



ВЫЯВЛЕНИЕ УРОВНЯ ЭРОДИРОВАННОСТИ МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПО КОЛИЧЕСТВЕННЫМ СОДЕРЖАНИЯМ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АКТОГАЙСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ СУНГУН

Т.П. МОРОЗОВА*, В.В. ДЬЯКОНОВ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, Москва, 117485, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время все большую актуальность приобретает исследование медно-порфировых месторождений, что включает изучение закономерностей их геохимических особенностей, результаты которого могут обеспечить большую эффективность геологического прогнозирования их поисков.

Цель. При сопоставлении геохимических особенностей первичных ореолов на современном уровне эрозионного среза медно-порфирового Актогайского рудного поля (Казахстан) и результатов геохимического опробования скважин Сунгунского медно-порфирового месторождения (Иран) выявить закономерность распределения геохимических ассоциаций элементов медно-порфировых месторождений, приуроченную к различным уровням эрозии.

Материалы и методы. Было проведено комплексное геолого-геохимическое исследование крупного рудного поля — Колдарского массива в период с 1982 по 1991 г. с проведением полевых работ партией кафедры геологии Научно-исследовательской части Университета дружбы народов (НИЧ УДН) по южной краевой части Баканасской впадины, рассматриваемой в качестве северо-восточного сегмента Балхашско-Илийского вулcano-плутонического пояса в Центральном Казахстане. Было проведено литогеохимическое опробование коренных пород кровли Колдарского гранитоидного массива, включающего три медно-порфировых месторождения (Актогай, Айдарлы и Кызылкия). Огромная масса полученного материала подверглась компьютерной обработке, что сделало возможным сопоставление геохимических данных Актогайского рудного поля с данными глубинного опробования месторождения Сунгун (Иран). Данные литогеохимического опробования Актогайского рудного поля, получены в результате проведения спектральных, пламенно-фотометрического (K, Na, Li, Rb, Cs) и атомно-абсорбционного анализов при изучении около 1500 проб на содержание 17 элементов (Pb, Cr, Ni, Co, V, Mo, Sn, Zn, Bi, Cu, Ag, Au, Li, Rb, Cs, Na, K).

Результаты. Получены выводы о том, что надрудный, верхнерудный и подрудный уровни эрозионного среза медно-порфировых месторождений Колдарского массива четко фиксируются по количественным содержаниям элементов в первичных литохимических ореолах и тенденциям изменения отношений: $Cu \times Mo/Pb \times Zn$, Mo/Co , Cu/Mo , $Cu \times Mo/Cr$, Ni/Co , наиболее характерных для проявлений медно-порфировой минерализации. Первые два эрозионных уровня месторождений Колдарского рудного поля хорошо сопоставимы с аналогичными глубинными уровнями месторождения Сунгун.

Заключение. Геохимическая аномалия рудопроявления Кызылкия отвечает подрудному уровню рудной минерализации.

Ключевые слова: гранитоидный массив, медно-порфировое месторождение, фаза внедрения, эрозионный срез, сунгунский тип, Актогайское рудное поле, Сунгунское месторождение, закономерности распределения элементов

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

Для цитирования: Морозова Т.П., Дьяконов В.В. Выявление уровня эродированности медно-порфировых месторождений по количественным содержаниям элементов на примере месторождений Актогайского рудного поля и месторождения Сунгун. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):67—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-67-75> EDN: KBIMBS

Статья поступила в редакцию 02.05.2024

Принята к публикации 30.01.2025

Опубликована 31.03.2025

* Автор, ответственный за переписку

EROSION OF PORPHYRY COPPER DEPOSITS ESTIMATED BY QUANTITATIVE ELEMENTAL CONTENT ANALYSIS ON THE EXAMPLE OF AKTOGAY AND SUNGUN ORE FIELDS

TATIANA P. MOROZOVA*, VICTOR V. DYAKONOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow, 117485, Russia*

ABSTRACT

Background. Porphyry copper deposits are attracting increased attention, which determines the relevance of studying their geochemical patterns to ensure a greater efficiency of geological forecasting.

Aim. To establish distribution patterns of geochemical elemental associations in porphyry copper deposits with respect to different levels of erosion by comparing the geochemical features of primary halos at the current level of the erosion section of the Aktogay porphyry copper ore field (Kazakhstan) and the results of geochemical testing of wells of the Sungun porphyry copper deposit (Iran).

