

ЗОНАЛЬНОСТЬ ПЕРВИЧНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙАНИЯ ТЫКОТЛОВСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ

Лебедев Г.В., Аптыков А.Р.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, Россия (614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15), e-mail: poisk@psu.ru

Объект исследования расположен на территории Полярно-Уральского мегантиклинория. Рудовмещающая осадочно-вулканогенная толща возраста раннего ордовика расчленена на подрудный, рудный и надрудный горизонты. Крутопадающие рудные залежи залегают согласно с вмещающими породами, имеют пласто-линзообразную форму, длину по падению десятки метров и мощность до первых метров. Изучение зональности ореолов рассеяния проводилось по материалам литохимического опробования (2374 пробы) 13 поисковых скважин колонкового бурения. Обобщение информации велось статистическими и графическими методами с применением стандартной программы (MS Excel). По результатам расчетов коэффициентов корреляции выделены три парагенетические ассоциации элементов: 1) Cu-Zn-Pb-Ag-Cd - типоморфная; 2) Co-V-Ti-Ni-Sc-Mn-Cr – характерная для основных пород вмещающего комплекса; 3) Ba-Y-Yb-Zr-Nb – связанная с магматическими породами повышенной щелочности. Зональность ореолов выявлялась путем построения графиков изменения содержаний элементов и мультипликативных показателей ассоциаций элементов по скважинам. Был также осуществлен расчет показателей зональности и градиента зональности. Максимальное накопление Ni, Co, V, Ti, Mn, Sc, наблюдается в надрудном горизонте, Cu, Zn, Pb, Ag, Yb – в рудном, а Zr, Cr, Cd, Ba, Y, Nb – в подрудном. Установленный ряд зональности имеет следующий вид (снизу-вверх): Ba-Nb-Y-Cr-Zr-Cd-Ag-Pb-Zn-Yb-Cu-Bi-Sc-Ni-Mn-Ti-Co-V. Он принципиально противоречит рядам зональности, характерным для колчеданных месторождений. Авторы полагают, что причиной противоречия является то, что рудовмещающая толща рудопроявления находится в опрокинутом залегании. Горизонты подрудный и надрудный являются соответственно надрудным и подрудным. Полученный ряд зональности должен читаться с точностью наоборот: V-Co-Ti-Mn-Ni-Sc-Bi-Cu-Yb-Zn-Pb-Ag-Cd-Zr-Cr-Y-Nb-Ba. Он может использоваться при поисках колчеданных месторождений в исследуемом регионе.

Ключевые слова: Полярный Урал, Тыкотловское колчеданно-полиметаллическое проявление, первичные ореолы рассеяния, парагенетические ассоциации элементов, ряд зональности.

ZONING OF PRIMARY GEOCHEMICAL HALO OF THE TYKOTLOVSKY PYRITE-POLYMETALLIC OCCURRENCE

Lebedev G.V., Aptikov A.R.

Perm State University National Research, Perm, Russia, (614990, Perm, Bukirev St., 15), e-mail: poisk@psu.ru

Object of study is located in the area of the polar Ural megantiklinory. Ore-bearing sedimentary-volcanic sequences of early Ordovician age split into under-ore, ore and upper-ore horizons. Steeply dipping ore deposits occur in accordance with the host rocks. They have reservoir lenticular shape, length to drop of tens meters and thickness up to a few meters. Study zoning of dispersion halos was conducted on materials lithochemical sampling (2374 samples) of 13 exploratory boreholes. Compilation of information was carried out by statistical and graphical methods using a standard program (MS Excel). On the results of the calculations of correlation coefficients there were identified three paragenetic associations of elements: 1) Cu-Zn-Pb-Ag-Cd – Typomorphic; 2) Co-V-Ti-Ni-Sc-Mn-Cr which are characteristic for the basic rocks of enclosing complex; 3) Ba-Y-Yb-Zr-Nb which related with magmatic rocks of high alkalinity. Zoning of halos was detected by charting of changes in the content of elements and indicators of multiplicative association elements in wells. Also there was carried out the calculation of indicators of zoning and zoning gradient. The maximum accumulation of Ni, Co, V, Ti, Mn, Sc in upper-ore horizon, Cu, Zn, Pb, Ag, Yb - in the ore, and Zr, Cr, Cd, Ba, Y, Nb - in under-ore. Fixed of range zoning has the following form (bottom-up): Ba-Nb-Y-Cr-Zr-Cd-Ag-Pb-Zn-Yb-Cu-Bi-Sc-Ni-Mn-Ti-Co-V. He fundamentally contradicts with series zoning characteristic of massive sulfide deposits. The authors suggest that the reason for the contradiction is the ore-bearing stratum of ore is overturned bedding. Under-ore and upper-ore horizon are respectively upper-ore and under-ore horizon. The resulting range of zoning should read exactly the opposite: V-Co-Ti-Mn-Ni-Sc-Bi-Cu-Yb-Zn-Pb-Ag-Cd-Zr-Cr-Y-Nb-Ba. Zoning range can be used in the search for massive sulfide deposits in the region of study.

