ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 553.411.462.43
DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011

Оригинальная статья

Рудно-магматические системы медно-порфирового типа Большого Кавказа

С. Г. Парада

Геофизический институт Владикавказского научного центра
Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ,
ул. Маркова, 93а, e-mail: segripa@rambler. ru

Статья поступила: 29.07.2021, после рецензирования: 24.08.2021, принята к публикации: 07.09.2021

Резюме: Статья посвящена выявлению особенностей геологического строения и минерагении Танадон-Сангутидон-Казбекского района проявлений медно-порфировых минерализаций Центральной части Большого Кавказа и оценке соответствия геологических обстановок оруденения современным моделям рудно-магматических систем медно-порфирового типа. **Актуальность работы** определяется необходимостью разработки научно-методической основы прогнозирования и поисков скрытого оруденения. **Цель исследования.** Выявить особенности геологии и минерагении Танадон-Сангутидон-Казбекского рудного района и установить соответствие обстановок оруденения современным моделям рудно-магматических систем медно-порфирового типа. **Методы.** Сравнительно-геологический и металлогенический анализ на основе современных геоинформационных технологий в среде программного комплекса ArcGIS. **Результаты.** Установлено, что рудно-магматические системы исследуемого района соответствуют геолого-структурной позиции медно-порфировых месторождений. Изученный район объединяет группу медно-порфировых рудно-магматических систем, связанных с малыми гранитоидными интрузиями теплинского плиоцен-плейстоценового комплекса. Здесь также отмечаются рудопроявления вольфрама, мышьяка, золота, сурьмы и др., составляющие единый генетический ряд, в котором медно-порфировое оруденение занимает вполне определенную позицию, – приурочено к порфировой фазе новейшего интрузивного магматизма. Сопоставление обстановок проявления позднекайнозойского оруденения и его характеристик в пределах изученных рудоносных площадей с основными элементами типовой модели медно-порфировой системы позволяет рассматривать Сангутидонский, Теплинский и Танадонский рудные узлы как выражение надстраивающих друг друга по вертикали частей единой рудно-магматической системы медно-порфирового типа. Продуктивная на медно-порфировое оруденение новейшая гранит-гранодиоритовая формация Большого Кавказа образовалась в условиях повторноорогенного режима активизации региона и наложена на его гетерогенный субстрат. Последний в пределах изучаемого района характеризуется двухэтажным строением и состоит из нижне-среднеюрского вулканогенно-осадочного комплекса чехла и доюрского основания, в котором главную роль играют докембрий – нижне-среднепалеозойские метаморфические толщи кристаллического фундамента Большого Кавказа, прорванные палеозойскими гранитоидами Главного хребта. Состав поздненеогеновых гранитоидов находится в зависимости от состава субстрата, как на глубинных уровнях его анатектического плавления, так и на путях подъема образованных при этом магм. В этой связи повышенная основность гранитоидов полифазного теплинского комплекса, сформированных в гипабиссальных и субвулканических условиях, обусловлена более высокой по сравнению с соседними блоками степенью мафичности субстрата исследуемого района, включающего ряд базальтоидных или близких к ним по составу толщ.

Ключевые слова: медно-порфировые системы, теплинский плиоцен-плейстоценовый гранитоидный комплекс, медь, золото, молибден, металлогенический анализ, Большой Кавказ.

Благодарности: *Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ВНЦ РАН и ЮНЦ РАН, № гос. регистрации проекта АААА-А19-119011190181-1.*

Для цитирования: Парада С. Г. Рудно-магматические системы медно-порфирового типа Большого Кавказа. *Геология и геофизика Юга России.* 2021. 11 (3): 129 – 147, DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERAGENY

DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011

Original article

Ore-magmatic systems of the copper-porphyry type of the Greater Caucasus

S. G. Parada

Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: segripa@rambler. ru

Reseived: 29.07.2021, revised: 24.08.2021, accepted: 07.09.2021

Abstract: The article is devoted to the identification of the features of the geological structure and mineralogy of the Tanadon-Sangutidon-Kazbek district of the manifestations of copper-porphyry mineralization in the Central part of the Greater Caucasus and the assessment of the correspondence of the geological conditions of mineralization to modern models of ore-magmatic systems of the copper-porphyry type. **The relevance** is determined by the need to develop a scientific and methodological basis for forecasting and searching for hidden mineralization. **Aim**. To identify the features of the geology and mineralogy of the Tanadon-Sangutidon-Kazbek ore region and to establish the correspondence of the mineralization conditions to modern models of ore-magmatic systems of the copper-porphyry type. **Methods.** Comparative geological and metallogenic analysis based on modern geoinformation technologies in the environment of the ArcGIS software package. **Results.** It is established that the ore-magmatic systems of the studied area correspond to the geological and structural position of copper-porphyry deposits. The studied area unites a group of copper-porphyry ore-magmatic systems associated with small granitoid intrusions of the Teplinsky Pliocene-Pleistocene complex. There are also ore occurrences of tungsten, arsenic, gold, antimony, etc., which make up a single genetic series, in which copper-porphyry mineralization occupies a well – defined position-it is timed to the porphyry phase of the latest intrusive magmatism. The comparison of the conditions of the Late Cenozoic mineralization and its characteristics within the studied ore-bearing areas with the main elements of the typical model of the copper-porphyry system allows us to consider the Sangutidon, Teplinsky and Tanadon ore nodes as an expression of the parts of a single ore-magmatic system of the copper-porphyry type superstructuring each other vertically. The newest granite-granodiorite formation of the Greater Caucasus, which is productive for copper-porphyry mineralization, was formed under the conditions of a repeated-rhogenic regime of activation of the region and superimposed on its heterogeneous substrate. The latter within the studied area is characterized by a two-story structure and consists of the Lower-Middle Jurassic volcanogenic-sedimentary complex of the cover and the Pre – Jurassic base, in which the main role is played by the Precambrian-Lower-Middle Paleozoic metamorphic strata of the crystalline basement of the Greater Caucasus, broken by Paleozoic granitoids of the Main Ridge. The composition of Late Neogene granitoids depends on the composition of the substrate, both at the deep levels of its anatectic melting, and on the ascent paths of the magmas formed during this process. In this regard, the increased basicity of granitoids of the polyphase Teplinsky complex formed under hypabyssal and subvolcanic conditions is due to a higher degree of maficity of the substrate of the studied area, which includes a number of basaltoid or similar strata in composition, compared to neighboring blocks.

Keywords: copper-porphyry systems, Teplinsky Pliocene-Pleistocene granitoid complex, copper, gold, molybdenum, metallogenic analysis, the Greater Caucasus.

Acknowledgements: *The work was performed as part of the implementation of the state task of the VNC RAS and the UNC RAS, state registration number of the project AAAA19-119011190181-1.*

For citation: Parada S. G. Ore-magmatic systems of the copper-porphyry type of the Greater Caucasus. *Geologiya I Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (3): 129 – 147. DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011.

Введение

В последние годы возрастает роль медно-порфировых месторождений. Наиболее перспективным на обнаружение новых объектов названного типа считается Дальневосточный регион России [Звездов, 2019].

Вместе с тем, в центральном регионе Тетис, на территории Турции, Армении, Азербайджана, Грузии, Ирана и западной части Пакистана ранее выявлены гигантские золотосодержащие медно-порфировые месторождения, такие как Реко Дик (24 млн т Cu и 1300 т Au), Каджаран (4,6 млн т Cu, 0,94 млн т Mo и 1100 т Au) и другие. Продолжение геологоразведочных работ привело к значительному увеличению запасов золота в известных и новых порфировых месторождениях, таких, например, как Кишладаг (с 160 до 300 т Au), Кёплер (до 115 т Au), Ажи-Даки (до 53 т Au), Сари Гунай (до 93 т Au) и др. [Zürcher et al., 2019].