Materials and methods. A comprehensive geological and geochemical study of a large ore field — the Koldar massif — was carried out in the period from 1982 to 1991. Fieldwork was carried out by the specialists of the Department of Geology, Peoples Friendship University (UDN), in the southern marginal part of the Bakanas depression, considered as the northeastern segment of the Balkhash–Ili volcanic plutonic belt (Central Kazakhstan). A litho-geochemical sampling of bedrock of the Koldar granitoid massif, which includes three porphyry copper deposits (Aktogay, Aidarly, and Kyzylkiya), was carried out. The collected materials were subjected to computer processing. The geochemical data obtained on the Aktogay ore field were compared with the data of deep testing of the Sungun deposit. Litho-geochemical testing of the Aktogay ore field involved spectral, flame photometric (K, Na, Li, Rb, Cs), and atomic absorption analyses of about 1500 samples for the content of 17 elements (Pb, Cr, Ni, Co, V, Mo, Sn, Zn, Bi, Cu, Ag, Au, Li, Rb, Cs, Na, and K).

Results. The above-ore, upper-ore, and under-ore levels of the erosion section of the Koldar porphyry copper deposits are clearly identified by quantitative elemental contents in primary litho-chemical halos and the following trends in the ratios, typical of porphyry copper mineralization: $Cu \times Mo/Pb \times Zn$, Mo/Co , Cu/Mo , $Cu \times Mo/Cr$, Ni/Co . The former two erosion levels of the Koldar deposit are comparable with similar deep levels of the Sungun deposit.

Conclusion. The geochemical anomaly of the Kyzylkiya ore occurrence corresponds to the sub-ore level of ore mineralization.

Keywords: granitoid massif, porphyry copper deposit, introduction phase, erosion section, Sungun type, Aktogay ore field, Sungun deposit, elemental distribution patterns

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Morozova T.P., Dyakonov V.V. Erosion of porphyry copper deposits estimated by quantitative elemental content analysis on the example of Aktogay and Sungun ore fields. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):67—75. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-1-67-75> EDN: KBIMBS

Manuscript received 02 May 2024

Accepted 30 January 2025

Published 31 March 2025

* Corresponding author

Калдарский гранитоидный массив (Актогайское рудное поле), находящийся в Восточном Прибалхашье на юго-востоке Центрального Казахстана, относится к гранодиоритовой петрографической группе гранитоидов трехфазного строения [2]. Он принадлежит к высоко и весьма высокоглиноземистому интрузивному комплексу субвулканических гранитоидов калиевой и калиево-натриевой серии. Фазы внедрения характеризуются низкой степенью дифференциации [3]. Первая фаза внедрения составляет 90% от общей площади поверхности массива и представлена в основном биотит-роговообманковыми кварцевыми диоритами и кварцевыми монцодиоритами. Состав их изменяется от меланократовых диоритов до гранодиоритов, связанных между собой постепенными переходами. Вторая фаза внедрения сложена аплитовидными, биотитовыми гранитами — 8% от общей площади массива. Третья фаза внедрения представлена гранит-порфирами,

гранодиорит-порфирами, составляющими 2% от общей площади массива.

В пределах обнаженной части Колдарского массива расположено Актогайское рудное поле, в пределах которого разведаны два медно-порфировых месторождения, Актогай и Айдарлы, и рудопроявление Кызылкия (рис. 1). Рассматриваемые объекты в пределах Колдарского массива представлены различными уровнями эрозионного среза [4, 7]. Месторождение Актогай на современном уровне рельефа выходит среднерудной зоной (рис. 2), Айдарлы — верхнерудной зоной (рис. 3), Кызылкия — не установленной зоной (рис. 4, 5), предположительно — подрудной или нижнерудной.

Подрудный, верхнерудный и среднерудный уровни эрозионного среза медно-порфировых месторождений Колдарского массива четко фиксируется по количественным содержаниям элементов в литохимических ореолах и тенденциям

