A. Yu., Arsent'eva I. V. Metallogeniya zolota Vostochno-Tannuol'skogo rudnogo raiona (Respublika Tyva) [Gold metallogeny of the East Tannu-Ola ore region, Tyva Republic], *Rudy i metally* [Ores and Metals], 2021, No 2, pp. 40–67. (In Russ.).
 26. 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, No 6 (6), pp. 1–25.
 27. Yakubchuk A. Evolution of the Central Asian Orogenic Supercollage since Late Neoproterozoic revised again, *Gondwana Research*, 2017, No 47, pp. 372–398.
 28. Migachev I. F. Complex ore nodes of marginal volcano-plutonic belts and their geological setting, *Resource Geology Special Issue*, 1993, No 15, pp. 199–209.
 29. Mihalasky M. J., Ludington S., Hammarstrom J. M., Alexeiev D. V., Frost T. P., Light T. D., Robinson G. R. Jr., Briggs D. A., Wallis J. C., Miller R. J. Porphyry Copper Assessment of the Central Asian Orogenic Belt and eastern Tethysides – China, Mongolia, Russia, Pakistan, Kazakhstan, Tajikistan, and India, *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–X*, 2015, 106 p., DOI: <http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090X>.

Старостин Иван Александрович (starostin@tsnigri.ru)

ведущий инженер

Черных Александр Иванович

кандидат геол.-минерал. наук, генеральный директор

Гирфанов Михаил Миргалимович

кандидат геол.-минерал. наук, начальник отдела международного сотрудничества

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