В мировой литературе отсутствуют сведения о наличии на Северном Кавказе оруденения медно-порфирового типа. Так, в недавно опубликованном обзоре [Zürcher et al., 2019] в пределах Северного Кавказа отмечены лишь три района с рудно-магматическими системами порфирового типа. Согласно рисунку 1, это Тырныаузский, Эльбрусский и Кавминводский районы новейшего интрузивного магматизма и связанного с ним оруденения. Проявления медно-порфирового оруденения Танадон-Сангутидон-Казбекского рудного района в Северной Осетии (Алании) не нашли отражение на представленном рисунке и в указанном выше обзоре. В связи с этим, целью настоящего исследования являлось: проанализировать геологические и минерагенические особенности Танадон-Сангутидон-Казбекского рудного района на предмет отнесения рудно-магматических систем к медно-порфировому типу и оценить перспективы обнаружения в них промышленно значимого медно-порфи-

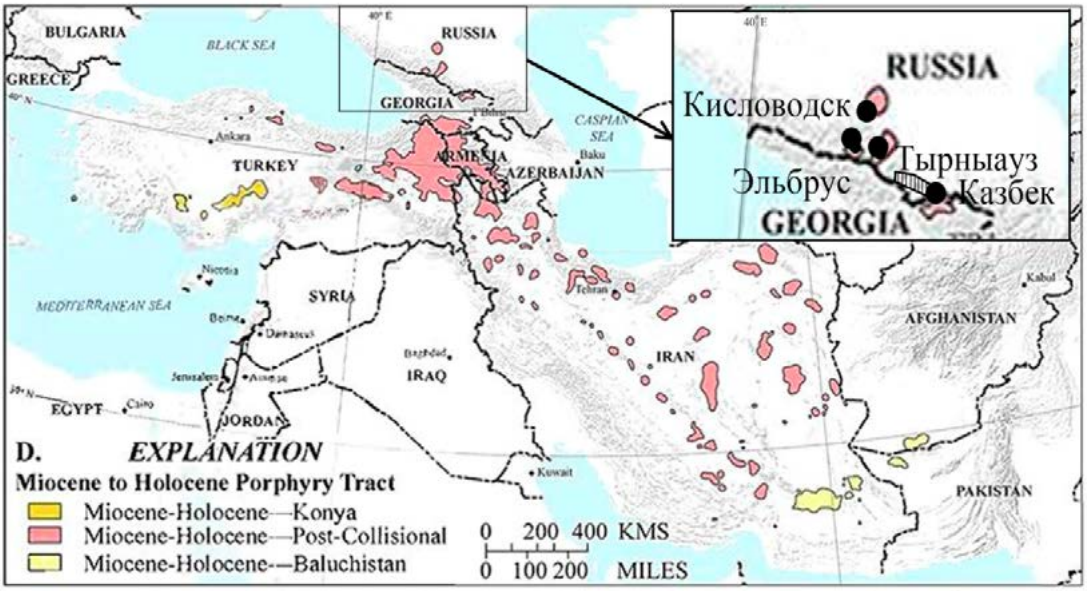

Рис. 1. Миоцен-голоценовые порфировые пояса центрального Тетиса (по [Zürcher et al., 2019]) с дополнениями автора: площадь с вертикальной штриховкой к северо-западу от Казбека – Танадон-Сангутидон-Казбекский район проявлений медно-порфирового оруденения /

Fig. 1. Miocene-Holocene porphyry belts of the central Tethys (according to [Zürcher et al., 2019]) with the author's additions: the area with vertical hatching to the northwest of Kazbek-Tanadon-Sangutidon-Kazbek district of manifestations of copper-porphyry mineralization

рового и имманентно связанного золотого и золото-серебряного эпитермального оруденения.

Актуальность исследования определяется необходимостью разработки научно-методической основы прогнозирования и поисков скрытого оруденения на территории рудных районов Большого Кавказа для диверсификации горнодобывающей отрасли и восстановления экспортного потенциала республик Северного Кавказа.

Настоящая статья посвящена результатам решения следующих задач: 1) выявить особенности геологического строения и минерагении Танадон-Сангутидон-Казбекского рудного района; 2) установить соответствие геологических обстановок оруденения Танадон-Сангутидон-Казбекского района современным моделям рудно-магматических систем медно-порфирового типа.

Материалы и методы исследования

Основанием для данного исследования является наличие положительных результатов поисковых работ на медь и золото в пределах Танадон-Сангутидон-Казбекского рудного района, представленных в производственных отчетах. Это позволяет вернуться к переоценке известных объектов названных типов в связи со снижением кондиций для отнесения медно-порфировых, золотых и золото-серебряных рудных объектов к категории промышленных, а также в связи с появлением новых данных аэрогеофизических работ.

Исходными данными для настоящего исследования послужили материалы по геологическому строению и рудоносности района и отдельных его участков, содержащиеся в производственных отчетах и публикациях, а также результаты современных отечественных и зарубежных разработок, посвященных медно-порфировым системам. Также использованы материалы современных геофизических среднемасштабных съемок, охватывающих Центральную часть Большого Кавказа и прилегающие территории.

Методическую основу исследования составляет применение современных геоинформационных технологий в целях минерагенического анализа. Для этого осуществлена оцифровка исходных геологических данных и их металлогенический анализ в среде программного комплекса ArcGIS.

Результаты и обсуждение

Танадон-Сангутидон-Казбекский район проявлений медно-порфирового оруденения объединяет группу медно-порфировых и медно-молибден-порфировых рудно-магматических систем, связанных с малыми гранитоидными интрузиями теплинского плиоцен-плейстоценового магматического комплекса. Однако металлогенический потенциал этих систем не исчерпывается только медью и молибденом. Здесь отмечаются рудопроявления вольфрама, мышьяка, золота, сурьмы и др., составляющие, по-видимому, единый генетический ряд, в котором медно-порфировое оруденение занимает вполне определенную позицию. Оно, как правило, приурочено к порфировой фазе новейшего интрузивного магматизма. Все это в общих чертах соответствует отечественным и зарубежным разработкам, посвященным медно-порфировым системам [Cook et al., 2005; Sillitoe, 2010; Nie et al., 2015; Мигачёв, 2017 и др.]. Опираясь на эти исследования, можно полагать, что рудно-магматические системы Танадон-Сангутидон-Казбекского района соответствуют геолого-

структурной позиции медно-порфировых месторождений в рудных районах в связи со сравнительно небольшими интрузивами рудоносной формации.

Региональные особенности Танадон-Сангутидон-Казбекского рудного района

Площадь развития рудно-магматических систем Танадон-Сангутидон-Казбекского района характеризуется рядом отличительных черт, которые по аналогии с известными типами геологических обстановок медно-порфирового оруденения могут рассматриваться в качестве его региональных особенностей.

Танадон-Сангутидон-Казбекский район, являясь сегментом складчато-глыбового поднятия Центрального Кавказа, включает в качестве основного структурного элемента сложно построенный Адайхох-Дарьяльский антиклинорий. На юге он граничит по взбросо-надвиговой системе Адайком-Казбекского разлома с Казбекско-Лагодехской складчатой зоной Южного склона. На севере он окаймляется Бурон-Ларским разломом и продолжающей его на западе серией субширотных разрывов, разделяющих здесь Адайхохское поднятие и Штуллу-Харезскую грабен-синклиналь. Ее южная, прилегающая к Адайхохскому блоку часть составляет северную периферию территории Танадон-Сангутидон-Казбекской металлогенической зоны.

Территория Танадон-Сангутидон-Казбекского района характеризуется двухъярусным строением (рис. 2). Нижний ярус представлен комплексом пород доюрского основания Главного Кавказского хребта, верхний сложен нижне-среднеюрскими вулканогенно-осадочными образованиями. Нижнюю часть разреза комплекса основания занимают метаморфические толщи древнего кристаллического фундамента Большого Кавказа, прорванные палеозойскими и мезозойскими гранитоидными интрузивами, а также многочисленными дайками основных и средних по составу пород. В пределах металлогенической зоны наиболее древними породами являются кристаллические сланцы и мигматиты макерской серии. Выше по разрезу кристаллические сланцы и гнейсы макерской серии сменяются метаморфитами кассарской свиты, выходы которой приурочены к южной части Адайхохского блока. Для пород кассарской свиты характерна напряженная складчато-блоковая тектоника, обусловленная ее размещением в зоне Осевого глубинного разлома Главного хребта. По составу кассарская свита отличается четко выраженным фемическим профилем. Около 60% ее объема сложено амфиболитами, амфиболовыми сланцами, метадиабазами, эпидозитами. Остальную часть представляют слюдяные, в основном биотитовые сланцы и парагнейсы с линзами и прослоями мраморов. Широко развиты различные зеленые сланцы (мусковит-хлоритовые, хлорит- и эпидот-кварцевые и др.), образовавшиеся в процессе диафтореза регионально метаморфизованных в условиях эпидот-амфиболитовой фации первичных вулканогенных и песчано-алевритовых толщ.

В строении доюрского фундамента Главного хребта важную роль играют интрузивные массивы средне-верхнепалеозойских гранитоидов, прорывающих и частично преобразовывающих его древние метаморфические образования. Они отнесены к орогенной (карбон-пермь) гранитной формации и подразделяются на ряд территориально обособленных групп, выделяемых в качестве интрузивных комплексов. К востоку от Танадона гранитоиды комплекса Главного хребта образуют обширный Караугом-Цейский массив, где наряду с биотитовыми огнейсованными микроклинизированными гранитами и гранодиоритами отмечаются более поздние интрузивы двуслюдяных и лейкократовых калиевых гранитов.

