

Оригинальная статья / Original article

УДК 553.3./4

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-1-38-53>

## ЗОНАЛЬНОСТЬ ОРУДЕНЕНИЯ И МЕТАСОМАТИТОВ В МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ГОШГАРЧАЙСКОЙ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (МАЛЫЙ КАВКАЗ, АЗЕРБАЙДЖАН)

© М.И. Мансуров<sup>а</sup>, М.Г. Сафари<sup>б</sup>, Б.Г. Каландаров<sup>с</sup>,  
В.М. Керимов<sup>д</sup>, А.Г. Мамедова<sup>е</sup>

<sup>а,с,е</sup>Бакинский государственный университет,  
AZ1148, Республика Азербайджан, г. Баку, ул. 3. Халилова, 23.

<sup>б</sup>Университет Пайаме Нур,  
П.О.19395-3697, Республика Иран, г. Тегеран, ул. Артеш.

<sup>д</sup>Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,  
AZ1010, Республика Азербайджан, г. Баку, просп. Азадлыг, 20.

**РЕЗЮМЕ.** Цель. Анализ характера зональности оруденения и метасоматитов по известным медно-порфировым месторождениям Гошгарчайской рудно-магматической системы (РМС), связанной с Муровдагской группой интрузивов. **Методы.** Используются комплексные структурно-геологические, металлогенические, геолого-петрологические, рудно-метасоматические, петрохимические параметры метасоматитов и результаты ранее проведенных научно-тематических, геолого-разведочных работ. Между петрохимическими параметрами метасоматитов и содержаниями меди и молибдена улавливается определенная закономерность. **Результаты.** Установлено, что в пределах Гошгарчайской РМС мощность зон метасоматически измененных пород составляет от нескольких метров до десятков, а иногда даже сотен метров (в узлах пересечения разноориентированных разрывов). Протяженность их измеряется от 500–1000 до 2000–3000 м. Вокруг рудогенерирующих интрузивов Гошгарчайской РМС выделяется три постепенно сменяющие друг друга в пространстве метасоматические зоны в виде эллипса, окаймляющие интрузивный массив порфирового сложения. Внутренняя зона, охватывающая эндоконтактовую и апикальную части порфирового интрузива, представлена интенсивно окварцованными, почти нацело преобразованными во вторичные кварциты породами. Средняя зона выделяется как кварц-серицит-хлоритовая фация вторичных кварцитов. Третья, внешняя зона метасоматической колонки представлена пропилитовой фацией вторичных кварцитов. **Выводы.** В пределах контуров Гошгарчайского месторождения исследована рудная зональность и получен следующий ряд зональности элементов по вертикали (снизу вверх): Mo→Cu→Co→Ni→Cr→Ag→Pb→Zn. На основании петрохимических данных исследованы и сопоставлены

---

<sup>а</sup>Мансуров Мамой Ибрагим, доцент кафедры геологии полезных ископаемых, тел.: +994506227175, e-mail: mamoy\_mansurov@mail.ru

Mamoy I. Mansurov, Associate Professor of the Department of Minerals Geology, tel.: +994506227175, e-mail: mamoy\_mansurov@mail.ru

<sup>б</sup>Сафари Мехти Гаджи, доцент кафедры геологии полезных ископаемых, тел.: +989122889600, e-mail: mb.safari@yahoo.com

Mehti H. Safari, Associate Professor of the Department of Minerals Geology, tel.: +989122889600, e-mail: mb.safari@yahoo.com

<sup>с</sup>Каландаров Багадур Гасан, профессор кафедры гидрогеологии и инженерной геологии, тел.: +994503428600.

Bahadur G. Kalandarov, Professor of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology, tel.: +994503428600.

<sup>д</sup>Керимов Вагиф Мирза, доцент кафедры общей геологии, тел.: +994506151897, e-mail: vaqifkerimov68@mail.ru

Vaqif M. Kerimov, Associate Professor of the Department of General Geology, tel.: +994506151897, e-mail: vaqifkerimov68@mail.ru

<sup>е</sup>Мамедова Айгюн Галиб, преподаватель кафедры геохимии и минералогии, тел.: +994503716146, e-mail: aygun\_mammadova\_1971@yahoo.com

Aygun G. Mamedova, Lecturer of the Department of Geochemistry and Mineralogy, tel.: +994503716146, e-mail: aygun\_mammadova\_1971@yahoo.com

гидротемально-метасоматические изменения вмещающих пород в зонах различных типов метасоматитов, образованных в процессе формирования месторождения.

**Ключевые слова:** *Гошгарчайская рудно-магматическая система, интрузивные комплексы, медно-порфировые месторождения, метасоматическая колонка, рудно-метасоматическая зональность, рудные минералы, рудоносность.*

**Информация о статье.** Дата поступления 2 октября 2017 г.; дата принятия к печати 20 декабря 2017 г.; дата онлайн-размещения 30 марта 2018 г.

**Формат цитирования.** Мансуров М.И., Сафари М.Г., Каландаров Б.Г., Керимов В.М., Мамедова А.Г. Зональность оруденения и метасоматитов в медно-порфиновых месторождениях Гошгарчайской рудно-магматической системы (Малый Кавказ, Азербайджан) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 1. С. 38–53. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-1-38-53

## MINERALIZATION AND METASOMATITES ZONING IN PORPHYRY COPPER DEPOSITS OF GOSHGARCHAI ORE MAGMATIC SYSTEM (LESSER CAUCASUS, AZERBAIJAN)

© M.I. Mansurov, M.H. Safari, B.G. Kalandarov,  
V.M. Kerimov, A.G. Mamedova

Baku State University,  
23 Z. Halilov St., Baku AZ1148, Republic of Azerbaijan  
Payami Nur University,  
Artesh St., Teheran, P.O. 19395-3697, Republic of Iran  
Azerbaijan State Oil Industrial University  
20 Azadlyg Ave., Baku AZ1010, Republic of Azerbaijan

**ABSTRACT.** The Purpose of the paper is to analyze the zoning nature of mineralization and metasomatites in the known porphyry copper deposits of the Goshgarchai ore magmatic system (OMS) associated with the Murovdag group of intrusives. The **Methods** used in the study include complex structural and geological, metallogenic, geological-petrological, ore metasomatic and petrochemical parameters of metasomatites as well as the studies that take into account science-based geological prospecting works carried out earlier. There is some regularity between the petrochemical parameters of metasomatites and the contents of copper and molybdenum. **Results.** It has been found that the thickness of metasomatically altered rocks varies from several meters to tens and hundreds of meters (in the intersections of multi-oriented faults) within the Goshgarchai OMS. Their length ranges from 500-1000 m to 2000-3000 m. Three gradually changing each other elliptical metasomatic zones are distinguished around the ore generating intrusives of the Goshgarchai OMS. They border the intrusive massif of porphyry composition. The inner zone including the endocontact and apical parts of the porphyry intrusive is represented by strongly silicified rocks, which are almost completely transformed into secondary quartzites. The middle zone is determined as quartz-sericite-chlorite facies of secondary quartzites. The third external zone of the metasomatic column is represented by the propylite facies of secondary quartzites. **Conclusions.** Having studied ore zoning within the borders of the Goshgarchai deposit we have obtained the following series of vertical zonality of elements (bottom-up): Mo→Cu→Co→Ni→Cr→Ag→Pb→Zn. Hydrothermal metasomatic variations of enclosing rocks in the zones of different types of metasomatites generated under deposit formation have been studied and compared on the basis of petrochemical data.