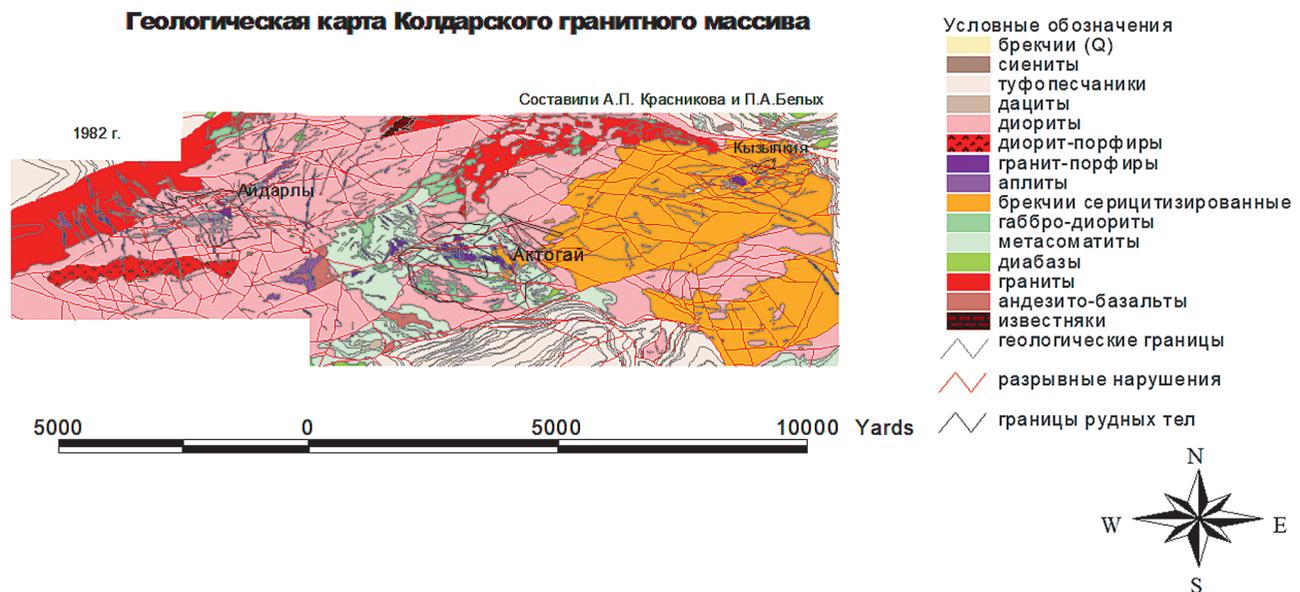


Рис. 1. Геологическая карта Колдарского гранитного массива с контурами рудных тел месторождений Айдарлы, Актогай и Кызылкия

Fig. 1. Geological map of the Koldar granite massif with contours of ore bodies of the Aidarly, Aktogay and Kyzylkiya deposits

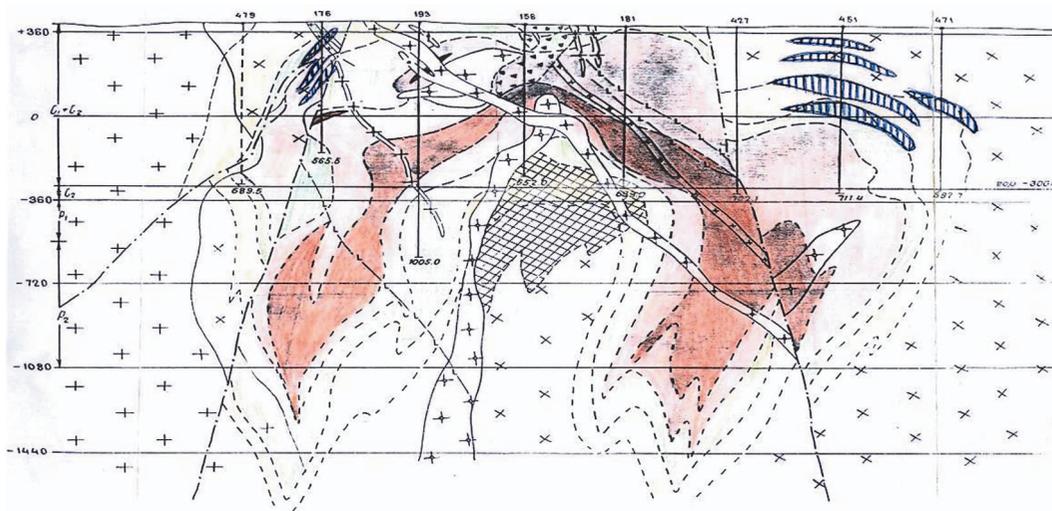


Рис. 2. Разрез по профилю 1:7 через штокверк Актогай (по материалам Сергийко Ю.А.)
 Fig. 2. 1:7 profile section through Aktogay stockwork (based on materials by Sergiyko Yu.A.)