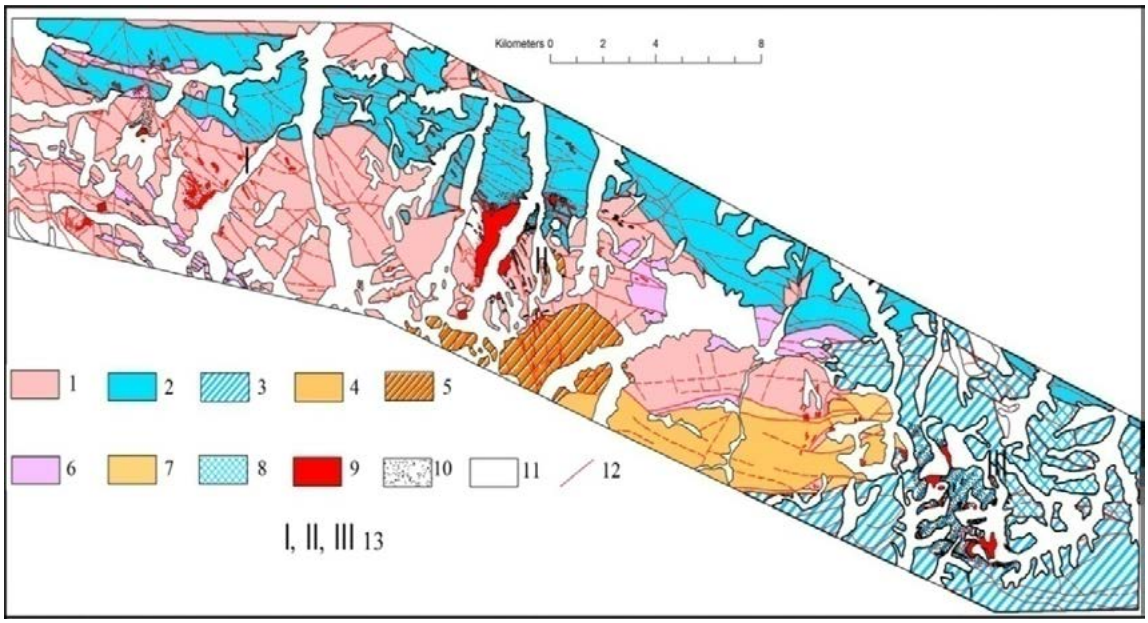

Рис. 2. Геологическое строение Танадон-Сангутидон-Казбегского рудного района
1-8 – субстрат рудного района: 1 – образования доюрского основания, палеозойские гранитоиды; 2 – образования мезозойского чехла: нижне-среднеюрский вулканогенно-осадочный комплекс, терригенные и вулканогенные толщи салического профиля; 3 – образования мезозойского чехла: нижне-среднеюрский вулканогенно-осадочный комплекс, терригенные и вулканогенные толщи мафическо-салического профиля; 4 – образования доюрского основания: осадочные и метаморфические толщи салического-мафического профиля (среднепалеозойские метаморфиты кассарской свиты); 5 – образования мезозойского чехла: мезозойские (среднеюрские?) гранитоиды цейского интрузива; 6 – образования доюрского основания: осадочные и метаморфические толщи салического профиля (нижнепалеозойские метаморфиты макерской серии, в том числе буронской свиты); 7 – образования доюрского основания: осадочные и метаморфические толщи салического профиля (верхнепалеозойские отложения баддонской свиты); 8 – образования мезозойского чехла: нижне-среднеюрский вулканогенно-осадочный комплекс, терригенные и вулканогенные толщи мафического профиля; 9 – поздненеогеновый рудоносный гранитоидный комплекс: дайки и штоки пород порфировой фазы, массивы фанеритовых гранитоидов; 10 – контактовые изменения вмещающих пород; 11 – четвертичные отложения и современные ледники; 12 – разломы; 13 – рудные узлы: I – Танадонский, II – Сангутидонский, III – Теплинский /

Fig. 2. Geological structure of the Tanadon-Sangutidon-Kazbegi ore district
1-8 – substrate of the ore region: 1 – formations of the Pre – Jurassic base, Paleozoic granitoids; 2 – formations of the Mesozoic cover: lower-Middle Jurassic volcanogenic-sedimentary complex, terrigenous and volcanogenic strata of the salic profile; 3 – formations of the Mesozoic cover: lower-Middle Jurassic volcanogenic-sedimentary complex, terrigenous and volcanogenic strata of the mafic-salic profile; 4 – formations of the pre-Jurassic base: sedimentary and metamorphic strata of the Salic-mafic profile (Middle Paleozoic metamorphites of the Kassar formation; 5 – formations of the Mesozoic cover: Mesozoic (Middle Jurassic?) granitoids of the Cei intrusive; 6 – formations of the Pre-Jurassic base: sedimentary and metamorphic strata of the salic profile (Lower Paleozoic metamorphites of the Makersk series, including the Buron formation; 7 – formations of the pre-Jurassic base: sedimentary and metamorphic strata of the salic profile (Upper Paleozoic deposits of the Baddon formation); 8-formations of the Mesozoic cover: lower-Middle Jurassic volcanogenic-sedimentary complex, terrigenous and volcanogenic strata of the mafic profile; 9 – late Neogene ore-bearing granitoid complex: dikes and stocks of porphyry phase rocks, massifs of phanerite granitoids; 10 – contact changes of the host rocks; 11 – quaternary deposits and modern glaciers; 12 – faults; 13-ore nodes: I – Tanadonsky, II – Sangutidonsky, III – Teplinsky

Верхний структурный ярус Танадон-Сангутидон-Казбекского района сложен триас-ранне-среднеюрским вулканогенно-осадочным комплексом, залегающим на палеозойских метаморфических, магматических и осадочных породах с угловым несогласием. В состав мезозойского этажа входят постскладчатые дайки Казбекского диабазового комплекса докелловейского возраста.

Рудоносный интрузивный комплекс Танадон-Сангутидон-Казбекского района представлен малыми интрузиями диорит-гранодиоритовой формации, которая, наряду с монцонит-сиенитовой, признана типоморфной для Лухум-Тырныаузского ареала проявления новейшего рудогенеза Центрального Кавказа [Богатиков и др., 2010]. Повышенная основность этих гранитоидов, входящих в состав единой рудоносной гранит-гранодиоритовой формации Центрального Кавказа, обусловлена, очевидно, более высокой степенью мафичности субстрата Танадон-Сангутидон-Казбекского района по сравнению с другими блоками доюрского фундамента, где временные аналоги теплинских магматитов имеют существенно гранитный состав (Эльджуртинский массив и интрузия лейкократовых гранитов Тырныаузского рудного узла).

Рудоносный интрузивный комплекс рудного района является многофазным образованием, формирование которого происходило в позднем плиоцене-плейстоцене (2,5-1,6 млн лет назад) [Лебедев и др., 2011]. Породы комплекса представлены преимущественно диоритами и гранодиоритами нормальной щелочности K-Na типа, с высокими концентрациями Ti и Mg и имеют Cu-Mo-порфировую металлогеническую специализацию. Считается, что интрузии рудного района сформировались в составе молодого магматизма региона, проявившегося в условиях совмещения геотектонической обстановки континентальной коллизии и геодинамического режима «горячего поля» (горячей точки) мантии [Лебедев и др., 2009; Бубнов и др., 2011].

На основе полевых наблюдений группы исследователей Кавказского института минерального сырья (г. Тбилиси) под руководством Г. Л. Асатиани в 1988 г. и новых данных, изложенных в работах [Новейший…, 2005; Гурбанов и др., 2007; Лебедев, 2009; Гусев, 2014 и др.] установлена последовательность формирования составляющих пород теплинского интрузивного комплекса.

Внедрению гипабиссальных полнокристаллических гранитоидов, составивших интрузивную раму медно-порфировых систем, предшествовал начальный магматический импульс, выразившийся в появлении догранодиоритовых даек и мелких штоков дацитов и риодацитов I фазы, пересечение которых полнокристаллическими гранитоидами четко фиксируется на участке Суарком Теплинского рудного узла.