**Keywords:** *Goshgarchai ore magmatic system, intrusive complexes, porphyry copper deposits, metasomatic column, ore-metasomatic zonality, ore minerals, ore content*

**Article info.** Received 2 October 2017; accepted for publication 20 December 2017; available online 30 March 2018.

**For citation.** Mansurov M.I., Safari M.H., Kalandarov B.G., Kerimov V.M., Mamedova A.G. Mineralization and metasomatites zoning in porphyry copper deposits of Goshgarchai ore magmatic system (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits], 2018, vol. 41, no. 1, pp. 38–53. (In Russian). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-1-38-53

### Введение

Проблема прогнозирования, изучения и оценки медно-молибден-порфировых месторождений в вулканогенных поясах азербайджанской части Малого Кавказа – одна из наиболее актуальных для решения вопроса о расширении минерально-сырьевой базы не только меди и молибдена, но и золота и серебра, элементов платиновой группы, полиметаллов, редких и редкоземельных элементов. На Малом Кавказе широко распространены месторождения и рудопроявления меди во всех металлогенических зонах. Они относятся к трем генетическим типам, имеющим промышленное значение: медно-порфировым, медно-колчеданным и медно-полиметаллическим. Все они сопряжены с вулкано-интрузивными и плутоническими комплексами Малого Кавказа. Медно-порфировые проявления, связанные с плутоническими гранитоидными массивами Муровдагского рудного района, являются наиболее перспективными. Здесь же располагается несколько месторождений и рудопроявлений медно-порфирового типа, в которых ресурсы медных руд могут быть отнесены к разряду крупных месторождений. Наиболее изученным является Гошгарчайское месторождение, где проводились разведочные работы, что позволило выделить его как весьма перспективное.

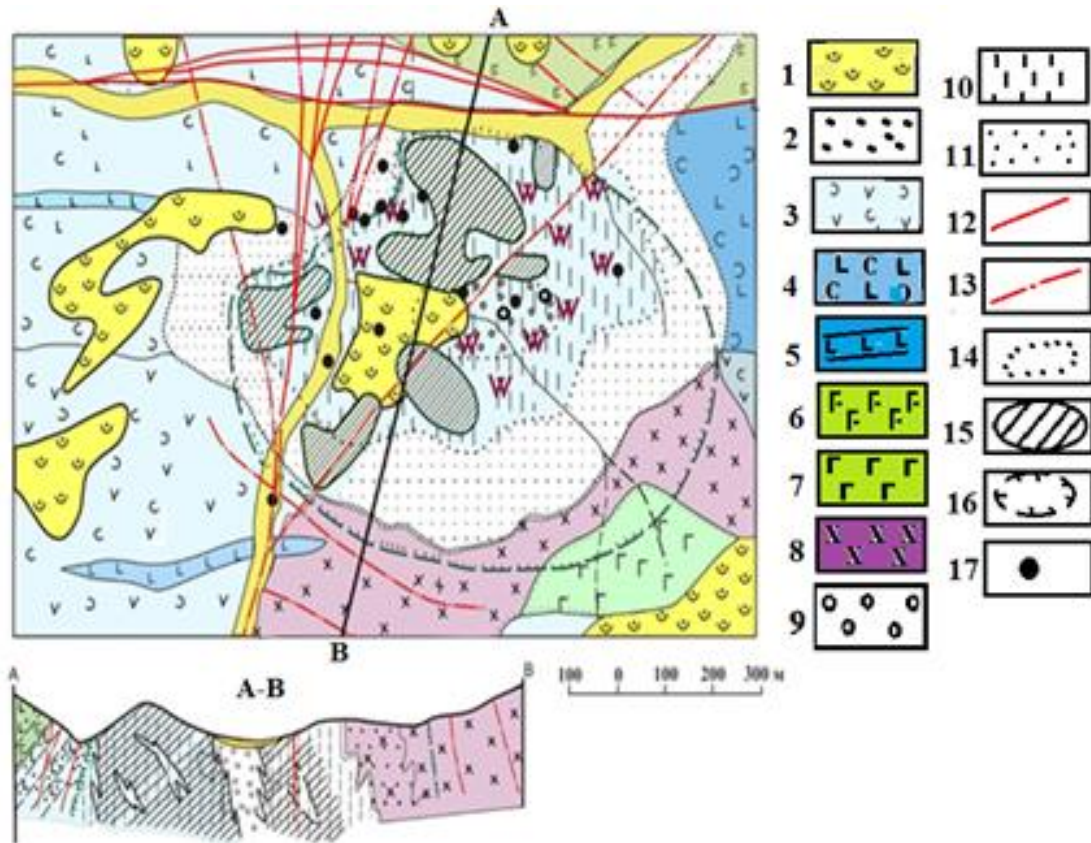
### Материалы и методы исследования

Гошгарчайская рудно-магматическая система (РМС), являясь составной частью Лок-Агдамской палеоостровной дуги, занимает СЗ приподнятую часть Муровдагского антиклинория асимметричного строения, сложенного породами нижнебайосской вулканогенной толщи в ядре и верхнебайосской и батской толщами базальт-андезит-риолитовой последовательно дифференцированной формации на крыльях.

Интрузивными составляющими РМС являются Гошгарчайский комплекс гранитоидных интрузий (Гошгардагская, Оджагдагская, Баладжа Гошгардагская) и их дайковые образования, которые прорывают мощный комплекс эффузивно-пирокластических образований, оказывая на них контактовое воздействие. Интрузивные комплексы с медно-порфировым оруденением по геолого-петрологическим особенностям принадлежат к габбро-диорит-гранодиоритовой формации позднеюрско-раннемелового возраста (рис. 1) [1–6].

В Гошгарчайской РМС медно-порфировое оруденение охватывает Гашгачайское, Гошгардагское, Гызылархачское, Кечалдагское, Ерик-Манукское и другие месторождения и рудопроявления, где оно находится в тесной пространственной и генетической связи с одноименными гранитоидными массивами. По геологическому положению и пространственному размещению интрузивные образования Муровдагской группы Р.Н. Абдуллаевым разделены на Гошгардагскую и Гызылархачскую группы [1].

Отметим, что интрузивы прорывают мощный комплекс эффузивно-пирокластических образований средней юры, на основе чего с достаточной степенью точности устанавливается их нижний возрастной предел. Из-за отсутствия прямых данных Р.Н. Абдуллаевым [1] верхняя возрастная граница интрузивов определяется косвенно на основании аналогии петрографического состава их с породами Дашкесан-Зурнабадского массива, где последние прорывают верхнеюрские эффузивно-пирокластические и карбонатные породы, а в районе с. Зурнабад перекрываются коньякскими отложениями с гальками гранитоидов в основании. Таким образом, верхняя граница интрузивов Муровдагской группы принимается Р.Н. Абдуллаевым [1] как послеверхнеюрская-коньякская.