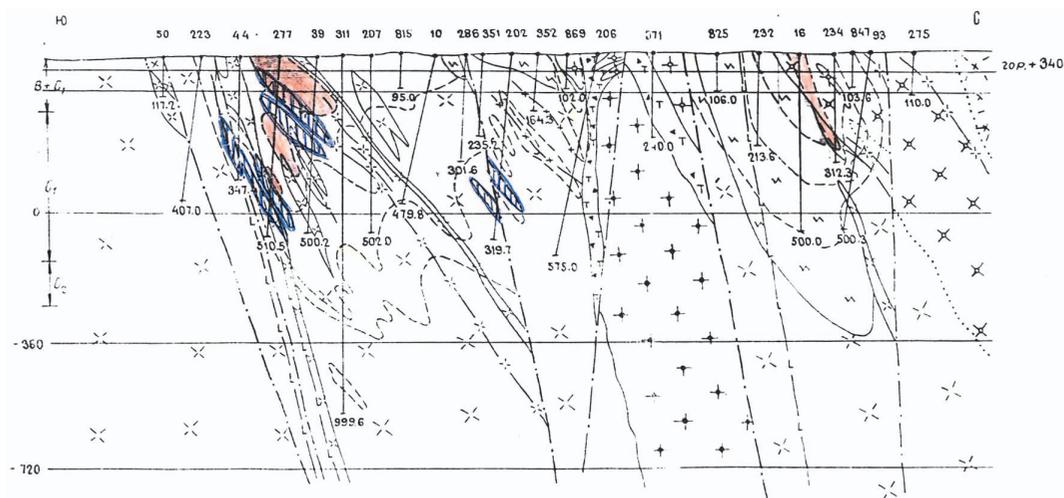


Рис. 3. Разрез по профилю К — К через штокверк Айдарлы (по материалам Сергийко Ю.А.)
 Fig. 3. Section along the K — K profile through the Aidarly stockwork (based on materials by Sergiyko Yu.A.)

изменения отношений: $Cu \times Mo/Pb \times Zn$, $Cu \times Mo/Cr$, Cu/Mo , Mo/Co , Ni/Co (табл. 1). Выявленные закономерности распределения элементов в первичных ореолах над рудными объектами разной степени эродированности сопоставимы с характером поведения этих элементов в вертикальном разрезе поисковой модели медно-порфировых месторождений Сунгун (табл. 1, рис. 6).

Материалы и методы

Было проведено комплексное геолого-геохимическое исследование Колдарского массива в период с 1982 по 1991 г. с проведением партией НИЧа кафедры геологии УДН научно-исследовательских работ по южной краевой части Баканасской

впадины, рассматриваемой в качестве северо-восточного сегмента Балхашско-Илийского вулcano-плутонического пояса. Было проведено литогеохимическое опробование массива. Огромная масса полученного материала подверглась компьютерной обработке, что сделало возможным сопоставление геохимических данных Актогайского рудного поля с данными опробования глубоких горизонтов месторождения Сунгун.

Результаты и обсуждение

Геохимические особенности позволяют выделить в пределах рудно-магматической системы также участки предполагаемого смешанного оруденения, где распространены минерализованные