Keywords: polar Ural, Tykotlovskoe pyrite-polymetallic occurrence, paragenetic associations of elements, zoning range.

Зональность первичных геохимических ореолов рассеяния является одним из важнейших свойств эндогенных месторождений. Для большинства геолого-промышленных типов эндогенных месторождений ряды зональности элементов-индикаторов в основном установлены [1]. Тем не менее каждый объект может отличаться индивидуальными особенностями. Установление рядов зональности геолого-промышленных типов месторождений, которые в регионе еще не выявлены, является важнейшей поисковой задачей. Их выявление позволяет целенаправленно вести поиск и прогноз залежей полезных ископаемых.

В Уральском регионе промышленные колчеданные месторождения известны лишь на Среднем и Южном Урале. В то же время имеются реальные геологические предпосылки их обнаружения на восточных склонах Северного, Приполярного и Полярного Урала.

В основу данного исследования положены материалы прогнозно-поисковых работ на медно-полиметаллические руды в Берёзовском районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, проведенные в 2008-2011 гг. ООО «Геолайн» и любезно предоставленные авторам. В процессе указанных работ на территории было выявлено Тыкотловское колчеданно-полиметаллическое рудопроявление [4].

Рудопроявление располагается в пределах Полярно-Приполярно-Уральского литосферного блока континентальной рифтовой структуры Восточно-Европейской зоны деструкции континентальной коры [3]. Согласно тектонической карте Урала [5], площадь работ находится в пределах Приполярно-Уральского мегантиклинория, входящего в состав Центрально-Уральского поднятия.

На площади распространены отложения кокпельской свиты нижнего ордовика, представленные тремя толщами (подсвитами): нижней – сланцевой, средней – основных вулканитов и верхней – кислых вулканитов. Породы смяты в изоклинальные складки восточного падения с углами 50-70°. Интрузивные образования, относящиеся к сивьягинскому пикрит-диабазовому комплексу, представлены силлообразными телами и дайками габбродолеритов, эссекситов (эссексит-долеритов) и телами пикритов [4].

Непосредственно на рудопроявлении развиты вулканиты верхнего ордовика, содержащие силлы позднеордовикско-раннесилурийских метадолеритов. Породы имеют юго-восточное (40-60°) падение, осложнены мелкой складчатостью и разорваны крутопадающим продольным и двумя диагональными разрывами. Вулканогенная толща расчленена на три части, названные горизонтами: подрудный, рудный и надрудный. *Подрудный горизонт* сложен экструзивно-купольными образованиями: фельзитовыми риолитами, лавобрекчиями риолитов, риолитами игнимбритоподобными с маломощными

прослоями лавобрекчий. *Рудный горизонт* представлен лавами фельзитовых риолитов, лавобрекчиями риолитов, переслаиванием лав риолитов с прослоями терригенных сланцев и линзами органогенных известняков. *Надрудный горизонт* сложен сланцами хлорит-серицит-кварцевыми и кварц-хлорит-серицитовыми по алеврит-пелитовым и пелит-алевритовым вулканогенно-терригенным породам.

Залежи проявления имеют согласную пласто-линзообразную форму, длину по падению – десятки метров и мощность – до первых метров. Они сопровождаются типичными для вулканогенно-осадочных колчеданных залежей кварц-серицитовыми метасоматитами и зонами вкрапленной сульфидной минерализации.

Исследование зональности первичных ореолов рассеяния проводилось по материалам литохимического опробования поисковых скважин колонкового бурения. Скважины (13 шт.) глубиной до 300 м были размещены на трех поисковых линиях. Применялось наклонное бурение с зенитными углами 75-80°. Скважины опробовались непрерывно пунктирно-бороздовым способом; длина секций проб 1-3 м, общее их количество 2374. Все пробы анализировались приближенно-количественным спектральным методом на следующие элементы: Be, B, P, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Zr, Nb, Mo, Ag, Sn, Sb, Ba, La, W, Pb, Bi. Химические элементы, чувствительность определения которых указанным методом недостаточна (U, Au, Hg, Rb, J, F), анализировались другими методами.