**Рис. 1. Геологическая карта Гошгарчайского месторождения медно-порфировых руд (масштаб 1:10000):**

1 – современные элювиально-делювиальные отложения; 2 – аллювиальные, пролювиальные отложения; 3 – андезиты и их туфы; 4 – диабазы и их туфы; 5 – дайки диабазовых порфиров; 6 – пластовые тела габбро, габбро-пироксенитов; 7 – габбро, габбро-диориты; 8 – диориты, кварцевые диориты; 9–11 – фации вторичных кварцитов: 9 – монокварцевая, 10 – кварц-серцитовая, 11 – пропилитовая (хлоритизированные, окварцованные, кальцитизированные, эпидотизированные и пиритизированные породы с жильково-вкрапленной рудной минерализацией); 12, 13 – разрывные нарушения: 12 – региональные рудоконтролирующие, 13 – прочие; 14 – границы фации вторичных кварцитов; 15 – контуры медно-порфировых рудных тел с промышленным содержанием на поверхности; 16 – ореолы распространения медно-порфировых руд; 17 – буровые скважины

**Fig. 1. Geological map of the Goshgarchai deposit of porphyry copper ores (scale 1:10 000):**

1 – recent residual and talus deposits; 2 – alluvial, proluvial deposits; 3 – andesites and their tuffs; 4 – diabases and their tuffs; 5 – dykes of diabase porphyrites; 6 – bedded bodies of gabbro and gabbro-pyroxenites; 7 – gabbro, gabbro-diorites; 8 – diorites, quartz diorites. 9–11 – facies of secondary quartzites: 9 – monoquartzite; 10 – quartz-sericite; 11 – propylite (chloritized, silicified, calcitated, epidotized and pyritized rocks with stringer-porphyry mineralization). 12, 13 – faults: 12 – regional ore control; 13 – other; 14 – borders of secondary quartzite facies; 15 – porphyry copper ore body outlines with pay ore on the surface; 16 – distribution halos of porphyry copper ores; 17 – bore holes

По мнению Э.Ш. Шихалибейли [7], Гошгардагская и Гызылархачская группы интрузивов находятся в осевой полосе Муровдагского антиклинория, где они прорывают байосские отложения. Известно, что стержневая часть Муровдагского хребта сформировалась после

бата и больше никогда не покрывалась морями, то есть в послебатское время она превратилась в сушу. Эти структуры нельзя ставить в один ряд с Журнабадом, который принадлежит Агджакендскому меловому прогибу.

В пределах Гошгарчайского месторождения интрузивные породы широко развиты и представлены габбро, габбро-диоритами, диоритами, кварцевыми диоритами и порфиroidными гранодиоритами. Намечается три основные фазы верхнеюрско-нижнемеловой интрузивной серии: 1) диориты, кварцевые диориты, кварцевые диоритовые порфириды; 2) гранодиориты, гранодиорит-порфиры и гранит-порфиры; 3) дайки габбро-долеритов, диорит-порфиридов, кварц-диорит-порфиридов [1–3].

Гошгардагская группа интрузивов расположена на восточном и западном склонах г. Гошгардаг, на южном склоне г. Озаграг, а также на месте слияния рр. Баладжа и Бюк Гошгарчай. Она впервые выявлена Р.Н. Абдуллаевым и им же описана [1].

Структура РМС сформировалась в результате последовательной смены нескольких этапов деформаций, сопровождающихся образованием трещиноватости в интрузивном массиве, внедрением даек, перемещением блоков по тектоническим разрывным нарушениям и выполнением трещин различными минеральными ассоциациями. Непосредственно рудоподводящими являются субширотная или общекавказская ориентировка нарушений, а разрывы СВ простирания, опирающиеся Гошгарчайский разлом со стороны его висячего бока, являются рудолокализирующими структурами, что объясняется: 1) расположением рудных зон в лежачем боку; 2) одинаковым направлением падения рудных зон и разломов при более крутых углах последних; 3) локализацией рудных зон преимущественно в мелких системах трещин и нарушениях локального значения; 4) приуроченностью к главным разломам субвулканических тел и даек, зон интенсивных гидротермальных изменений пород и вкрапленной сульфидной минерализации [2, 4, 8–12].

## Результаты исследования и их обсуждение

Изучение многих месторождений, особенно гидротермального происхождения, показывает, что проявление зональности минералов и химических элементов в рудных телах неразрывно связано с зональностью околорудных метасоматитов. Характерными в этом отношении являются медно-порфировые месторождения, в которых наиболее отчетливо проявляются горизонтальные и вертикальные составляющие зональности, как в размещениях рудогенных элементов, так и в различных формах метасоматитов [2, 13].

В целом породы Гошгарчайского интрузива обладают многими общими чертами: гипабиссальными условиями образования; интенсивными гидротермальными изменениями; одинаковым минеральным составом пород; сходной последовательностью кристаллизации минералов во всех группах пород [1–3].

Образование многофазной интрузии и связанного с ней оруденения Гошгарчайской РМС происходило длительное время. Метасоматическая зональность Гошгарчайской РМС свидетельствует о соответствии модели типичного объекта медно-порфировой рудной формации. Как и на многих месторождениях этого типа, внешняя зона измененных пород представлена пропилитами, промежуточная – кварц-серицитовыми метасоматитами и аргиллизитами, а внутренняя – существенно кварцевыми метасоматитами [2, 14].

В процессе становления Гошгарчайского массива отделение металлоносных флюидов было неоднократным, что и привело к формированию вначале связанной с ранней фазой обширной зоны пропилитизации, а затем – наложенных зон калиевого, кварц-серицитового и кварцевого метасоматоза и аргиллизации, обусловленных воздействием более кислых по составу поздних фаз.

Образование большей части промышленного медно-молибден-порфирового оруденения произошло вслед за внедрением порфиров ранней генерации. С поздней фазой порфиров связано преотложение ранее образовавшихся руд и формирование богатых скоплений в виде прожилково-вкрапленных штокверковых руд, ориентированных в широтном направлении в трещинной зоне Гошгарчайского разлома. Поздняя фаза порфиров была рудоносной в гораздо меньшей степени, чем первая. Она сопровождалась интенсивным окварцеванием, что и привело к образованию в центральной части месторождения «кварцевого ядра». К северу от него развита кварц-серицитовая зона с богатыми медно-молибден-порфировыми рудами, затем следует пропилитовая с преимущественно прожилковой пиритовой минерализацией [2, 4, 11, 14, 15].

Зональность оруденения в медно-порфировых месторождениях изучались многими исследователями [12, 16–20]. И.Г. Павлова и другие [12] приводят следующий ряд рудной зональности для медно-порфировых месторождений по максимуму концентраций элементов: железо → молибден → медь (молибден) → медь (золото) → железо (золото) → свинец → цинк (I); рудных минералов: магнетит-молибденит-халькопирит (с золотом) – пирит (с золотом) – сфалерит-галенит-энаргит-борнит-блеклая руда (II); парагенезисов минералов: калишат-магнетитовый, калишпат-биотит-магнетитовый, пирит-серицит-кварцевый; кварц-молибденитовый или калишпат-молибденитовый; кварц-халькопирит-молибденитовый; карбонат-галенит-сфалеритовый (III) (от центра к периферии и снизу вверх по восстанию рудных тел) [2, 8].