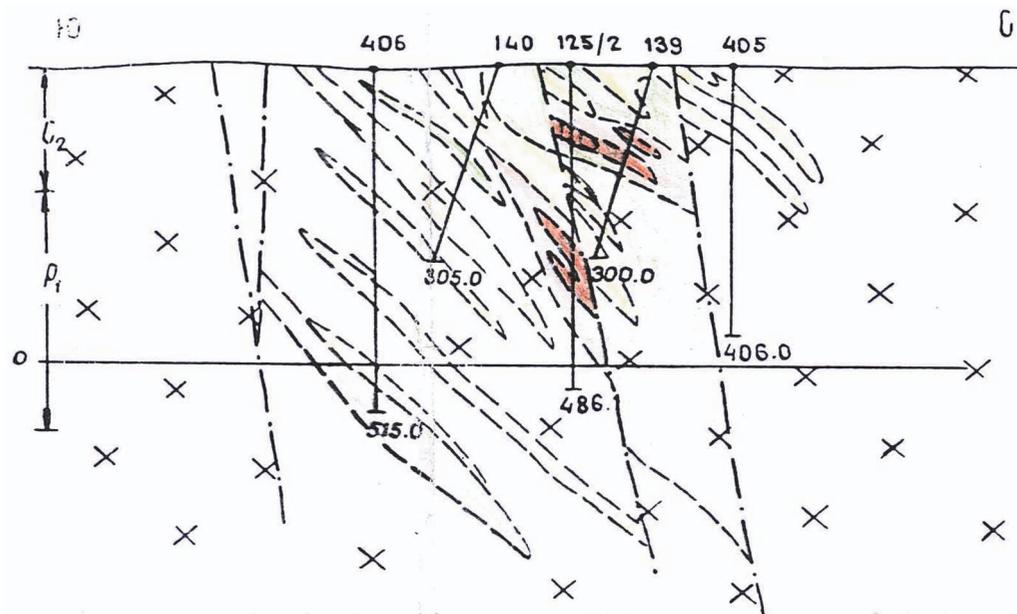


Рис. 4. Разрез по линии Ю — С через штокерв Кызылкия (по материалам Сергийко Ю.А.)

Fig. 4. The section along the line U — S through the Kyzylkiya stockwork (based on the materials of Sergiyko Yu.A.)

ксенолиты сканированных пород, и зону преобразованного оруденения, которое прослеживается вдоль Сунгунского разлома и связывается с наложением более поздних гидротермальных процессов.

Приведенные геохимические характеристики показывают, что для всех выделенных уровней и разновидностей минерализации может быть уверенно диагностирован ожидаемый тип оруденения

(Mo-Cu-порфировый). По величине содержания Mo занимает второе место после Cu, и сразу за ним следуют Pb, Zn и Ag — наиболее обычные индикаторы надрудной зоны.

Система выбранных элементов — индикаторов уровней минерализации создает весьма надежную основу для их опознавания, хотя устанавливаемые тенденции их монотонного изменения и испытывают отклонения от стандартной схемы на участках смешанного оруденения и в зонах наложения поздних гидротермалитов. Значения отношения $Pb \times Zn / Cu \times Mo$, как и на большей части других рудно-магматических систем, от верхних горизонтов к нижним изменяются наиболее контрастно (от $3,27 \times 10^{-4}$ до $0,002 \times 10^{-4}$). Отношение Mo/Co увеличивается почти в 7 раз, от $3,0 \times 10^{-4}$ до $20,0 \times 10^{-4}$). Как и на других штокервах, отношение Cu/Mo изменяется незначительно, от $22,0 \times 10^{-4}$ до $68,0 \times 10^{-4}$). От верхнерудного к среднерудному уровню оно уменьшается от 45 до 22, а на надрудном и вскрытом среднерудном уровнях практически одинаково: меняется от $24,0 \times 10^{-4}$ до $22,0 \times 10^{-4}$ (табл. 1).

От верхнерудной зоны верхне-среднерудная отделяется по градиентной зоне изменения концентраций Ni и Co. Для месторождения Сунгун показания по Ni уменьшаются от верхнерудной до верхне-среднерудной от $1,5 \times 10^{-4}$ до $0,9 \times 10^{-4}$, а по Co — от $1,5 \times 10^{-4}$ до $0,8 \times 10^{-4}$. Для месторождений Актогайского рудного поля показания по Ni

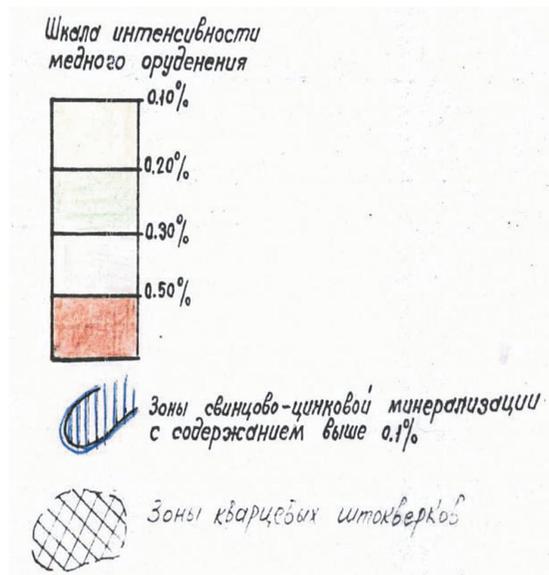


Рис. 5. Условные обозначения

Fig. 5. Symbols

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ / GEOLOGY AND EXPLORATION OF DEPOSITS SOLID MINERALS

Таблица. Изменения значений средних содержаний основных элементов и их отношений в зависимости от вертикального уровня

Table. Changes in the values of the average contents of the main elements and their relationships depending on the vertical level

