УДК 553.43'536:550.4 (479)
© А.П.Мотов, О.К.Валеев, Ю.Е.Малах, Т.А.Головина, 2016

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕДНО-ПОРФИРОВЫХ УЗЛОВ И ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МАЛОГО КАВКАЗА

А.П.Мотов,
О.К.Валеев,
Ю.Е.Малах,
Т.А.Головина

АО «Полиметалл Управляющая Компания»,
г. Санкт-Петербург

Значительная часть золото-полиметаллических месторождений Малого Кавказа входит в состав медно-порфировых рудных узлов (РУ), сформировавшихся в ходе становления щёлочно-кислых гранитоидов поздних фаз внедрения сложнопостроенных магматических плутонов юрско-мелового и эоцен-миоценового возрастов. По корреляционным соотношениям между площадью выхода гранитоидов и установленными к настоящему времени ресурсами ведущих металлов этих узлов выделяются РУ с ещё не до конца раскрытым ресурсным потенциалом, т.е. РУ, в которых высока вероятность обнаружения новых золото-полиметаллических месторождений. Проводится сопоставление геохимических особенностей руд разных золото-полиметаллических месторождений. Анализируется рудная зональность золото-полиметаллического месторождения Личкваз-Тэй по трём сечениям: вертикальному, по простиранию и вкрест простирания рудных зон.

Ключевые слова: медно-порфировые рудные узлы, щёлочно-кислые гранитоиды, золото-полиметаллические месторождения, рудно-геохимическая зональность, оценка продуктивности.

Золото-полиметаллические месторождения Малого Кавказа в большинстве случаев являются продуктами формирования медно-порфировой рудообразующей системы позднеюрско-раннемелового и эоцен-миоценового возрастов [1, 5]. Такие месторождения, как Личкваз-Тей, Варданидзор, Гладзор, Мгарт и др. принадлежат к медно-порфировым системам и входят в состав Мегринского, Ковсаканского, Дастакертского и прочих медно-порфировых рудных узлов Малого Кавказа (рис. 1). Основываясь на опыте ранее проведённых работ по оценке рудоносности регионов [3], в качестве металлогенического подразделения наиболее удобного для оценки рудоносности Малого Кавказа нами выбран рудный узел.

Зональность медно-порфировых рудных узлов Малого Кавказа рассматривается на примере Мегринского РУ (рис. 2). В его составе нами выделены ядерная, переходная внутренняя, переходная внешняя и внешняя зоны.

Ядерная зона представляет собой замещённые калишпатом, серицитом, каолинитом, кварцем гранитоиды, относящиеся к поздним фазам становления сложно построенного Мегринского плутона. Это порфировидные гранодиориты, граносиениты, кварцевые диориты, граниты. Внутри гранитоидов распространена вкраплен-