Из основных характеристик для построения моделей медно-порфировых месторождений типичным является набор зональных метасоматических из-

менений, имеющих непосредственную корреляцию с участками, богатыми рудой. Наиболее яркие примеры: калиевые, кварц-серицитовые вторичные изменения, расширенная аргиллизация и пропилитизация [15]. Обычно гипогенные аргиллитовые изменения образуются относительно поздно в процессе образования порфировой системы, но могут быть и более ранними [21]. Некоторые исследователи доказывают, что разница между набором метасоматитов не связана с отличиями в самих порфировых системах [22, 23]. Вероятно, это встречается просто потому, что некоторые зоны вторичных изменений, образованные на малых глубинах, во многих случаях были эродированы. В результате расширенные аргиллитовые изменения зачастую не включают в классические модели зональности метасоматических изменений. Детальными исследованиями порфировых месторождений было установлено, что ранние калиево-силикатные вторичные изменения (калиевый полевой шпат ± биотит ± магнетит с кварцевыми жилами) порфировых систем образованы в условиях высоких температур (400–600 °С), при участии сильно минерализованных флюидов магматического происхождения. А уже представляющие следующий этап более поздние серицитовые жилы ассоциируют с более холодными и менее минерализованными водами [23–25].

В пределах Гошгарчайской РМС мощность зон метасоматически измененных пород составляет от нескольких метров до десятков, а иногда даже сотен метров (в узлах пересечения разноориентированных разрывов). Протяженность их измеряется от 500–1000 до 2000–3000 м. Вокруг рудогенерирующих интрузивов выделяется три постепенно сменяющие друг друга в пространстве метасоматические зоны в виде эллипса, окаймляющие интрузивный массив порфирового сложения [2, 4, 5].

В участках, менее подверженных кварц-серицитовым вторичным изменениям, первичные темноцветные минералы, такие как роговая обманка, замещены биотитами, сульфидами и магнетитами. В дальнейшем это уже вторичные минералы. В зоне кварц-серицитовых изменений фенокристаллы плагиоклаза частично замещаются серицитом, а темноцветные минералы замещены кварцем и серицитом. Контакт кварц-сульфидных прожилков с метасоматитами мощностью 0,5 м заполнен серицитом и глинистыми минералами. Также серицит заполняет межзерновое пространство между кристаллами в прожилке.

Гидротемально-метасоматические изменения, как было отмечено выше, развиты вдоль разрывных нарушений по контактам интрузивных пород, зальбандам даек и жил. Исходными породами, преобразованными в метасоматиты, являются как интрузивные, так и вмещающие их вулканогенные образования. В зависимости от их тектонической подготовленности, механических свойств и химического состава интенсивность изменения не везде одинакова.

В строении метасоматической колонки Гошгарчайской РМС выделяется три зоны гидротермалитов, расположенные вокруг рудоносного кварц-диорит-порфирового штока, прорывающего жерловые и прижерловые фации байосских вулканитов среднеосновного состава [2, 4, 5, 9].

Внутренняя зона, охватывающая эндоконтактовую и апикальную части порфирового интрузива, представлена интенсивно окварцованными, почти нацело преобразованными во вторичные кварциты породами. Кварцевое ядро, обычно характерное для многих порфировых интрузивов с медно-порфировой минерализацией, на данном месторождении не отмечается, и можно лишь предполагать его наличие в централь-

ной, не вскрытой эрозией части интрузива. Внутренняя зона представлена вторичными кварцитами светло-серого цвета с многочисленными прожилками кварца поздних генераций. Судя по минеральному составу, данная зона соответствует кварц-серицитовой фации вторичных кварцитов.

Рудоносность зон кварц-серицитовых метасоматитов обычно слабая. Причиной этого является редкая вкрапленность сульфидов, преимущественно халькопирита. Однако с глубиной содержание сульфидов постепенно увеличивается, поэтому содержание меди увеличивается от 0,01 % на поверхности до 0,05 % на глубине. Параллельно в минеральном составе зоны появляются кальцит и хлорит, увеличивается содержание серицита. Далее с глубиной в связи со значительным увеличением содержания хлорита в составе пород осуществляется переход к кварц-серицит-хлоритовой фации вторичных кварцитов, где также увеличивается содержание меди, которое уже достигает 0,15 %. Данный факт говорит также о наличии вертикальной зональности в строении метасоматической колонки.

Средняя зона выделяется как кварц-серицит-хлоритовая фация вторичных кварцитов. Минеральный состав метасоматитов представлен кварцем, хлоритом, серицитом, эпидотом, кальцитом и пиритом, причем первые три составляют основную массу пород. Зона занимает значительную площадь длиной 1,2 км при ширине 400–600 м. На эту фацию отчетливо накладывается медно-порфировая минерализация прожилково-вкрапленного типа. Наиболее интенсивное ее развитие характерно именно для кварц-серицит-хлоритовой фации вторичных кварцитов, фиксирующих зоны повышенной трещиноватости. С глубиной количество кварца и серицита пропорционально уменьшается, в то же время увеличивается распространен-

ность хлорит-эпидот-кальцитовой ассоциации.

Третья, внешняя зона метасоматической колонки представлена пропилитовой фацией вторичных кварцитов. Здесь пропилитизация имеет площадное распространение, однако внешние ее границы определить сложно, так как количество новообразований в зоне слабых изменений представлено хлоритом, эпидотом, цоизитом, альбитом, серицитом, биотитом, реже актинолитом а также пиритом. В этой зоне, которая венчает метасоматическую колонку, изредка выделяются незначительные рудные интервалы, чаще жильного типа, характеризующиеся повышенным содержанием меди. В рудных прожилках установлено относительно высокое содержание серебра, а также наличие сфалеритовой минерализации [2]. Зоны наиболее сильного преобразования пород располагаются вдоль путей циркуляции растворов, какими являются разрывные нарушения всех направлений, контакты пород, участков гранитизации близ рудных тел и минерализованных зон. Судя по минеральным ассоциациям, пропилитизация протекала в гипабиссальных условиях. Наличие в пропилитизированных породах биотита и альбита указывает на повышенную щелочность гидротермальных растворов [4, 11, 12]. Пропилитизация сопровождается образованием ряда четко разграниченных зон качественно различного состава в зависимости от литологического состава исходной породы. Процесс протекает по принципу инфильтрационного метасоматоза в условиях температурного градиента, характерного для процессов приконтактового выщелачивания [17, 26].

В пределах Гошгарчайской РМС отмечается: 1) четкая пространственная связь с порфиоровыми интрузиями гранитодного состава; 2) смена зон метасоматитов: биотит-калишпатовая – кварц-

серицитовая – пропилитовая; 3) прожилково-вкрапленный характер минерализации.

Среди пропилитов выделяется две фации: актинолит-эпидотовая и хлорит-эпидотовая. Пропилитизированные породы актинолит-эпидотовой фации отмечаются в среднем на 0,4–0,8 м от подводящего канала, пропилитизированные породы и пропилиты хлорит-эпидотовой фации развиваются от него в среднем на расстоянии в 0,1–0,5 м. Во внутренних зонах метасоматических колонок в тектонических нарушениях и рудных зонах встречаются брекчии хлорит-эпидот-кварцевого состава.