Элементы и их отношения	Содержания: $\times 10^{-4}$ %								
	Колдарский массив (по рудным и полиметаллическому кластерам)			Медно-порфировое месторождение Сунгун (Григорян С.В.)					
	Айдарлы	Актогай	Кызылкия	Надрудная зона	Верхнерудная зона	Зона предполагаемого смешанного оруденения	Верхне-среднерудная зона	Среднерудная зона	Зона преобразованного оруденения
Cu	231,1	717,2	410,5	10	90	46	90	94	56
Mo	3,9	10,4	2,5	4,2	20	8,3	34	47	8,3
Pb	27	17	29	3,5	1,6	1,8	2,7	1,7	2,2
Zn	131,2	90,4	109,4	2,5	2,6	3,0	1,9	1,5	2,1
Ni	13,9	9,0	7,1	0,7	1,5	1,0	0,9	0,9	0,9
Co	15	12,3	9,2	0,4	1,5	0,7	0,8	0,7	0,8
Sn	2,7	3,2	2,8	1,4	2,1	1,3	1,7	1,3	2,0
Bi	1,6	1,7	1,6	1,6	1,4	1,4	1,5	1,5	1,2
Ag	0,15	0,17	0,13	1,9	2,5	1,5	3,4	3,8	2,5
Cr	28	33	39	1,1	1,2	0,8	1,0	1,1	1,1
Mo x Cu/Pb x Zn	0,71	6,64	0,68	4,8	4,33	70,7	566,7	1732,5	100,6
Mo x Cu/Co	50	435	37	38,2	1500	477,25	3060	4016,36	422,6
Cu/Mo	59	69	162	24	45	56	26	22	68
Mo/Co	0,28	1,2	0,35	3,0	3,9	3,5	12,8	20,0	3,2
Ni/Co	0,93	0,73	0,78	1,75	1	1,43	1,13	1,29	1,13

уменьшается от месторождения Айдарлы до рудопроявления Кызылкия от $13,9 \times 10^{-4}\%$ до $7,1 \times 10^{-4}\%$, а по Co — от $15,0 \times 10^{-4}\%$ до $9,2 \times 10^{-4}\%$.

Надрудная зона Сунгунского месторождения выделяется по концентрации Cu, Mo, Pb, Zn и ряда сидерофилов. Концентрации Cu увеличиваются от надрудной зоны до среднерудной от $10,0 \times 10^{-4}\%$ до $94,0 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Mo увеличиваются от надрудной зоны до среднерудной от $4,2 \times 10^{-4}\%$ до $47,0 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Pb уменьшаются от надрудной зоны до среднерудной от $3,5 \times 10^{-4}\%$ до $1,7 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Zn уменьшаются от надрудной зоны до среднерудной от $2,5 \times 10^{-4}\%$ до $1,5 \times 10^{-4}\%$.

Изменение концентраций Cu на месторождениях Актогайского рудного поля повышается от месторождения Айдарлы до месторождения Актогай от $231,1 \times 10^{-4}\%$ до $717,2 \times 10^{-4}\%$ и понижается на рудопроявлении Кызылкия до $410,5 \times 10^{-4}\%$. Концентрации Mo повышаются от месторождения

Айдарлы до месторождения Актогай от $3,9 \times 10^{-4}\%$ до $10,4 \times 10^{-4}\%$ и понижается на рудопроявлении Кызылкия до $2,5 \times 10^{-4}\%$.

Концентрации Pb понижаются от месторождения Айдарлы до месторождения Актогай от $27,0 \times 10^{-4}\%$ до $17,0 \times 10^{-4}\%$ и повышаются на рудопроявлении Кызылкия до $29,0 \times 10^{-4}\%$. Схожие изменения происходят с концентрациями Zn, которые понижаются от месторождения Айдарлы до месторождения Актогай от $131,2 \times 10^{-4}\%$ до $90,4 \times 10^{-4}\%$ и повышаются на рудопроявлении Кызылкия до $109,4 \times 10^{-4}\%$.

Анализ деталей геохимической зональности Сунгунского месторождения позволяет прогнозировать промышленные концентрации как Cu, так и Mo в оруденениях каджаранского типа, в которых концентрации Cu и Mo с глубиной (от надрудного уровня к среднерудному) увеличиваются, а концентрации полиметаллов (Pb, Zn) — уменьшаются [5] (табл. 1).