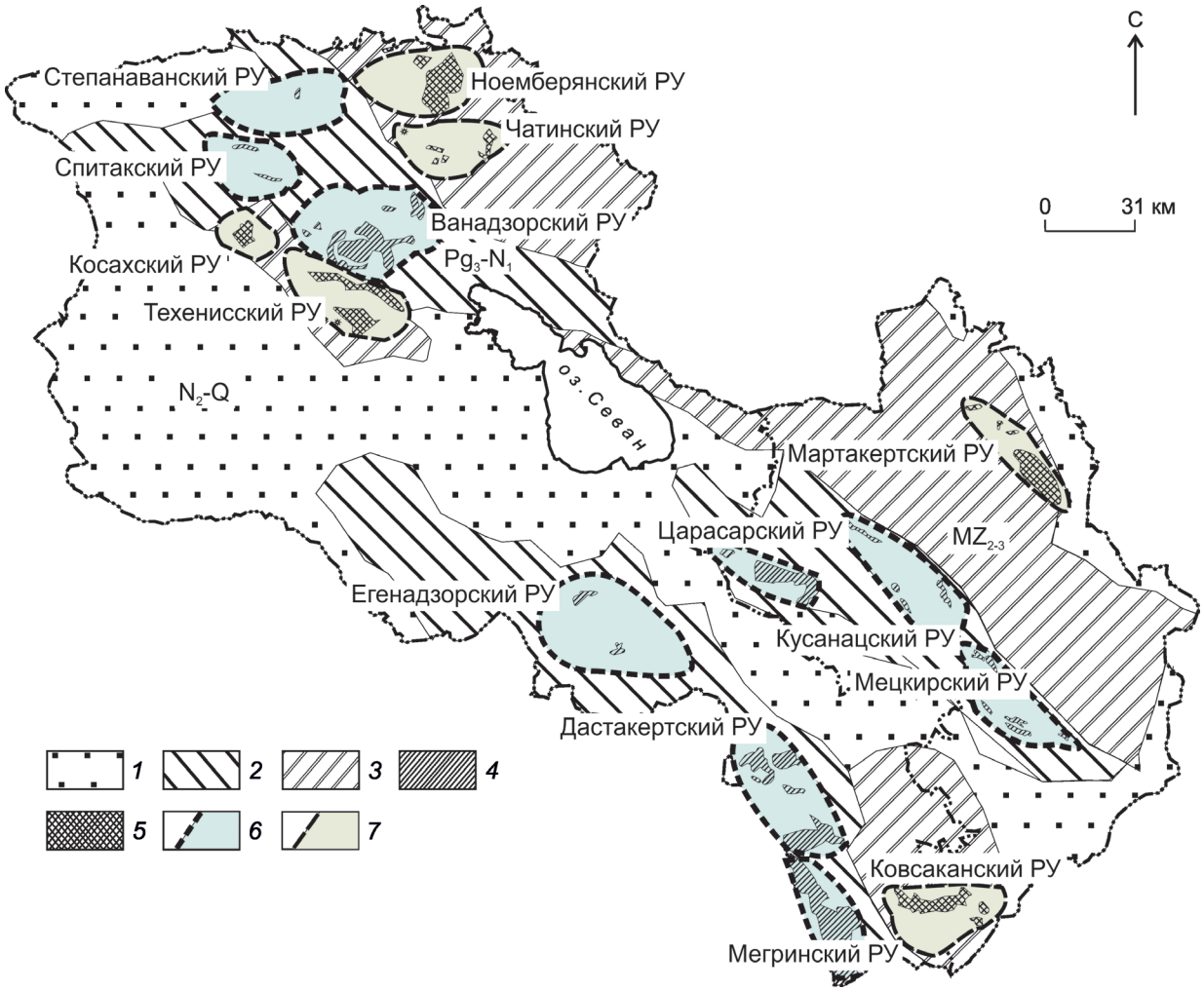

Рис. 1. Медно-порфировые рудные узлы Малого Кавказа:

1 – перекрывающие вулканические и осадочные толщи среднего–позднего миоцена и голоцена; геологические комплексы: *2* – Цахкунк-Зангезурской, *3* – Сомхето-Карабахской тектонических зон; гранитоиды третьей и четвёртой фаз становления: *4* – олигоцен-миоценовых, *5* – позднеюрско-раннемеловых плутонов; медно-порфировые узлы: *6* – олигоцен-миоценовой, *7* – позднеюрско-раннемеловой эпох

ная и жильно-прожилковая медно-молибденовая (молибденит-халькопиритовая) минерализация (месторождения Каджаран, Айгедзор, Агарак).

Переходная внутренняя зона включает эндо-экзоконтактовую область вокруг гранитоидов поздних фаз становления Мегринского плутона с медной жильно-прожилковой минерализацией в скарнах и березитах (рудные проявления Казырхан, Варданичай, Ханицецер и др.).

Переходная внешняя зона объединяет линейные тектонические зоны вдоль контактов гранитоидов позних фаз внедрения с жильной и жильно-штокверковой золото-полиметаллической минерализацией в березитах и аргиллизитах (месторождения Личкваз-Тэй, Тертерасар, Варданадзор).

Внешняя зона включает экзоконтактовую область гранитоидного плутона, где среди скарнированных, березитизированных и аргиллизированных пород развита жильно-прожилковая полиметаллическая минерализация (рудные проявления Аткиз, Пирзамин, Хардзор и др.).