Обобщение информации осуществлялось статистическими и графическими методами на ЭВМ с применением стандартной программы (MS Excel). Из всей совокупности элементов, определенных в пробах, в обработке участвовали лишь наиболее информативные (28 элементов), средние содержания которых как минимум в два раза выше кларковых. Статистическая обработка выборок информативных элементов включала: определение стандартных статистик распределения и связи: среднее, среднеквадратическое отклонение, дисперсия, асимметрия, эксцесс, коэффициент вариации, коэффициент корреляции.

Для выявления парагенетических ассоциаций элементов использовались результаты расчетов коэффициентов парной корреляции. В соответствии с методикой, разработанной В.Ф. Мягковым [2], в состав парагенетических ассоциаций включались элементы, имеющие тесные положительные связи. Сводная корреляционная матрица приведена в табл. 1. Ее анализ позволяет выделить три парагенетические ассоциации элементов.

1. Cu-Zn-Pb-Ag-Cd. Данная ассоциация является типоморфной, т.к., во-первых, она является типичной для колчеданных месторождений, а, во-вторых, концентрации этих элементов в десять и более раз превышают кларковые.

Таблица 1

Матрица коэффициентов корреляции

	Ni	Co	V	Ti	Mn	Cr	Sc	Ge	Cu	Zn	Pb	Ag	Cd	Bi	Li	Mo	Ba	Sr	W	Sn	Be	Zr	Ga	Y	Yb	Nb	As	Sb		
Ni	1,00																													
Co	0,57	1,00																												
V	0,55	0,90	1,00																											
Ti	0,55	0,84	0,84	1,00																										
Mn	0,26	0,51	0,51	0,52	1,00																									
Cr	0,65	0,15	0,16	0,13	-0,07	1,00																								
Sc	0,43	0,72	0,78	0,77	0,40	0,09	1,00																							
Ge	0,27	0,17	0,16	0,20	0,16	0,14	0,13	1,00																						
Cu	0,01	0,02	0,05	0,00	0,24	-0,03	0,01	0,13	1,00																					
Zn	-0,13	-0,13	-0,12	-0,14	0,15	-0,13	-0,13	0,01	0,54	1,00																				
Pb	-0,08	-0,14	-0,11	-0,14	0,15	-0,08	-0,14	0,12	0,55	0,68	1,00																			
Ag	-0,03	-0,05	-0,02	-0,07	0,12	-0,04	-0,06	0,12	0,75	0,52	0,53	1,00																		
Cd	-0,04	-0,05	-0,05	-0,07	0,15	-0,04	-0,06	0,14	0,72	0,68	0,59	0,71	1,00																	
Bi	-0,06	-0,18	-0,19	-0,19	0,02	0,01	-0,20	0,29	0,44	0,37	0,37	0,51	0,72	1,00																
Li	-0,09	-0,09	-0,10	-0,07	0,29	-0,15	-0,10	0,21	0,16	0,32	0,40	0,12	0,23	0,22	1,00															
Mo	0,00	-0,16	-0,16	-0,17	-0,08	0,14	-0,17	0,07	0,09	0,06	0,11	0,07	0,08	0,14	0,05	1,00														
Ba	-0,11	-0,25	-0,31	-0,25	-0,29	0,05	-0,29	-0,27	-0,06	-0,04	-0,03	-0,01	-0,05	-0,21	0,09	1,00														
Sr	0,19	0,23	0,23	0,23	0,20	0,07	0,23	0,18	0,04	-0,04	0,03	0,08	0,09	0,07	0,05	-0,01	-0,03	1,00												
W	-0,03	-0,08	-0,10	-0,09	-0,10	0,01	-0,10	-0,05	0,00	0,05	0,05	0,00	-0,01	0,05	0,00	0,01	0,05	-0,08	1,00											
Sn	-0,30	-0,42	-0,40	-0,42	-0,18	-0,13	-0,33	-0,02	0,00	0,17	0,16	0,02	0,07	0,14	0,21	0,12	0,07	-0,10	0,02	1,00										
Be	-0,19	-0,27	-0,24	-0,20	-0,20	-0,10	-0,04	-0,10	-0,04	-0,02	-0,04	-0,02	-0,02	-0,01	-0,05	0,01	0,21	-0,02	-0,02	0,13	1,00									
Zr	-0,13	0,09	0,05	0,20	0,06	-0,25	0,19	-0,55	-0,02	0,03	-0,08	-0,04	-0,08	-0,28	-0,11	-0,14	0,29	-0,04	-0,04	-0,11	0,26	1,00								
Ga	-0,22	-0,13	-0,12	-0,14	0,08	-0,32	-0,01	0,17	0,16	0,18	0,19	0,13	0,19	0,13	0,32	0,00	0,01	0,04	-0,08	0,40	0,19	0,03	1,00							
Y	-0,33	-0,37	-0,40	-0,38	-0,26	-0,21	-0,32	-0,40	0,01	0,10	0,06	0,05	-0,01	-0,04	-0,07	0,01	0,50	-0,07	0,00	0,15	0,34	0,56	0,12	1,00						
Yb	-0,25	-0,36	-0,38	-0,36	-0,27	-0,11	-0,35	-0,26	-0,01	0,06	0,05	0,03	-0,02	0,00	-0,07	0,05	0,45	-0,07	0,00	0,16	0,28	0,35	0,08	0,74	1,00					
Nb	-0,40	-0,44	-0,48	-0,43	-0,31	-0,21	-0,34	-0,52	-0,04	0,10	-0,02	-0,03	-0,04	-0,10	-0,10	-0,01	0,35	-0,25	0,07	0,22	0,31	0,47	0,12	0,59	0,44	1,00				
As	0,02	-0,22	-0,22	-0,22	-0,11	0,07	-0,26	0,33	0,20	0,18	0,22	0,23	0,14	0,25	0,16	0,14	-0,01	0,00	0,04	0,14	0,02	-0,31	0,09	0,01	0,09	-0,09	1,00			
Sb	-0,02	-0,12	-0,16	-0,13	0,01	0,06	-0,12	0,32	0,13	0,07	0,13	0,15	0,21	0,25	0,19	0,09	-0,08	0,08	-0,04	0,12	0,01	-0,33	0,11	-0,20	-0,12	-0,15	0,25	1,00		