В пропилитизированных габброидах хлорит-эпидотовой фации отмечается значительное количество метасоматических зон. В пропилитах эпидот-хлоритовой фации нет актинолита, число вторичных минералов по направлению к жиле уменьшается, происходит частичное или полное замещение альбита и эпидота карбонатом, серицитом, хлоритом, которые отмечаются во всех зонах метасоматической колонки. В рудных зонах и тектонических нарушениях устойчива ассоциация эпидот-кварц-пирит, в контактах с рудными жилами – серицит-кварц-пирит. На удалении от жилы отмечаются пропилиты состава: хлорит, альбит, карбонат, кварц, серицит, есть вкрапленность сульфидов, отмечены различные прожилки, как собственные пропилитизированным породам с эпидотом и кварцем, так и синрудные кварц-карбонатные с сульфидами. Иногда в рудных зонах и тектонических нарушениях отмечаются хлорит-эпидот-кварцевые брекчии, встречаются прожилки эпидот-кварцевого, кварцевого состава [2, 5, 6, 10, 11, 13, 14].

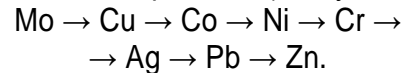
На петролого-геохимическом разрезе площади Гошгарчай (рис. 2) видно, что между петрохимическими параметрами метасоматитов и содержаниями меди и молибдена улавливается опре-



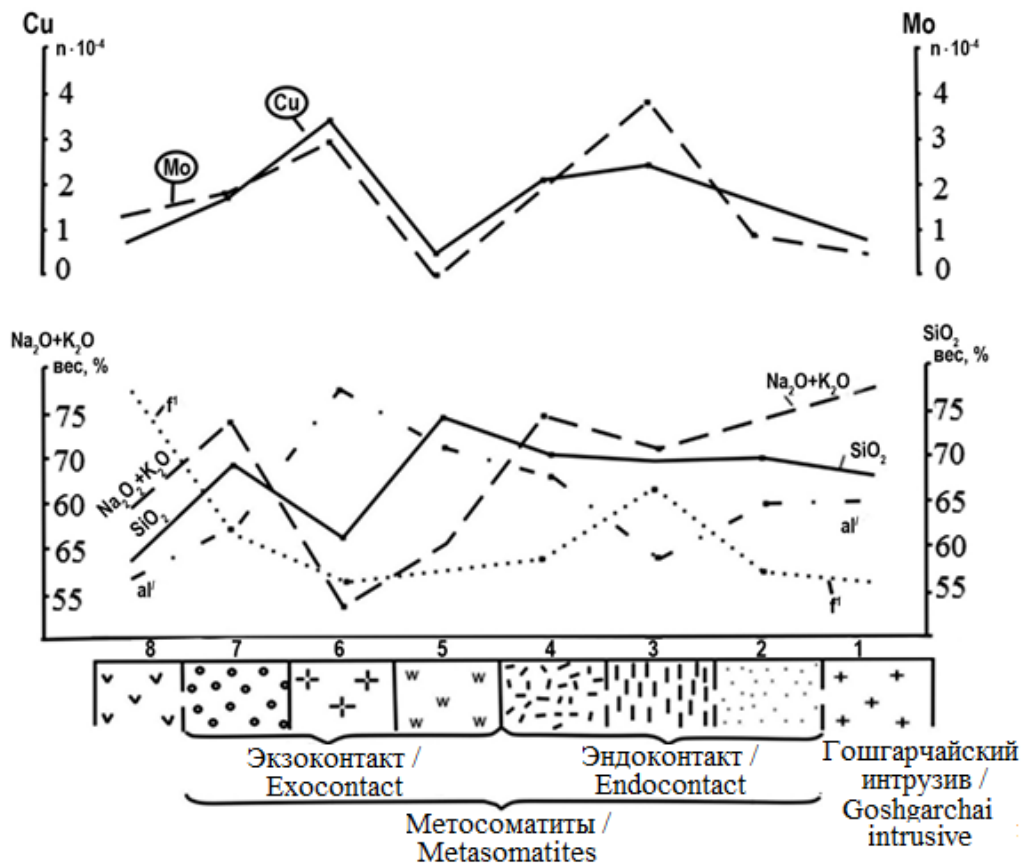
деленная зависимость. Она заключается в том, что максимальное содержание меди и молибдена приурочено к вторичным кварцитам кварц-каолиновой и кварц-серицитовой фаций в экзо- и эндоконтактах соответственно. Если в экзоконтактах алпаитность ( $al'$ ) увеличивается, а в эндоконтактах – уменьшается, то фемичность ( $f'$ ), наоборот, уменьшается и заметно увеличивается в отношении свежих гранодиоритов [2].

По данным буровых скважин, пройденных на Гошгарчайском месторождении, нами исследована рудная зональность в пределах ее контуров и

получен следующий ряд зональности элементов по вертикали (снизу вверх).



Расположение элементов по горизонтальным сечениям исходя из величин показателя зональности показано на рис. 3. Как видно из рисунка, в первом горизонте, где развиты кварц-серицит-каолиновые метасоматиты, расположены Zn, Pb, Ag и Cr; Ni и Co соответствуют третьему горизонту. Медь достигает своего максимального значения в четвертом, а молибден – в шестом горизонте.



**Рис. 2. Петролого-геохимический разрез площади Гошгарчай:**

- 1 – гранодиориты, не затронутые изменениями; 2–7 метасоматиты: 2, 7 – пропилиты, 3, 5, 6 – вторичные кварциты (3 – кварц-серицитовые, 5 – монокварцевые, 6 – кварц-каолиновые); 4 – аргиллизиты; 8 – андезитовые туфы, не затронутые изменениями

**Fig. 2. Petrological and geochemical section of the Goshgarchai area:**

- 1 – unaffected granodiorites; 2–7 – metasomatites: 2, 7 – propylites, 3, 5, 6 – secondary quartzites (3 – quartz-sericite, 5 – monoquartzite, 6 – quartz-kaolinite); 4 – argillizites; 8 – unaffected andesite tuffs