Во II фазу сформированы мелкозернистые кварцевые диориты, обнажающиеся лишь в пределах Сангутидонского рудного узла, где они слагают небольшой массив площадью около 1 кв. км в правом борту ледника Сангутицете (местность Стыр-Цассуат), а в левом его борту представлены крупным останцем и скоплениями ксенолитов в зоне южного эндоконтакта Сангутидонского массива. Основной объем последнего сложен мелко-среднезернистыми порфировидными гранодиоритами III фазы (главной интрузивной), в составе которой в качестве фациальных разностей гранодиоритов встречаются также кварцевые диориты и граниты.

Сангутидонский массив представляет собой сравнительно крупное штокообразное интрузивное тело площадью около 8 кв. км, имеющее в плане эллипсовидную, несколько вытянутую в северо-восточном направлении форму. Нижнеюрские песчанико-сланцевые отложения Штулу-Харезской депрессии в контакте с интрузивом превращены в роговики, ореол которых достигает здесь ширины 1,2 км.

Таким же относительно крупным интрузивным телом, сложенным кварцевыми диоритами и гранодиоритами III фазы, является Теплинский массив, отдельные выходы апикальной части которого прорывают в области междуречья Фиагдона и Ардона (урочище Суарком, гора Тепли, верховья р. Льядон) обширные поля контактово-метаморфизованных нижнеюрских песчанико-сланцевых пород.

Сангутидонский интрузив сопровождается серией сателлитовых тел, представленных мелкими штоками, которые сложены гранодиорит-порфирами с микрозернистой основной массой, являющимися структурно-фациальной разновидностью среднезернистых гранодиоритов III фазы. К ним относятся, в частности, гранодиорит-порфировый шток участка Кайсара в северо-восточном экзоконтакте Сангутидонского массива, а также целый ряд более мелких штоков, прорывающих верхнепалеозойские граниты на западной периферии рудного поля в ущелье р. Сардидон и гранодиориты Цейского массива – на его юго-восточной оконечности.

Такими же гранодиорит-порфирами в пределах Танадонского рудного узла сложено относительно крупное штокообразное интрузивное тело, выступающее своей северной частью из-под ледника Таймази в местности Суарта. Не исключено, что этот шток представляет собой верхнее выклинивание залегающего на глубине интрузива полнокристаллических гранитоидов сангутидонского типа.

Помимо сателлитовой и эндоконтактовой (апикальной) порфировых фаций полнокристаллических гранитоидов, в центральной части Сангутидонского массива на участке медно-молибденового рудопроявления выделяются гранодиорит-порфиры, которые образуют здесь дайки и мелкие штоки, прорывающие гранитоиды III фазы. Полнокристаллические гранитоиды Сангутидонского и Теплинского интрузивов, в том числе и гранодиорит-порфиры, пересекаются комплексом малых субвулканических порфировых тел, выстраивающихся в антидромный ряд риодацит – базальт. Среди них можно выделить образования, по крайней мере, трех фаз внедрения.

С первой субвулканической фазой связано формирование в Сангутидонском рудном узле нескольких порфировых штоков, размещенных в его центральной и северо-западной частях. Среди них наиболее крупным является шток, прорывающий на участке Бурстаранта интрузивно-полнокристаллическую раму Сангутидонского массива и занимающий центральное положение в медно-порфировой системе Сангутидонского рудного узла. В плане шток характеризуется изометрично-округлой, несколько вытянутой в северо-западном направлении формой и имеет размеры 300×500 м.

Он сложен гидротермально переработанными порфирами риодацит-дацитового состава и окаймлен кольцевым телом эксплозивных брекчий, которые вместе с порфирами составляют единую флюидно-эксплозивную структуру. Такая же, но меньших размеров структура наблюдается в 1 км южнее Центрального штока, на участке Малый Некк. Эксплозивными брекчиями сложено крупное штокообразное тело, ограничивающего с запада Суаркомский выход гранитоидов Теплинского массива. Эксплозивные брекчии встречены также и в Танадонском рудном узле, где они сопряжены с некоторыми из тех дацитовых штоков, которые относятся к образованиям I субвулканической фазы.

Последующие поступления порфировой магмы оформляются в мощную серию пространственно сближенных, крутопадающих субвулканических дайковых тел, размещение которых контролируется системами разрывных нарушений, в основном субширотного и северо-западного простирания с подчиненной ролью северо-

восточных разломов. Протяженность многих даек достигает 2 км при мощности, колеблющейся от 0,5 до 15-20 м.

Послештоковые дайки, пространственно тяготея к центрам проявления позднеальпийского магматизма, выходят далеко за пределы интрузивных рам новейших рудно-магматических систем.

Минеральные и морфологические типы рудных минерализаций

По данным, изложенным в отчетах о поисковых и геологоразведочных работах, в составе оруденения Танадон-Сангутидон-Казбекского района можно выделить семь минеральных типов: халькопирит-молибденитовый, пирротин-халькопиритовый, арсенопирит-пирит-редкометалльный, халькопирит-галенит-сфалеритовый, сфалерит-барит-галенитовый, ферберит-антимонитовый, реальгар-аурипигментовый (рис. 3). Они проявлены в составе двух морфологических типов, – прожилково-вкрапленном (штокверковом) и жильном.

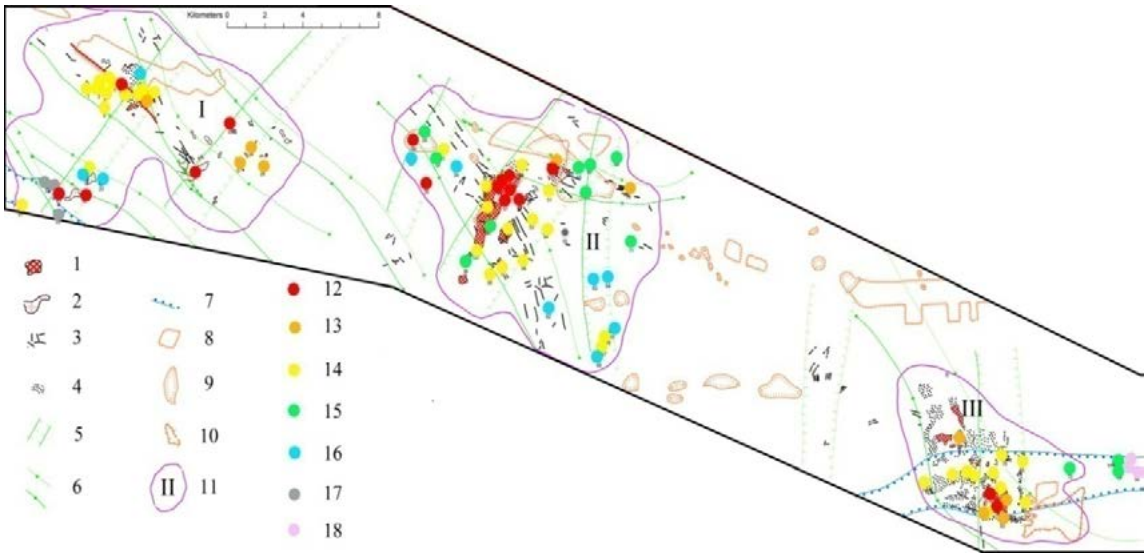

Рис. 3. Схема распределения минеральных типов рудных минерализаций в рудных узлах Танадон-Сангутидон-Казбекского района

1-4 – теплинский позднекайнозойский интрузивный комплекс: 1 – полнокристаллические (фанеритовые) гранодиориты, 2 – гранодиорит-порфиры, 3 – дайки гранодиорит-порфиров и дацитов, 4 – роговики и ороговикованные породы; 5 – позднеальпийские поперечные прогибы; 6 – позднеальпийские сдвиги; 7 – позднеальпийские надвиги; 8-10 – геофизические аномалии; 11 – контуры рудных узлов; 12-18 – минеральные типы рудных минерализаций: 12 – халькопирит-молибденитовый, 13 – пирротин-халькопиритовый, 14 – арсенопирит-пирит-редкометалльный, 15 – халькопирит-сфалерит-галенитовый, 16 – сфалерит-барит-галенитовый, 17 – ферберит-антимонитовый, 18 – реальгар-аурипигментовый /

Fig. 3. Scheme of distribution of mineral types of ore mineralization in the ore nodes of Tanadon-Sangutidon-Kazbek district

1-4 – Teplinsky Late Cenozoic intrusive complex: 1 – full-crystalline (phanerite) granodiorites, 2 – granodiorite-porphyry, 3 – dikes of granodiorite – porphyry and dacite, 4 – hornfels and keratinized rocks; 5 – late Alpine transverse deflections; 6 – late Alpine shifts; 7 – late Alpine thrusts; 8-10 – geophysical anomalies; 11 – contours of ore nodes; 12-18 – mineral types of ore mineralizations: 12 – chalcopyrite-molybdenum, 13 – pyrrhotite-chalcopyrite, 14 – arsenopyrite-pyrite-rare metal, 15 – chalcopyrite-sphalerite-galenite, 16 – sphalerite-barite-galenite, 17 – ferberite-antimonite, 18 – realgar-auripigment

Халькопирит-молибденитовый тип проявлен в пределах всех рудных узлов. Наиболее представителен он **в Сангутидонском рудном узле** и наименее – в Танадонском. Этот тип руд является наиболее ранним и характеризует переход от раннещелочной к среднекислотной стадии гидротермального процесса. В морфологическом отношении оруденение представлено главным образом кварцевыми жилами, реже штокверковыми зонами и локализовано в позднекайнозойских гранодиоритах и гранодиорит-порфирах теплинского интрузивного комплекса, а также в верхнепалеозойских гранитоидах и ороговикованных нижнеюрских сланцах.