Коэффициенты корреляции	0,7-1,0	Очень тесная положительная связь
	0,5-0,7	Тесная положительная связь
	0,0-0,5	Слабая и очень слабая положительная связь
	< 0	Отрицательная связь

2. Co-V-Ti-Ni-Sc-Mn-Cr. Ассоциация этих элементов обусловлена нахождением их в магматических горных породах основного состава вмещающего комплекса.

3. Ba-Y-Yb-Zr-Nb. Эта ассоциация, по-видимому, также связана с магматическими горными породами вмещающего комплекса, но имеющими повышенную щелочность.

Вертикальная зональность первичных ореолов рассеяния была изучена по 14 скважинам, расположенным на трех поперечных профилях. Первоначально по каждой скважине были построены графики изменения содержаний информативных элементов. Анализ графиков показал, что наблюдается тенденция накопления элементов отдельных ассоциаций в определенных частях разреза: подрудной, рудной и надрудной. Однако эти графики имеют существенные флуктуации, что не всегда позволяет однозначно судить о тенденциях изменения концентраций элементов с глубиной. Для более уверенного выявления характера поведения элементов от подрудного горизонта к надрудному сделано осреднение содержаний по отдельным профилям, а затем и по всей совокупности скважин.

Суть этого заключалась в следующем. В качестве условного стратиграфического нуля была принята кровля рудной пачки. Далее была осуществлена разбивка скважин по глубине на десятиметровые интервалы, в пределах которых рассчитывались средневзвешенные содержания элементов. По этим данным были построены графики изменения содержаний элементов, а также мультипликативные поля выделенных геохимических ассоциаций. Объем публикации не позволяет привести все материалы по статистическому и графическому обобщению информации. Ниже приводятся лишь сводные графики мультипликативных показателей, полученные в результате осреднения геохимической информации по всем скважинам. Благодаря осреднению основные закономерности распределения компонентов парагенетических ассоциаций на указанных графиках проявились наиболее отчетливо.

Два очень интенсивных и контрастных максимума мультипликативного показателя типоморфной ассоциации Zn, Pb, Cu, Ag, Cd (рис. 1) прослеживаются в пределах рудного горизонта. Они установлены на условных отметках от 0 до -40 и от -90 до -120 м.