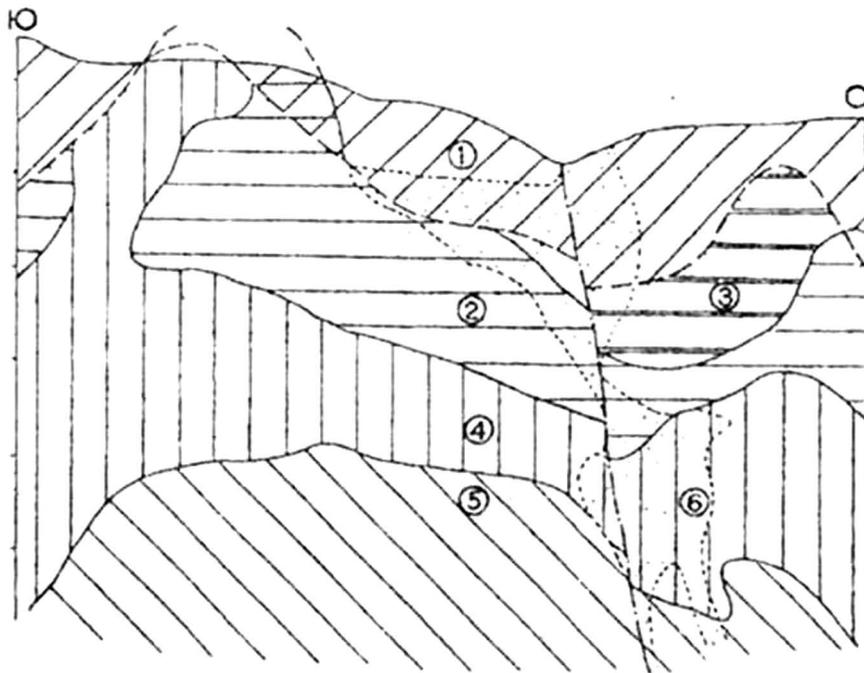


Рис. 6. Поисковая модель медно-порфирового месторождения сунгунского типа. 1 — надрудная зона; 2 — верхнерудная зона; 3 — зона предполагаемого смешанного оруденения; 4 — верхне-среднерудная зона; 5 — среднерудная зона; 6 — зона преобразованного оруденения

Fig. 6. Prospecting model of the Sungunsky type porphyry copper deposit. 1 — above-ore zone; 2 — upper-ore zone; 3 — zone of proposed mixed mineralization; 4 — upper-middle-ore zone; 5 — middle-ore zone; 6 — zone of transformed mineralization

Конечным итогом изучения геохимической зональности медно-порфирового месторождения Сунгун явилось установление показателей зональности: $Pb \times Zn/Cu \times Mo$, $Pb \times Bi/Mo^2$, $Pb \times Zn/Mo^2$, $Ag \times Pb/Cu \times Mo$, $Ag \times Zn/Cu \times Mo$, характеризующихся заметным уменьшением с глубиной в вертикальном разрезе штокверка [1, 6]. Эти сунгунские показатели зональности мы сравнили с подобными показателями зональности месторождений Колдарского массива: Айдарлы, Актогай и рудопроявления Кызылкия, что помогло установить уровень их эрозионного среза.

Заключение

В ореоле над рудопроявлением Кызылкия — с невыясненной перспективой, на наш взгляд, мы имеем дело с глубоко эродированным рудным телом. На это указывает присутствие группы элементов, отсутствующих на месторожде-

нии Сунгун и в ореолах месторождений Актогай и Айдарлы, костяк которой составляют Co , Ni и Cr с весьма высокой степенью коррелируемости. Пространственно к этой группе присоединяется целая группа других элементов — Mo , Zn , Pb , образующих устойчивые корреляционные связи (средние) с основными элементами.