Зональность Мегринского медно-порфирового узла в целом соответствует схеме строения

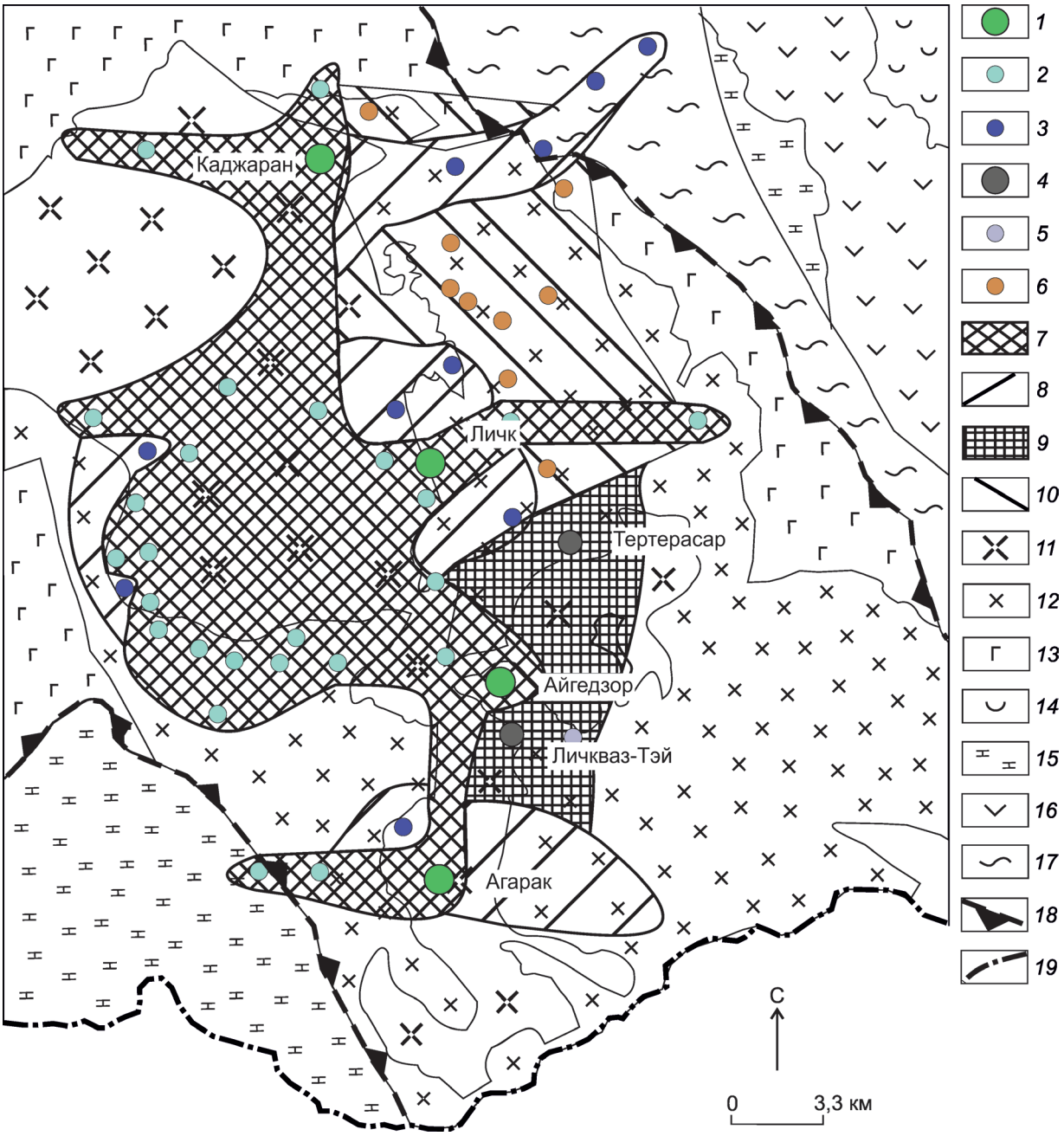

Рис. 2. Рудно-геохимическая зональность Мегринского рудного узла:

медно-молибденовые месторождения (*1*), проявления (*2*); *3* – Cu проявления; золото-полиметаллические месторождения (*4*), проявление (*5*); *6* – полиметаллические проявления; ареалы рудной минерализации и метасоматических преобразований: *7* – Cu-Mo минерализации среди калишпатизированных и соссюритизированных пород, *8* – Cu минерализации среди скарнированных, березитизированных и пропилитизированных пород, *9* – Au-полиметаллической минерализации среди березитизированных и аргиллизированных пород, *10* – полиметаллической минерализации среди березитизированных и аргиллизированных пород; вмещающие горные породы: *11–13* – гранитоиды последовательных фаз становления Мегринского плутона (*11* – поздних, относимых нами к «материнскому» плутону, *12* – второй, *13* – первой фаз), *14* – туфы, порфириты позднего оксфорда и кембриджа, *15* – известняки раннего мела, *16* – порфириты, туфобрекчии визе, *17* – сланцы раннего палеозоя; *18* – граница Ордубакского массива; *19* – граница Армении