Высокие значения мультипликативного показателя ассоциации элементов Ni, Co, V, Ti, Mn, Cr, Sc (рис. 2) характерны для надрудного горизонта. Причем его максимальные значения отчетливо фиксируются в интервале условных отметок от 210 до 230 м.

Повышенные концентрации элементов парагенетической ассоциации Ba, Y, Yb, Zr, Nb присущи рудному горизонту, однако максимальные характерны для подрудного горизонта (рис. 3) и приурочены к интервалу от -270 до -290 м.

Таким образом, анализ графиков мультипликативных показателей свидетельствует о том, что парагенетические ассоциации элементов, входящих в первичные ореолы рассеяния, на Тыкотловском проявлении имеют отчетливую тенденцию к локализации в определенных

частях разреза: в подрудном горизонте локализуется ассоциация, характерная для щелочных пород; в рудном – рудная (колчеданно-полиметаллическая); в надрудном – ассоциация, типичная для пород основного состава.

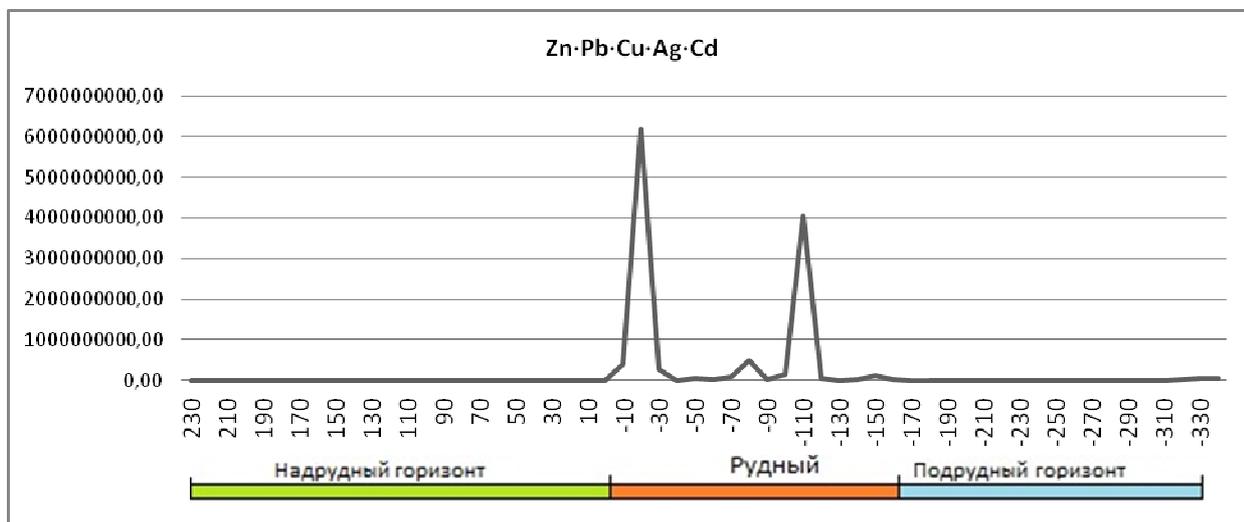


Рис. 1. Сводный график мультипликативного поля содержаний типоморфной ассоциации Zn·Pb·Cu·Ag·Cd. По оси абсцисс – условные отметки, м; по оси ординат произведение содержаний элементов, умноженных на 10^{-3}

