

## **Геохимическая зональность рудопоявления Тутхливаям (Камчатский край)**

*Швейгерт П.Е., Буханова Д.С.*

### **Geochemical zoning of Tutkhlivayam ore occurrence (Kamchatka krai)**

*Schweigert P.E., Bukhanova D.S.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: schweigertpe@gmail.com*

Изучен химический состав руд рудопоявления Тутхливаям (Камчатский край). Определены фоновые содержания, выделены геохимические ассоциации элементов, показана геохимическая специализация оруденения на различных уровнях эрозионного среза. Сделаны выводы о представительности имеющихся данных и направлении дальнейших работ.

Рудопоявление Тутхливаям расположено в северной части Центрально-Камчатского вулканического пояса, на границе Тигильского и Карагинского районов Камчатского края в 73 км на запад от п. Оссора. С позиций металлогении занимает центральную часть одноименного рудного поля в составе Эруваямского рудного узла Оссорского рудного района Центрально-Камчатской металлогенической провинции [1].

### **Геологическая характеристика**

В геологическом строении Тутхливаямского рудного поля выделяются два структурных яруса, представленные эффузивно-пирокластическими отложениями вулканических комплексов, характерных для неогена Камчатского перешейка. Первый структурный ярус соответствует андезитовому умуваямскому вулканическому комплексу ( $N_{1um}$ ), туфы и эффузивы которого несогласно перекрыты продуктами трахиандезит-дацит-андезитового толятоваямского вулканического комплекса ( $N_{1-2tl}$ ), выделяемыми во второй структурный ярус. Дизъюнктивная тектоника представлена наложением систем сбросов и сбросо-сдвигов северо-восточного и северо-западного простираний, с которыми связаны дайки, субвулканические тела, зоны дробления и гидротермальные жилы. Около 15 % площади рудного поля находится в пределах распространения гидротермально измененных пород: пропилитов, аргиллизитов, вторичных кварцитов, окварцованных и пиритизированных пород, околожильных метасоматитов. Рудопоявление Тутхливаям приурочено к субширотной зоне повышенной проницаемости в южной части рудного поля. Ручей Тутхливаям протекает в направлении с юго-запада на северо-восток, разделяя рудопоявление на западный и восточный фланги, в пределах которых выделяются рудные тела западного и восточного флангов<sup>3,4</sup>.

### **Геохимическая изученность**

Геохимические работы на территории рудопоявления проводились при геологической съемке масштаба 1:200 000<sup>5</sup> и 1:50 000<sup>3</sup>, а также на первом этапе поисковых работ<sup>4</sup>. По результатам комплекса работ был выделен рудный фактор, описывающий закономерности совместного привноса Li, Au, Ag, As и Mo, интерпретированный предшественниками как отражение золоторудного процесса. В пределах рудопоявления Тутхливаям по результатам автоматизированного картирования рудного фактора методом скользящего окна выделены три аномалии уровня «рудное тело»: аномалия I картирует рудное тело восточного фланга, аномалия

<sup>3</sup> Боровцов А.К., Ким А.Г. и др. Отчет о результатах групповой геологической съемки масштаба 1:50 000, проведенной Эруваямской партией в 1974-1980 г.г. в бассейнах рек Эруваям, Дранка, Лесной (листы О-57-24-Г; О-57-35-Г; О-57-36-А,Б,В,Г; О-57-47-А,Б; О-57-48-А,Б; О-58-13-В; О-58-25-А; О-58-37-А). 1980 г.

<sup>4</sup> Козлов А.П. и др. Отчет о результатах поисковых работ, проведенных в пределах Тутхливаямского рудного поля в 1988-1991 г.г. Эруваямским отрядом. 1991 г.

<sup>5</sup> Боровцов А.К., Ким А.Г. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые бассейнов рек Лев. Лесной и Дранки. (Окончательный отчет о геологической съемке масштаба 1:200 000, проведенной Лесновской партией в 1967-1970г.г.). 1971 г.

III – рудное тело западного фланга, аномалия II занимает промежуточное положение и расположена на левом берегу ручья Тутхливаям в пределах субширотной зоны повышенной проницаемости. Для оценки эрозионного среза выделенных аномалий уровня «рудное тело» предшественниками использованы мультипликативный показатель  $Li \cdot Ag$  и отношение  $Au/Ag$ . На основании картирования этих коэффициентов аномалия III (рудное тело западного фланга) интерпретирована как наименее эродированный участок, уровень эрозионного среза – верхнерудный, наиболее эродирован участок аномалии I (рудное тело восточного фланга), уровень эрозионного среза – рудный-нижнерудный. Аномалия II характеризуется промежуточными значениями показателей и интерпретирована предшественниками как слепое рудное тело, аналог установленному в пределах аномалии I.