медно-порфировой рудообразующей системы, рассматриваемой в работах А.И.Кривцова [2], Р.Силлитоу [6] и других исследователей. Характерная для медно-порфировой системы рудно-геохимическая зональность по данным изучения газово-жидких включений объясняется изменением растворимости соединений, несущих рудные компоненты, в процессе снижения температуры и давления, потери буферных компонентов гидротермального раствора [4].

Критерии оценки медно-порфировых рудных узлов Малого Кавказа. Специалисты геологической службы США, проводившие прогнозный анализ медно-порфировых районов структуры Тетис, в пределах которой, в частности, расположены и медно-порфировые узлы Малого Кавказа, основывались на ряде признаков медно-порфировой минерализации – площади ореолов изменённых пород, проявлений рудной минерализации, геохимических аномалий и др. [5].

Для выработки критериев оценки медно-порфировых рудных узлов Малого Кавказа нами использованы два вида данных. Первый вид данных – площадь выхода гранитоидов поздних третьей и четвёртой фаз становления юрско-меловой (тоналиты, гранодиориты, лейкограниты) и олигоцен-миоценовой (граниты, гранодиориты, граносиениты, монцониты, сиениты) эпох. Именно с этими гранитоидами связывают [1, 5] формирование медно-порфировых систем Малого Кавказа. Площадь выхода гранитоидов поздних фаз внедрения юрско-меловой и олигоцен-миоценовой эпох измерялась по геологической карте Малого Кавказа, включающей территорию республик Армении и Азербайджана м-ба 1:500 000, составленной в Институте Геологических Наук Республики Армения (2015 г.). Второй вид данных – минеральные ресурсы месторождений, локализованные в медно-порфировых рудных узлах Малого Кавказа, – был заимствован из открытых источников и геологических фондов Армении и России. При сопоставлении установленных в настоящее время ресурсов полезных ископаемых в медно-порфировых РУ Малого Кавказа с площадями выхода «материнских» гранитоидов в этих РУ намечены следующие закономерности:

- для рудных объектов в центральной части РУ внутри или ближайшем экзоконтакте «материнского» плутона, включающих молибденовую и медную минерализацию, существует прямая зависимость между ресурсами Mo, Cu и площадью выхода «материнских» гранитоидов;
- для рудных объектов на периферии РУ, включающих золото-полиметаллическую и полиметаллическую минерализацию, наблюдается обратная зависимость между ресурсами Au, Pb, Zn и площадью выхода «материнского» плутона.

С учётом данных закономерностей сделаны такие выводы:

- соотношение площади выхода «материнского» плутона к ресурсам золота и полиметаллов узла отражает степень его эрозионного среза. Наибольшие соотношения характеризуют самые эродированные РУ, в которых преимущественно распространены месторождения Mo и Cu, наименьшие – менее эродированные, благоприятные для проявления золото-полиметаллической минерализации;
- сопоставление фактически установленных ресурсов золота в рудных узлах с ресурсами, которые должны быть, если определять их по трендовой кривой на графике (рис. 3), позволяет фиксировать РУ с ещё до конца не выявленным золоторудным потенциалом. Для рассматриваемой территории Малого Кавказа к ним отнесены Царасарский, Ноемберянский, Ванадзорский РУ. Известные ресурсы золота здесь ниже трендовой кривой распределения соотношения ресурсов золота в медно-порфировом РУ и площади «материнских» интрузий (см. рис. 3);
- наиболее продуктивны по золоту – медно-порфировые РУ с площадью выхода «материнских» плутонов в диапазоне значений 20–70 км^2 (см. рис. 3). Они слабо эродированы, с сохранившимися золото-полиметаллическими месторождениями. Рудные узлы с большей площадью выхода «материнских» интрузий более эродированы. В них золото-полиметаллическая минерализация уничтожена эрозией, и эти РУ, в первую очередь, вмещают молибденовые и медные месторождения.