Пирротин-халькопиритовый тип. Халькопирит в этом типе является важнейшим компонентом. С его ранней генерацией в прожилково-вкрапленных рудах ассоциируют, помимо пирротина, сфалерит и висмутин, а с поздней, в жильных и штокверковых зонах – шеелит, вольфрамит, висмутин и пирротин. Из жильных минералов их сопровождают кварц, хлорит и карбонат.

Данный минеральный тип руд представлен двумя морфологическими подтипами: прожилково-вкрапленным и жильным. Оба подтипа широко представлены на всех изученных рудных полях. Промышленное значение первый подтип может иметь на Сангутидонском рудопроявлении, второй – в некоторых жильных зонах Сангутидонского рудного узла, в первую очередь за счет меди и связанных с халькопиритом золота и серебра.

Жильный пирротин-халькопиритовый подтип руд представлен на рудопроявлениях Танадонского рудного узла и на северной периферии Сангутидонского рудопроявления, а также в некоторых проявлениях Теплинского рудного узла.

Арсенопирит-пирит-редкометалльный тип. Более всего развит в кварцевых жилах. В этом типе оруденения главными рудообразующими минералами являются арсенопирит и пирит. В переменных количествах с ними встречаются кобальтин, леллингит, висмутин, свинцово-висмутовые (галенобисмутит, козалит), свинцово-сурьмяный буланжерит, железо-сурьмяная (бертьерит) и медно-свинцово-сурьмяная (менегинит) сульфосоли, самородный висмут, тетрадимит (рудопроявление Стыр-Фарс, рудные зоны Танадонского узла).

Жильное оруденение данного типа представлено в зонах северо-восточного и северо-западного простирания и приурочено к центральным частям рудно-магматических систем (рудных узлов). Наиболее четко это проявлено в Сангутидонском узле, где по восстанию жил и к его флангам жилы меняют свой состав от халькопирит- (пирротин) – шеелит-пирит-арсенопиритового, через пирит-арсенопиритовый к халькопирит-галенит-сфалеритовому с сульфосолями, далее к сфалерит-галенитовому.

Помимо охарактеризованных жил, к данному типу руд относятся зоны прожилково-вкрапленной минерализации в гранодиоритах, приуроченные к системам трещин, оперяющих разломы, по которым произошло внедрение даек дацитов. На некоторых рудопроявлениях Теплинского рудного узла оруденение представляет собой интенсивную вкрапленность халькопирита, пирита, марказита и арсенопирита. Отмечаются также сфалерит и молибденит.

Халькопирит-галенит-сфалеритовый (медно-полиметаллический) и сфалерит-барит-галенитовый (полиметаллический) типы. Эти типы руд характеризуют периферические части изученных рудных узлов и локализованы в разновозрастных породах: полиметаллические руды в верхнепалеозойских гранитах, мезозойских гранодиоритах цейского комплекса, в нижнеюрских терригенных отложениях; руд-

ные зоны медно-полиметаллического типа, помимо этого, локализованы и в породах неоинтрузивного комплекса, что характеризует их как приуроченные к более центральным частям рудно-магматических систем.

Зоны медно-полиметаллических руд, как правило, совмещены в пространстве с зонами арсенопирит-пирит-редкометальной минерализации.

Ферберит-антимонитовый и реальгар-аурипигментовый типы представлены в кварцевых жилах. Они установлены на проявлениях Теплинского рудного узла, где реальгар-аурипигментовая минерализация наложена на арсенопирит-пирит-редкометалльное и медно-полиметаллическое оруденение, а реальгар-антимонитовая минерализация наблюдается в верхних частях зоны халькопирит-полиметаллического оруденения, вероятно на него накладываясь.

Оценка соответствия рудных узлов Танадон-Сангутидон-Казбекского района современным моделям рудно-магматических систем медно-порфирового типа

Построение моделей медно-порфировых рудно-магматических систем и месторождений является весьма разработанной областью геологии рудных месторождений. На первых этапах подобных исследований доминировали статистические модели, представлявшие собой обобщения данных по «медно-порфировым» регионам, в результате чего были созданы известные «монцонитовая» [Lowell et al., 1970], «диоритовая» [Hollister, 1974] и общая [Митчел, Гарсон, 1984; Sillitoe, 2010] модели, а также многочисленные современные модели конкретных месторождений [Кривцов и др., 1995; Звездов, Минина, 2010; Gow, Walshe, 2005; Vry et al., 2010; Мансуров, 2014; Парада, 2017; Давыденко и др., 2021; İmer et al., 2016 и др.].

Прикладной аспект моделей МПС (в виде геолого-поисковых моделей) в отечественной литературе активно разрабатывается А. И. Кривцовым, В. С. Звездовым, И. Ф. Мигачевым и другими исследователями [Кривцов и др., 2001; Звездов, Минина, 2010; Сотников, 2006; Мигачев, 2017 и др.].

Месторождения медно-порфирового типа, согласно обзору, приведенному в [Звездов и др., 2018] локализованы во внутренних частях рудно-магматических систем (РМС) «порфирового» типа вулкано-плутонических поясов (ВПП). Штокверковые руды этих объектов сосредоточены в эндо-экзоконтактовых зонах гипабиссальных и субвулканических порфировых интрузивов (штоков, даек), которые представляют собой завершающие фазы продуктивных плутоногенных формаций и нередко являются апофизами находящихся на глубине крупных магматических тел. Как показывает практика геолого-разведочных работ последних десятилетий [Zürcher et al., 2019; İmer et al., 2016; Звездов и др., 2018 и др.] в ряде стран Южной Америки (Чили, Перу, Аргентина, Боливия), Европы (Венгрия, Сербия, Болгария), Азии (Турция), Юго-Восточной Азии (Филиппины, Папуа-Новая Гвинея, Индонезия), такие системы обладают комплексной металлогенией. В их верхних периферийных частях, обычно в комагматичных вулканитах (туфовых и лавовых фациях, субвулканических телах, экструзивных куполах), при малом или умеренном уровнях эрозии нередко отмечаются эпитермальные Au-Cu или Au-Ag месторождения жильного, жильно-прожилкового, иногда залежного типов. Во фланговых зонах, в фанеритовых интрузивах основных фаз рудоносных формаций или в более древних вулканогенных, осадочных и иных породах субстрата ВПП присутствуют золото-полисульфидные жильные месторождения, а при наличии карбонатных

толщ – проксимальные Au-Cu, реже дистальные скарновые объекты. Как показано в работе [Коваленкер, 2006] образование сопряженных во времени и пространстве порфировых и эпитермальных месторождений проистекает из самой природы металлогении вулканоплутонических областей. Переход от порфировых к эпитермальным обстановкам в таких областях является важнейшей их составляющей.

Вертикальный размах МПС (полный разрез, от фанеритового интрузива до стратовулкана) оценивается интервалом от 2-3 до 5-7 км. Как свидетельствуют результаты разведки медно-порфировых месторождений, вертикальный размах оруденения составляет 200-1200 м.

Типовая модель медно-порфировой системы (МПС) включает набор ниже перечисленных обязательных элементов, конкретное геологическое выражение которых определяется в существенной степени геотектонической позицией, а присутствие (отсутствие) того или иного элемента – в первую очередь глубиной эрозионного среза МПС.

1. Субстрат полнокристаллических (фанеритовых) интрузивов – разновозрастные образования, вмещающие плутоническую составляющую продуктивной вулкано-плутонической ассоциации. И хотя основным источником рудного вещества Cu-порфировых месторождений служат магматические очаги, продуцирующие рудоносные интрузивные и вулканогенные формации, не исключается возможность его заимствования из вмещающих пород, включающих надфоновые содержания металлов во вмещающих породах, древние геохимические ореолы рассеяния и древние рудные месторождения. При гидротермальной циркуляции растворов в тепловом поле интрузивов экстрагируемое из них рудное вещество выносится с нижних уровней систем на верхние с переотложением и интегральным накоплением [Звездов, 2019].