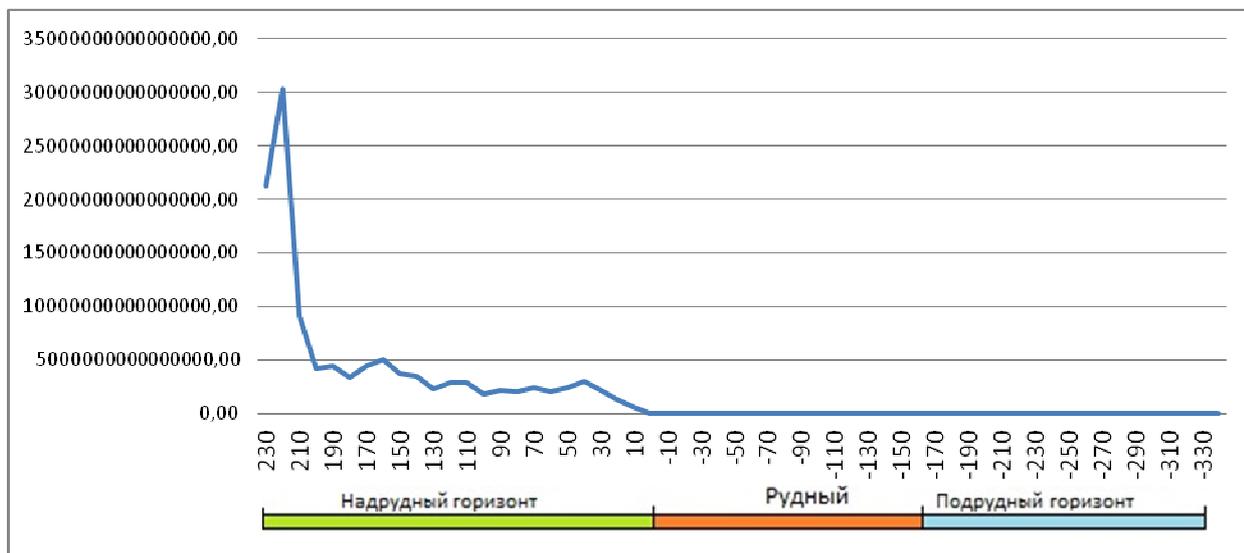


Рис. 2. Сводный график мультипликативного поля содержаний геохимической ассоциации Ni·Co·V·Ti·Mn·Cr·Sc. Условные обозначения на рис. 1

Исследование зональности элементов-индикаторов осуществлялось путем расчета показателей согласно методике, приведенной в «Инструкции по геохимическим методам» [11]. Показатель зональности элемента индикатора представляет собой отношение продуктивности ореола данного элемента к сумме продуктивностей ореолов всех элементов-

индикаторов данного типа оруденения. Поскольку зональность первичных ореолов обычно изучается по вертикальным поперечным разрезам, при расчете показателя зональности используются линейные продуктивности первичных ореолов, при определении которых среднеаномальные содержания элементов (нормированные через их среднефоновые концентрации) умножаются на ширину ореола в данном сечении.

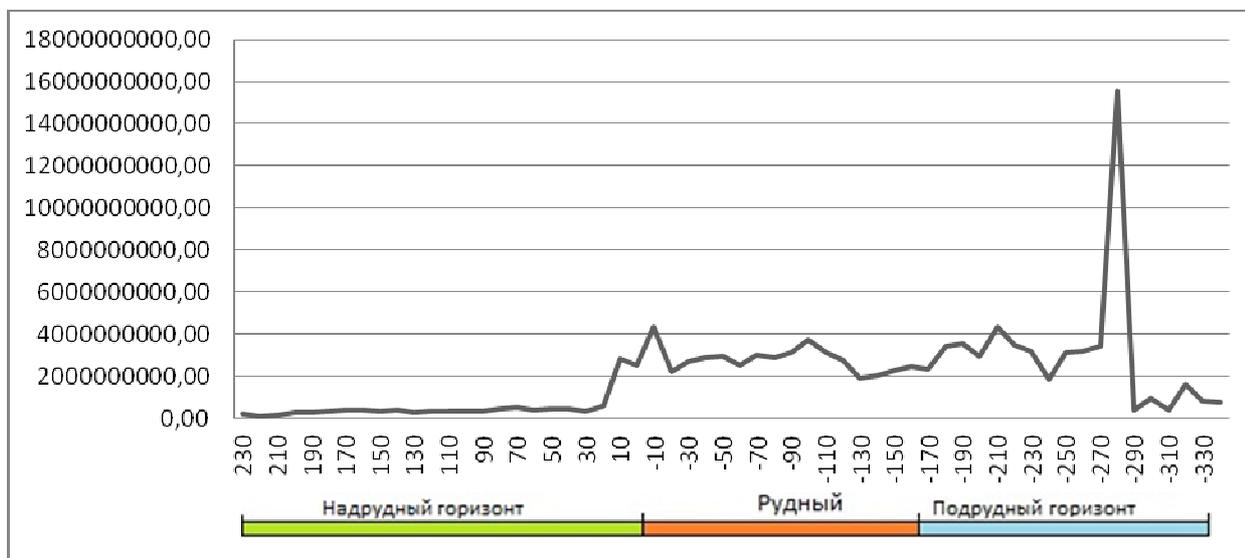


Рис. 3. Сводный график мультипликативного поля содержаний геохимической ассоциации Ba·Y·Yb·Zr·Nb. Условные обозначения на рис. 1

По результатам расчета значений показателей зональности (табл. 2) был составлен ряд зональности, который отражает относительное накопление элементов по горизонтам изучаемого проявления в направлении осевой зональности. Элементы, максимальные значения показателя зональности которых установлены на нижних горизонтах, находятся в правой части ряда (индикаторы нижних частей ореолов), и наоборот.