Рудно-геохимическая зональность медно-порфировых месторождений. Геохимические особенности руд золото-полиметаллических месторождений, принадлежащих к медно-порфи-

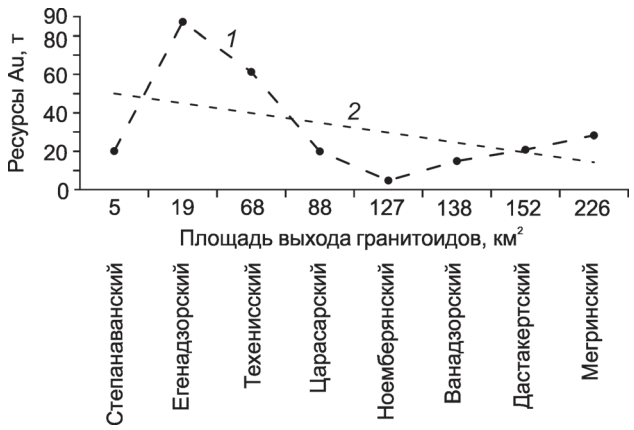

Рис. 3. Гистограмма соотношения площади выхода «материнских» гранитоидов и минеральных ресурсов золота в медно-порфировых РУ:

1 – фактическое соотношение; *2* – линейный тренд

ровым РУ, изучались на месторождении Личкваз-Тей и других объектах Малого Кавказа в целях определения корреляционных связей рудных элементов в рудах, выявления геохимических индикаторов зональности месторождения в трёх сечениях – вертикальном, по простиранию и вкрест простирания рудных зон.

Корреляционные связи рудных элементов изучены при сопоставлении руд, содержащих Au ≥1 г/т, ряда золото-полиметаллических месторождений. Установлено следующее:

- для месторождений с низкими содержаниями полиметаллов в рудах (Личкваз-Тей, Мутск), где средние содержания Pb и Zn не превышают десятых долей процента, значимые корреляционные связи (коэффициент корреляции >50%) между Au и другими компонентами (Ag, Cu, Pb, Zn) отсутствуют;
- для месторождений с высокими содержаниями полиметаллов (Pb и Zn >1%) значимые коэффициенты корреляции между Au и Zn, Pb, Cu составляют 50–80% (Бектакари, Мгарт, Гладзор) (рис. 4).

Данные особенности распределения Au и полиметаллов подчеркивают сродство химизма переноса Au и полиметаллов в рудоносных растворах с относительно высокими концентрациями полиметаллов.

Геохимические индикаторы зональности золото-полиметаллического месторождения выявлялись на примере месторождения Личкваз-Тей. Золото-полиметаллические руды объекта приурочены к линейным зонам жильно-штокверковой минерализации среди окварцованных, карбонатизированных и аргиллизированных пород. Мощность минерализованных зон составляет метры – первые десятки метров, протяжённость – сотни метров. Зоны имеют