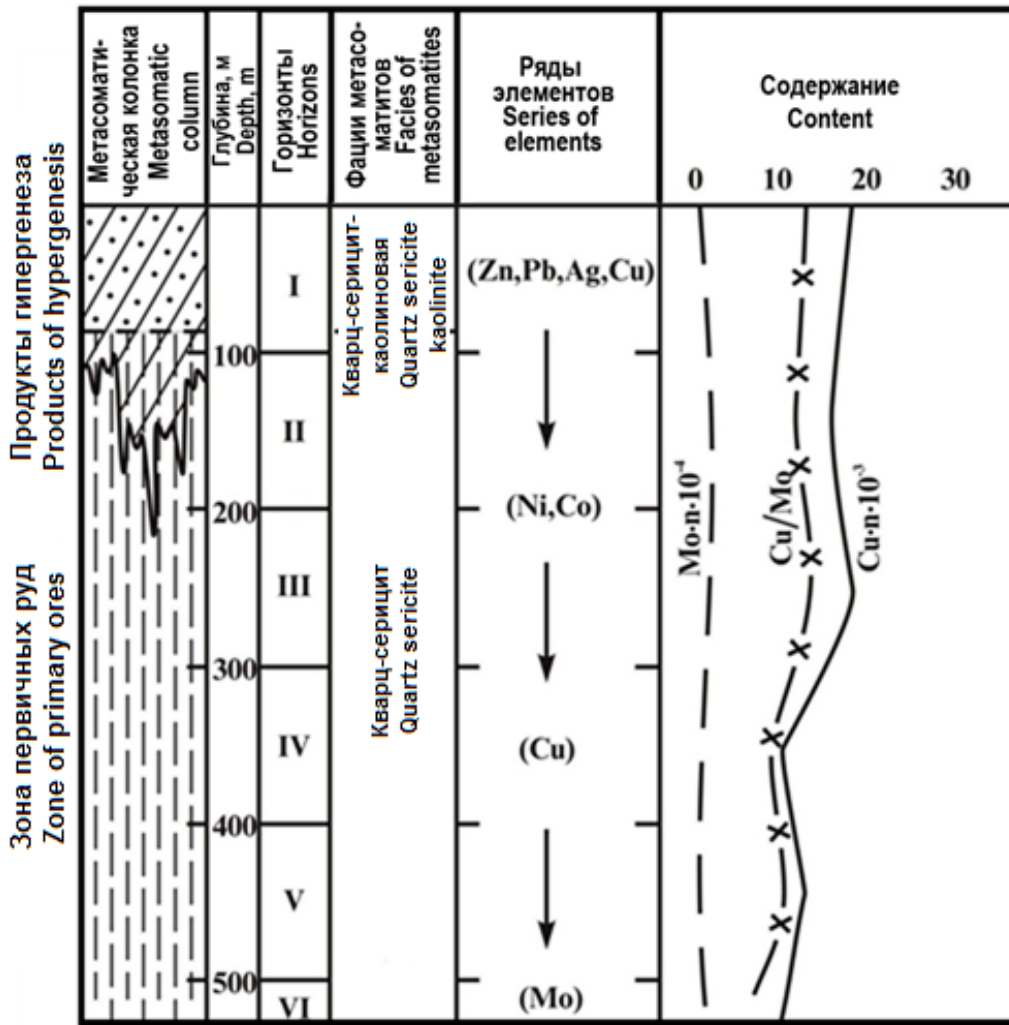


Рис. 3. Рудная зональность в вертикальном сечении (Гошгарчайское месторождение)  
 Fig. 3. Ore zoning in the vertical section (Goshgarchai deposit)

На основе анализа пространственного размещения гидротермалитов можно наблюдать эволюцию в их формировании, а именно: образование регионального пропилитового зеленокаменного изменения пород, имеющего широкое площадное распространение, наложение на них более поздних процессов, приводящих к образованию новых дорудных изменений. Эти изменения отличаются от ранней региональной пропилитизации значительно меньшим масштабом и четкой приуроченностью к разрывным нарушениям [27]. Рудная минерализация формируется именно в этом отрезке гидротермальной деятель-

ности, что привело к появлению полифациальных вторичных кварцитов, в том числе основных рудофокусирующих кварц-серицитовых метасоматитов. В общем случае эволюция гидротермального изменения пород привела к зональному строению метасоматитов.

В результате обработки множества признаков начали появляться сложные геологические модели порфировых систем. Одна из наиболее удачных принадлежит R.H. Sillitoe [19], им также определяется место медно-порфировых месторождений в ряду других месторождений (рис. 4).

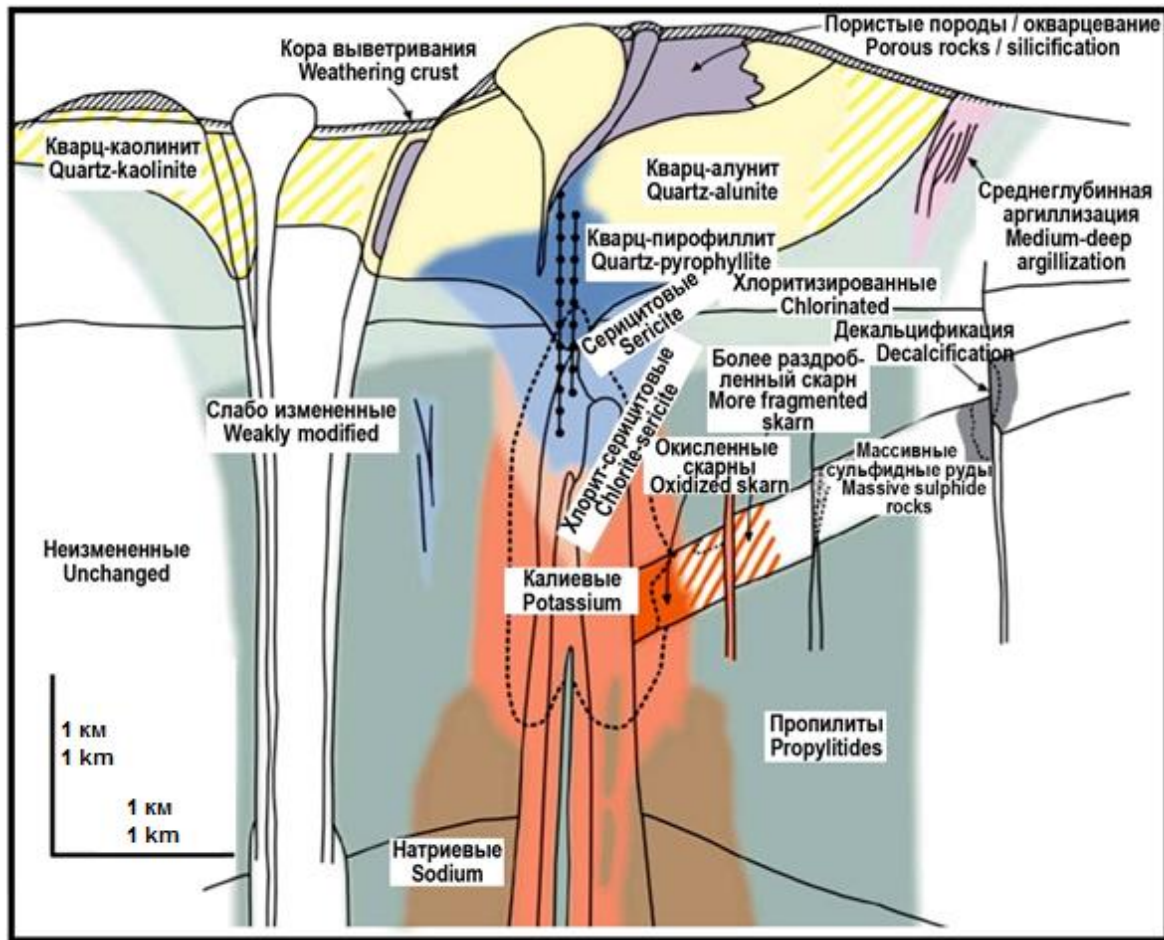


Рис. 4. Модель вторичных метасоматических изменений на разрезе идеализированной медно-порфировой системы (по R.H. Sillitoe [19])  
Fig. 4. Model of secondary metasomatic alterations on the section of the idealized porphyry copper system (according to R.H. Sillitoe [19])

### Выводы

Приведенная выше рудно-метасоматическая характеристика медно-порфировых месторождений Гошгарчайской РМС позволяет сделать следующие выводы:

1. Гошгарчайский РМС представляет собой перспективную площадь на медно-порфировые, а также золоторудные и полиметаллические руды. Интрузивные комплексы с медно-порфировым оруденением по геолого-петрологическим особенностям принадлежат к габбро-диорит-гранодиоритовой формации позднеюрско-раннемелового возраста. Характерными элементами интрузивов являются Cu, Mo, Pb, Zn, Au, Ag.