Исходя из вышеприведенных фактов и существующих геологических представлений месторождение Актогай представлено среднерудным уровнем минерализации, Айдарлы — надрудно-верхнерудной зоной. Геохимическая аномалия рудопроявления Кызылкия отвечает глубоко эродированной зоне рудной минерализации. Скорее всего, на месторождении Кызылкия вскрывается подводящий канал для рудной минерализации, он пространственно компактен и характеризуется высокими содержаниями подрудных и собственно рудных элементов, с хорошими корреляционными связями.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Голамреза Р.* Геохимическая характеристика и прогнозная оценка медно-порфирового оруденения северо-западного Ирана: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2000. 23 с.
2. *Дьяконов В.В.* Фанерозойские палеовулканические сооружения и рудная минерализация медно-молибден-порфирового типа: дисс. ... д-ра геол.-мин. наук: 25.00.11. М., 2011. 322 с
3. *Дьяконов В.В., Наравас А.К., Погребс Н.А.* Новые представления о геологическом строении неопротерозойской тектоно-магматической системы Казахстана в палеозойский этап ее развития. Тезисы XIV научных чтений, посвященных памяти профессора М.В. Муратова «Проблемы региональной геологии Северной Евразии». М.: МГРИ, 2024. С. 47—51.
4. *Звездов В.С.* Модели медно-порфировых рудно-магматических систем и месторождений для прогноза, поисков и оценки: дисс. ... д-ра геол.-мин. наук: 30.1.001.01. М., 2022. 553 с.
5. *Кудрявцев Ю.К., Сальников А.Е., Рахимпур Г.* Аномальные геохимические поля Мо-Си-порфировых рудообразных систем и критерии их оценки. Прикладная геохимия. 2002. Вып. 3. С. 13—15.
6. *Морозова Т.П.* Геологические факторы оценки потенциальной медно-молибденовой рудоносности Колдарского и Тайсойганского гранитоидных массивов: Вост. Прибалхашье: дисс. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.11. М., 2004, 191 с.
7. *Сергийко Ю.А., Вольхина Т.М. и др.* Отчет о детальных поисках молибденово-медного оруденения по площади Актогайского рудного поля. ПГО «Южгеология». Алма-Ата, 1982. 179 с.

REFERENCES

1. Golamreza R. Geochemical characteristics and predictive assessment of copper porphyry mineralization of northwestern Iran. Abstract of the dissertation for the degree of Cand. geol.-min. sciences, 2000. 23 p. (In Russ.).
2. Dyakonov V.V. Phanerozoic paleovolcanic structures and ore mineralization of copper-molybdenum-porphry type: dissertation ... Doct. geol.-min. sciences: 25.00.11 M. 2011. 322 p. (In Russ.).
3. Dyakonov V.V. Phanerozoic paleovolcanic structures and ore mineralization of copper-molybdenum-porphry type: dissertation ... Doct. geol.-min. sciences: 25.00.11. Moscow, 2011. 322 p. (In Russ.).
4. Zvezdov V.S. Models of copper-porphry ore-magmatic systems and deposits for forecasting, prospecting and evaluation: dissertation ... Doct. geol.-min. sciences: 30.1.001.01. Moscow, 2022. 553 p. (In Russ.).
5. Kudryavtsev Yu.K., Salnikov A.E., Rahimpur G. Anomalous geochemical fields of porphyry ore-like systems and criteria for their assessment. Applied Geochemistry. 2002. Issue 3. P. 13—15 (In Russ.).
6. Morozova T.P. Geological factors for assessing the potential copper-molybdenum ore content of the Koldar and Taisoygan granitoid massifs: East. Balkhashye: dissertation ... Cand. geol.-min. sciences: 25.00.11. Moscow. 2004. 191 p. (In Russ.).
7. Sergiyko Yu.A., Volkhina T.M., et al. A report on the detailed search for molybdenum-copper mineralization over the area of the Aktogay ore field. PGO "Yuzhgeologiya". Alma-Ata. 1982, 179 p. (In Russ.).

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Морозова Татьяна Петровна — разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Дьяконов Виктор Васильевич — проводя геологическую съемку данной территории, собрал полевой каменный материал для статьи, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tatiana P. Morozova — has developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Victor V. Dyakonov — conducting a geological survey of this territory, collected field stone material for the article, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Морозова Татьяна Петровна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей геологии и геологического картирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117485, Россия
тел.: +7 (915) 324-65-79
e-mail: morozovatp@mgri.ru
SPIN-код: 9947-0610
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-8258>

Tatiana P. Morozova* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of Department of General Geology and Geological Mapping of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117485, Russia
tel.: +7 (915) 324-65-79
e-mail: morozovatp@mgri.ru
SPIN-code: 9947-0610
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-8258>

Дьяконов Виктор Васильевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой общей геологии и геологического картирования ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
e-mail: diakonovvv@mgri.ru
SPIN-код: 8780-8588
Тел: +7 (495) 255-15-10

Victor V. Dyakonov — Dr. Sci. (Geol.-Min.), Professor, head of Department of General Geology and Geological Mapping of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
e-mail: diakonovvv@mgri.ru
SPIN-code: 8780-8588

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author