2. Рама порфировых интрузивов, которую в большинстве случаев слагают породы предшествующего им фанеритового интрузива. Ее роль могут играть породы субстрата и вулканогенной составляющей вулкано-плутонической ассоциации. Продуктивные магматические комплексы представляют анатектические коровые выплавки и принадлежат к известково-щелочной серии. Состав субстрата, подвергающегося частичному плавлению, определяет основные ряды плутонитов, сопровождающихся медно-порфировым оруденением: диорит-гранодиоритовый, диорит-монцодиорит-монцонитовый и диорит-гранодиорит-гранитовый в зависимости от геотектонических условий. Для продуктивных плутонов характерна многофазность при общем гомодромном развитии. Основные фазы обычно представлены гранодиоритами.

3. Рудоносные порфировые интрузивы – главный элемент МПС, обеспечивающий концентрацию флюидопотока, достаточную для образования рудных скоплений. Порфировые тела относительно плутонов занимают преимущественно дискордантное положение, локализуясь в протяженных тектонических зонах, часто далеко выходящих за пределы отдельных фанеритовых интрузивов. Во многих случаях фиксируются признаки, свидетельствующие о различных глубинах становления фанеритовых фаз (гипабиссальная и субвулканическая соответственно). Весьма характерным является последовательное внедрение, часто в один и тот же объем, нескольких порфировых фаз, то есть порфиры образуют многофазную серию пород. По минералогическим, петрохимическим и геохимическим характеристикам порфировые интрузивы близки породам основных фаз фанеритовых плуто-

нов. Для порфиров характерна гомодромно-антидромная линия развития. Обычно рудоносные порфировые интрузивы имеют форму штоков и штокообразных тел близвертикального залегания с площадью горизонтального сечения в большинстве случаев 0,5-2 км^2. В отличие от РМС, вмещающих медно-порфировые месторождения-гиганты, для которых характерен режим интенсивного регионального сжатия на раннем этапе их развития, для РМС, вмещающих мелкие и средние по запасам Au-Mo-Cu- и Au-Cu-порфировые месторождения третичных андезит-дацитовых островных дуг (ВПП Тихоокеанского кольца, Тетиса, Карпато-Балканской и других минерагенических провинций), характерно формирование в режиме слабого (до нейтрального) растяжения [Cook et al., 2005; Sillitoe, 2010]. Они локализованы во внутренних частях порфировых РМС, в верхних периферийных зонах которых, в близповерхностной зоне интенсивных аргиллизитовых изменений, нередко присутствуют Au-Cu- и Au-Ag месторождения HS и IS типов со стратоидными и жильными рудами. Последние, как показано в [Коваленкер, 2006] являются продуктами разгрузки металлоносных флюидов, отделившихся от тех же магматических очагов, что и высококонцентрированные гидротермальные, участвовавшие в отложении медно-порфировых руд.

4. Брекчиевые тела присутствуют на верхних горизонтах МПС в виде трубо-, воронко- и дайкообразных тел. Брекчии слагаются обломками не только вмещающих пород, но и аллохтонными обломками пород, не встречающихся на данном уровне. Характерна многоактность формирования брекчиевых тел. Они несут весь комплекс черт флюидно-эксплозивных образований. Рудоносность брекчиевых тел связана с ранней минерализацией, проявленной в обломках, и поздней, представленной главным образом в их цементе.

5. И.С. Мигачев [2017], В.С. Звездов и др. [2018] отмечают ведущую структурообразующую роль «каркасов» мелкой трещиноватости, контролирующих медно-порфировые штокверки. Сами штокверки представляют собой системы разноориентированных рудных прожилков, жил и сопровождающей вкрапленности сульфидов и оксидов Cu, Mo, Fe и других металлов. «Каркасы», а также поровая проницаемость являются необходимым условием для крупномасштабной циркуляции рудоносных растворов и в итоге, наряду с литолого-фациальными факторами (геохимическими и петрофизическими барьерами), определяют морфологию формирующихся зон штокверковой минерализации.

6. Промышленные медно-порфировые руды сосредоточены во внутренних частях РМС. Во внешних частях формируются эпитермальные золотые и золото-серебряные жильные руды [Коваленкер, 2006].

Рудная минерализация бывает представлена закономерным сочетанием в минерализованном объеме нескольких типов руд, из которых наибольшее значение имеют: халькопирит-молибденитовый, халькопирит-борнитовый, пирит-халькопиритовый, полисульфидный. Три первых типа образуют прожилково-вкрапленные штокверковые тела, в общем случае конформные порфировому штоку. Полисульфидные и золото-серебряные эпитермальные руды локализованы в жилах, их системах или жильно-прожилковых зонах. Развиты они преимущественно на флангах МПС, но нередко в виде линейных зон накладываются на оруденение внутренних частей МПС.

Наиболее полным набором признаков, описывающих типовую МПС при положении плоскости эрозионного среза, вскрывающим, наряду с флангами, и ее

внутренние продуктивные в отношении оруденения части, характеризуется Сангутидонский рудный узел, комплекс характеристик которого может быть положен в основу разработки эталонной для рудного района поисковой модели золото-медно-порфирового оруденения.

Центральным элементом РМС Сангутидонского рудного узла должна быть признана двухфазная порфировая рудогенерирующая система «шток в шток» участка Бурстаранта, состоящая из крупного штокообразного тела гидротермально переработанных субвулканических дацитов и более раннего и мелкого штока субинтрузивных гранодиорит-порфиров. Штоки прорывают фанеритовую интрузивную раму, составленную гипабиссальными порфировидными гранодиоритами Сангутидонского интрузивного массива, а сами, в свою очередь, пересекаются серией сближенных, северо-западного простирания, даек в основном дацитового состава. С внедрением и формированием порфировых штоков сопряжено образование прожилково-вкрапленной медно-молибденовой минерализации, представленной халькопирит-молибденитовым и более поздним пирротин-халькопиритовым типами руд, которые по латерали сменяются жильными золотоносными арсенопирит-редкометалльными и далее, во внешнем контуре рудного узла – полиметаллическими рудопроявлениями.

В отличие от Сангутидонского рудного узла, обстановки Теплинского (Суарком) и Танадонского узлов рудной минерализации отвечают, скорее всего, верхне-рудному-надрудному (отдаленно-рудному) диапазону МПС. Так, интрузивная рама Сангутидонского типа в Теплинском узле представлена своей апикальной частью, в составе которой вместе с гранодиоритами в качестве их фациальной разновидности значительную роль играют кварцевые диориты. Крупный выход апикальных гранитоидов и фрагмент их в надинтрузивной толще тектонически и гидротермально переработанных роговиков на участке Суарком прорывается серией сближенных даек рудоносных дацитов и андезитов. Для ассоциированного с дайковым комплексом и размещенного в центральной части поля медно-молибденового и мышьякового оруденений характерны интенсивно проявленные процессы телескопирования. Фланговые части системы маркируются здесь медно-полиметаллическими рудопроявлениями. Вторичные изменения фанеритовых гранодиоритов и дайковых пород представлены здесь лишь пропилитами.

Надрудный «профиль» Танадонского узла подчеркивается преобладанием жильных проявлений золотоносной арсенопирит-редкометалльной минерализации. Роль фанеритовой рамы играет здесь обширный выход палеозойских гранитоидов субстрата, который на участке Суарта прорван гранодиорит-порфировым штоком, представляющим, по-видимому, верхнее выклинивание интрузива сангутидонского типа. Штоки и дайки рудоносного комплекса носят четко выраженный субвулканический профиль и пространственно сочетаются с вулканическими постройками типа стратовулкана (ледник Бартуицете – перевал Афсанау), некками и небольшими покровами андезидацитов и андезитов.

Выявление соответствия обстановок и рудных составляющих конкретных рудоносных площадей определенным уровням эталонной МПС диктуется необходимостью установления плоскости их эрозионного среза относительно уровня возможной локализации промышленно-ценных скоплений руд, что в свою очередь, способствует разработке методов рационального ведения поисков прогнозируемых типов оруденения.

Заключение

Продуктивная на медно-порфировое оруденение новейшая гранит-гранодиоритовая формация Большого Кавказа образовалась в условиях повторноорогенного режима активизации региона и наложена на его гетерогенный субстрат. Последний в пределах Танадон-Сангутидон-Казбекского района характеризуется двухэтажным строением и состоит из нижне-среднеюрского вулканогенно-осадочного комплекса чехла и доюрского основания, в котором главную роль играют нижне-среднепалеозойские метаморфические толщи кристаллического фундамента Большого Кавказа, прорванные палеозойскими гранитоидами Главного хребта.