2. В процессе становления Гошгарчайского массива отделение металлоносных флюидов было неоднократным, что и привело к формированию вначале связанной с ранней фазой обширной зоны пропилитизации, а затем наложенных зон калиевого, кварц-серицитового и кварцевого метасоматоза и аргиллизации, обусловленных воздействием более кислых по составу поздних фаз.

3. В строении метасоматической колонки Гошгарчайской РМС выделяется три зоны гидротермалитов, расположенные вокруг рудоносного кварц-диоритового порфирового штока, прорывающего жерловые и прижерловые фа-

ции байосских вулканитов средно-основного состава.

4. Метасоматические образования медно-порфировых месторождений Гошгарчайского рудного поля представлены последовательно проявленными калишпатовой, грейзеновой, пропиллитовой, вторично-кварцитовой и аргиллизитовой формациями, для которых характерно наложение продуктов последующих образований на более ранние.

5. Главными составляющими модели являются вмещающая рама (фа-

неритовые интрузивы), малые порфировые тела типа штоков и даек, (локализуемые, как правило, в зонах развития рудоконтролирующих структур и пространственно тесно увязывающиеся с оруденением), брекчиевые тела, рудные тела, рудно-метасоматическая зональность.

6. Основной объем промышленной минерализации контролируется как порфировым штоком, так и брекчиевыми телами, которые иногда несут значительный объем рудного вещества.

### Библиографический список

1. Абдуллаев Р.Н., Мустафаев Г.В., Мустафаев М.А. [и др.]. Мезозойские магматические формации Малого Кавказа и связанное с ними эндогенное оруденение. Баку: Элм, 1988. 160 с.

2. Баба-заде В.М., Махмудов А.И., Рамазанов В.Г. Медно- и молибден-порфировые месторождения. Баку: Азернешр, 1990. 377 с.

3. Исмаил-заде А.Д., Мустафаев Г.В., Рустамов М.И. Геология Азербайджана. Магматизм. Баку: Nafta-Press, 2001. Т. 32. 434 с.

4. Мансуров М.И. Модели Рудно-магматических систем медно-порфировых месторождений Гошгарчайского рудного поля (Малый Кавказ, Азербайджан) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 4 (47). С. 29–42.

5. Минерально-сырьевые ресурсы Азербайджана (условия формирования, закономерности размещения, научные основы прогнозирования) / под ред. В.М. Баба-заде. Баку: Озан, 2005. 808 с.

6. Рейф Ф.Г. Рудообразующий потенциал гранитов и условия его реализации. М: Наука, 1990. 181 с.

7. Шихалибейли Э.Ш. Некоторые проблемные вопросы геологического

строения и тектоники Азербайджана. Баку: Элм, 1996. 215 с.

8. Кривцов А.И. Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. М.: Недра, 1983. 256 с.

9. Мансуров М.И. Геолого-генетическая модель Гошгарчайской рудно-магматической системы Муровдагского поднятия (Малый Кавказ, Азербайджан) // Известия Национальной академии наук Азербайджана. Науки о Земле. 2013. № 4. С. 16–22.

10. Мансуров М.И. Поисково-прогнозные критерии выявления перспективных участков и новых типов оруденения Муровдагского горст-поднятия // Вестник Бакинского Университета. Серия естественных наук. 2013. № 4. С. 107–118.

11. Монгуш А-Д.О., Лебедев В.И. Ак-Сугское медно-молибден-порфировое месторождение: вещественный состав пород и руд // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2013. № 1 (42). С. 22–29.

12. Павлова И.Г., Сахновский М.Л. Модели рудно-магматических систем молибденово-медных порфировых ме-

сторождений как основа их поисков и прогнозирования // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций / под. ред. А.А. Оболенского, В.И. Сотникова, В.Н. Шарапова. Новосибирск: Наука, 1988. С. 225–232.

13. Азадалиев Дж.А. Особенности месторождений медно-порфировых руд рудно-магматических систем Малого Кавказа // Рудно-магматические системы орогенных областей: материалы научной конференции, посвященной 90-летию И.Х. Хамрабаева. Ташкент, 2010. С. 304–308.

14. Рамазанов В.Г., Каландаров Б.Г., Хасаев А.И., Мансуров М.И., Мамедов З.И., Тахмазова Т.Г. Геолого-геофизические основы прогнозирования эндогенного оруденения (на примере медно-порфировых месторождений Малого Кавказа) // Горно-геологический журнал. 2009. № 1-2 (17-18). С. 6–11.

15. Lowell J.D., Guilbert J.M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper ore deposits // *Economic Geology*. 1970. Vol. 65. P. 373–408.

16. Берзина А.П., Добрецов Н.Л., Сотников В.Н. Эволюция медно-молибденовых рудно-магматических систем Центрально-Азиатского складчатого пояса // Доклады Российской академии наук. 1995. Т. 342. № 1. С. 73–75.

17. Сотников В.И., Берзина А.П., Калинин А.С. Обобщенная генетическая модель рудно-магматических систем медно-молибденовых рудных узлов // Рудообразование и генетические модели эндогенных рудных формаций / под. ред. А.А. Оболенского, В.И. Сотникова, В.Н. Шарапова. Новосибирск: Наука, 1988. С. 232–240.

18. Sillitoe R.H. Granites and metal deposits // *Episodes*. 1996. Vol. 19. P. 126–133.

19. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc. // *Economic Geology*. 2010. Vol. 105.

P. 3–41.

20. Sillitoe R.H., Hart S.R. Lead-isotope signatures of porphyry copper deposits in oceanic and continental settings, Colombian Andes // *Geochemical et Cosmochimica Acta*. 1984. Vol. 48. P. 2135–2142.

21. Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications // Mineral deposit modeling: Geological Association of Canada / R.V. Kirkham, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe, J.M. Duke [et al.]. 1993. Special Paper 40. P. 465–478.

22. Williams T.J., Candela P.A., Piccoli, P.M. The partitioning of copper between silicate melts and two phase aqueous fluids: An experimental investigation at 1 kbar, 800 °C and 0.5 kbar, 850 °C // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1995. Vol. 121. P. 388–399.

23. Hedenquist J.W., Richards J. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits, Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology // Society of Economic Geology Short Course. Toronto, Canada, 24–25 October, 10/1998. P. 235–256.

24. Reynolds T.J., Beane R.E. Evolution of hydrothermal fluid characteristics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit // *Economic Geology*. 1985. Vol. 80. P. 1328–1347.

25. Sheppard S.M.F., Nielsen R.L., Taylor H.P. Jr. Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits // *Economic Geology*. 1971. Vol. 66. P. 515–542.

26. Титли С.П., Бин Р.Е. Медно-порфировые месторождения // Генезис рудных месторождений. Т. 1. М.: Мир, 1984. С. 245–333.

27. Омеляненко Б.И. Околорудные гидротермальные изменения пород. М.: Недра, 1978. 213 с.