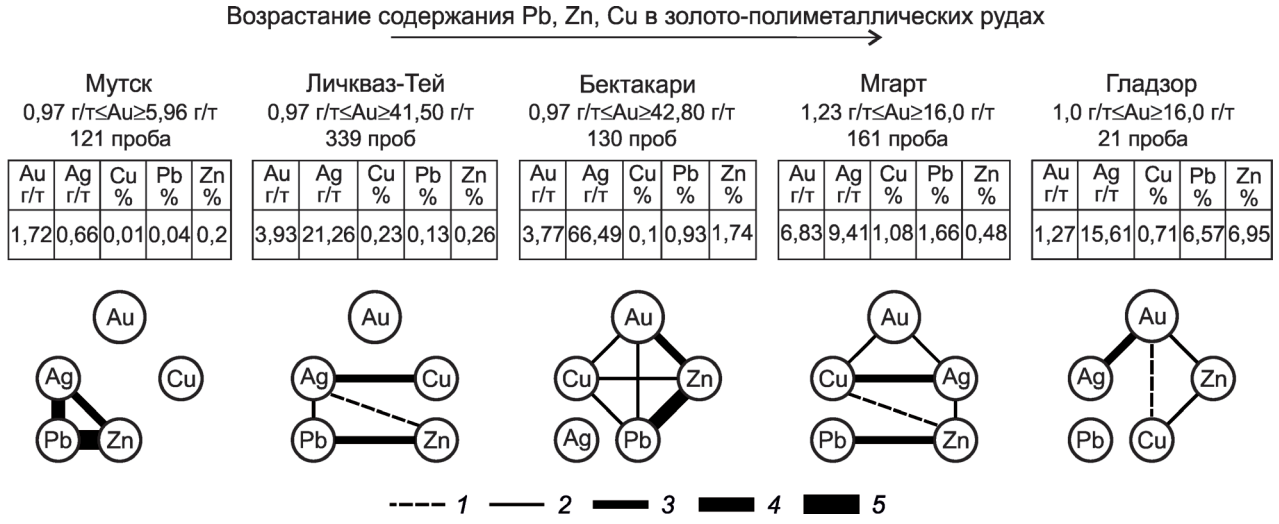

Рис. 4. Изменение коэффициентов корреляции (КК, %) рудных элементов золото-полиметаллических месторождений Малого Кавказа с увеличением содержания полиметаллов в рудах:

1 – 50<КК<60, *2* – 60<КК<70, *3* – 70<КК<80, *4* – 80<КК<90, *5* – КК>90

1. Средние содержания элементов в рудах месторождения Личкваз-Тэй, подчёркивающие его вертикальную зональность

Уровни месторождения	Продуктивность по содержанию Au	Число проб	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %	Sb, г/т	Mn, %
Верхний (глубина 0–118 м)	Наименее продуктивная	188	3,06	22,46	0,19	183,96	0,41
Средний (глубина 119–236 м)	Среднепродуктивная	167	4,12	20,84	0,25	141,32	0,31
Нижний (глубина 237–356 м)	Наиболее продуктивная	69	6,17	18,46	0,28	70,43	0,22

северо-восточное простирание с падением на северо-запад под углом 60–70°. Разрывные нарушения, контролирующие рудную минерализацию, тяготеют к контактам даек диоритовых порфиритов, вытянутых в северо-восточном направлении и прорывающих порфириты раннего эоцена.

Для определения геохимических показателей нами проанализировано распределение содержания 33 химических элементов в рудах месторождения Личкваз-Тей с содержанием Au ≥1 г/т по трём сечениям: от верхних к нижним горизонтам, по простиранию рудных тел, вкрест простирания рудных тел в направлении удаления от «материнского» плутона с запада на восток. В результате наметились следующие тенденции распределения элементов.

Вертикальная зональность изучена по пробам верхнего, среднего и нижнего уровней месторождения. Химические элементы, маркирующие вертикальную зональность, – Au, Ag, Cu, Sb, Mn. Их средние содержания сверху вниз месторождения последовательно повышаются – Au и Cu или снижаются – Ag, Sb, Mn (табл. 1), что отвечает установленной [2, 4, 6] зональности осаждения рудных элементов. Геохимическими индикаторами вертикальной зональности, которые наиболее контрастно маркируют золоторудную продуктивность месторождения сверху вниз, являются соотношения Au/Ag, Au/Sb, Cu/Sb, Au/Mn (рис. 5, *а*).

Зональность месторождения по простиранию рудных зон изучена по пробам из юго-западной, центральной и северо-восточной частей месторождения. Маркирующие элементы зональности по простиранию минерализованных зон – Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mn. Содержание Au последовательно увеличивается в направлении от юго-западного фланга месторождения к северо-восточному. Количество привносимых рудоносным раствором Ag, Cu, Pb, Zn в целом также возрастает в этом направлении. Вместе с тем, содержание выщелачиваемого рудоносным раствором из вмещающих пород Mn последовательно уменьшается (табл. 2). Геохимическими индикаторами продуктивности месторождения по простиранию от юго-западного к северо-восточному его флангу являют-

2. Средние содержания элементов в рудах месторождения Личкваз-Тей, подчёркивающие его зональность по простиранию рудных зон

Части месторождения	Продуктивность по содержанию Au	Число проб	Au, г/т	Ag, г/т	Cu, %	Pb, %	Zn, %	Mn, %
Юго-западная	Наименее продуктивная	141	2,78	19,09	0,21	0,07	0,16	0,53
Центральная	Среднепродуктивная	145	3,96	17,26	0,19	0,12	0,27	0,29
Северо-восточная	Наиболее продуктивная	136	5,31	28,99	0,30	0,36	0,36	0,19