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что максимальное накопление Ni, Co, V, Ti, Mn, Sc, наблюдается в надрудном горизонте, Cu, Zn, Pb, Ag, Yb – в рудном, а Zr, Cr, Cd, Ba, Y, Nb – в подрудном. Дальнейшее уточнение местоположения элементов в ряду зональности было произведено с использованием формулы расчета градиента [1] показателя зональности. В результате был получен общий ряд зональности Тыкотловского рудопроявления (снизу-вверх): Ba-Nb-Y-Cr-Zr-Cd-Ag-Pb-Zn-Yb-Cu-Bi-Sc-Ni-Mn-Ti-Co-V.

Полученный ряд принципиально противоречит приведенному в [1] ряду зональности колчеданных месторождений: Mo-Co-Ni-Bi-Cu-Zn-Pb-Ag-Cd-As-Ba-I. По нашему мнению, возможны только два варианта объяснения такого противоречия: 1) Тыкотловское рудопроявление имеет весьма специфическое строение и является нестандартным для данного типа объектов, 2) рудовмещающая толща рудопроявления находится в опрокинутом

залегании. Авторы придерживаются последней точки зрения. Об этом, в частности, может свидетельствовать указание авторами отчета о поисковых работах на то, что стратифицированные толщи на исследуемой площади образуют изоклиналильные складки. Поэтому горизонты подрудный и надрудный фактически являются соответственно надрудным и подрудным, т.е. полученный ряд зональности должен читаться с точностью до наоборот.

Таблица 2

Величины показателей зональности элементов на различных уровнях ореолов

Элементы	Показатели зональности		
	Надрудный горизонт	Рудный горизонт	Подрудный горизонт
Ni	0,098	0,033	0,045
Co	0,117	0,015	0,031
V	0,119	0,010	0,031
Ti	0,112	0,022	0,028
Mn	0,094	0,030	0,034
Cr	0,058	0,044	0,166
Sc	0,085	0,030	0,060
Cu	0,038	0,066	0,049
Zn	0,015	0,118	0,050
Pb	0,004	0,105	0,043
Ag	0,011	0,112	0,035
Cd	0,058	0,051	0,060
Ba	0,052	0,062	0,086
Y	0,034	0,086	0,095
Yb	0,032	0,095	0,087
Zr	0,067	0,055	0,068
Nb	0,043	0,070	0,093

Полужирным шрифтом показаны максимальные значения

Следовательно, для Тыкотловского проявления характерен следующий ряд осевой зональности элементов-индикаторов первичных ореолов: **V-Co-Ti-Mn-Ni-Sc-Bi-Cu-Yb-Zn-Pb-Ag-Cd-Zr-Cr-Y-Nb-Ba**. Указанный ряд зональности целесообразно использовать при прогнозировании и поисках колчеданных месторождений в регионе.

Список литературы

1. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений // Министерство геологии СССР. – М. : Редра, 1983. – 191 с.

2. Мягков В.Ф. Геохимический метод парагенетического анализа руд. – М. : Недра, 1984. – 126 с.
3. Семёнов И.В. Палеоокеанический спрединговый вулканизм Урала и реконструкция параметров уральского палеозойского океана. – Екатеринбург : УрО РАН, 2000. – 362 с.
4. Суслов С.Б., Казымов К.П., Осовецкий Б.М. Особенности рудопроявлений Тыкотловской площади (Приполярный Урал) // Геология и полезные ископаемые Западного Урала : материалы регион. науч.-практ. конф. / Перм. ун-т. – Пермь, 2010. - С. 68-72.
5. Тектоническая карта Урала масштаба 1:1000000. Объяснительная записка / И.Д. Соболев, С.В. Автонеев, Р.П. Белковская и др. – Свердловск : ПГО «Уралгеология», 1986. – 168 с.

Рецензенты:

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Наумова О.Б., д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник Естественно-научного института Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.