## References

1. Abdullaev R.N., Mustafaev G.V., Mustafaev M.A. *Mezozoiskie magmaticheskie formatsii Malogo Kavkaza i svyazannoe s nimi endogennoe orudnenie* [Mesozoic magmatic formations of the Lesser Caucasus and associated endogenous mineralization]. Baku: Elm Publ., 1988, 160 p. (In Russian).
2. Baba-zade V.M., Makhmudov A.I., Ramazanov V.G. *Medno- i molibdenporfirovye mestorozhdeniya* [Copper- and porphyry molybdenum deposits]. Baku: Azerneshr Publ., 1990, 377 p. (In Russian).
3. Ismail-zade A.D., Mustafaev G.V., Rustamov M.I. *Geologiya Azerbaidzhana. Magmatizm* [Geology of Azerbaijan. Magmatism]. Baku: Nafta-Press Publ., 2001, vol. 32, 434 p. (In Russian).
4. Mansurov M.I. Models of ore-magmatic systems of copper porphyry deposits of Goshgarchay ore field (Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2014, no. 4 (47), pp. 29–42. (In Russian).
5. Baba-zade V.M. *Mineral'no-syr'evye resursy Azerbaidzhana (usloviya formirovaniya, zakonomernosti razmeshcheniya, nauchnye osnovy prognozirovaniya)* [Azerbaijan mineral resources (formation conditions, location regularities, scientific bases of prediction)]. Baku: Ozan Publ., 2005, 808 p. (In Russian).
6. Reif F.G. *Rudoobrazuyushchii potentsial granitov i usloviya ego realizatsii* [Ore-forming potential of granites and its implementation conditions]. Moscow: Nauka Publ., 1990, 181 p. (In Russian).
7. Shikhalibeili E.Sh. *Nekotorye problemnye voprosy geologicheskogo stroeniya i tektoniki Azerbaidzhana* [Some problematic issues of Azerbaijan geological structure and tectonics]. Baku: Elm Publ., 1996, 215 p. (In Russian).
8. Krivtsov A.I. *Geologicheskie osnovy prognozirovaniya i poiskov mednoporfirovykh mestorozhdenii* [Geological bases for porphyry copper deposits forecasting and prospecting]. Moscow: Nedra Publ., 1983, 256 p. (In Russian).
9. Mansurov M.I. Geological and genetic model of Goshgarchai ore-magmatic system of Murovdag uplift (the Lesser Caucasus, Azerbaijan). *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Azerbaidzhana. Nauki o Zemle* [Azerbaijan National Academy of Sciences Proceedings. Earth Sciences], 2013, no. 4, pp. 16–22. (In Russian).
10. Mansurov M.I. Search and forecast criteria for identifying prospects and new types of mineralization of Murovdag horst-uplift. *Vestnik Bakinskogo Universiteta. Seriya estestvennykh nauk* [Baku University News. Natural Science series], 2013, no. 4, pp. 107–118. (In Russian).
11. Mongush A-D.O., Lebedev V.I. Ak-Sug copper-molibdenum-porphyry deposit: mineral composition of rocks and ores. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2013, no. 1 (42), pp. 22–29. (In Russian).
12. Pavlova I.G., Sakhnovskii M.L. Models of ore magmatic systems of porphyry copper molybdenum deposits as a base for their search and prediction. *Rudoobrazovanie i geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatsii* [Ore genesis and genetic models of endogenous ore formations]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988, pp. 225–232. (In Russian).

13. Azadaliev Dzh.A. Features of porphyry copper ores of ore magmatic system of the Lesser Caucasus. *Rudno-magmaticheskie sistemy orogennykh oblastei: materialy nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu I.Kh. Khamrabaeva* [Ore-magmatic systems of orogenic areas. Materials of the scientific conference dedicated to the 90<sup>th</sup> birth anniversary of I.Kh. Khamrabaev]. Tashkent, 2010, pp. 304–308. (In Russian).
14. Ramazanov V.G., Kalandarov B.G., Khasaev A.I., Mansurov M.I., Mamedov Z.I., Takhmazova T.G. Geological and geophysical bases for endogenous mineralization prediction (on example of copper-porphyry deposits of the Lesser Caucasus). *Gorno-geologicheskii zhurnal* [Mining magazine], 2009, no. 1-2 (17-18), pp. 6–11. (In Russian).
15. Lowell J.D., Guilbert J.M. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry copper ore deposits. *Economic Geology*, 1970, vol. 65, pp. 373–408.
16. Berzina A.P., Dobretsov N.L., Sotnikov V.N. Evolution of copper molybdenum ore-magmatic systems of the Central Asian fold belt. *Doklady Rossiiskoi akademii nauk* [Doklady Earth Sciences], 1995, vol. 342, no. 1, pp. 73–75. (In Russian).
17. Sotnikov V.I., Berzina A.P., Kalinin A.S. Generalized genetic model of ore magmatic systems of copper-molybdenum ore clusters. *Rudobrazovanie i geneticheskie modeli endogennykh rudnykh formatsii* [Ore genesis and genetic models of endogenous ore formations]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988, pp. 232–240. (In Russian).
18. Sillitoe R.H. Granites and metal deposits. *Episodes*, 1996, vol. 19, pp. 126–133.
19. Sillitoe R.H. Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology*, 2010, vol. 105, pp. 3–41.
20. Sillitoe R.H., Hart S.R. Lead-isotope signatures of porphyry copper deposits in oceanic and continental settings, Colombian Andes. *Geochemical et Cosmochimica Acta*, 1984, vol. 48, pp. 2135–2142.
21. Sillitoe R.H. Gold-rich porphyry copper deposits: Geological model and exploration implications. Mineral deposit modeling: Geological Association of Canada / R.V. Kirkham, W.D. Sinclair, R.I. Thorpe, J.M. Duke, 1993, Special Paper 40, pp. 465–478.
22. Williams T.J., Candela P.A., Piccoli, P.M. The partitioning of copper between silicate melts and two phase aqueous fluids: An experimental investigation at 1 kbar, 800 °C and 0.5 kbar, 850 °C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1995, vol. 121, pp. 388–399.
23. Hedenquist J.W., Richards J. The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposits, *Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology*. Society of Economic Geology Short Course. Toronto, Canada, 24–25 October, 10/1998, pp. 235–256.
24. Reynolds T.J., Beane R.E. Evolution of hydrothermal fluid characteristics at the Santa Rita, New Mexico, porphyry copper deposit. *Economic Geology*, 1985, vol. 80, pp. 1328–1347.
25. Sheppard S.M.F., Nielsen R.L., Taylor H.P. Jr. Hydrogen and oxygen isotope ratios in minerals from porphyry copper deposits. *Economic Geology*, 1971, vol. 66, pp. 515–542.
26. Titli S.R., Bin R.E. *Porphyry copper deposits. Genezis rudnykh mestorozhdenii* [Genesis of ore deposits], vol. 1. Moscow: Mir Publ., 1984, pp. 245–333. (In Russian).
27. Omel'yanenko B.I. *Okolorudnye gidrotermal'nye izmeneniya porod* [Hydrothermal changes of wallrocks]. Moscow: Nedra Publ., 1978, 213 p. (In Russian).

### Критерии авторства

Мансуров М.И., Сафари М.Г., Каландаров Б.Г., Керимов В.М., Мамедова А.Г. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

### Authorship criteria

Mansurov M.I., Safari M.H., Kalandarov B.G., Kerimov V.M., Mamedova A.G. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.