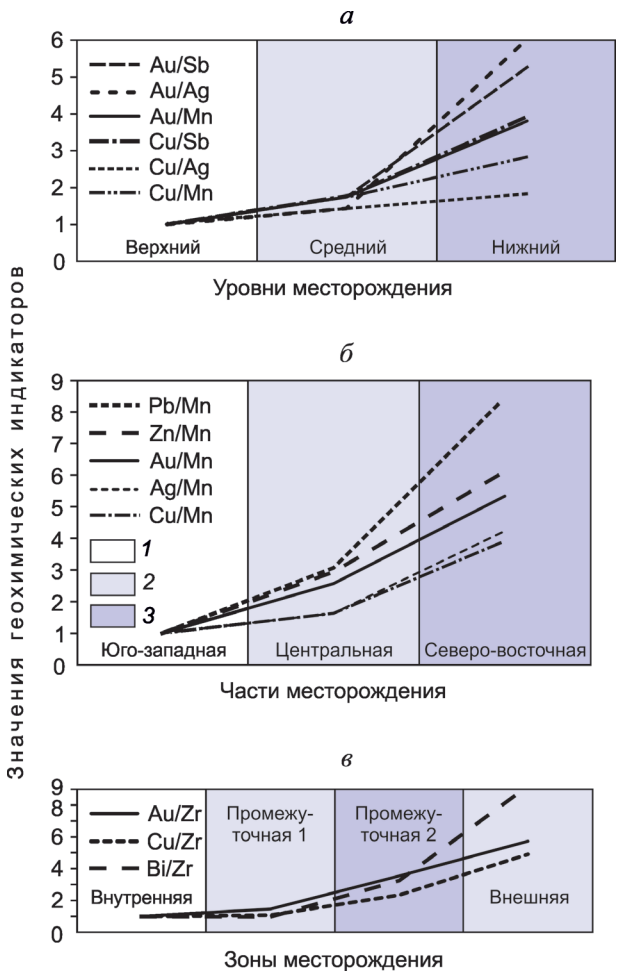

Рис. 5. Геохимические параметры вертикальной зональности (*а*), горизонтальной зональности по простиранию (*б*) и вкрест простирания рудных зон (*в*) месторождения Личкваз-Тей:

продуктивность: *1* – наименьшая, *2* – средняя, *3* – высокая

ся возрастающие соотношения Pb/Mn, Zn/Mn, Au/Mn, Ag/Mn, Cu/Mn (см. рис. 5, *б*).

Зональность месторождения вкрест простирания минерализованных зон изучена по четырём рудным зонам, расположенным с запада на восток в направлении удаления от «материнского» плутона. Маркирующие элементы зональности месторождения вкрест простирания рудных зон – Au, Cu, Bi, Zr. Содержания переносимых рудоносным раствором Au, Cu и Bi последовательно увеличиваются с запада на восток в направлении удаления от «материнского» плутона, а количество выщелачиваемого из вмещающих пород Zr – уменьшается (табл. 3). Зональность вкрест простирания рудоносных структур, вероятно, объясняется повышением проницаемости рудоконтролирующих тектонических структур с запада на восток. Геохимическими индикаторами зональности месторождения вкрест простирания рудных зон в направлении преимущественного (до промежуточной второй минерализованной зоны) возрастания золоторудной продуктивности являются соотношения Au/Zr, Cu/Zr, Bi/Zr (см. рис. 5, *в*).

При мелко-среднемасштабной сопоставительной оценке медно-порфировых узлов Малого Кавказа важно обращать внимание на площадь гранитоидов поздних стадий становления сложно построенных массивов юрско-меловой (тоналиты, гранодиориты, лейкограниты) и олигоцен-миоценовой (граниты, гранодиориты, граносиениты, монцониты, сиениты) эпох геологического развития данной территории. Наиболее продуктивны по золоту медно-порфировые РУ, в которых площадь выхода «материнских» плутонов составляет 20–70 км^2.

Геохимические параметры зональности и продуктивности золото-полиметаллического месторождения в медно-порфировом РУ отражают: в вертикальном сечении соотношения Au/Ag, Au/Sb, Cu/Sb, Au/Mn, вдоль простирания минерализованных зон – Pb/Mn, Zn/Mn, Au/Mn, Ag/Mn, Cu/Mn, вкрест простирания минерализованных зон, в направлении удаления от «материнского» плутона, – Au/Zr, Cu/Zr, Bi/Zr.