Зарождение в коровом субстрате очагов палингенного магмообразования представляется одним из следствий позднеальпийского поддвига жесткой Закавказской плиты под складчато-глыбовое сооружение Большого Кавказа, когда в результате поддвиговых движений вдоль пологих разрывов возникали мощные потоки тепла, провоцирующие процессы корового плавления [Дотдуев, 1987]. Коллекторами для подъема магм служили при этом участки высокой проницаемости, возникшие в результате развития право- и левосдвиговых деформаций соответственно северо-западного и северо-восточного простираний.

Состав поздненеогеновых гранитоидов находится в зависимости от состава субстрата как на глубинных уровнях его анатектического плавления, так и на путях подъема образованных при этом магм.

В этой связи повышенная основность гранитоидов полифазного теплинского комплекса, сформированных в гипабиссальной и субвулканической фациях глубинности, обусловлена более высокой по сравнению с соседними блоками степенью мафичности субстрата Танадон-Сангутидон-Казбекского района, включающего ряд базальтоидных или близких к ним по составу толщ.

Фанеритовые гранитоиды первых гипабиссальных фаз становления комплекса образуют небольшие массивы с площадью, выходов до 8 кв. км, а на глубине, по геофизическим данным, до 10-12 км^2, сложенные в основном гранодиоритами с подчиненным развитием кварцевых диоритов. По своим петрогеохимическим характеристикам (высокая глиноземистость, принадлежность к калий-натриевой серии пород, содержания редких щелочей, значения отношения калия к рубидию) они относятся к выделенному Л. И. Таусоном [1977] геохимическому типу палингенных известково-щелочных гранитоидов.

Гранодиорит-порфиры, завершающие становление фанеритовых пород, представляют одновременно наиболее раннюю рудоносную порфировую фазу (в субинтрузивной фации), с которой начинается формирование локальных медно-порфировых систем. Продолжение рудного процесса связано с последовательным внедрением двух следующих субвулканических фаз, представленных штоками дацитов, а верхних частях которых развиты тела эксплозивных брекчий, и пересекающими их дайками того же состава. Завершает становление комплекса серия дайковых тел, сложенных более основными и щелочными по составу – от латиандезитов до трахибазальтов включительно – породами, формационная принадлежность которых остается неясной.

Рудоносные субвулканические штоки и дайки, судя по кинематике разломов, размещаются в зонах концентрации напряжений северо-западного северо-северо-западного и запад-северо-западного простираний, возникновение которых связано с изменением поля деформаций на заключительных этапах активизации.

Штокверковая рудная минерализация локализуется в зонах дробления в контактах Центрального порфирового штока (Сангутидонское рудное поле), а рудные жилы контролируются зонами разрывов различного простирания (Танадонское рудное поле).

Литература

1. Богатиков О. А., Курчавов А. М., Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Докучаев А. Я., Носова А. А. Геолого-петрографические особенности позднемиоценовых гранитоидов Кавказских Минеральных вод и их связь с воздействием суперплюма. // ДАН. – 2010. – Т. 432. № 3. – С. 365-369.

2. Бубнов С. Н., Докучаев А. Я., Гольцман Ю. В. N-Q магматизм Большого Кавказа: геодинамическая позиция, геохимическая и металлогеническая специализация, источники расплавов. // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2011. – № 57. – С. 73-75.

3. Гурбанов А. Г., Богатиков О. А., Докучаев А. Я., Газеев В. М., Лексин А. Б., Ляшенко О. В. Транскавказское направление вулканизма: причина, следствие и эпитермальная минерализация. // Вестник Владикавказского научного центра. – 2007. – Т. 7. № 3. – С. 25-44.

4. Гусев А. И. Кайнозойские гранитоиды Большого Кавказа: петрогенетические типы, флюидный режим и рудоносность. // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 4. – С. 22-27.

5. Давыденко Д. Б., Парада С. Г. Опыт разделения потенциальных полей донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. № 1. – С. 22-37. DOI: 10.46698/VNC.2021.23.67.003

6. Дотдуев И. С. Проблемы альпийской тектоники большого Кавказа. // В кн.: Геология и полезные ископаемые Большого Кавказа. – М.: Наука, 1987. – С. 48-55.

7. Звездов В. С. Обстановки формирования крупных и сверхкрупных медно-порфировых месторождений. // Отечественная геология. – 2019. – № 5. – С. 16-35.

8. Звездов В. С., Мигачев И. Ф., Минина О. В. Морфологические типы меднопорфировых штокверков и обстановки их формирования. // Руды и металлы. – 2018. – № 4. – С. 37-52.

9. Звездов В. С., Минина О. В. Рудно-магматические системы вулкано-плутонических поясов Востока России. // Руды и металлы. – 2010. – № 1. – С. 48-59.

10. Коваленкер В. А. Условия формирования и факторы крупномасштабного концентрирования золота порфировых и эпитермальных месторождений. // Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Том 2. Стратегические виды рудного сырья. – М.: ИГЕМ РАН. – 2006. – С. 143-214.

11. Константинов М. М., Лайпанов Х. Х., Данильченко В. А., Афанасьева Е. Л., Орлов Б. Ю. Геологическое строение и перспективы Танадонского золото-арсенопиритового месторождения. // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 1. – С. 2-10.

12. Кривцов А. И., Звездов В. С., Гирфанов М. М., Егорова И. В. Количественные характеристики рудообразующих меднопорфировых систем. // Отечественная геология. – 1995. – № 1. – С. 17-28.

13. Кривцов А. И., Звездов В. С., Мигачев И. Ф. Меднопорфировые месторождения. // Руды и металлы. – 2001. – № 6. – С. 89.

14. Лебедев В. А., Бубнов С. Н., Чернышев И. В., Чугаев А. В., Гольцман Ю. В., Вашакидзе Г. Т., Баирова Э. Д. Геохронология и петрогенезис молодых (плиоценовых) гранитоидов Большого Кавказа: Джимарский полифазный массив, Казбекская неовулканическая область. // Геохимия. – 2009. – № 6. – С. 582-602.

15. Лебедев В. А., Чернышев И. В., Шарков Е. В. Геохронологическая шкала и эволюция позднекайнозойского магматизма Кавказского сегмента Альпийского пояса. // Доклады академии наук. – 2011. – Т. 441. №4. – С. 521-526.

16. Мансуров М. И. Модели рудно-магматических систем медно-порфировых месторождений Гошгарчайского рудного поля (Малый КавКаз, Азербайджан). // Известия Сибирского отделения. Секции наук о Земле РАЕН. – 2014. – №4 (47). – С. 29-42.

17. Мигачёв И. Ф. Основные геолого-структурные обстановки проявления медно-порфировых месторождений в рудных районах. // Отечественная геология. – 2017. – №6. – С. 25-30.

18. Митчел А., Гарсон М. Глобальная геотектоническая позиция минеральных месторождений. – М.: Мир, 1984. – 496 с.

19. Новейший и современный вулканизм на территории России; отв. ред. Лаверов Н. П. – М.: Наука, 2005. – 602 с.

20. Парада С. Г. Перспективные типы месторождений и рудопроявлений золота Юга России. // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №1. – С. 57-72.

21. Сотников В. И. Медно-молибден-порфировая рудная формация: природа, проблема объема и границ. // Геология и геофизика. – 2006. – Т. 47. №3. – С. 355-363.

22. Таусон Л. И. Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. – М.: Наука, 1977. – 278 с.

23. Cook D. R., Hollings P., Walshe J. L. Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls. // Econ. Geol. – 2005. – Vol. 100. – pp. 801-818.

24. Gow P. A., Walshe J. L. The Role of Preexisting Geologic Architecture in the Formation of Giant Porphyry-Related Cu±Au Deposits: Examples from New Guinea and Chile. // Econ. Geol. – 2005. – Vol. 100. – pp. 819-833.

25. Hollister V. F. Regional characteristics of porphyry copper deposits of South America. // Soc. Mining Engineers AIME Trans. – 1974. – Vol. 255. – pp. 45-53.

26. İmer A., Richards J. P., Muehlenbachs K. Hydrothermal Evolution of the Çöpler Porphyry-Epithermal Au Deposit, Erzincan Province, Central Eastern Turkey. // Econ. Geol. – 2016. – Vol. 111. – pp. 1619-1658.

27. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper deposits. // Econ. Geol. – 1970. – Vol. 65. – pp. 373-409.