Тенденции поведения Au, Cu, Pb, Zn, Ag, Sb, переносимых рудоносными растворами, обусловлены температурной зональностью осаждения этих элементов из рудоносных растворов. Поведение Mn и Zr можно объяснить реакционным воздействием на вмещающие породы насыщенных металлическими комплексами рудоносных растворов. Чем выше рудная насыщенность гидротермальных растворов, тем сильнее последние оказывают выщелачивающее воздействие на вмещающие породы. Зональность вкрест простирания рудоносных структур, вероятно, связана с повышением проницаемости рудоконтролирующих тектонических структур в направлении с запада на восток.

В золото-полиметаллических месторождениях значимые (≥50–80%) коэффициенты корреляции между Au и Cu, Ag, Pb, Zn появляются в рудах с содержаниями Pb и Zn ≥1,0%. Эти осо-

3. Средние содержания элементов в рудах месторождения Личкваз-Тей, подчёркивающие его зональность вкрест простирания рудных зон

Зоны месторождения	Продуктивность по содержанию Au	Число проб	Au, г/т	Cu, %	Bi, г/т	Zr, г/т
Внутренняя	Наименее продуктивная	111	2,71	0,20	32,04	23,91
Промежуточная первая	Более продуктивная	145	3,47	0,19	27,04	21,01
Промежуточная вторая	Максимально продуктивная	89	5,47	0,26	59,36	13,63
Внешняя	Снижающейся продуктивности	86	4,68	0,29	88,67	7,20

бенности распределения Au и полиметаллов подчёркивают сродство химизма переноса Au и полиметаллов в рудоносных растворах с отно сительно высокими концентрациями полиметаллов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Главнейшие* медно-порфировые системы Малого Кавказа / Р.Л.Мелокян, Р.Моритц, Р.Н.Таян и др. // Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2014. 67. № 1. С. 3–29.
2. *Кривцов А.И.* Геологические основы прогнозирования и поисков медно-порфировых месторождений. – М.: Недра, 1983.
3. *Рудные* узлы России / Е.В.Плющев, Н.С.Соловьев, А.П.Мотов и др. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2001.
4. *Hurtig N.C., Williams-Jones A.E.* Porphyry-epithermal Au-Ag-Mo ore formation by vapor-like fluids: New insights from geochemical modeling // Geology. 2015. Vol. 1. P. 5–8.
5. *Porphyry* Copper Assessment of the Tethys Region of Western and Southern Asia / M.L.Zientek, J.M.Hammarstrom, K.M.Johnson et al. // U.S. Geological Survey. Reston. Virginia, 2015.
6. *Sillitoe R.H.* Porphyry Copper Systems, Society of Economic Geologists // Economic Geology. 2010. Vol. 105. P. 3–41.

Мотов Андрей Павлович,
кандидат геолого-минералогических наук
motovAP@polymetal.ru

Валеев Олег Кавиевич,
кандидат геолого-минералогических наук

Малах Юрий Ефимович,
директор дирекции по инвестициям

Головина Тамара Александровна,
кандидат геолого-минералогических наук

GEOCHEMICAL EVALUATION OF LESSER CAUCASUS' PORPHYRY COPPER CLUSTERS AND GOLD POLYMETALLIC DEPOSITS

A.P.Motov,
O.K.Valeev,
Yu.E.Malakh
T.A.Golovina

Most of Lesser Caucasus' gold polymetallic deposits are part of the porphyry copper ore clusters. These ore clusters were formed during the occurrence of alkaline acidic granitoids at later phases of the Jurassic-Cretaceous and Eocene-Miocene magmatic plutons introduction. The correlation relationship between the granitoid area and major metals in the porphyry copper clusters was studied. Based on these correlations, ore clusters were identified, which can lead to discovery of new gold polymetallic deposits. The geochemistry of ore gold polymetallic deposits was studied. The article provides the description of Lichkvaz-Tey deposit vertical, along- and across-the-strike zonation of the ore bodies.

Key words: porphyry copper ore clusters, alkaline acidic granitoids, gold polymetallic deposits, ore-geochemical zonation, productivity assessment.