28. Nie F., Jiang Z., Li Q., Wang F. The discovery of the Pebble giant porphyry Cu-Au-Mo deposit in Southwest Alaska. USA, and its enlightenment significance // Geol. Bull. China. – 2015. – Vol. 34. No. 6. – pp. 999-1010.

29. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems. // Econ. Geol. – 2010. – Vol. 105. – pp. 3-41.

30. Vry V. H., Wilkinson J. J., Millan J. S. J. Multistage Intrusion, Brecciation, and Veining at El Teniente, Chile: Evolution of a Nested Porphyry System. // Econ. Geol. – 2010. – Vol. 105. – pp. 119-153.

31. Zürcher L., Bookstrom A. A., Hammarstrom J. M., Mars J. C., Ludington S. D., Zientek M. L., Dunlap P., Wallis J. C. Tectono-magmatic evolution of porphyry belts in the Central Tethys region of Turkey, the Caucasus, Iran, Western Pakistan, and Southern Afghanistan. // Ore Geology Reviews. – 2019. – Vol. 111. –pp. 102849-102929. DOI: 10.1016/j. oregeorev. 2019.02.034

References

1. Bogatikov O. A., Kurchavov A. M., Gazeyev V. M., Gurbanov A. G., Dokuchaev A. Ya., Nosova A. A. Geological and petrographic features of the Late Miocene granitoids of the Caucasian Mineral Waters and their relationship with the impact of the superplume. DAN, 2010. Vol. 432. No. 3. pp. 365-369. (In Russ.)

2. Bubnov S. N., Dokuchaev A. Ya., Goltsman Yu. V. N-Q magmatism of the Greater Caucasus: geodynamic position, geochemical and metallogenic specialization, sources of melts. In:

Proceedings of the Institute of Geology of the DSC RAS, 2011. No. 57. pp. 73-75. (In Russ.)

3. Gurbanov A. G., Bogatikov O. A., Dokuchaev A. Ya., Gazeev V. M., Leksin A. B., Lyashenko O. V. Transcaucasian direction of volcanism: cause, effect and epithermal mineralization. Bulletin of the Vladikavkaz Scientific Center, 2007. Vol. 7. No. 3. pp. 25-44. (In Russ.)

4. Gusev A. I. Cenozoic granitoids of the Greater Caucasus: petrogenetic types, fluid regime and ore content. Modern high technologies, 2014. No. 4. pp. 22-27. (In Russ.)

5. Davydenko D. B., Parada S. G. The experience of dividing the potential fields of Donbass into background, residual and local components and some results of interpretation. Geology and Geophysics of Russian South, 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 22-37. DOI: 10.46698/VNC.2021.23.67.003 (In Russ.)

6. Dotduev I. S. Problems of Alpine Tectonics of the Greater Caucasus. Geology and Mineral Resources of the Greater Caucasus. Moscow. Nauka, 1987. pp. 48-55. (In Russ.)

7. Zvezdov V. S. The setting of the formation of large and super-large porphyry copper deposits. Otechestvennaya geologiya, 2019. No. 5. pp. 16-35. (In Russ.)

8. Zvezdov V. S., Migachev I. F., Minina O. V. Morphological types of porphyry copper stockworks and settings of their formation. Ores and metals, 2018. No. 4. pp. 37-52. (In Russ.)

9. Zvezdov V. S., Minina O. V. Ore-magmatic systems of the volcano-plutonic belts of the East of Russia. Ores and metals, 2010. No. 1. pp. 48-59. (In Russ.)

10. Kovalenker V. A. Formation conditions and factors of large-scale concentration of gold in porphyry and epithermal deposits. Large and super-large deposits of ore minerals. Vol. 2. Strategic types of ore raw materials. Moscow. IGEM RAN, 2006. pp. 143-214. (In Russ.)

11. Konstantinov M. M., Laipanov Kh. Kh., Danilchenko V. A., Afanasyeva E. L., Orlov B. Yu. Geological structure and prospects of the Tanadon gold-arsenopyrite deposit. Exploration and protection of mineral resources. 2005, No. 1. pp. 2-10. (In Russ.)

12. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Girfanov M. M., Egorova I. V. Quantitative characteristics of ore-forming porphyry copper systems. Otechestvennaya geologiya, 1995. No. 1. pp. 17-28. (In Russ.)

13. Krivtsov A. I., Zvezdov V. S., Migachev I. F. Porphyry copper deposits. Ores and metals, 2001. No. 6. 89 p. (In Russ.)

14. Lebedev V. A., Bubnov S. N., Chernyshev I. V., Chugaev A. V., Goltsman Yu. V., Vashakidze G. T., Bairova E. D. Geochronology and petrogenesis of young (Pliocene) granitoids of the Greater Caucasus: Dzhimar polyphase massif, Kazbek neovolcanic region. Geochemistry, 2009. No. 6. pp. 582-602. (In Russ.)

15. Lebedev V. A., Chernyshev I. V., Sharkov E. V. Geochronological scale and evolution of Late Cenozoic magmatism of the Caucasian segment of the Alpine belt. DAN, 2011. Vol. 441. No. 4. pp. 521-526. (In Russ.)

16. Mansurov M. I. Models of ore-magmatic systems of porphyry copper deposits of the Goshgarchay ore field (Maly KavKaz, Azerbaijan). Bulletin of the Siberian Branch. Section of Earth Sciences of the RANS, 2014. No. 4 (47). pp. 29-42. (In Russ.)

17. Migachev I. F. The main geological and structural settings of the manifestation of porphyry copper deposits in ore regions. Otechestvennaya geologiya, 2017. No. 6. pp. 25-30. (In Russ.)

18. Mitchell A., Garson M. Global geotectonic position of mineral deposits. Moscow. Mir, 1984. 496 p. (In Russ.)

19. The newest and modern volcanism on the territory of Russia. ed. Laverov N. P. Moscow. Nauka, 2005. 602 p. (In Russ.)

20. Parada S. G. Promising types of golden deposits and ore manifestations of Russian South. Geology and Geophysics of Russian South, 2017. No. 1. pp. 57-72. (In Russ.)

21. Sotnikov V. I. Copper-molybdenum-porphyry ore formation: nature, problem of volume and boundaries. Geology and Geophysics, 2006. Vol. 47. No. 3. pp. 355-363. (In Russ.)

22. Tauson L. I. Geochemical types and potential ore content of granitoids. Moscow. Nauka, 1977. 278 p. (In Russ.)

23. Cook D. R., Hollings P., Walshe J. L. Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls. Econ. Geol., 2005. Vol. 100. pp. 801-818.

24. Gow P.A., Walshe J. L. The Role of Preexisting Geologic Architecture in the Formation of Giant Porphyry-Related Cu±Au Deposits: Examples from New Guinea and Chile. Econ. Geol., 2005. Vol. 100. pp. 819-833.

25. Hollister V.F. Regional characteristics of porphyry copper deposits of South America. Soc. Mining Engineers AIME Trans., 1974. Vol. 255. pp. 45-53.

26. İmer A., Richards J. P., Muehlenbachs K. Hydrothermal Evolution of the Çöpler Porphyry-Epithermal Au Deposit, Erzincan Province, Central Eastern Turkey. Econ. Geol., 2016. Vol. 111. pp. 1619-1658.

27. Lowell J. D., Guilbert J. M. Lateral and vertical alteration- mineralization zoning in porphyry copper deposits. Econ. Geol., 1970. Vol. 65. pp. 373-409.

28. Nie F., Jiang Z., Li Q., Wang F. The discovery of the Pebble giant porphyry Cu-Au-Mo deposit in Southwest Alaska. USA, and its enlightenment significance. Geol. Bull. China, 2015. Vol. 34. No. 6. pp. 999-1010.

29. Sillitoe R. H. Porphyry Copper Systems. Econ. Geol., 2010. Vol. 105. pp. 3-41.

30. Vry V. H., Wilkinson J. J., Millan J. S. J. Multistage Intrusion, Brecciation, and Veining at El Teniente, Chile: Evolution of a Nested Porphyry System. Econ. Geol., 2010. Vol. 105. pp. 119-153.

31. Zürcher L., Bookstrom A. A., Hammarstrom J. M., Mars J. C., Ludington S. D., Zientek M. L., Dunlap P., Wallis J. C. Tectono-magmatic evolution of porphyry belts in the Central Tethys region of Turkey, the Caucasus, Iran, Western Pakistan, and Southern Afghanistan. Ore Geology Reviews, 2019. Vol. 111. pp. 102849-102929. DOI: 10.1016/j. oregeorev. 2019.02.034