#### **Фактический материал и методы исследования**

В работе представлены результаты обработки массива данных, составленного по результатам анализа химического состава штучных проб, отобранных на рудопроявлении Тутхливаям в ходе рекогносцировочных работ. Пробы отобраны из обнажений жил и жильно-прожилковых зон профилями вкрест простирания с выходом во вмещающие породы методом пунктирной борозды при средней удельной массе пробы 3 кг/м. Анализ химического состава выполнен методами: ME-ICP41 (царсководочная диссоциация навески 0.5 г с последующей атомно-эмиссионной спектроскопией с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES); элементы: Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Hg, K, La, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, Th, Ti, Tl, U, V, W, Zn) и Au-AA26 (пробирное обогащение навески 30 г с атомно-абсорбционным окончанием). Предел обнаружения составляет 0.01 г/т для Au; 0.2 г/т для Ag; 0.5 г/т для Be и Cd; 1 г/т для Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Sc, Sr, V; 2 г/т для As, Bi, Pb, Sb, Zn; 5 г/т для Mn; 10 г/т для B, Ba, Ga, La, Li, P, Tl, U, W; 20 г/т для Th; 0.01 % для Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, S, Ti. Результаты анализа предоставлены ООО «Оссорская ГГК».

В ходе первичной обработки из массива данных были исключены элементы, распределенные в интервале чувствительности метода непредставительно, и пробы богатых руд, содержащие концентрации Ag, Cu, Pb и Zn, превышающие верхний предел обнаружения (больше 1500 г/т Ag, 10 000 г/т Cu, Pb и Zn). Единичные концентрации ниже предела обнаружения заменены на половину предела обнаружения соответствующего элемента. Полученный массив содержит 667 строк, соответствующих отдельным пробам, и 25 столбцов, соответствующих химическим элементам, показавшим представительное распределение содержаний в интервале чувствительности метода (Au, Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Sc, Sr, V, Zn). Концентрации всех элементов в массиве данных имеют логарифмически нормальное распределение. Данные обработаны при помощи программных комплексов Statistica и Surfer, определены фоновые содержания, выделены геохимические ассоциации, пространственная организация проб проанализирована на предмет возможности выделения элементарных горизонтов для исследования геохимической зональности рудопроявления.

В начале исследования массив данных был разделен на две выборки, отвечающие флангам рудопроявления. Выборка для восточного фланга составила 221 пробу, для западного – 446 проб. Методом кластерного анализа для каждой из выборок были построены корреляционные дендрограммы, позволившие выделить основные рудные элементы: Au, Ag, Cu, Pb, Zn. В целях повышения информативности за фоновое содержание Au принят предел обнаружения, для остальных рудных элементов фоновые содержания определены исходя из структуры распределения частот концентраций. Фоновые содержания для элементов, не вошедших в список основных рудных, определены как среднее геометрическое значение по массиву, полученные значения ниже предела обнаружения округлены до предела обнаружения или его половины в зависимости от структуры распределения соответствующего элемента (табл. 1).

Таблица 1. Фоновые содержания элементов

Au, ppm	0.01	Ca, %	1.4	Fe, %	0.4	Mo, ppm	1.7	Sb, ppm	1
Ag, ppm	0.5	Cd, ppm	0.25	Hg, ppm	0.5	Ni, ppm	1.4	Sc, ppm	1
Al, %	0.14	Co, ppm	1	K, %	0.02	P, ppm	54	Sr, ppm	20
As, ppm	3	Cr, ppm	6	Mg, %	0.06	Pb, ppm	5	V, ppm	5
Ba, ppm	8	Cu, ppm	6	Mn, ppm	150	S, %	0.02	Zn, ppm	6

### Результаты исследования

Для выделения геохимических ассоциаций по формуле (1) были вычислены коэффициенты концентрации элементов в частных выборках.

$$K_c = C_{\text{ср. геом.}} / C_{\text{ф}} \quad (1)$$

В состав ассоциаций включены элементы с  $K_c \geq 3$ , ассоциации представлены в формате  $E_{K_c}$ , элементы ранжированы в порядке убывания  $K_c$  (табл. 2).

Таблица 2. Геохимические ассоциации в частных выборках

Фланг рудопроявления	Выборка	Кол-во проб	Геохимическая ассоциация
Восточный	полная	221	$Au_{16}Ag_{13}Cu_{12}Zn_{12}Pb_{10}Cd_9K_4Mg_4P_4Al_3Fe_3V_3$
	$Au \geq 0.25$ г/т	93	$Ag_{255}Au_{213}Pb_{112}Cd_{60}Cu_{50}Zn_{44}S_5Mg_4Mo_4K_3Al_3$
	$Au < 0.25$ г/т	128	$Zn_5K_4P_4Cu_4V_4Al_4Mg_4Fe_4$
	$Au \geq 1$ г/т	63	$Ag_{521}Au_{434}Pb_{235}Cd_{132}Cu_{92}Zn_{83}S_7Mg_5Mo_3Al_3Fe_3$
	$Au < 1$ г/т	158	$Zn_5Cu_5K_4Au_4P_4V_4Al_3Mg_3Fe_3Cd_3Ag_3$
Западный	полная	446	$Au_{15}Ag_3$
	$Au \geq 0.25$ г/т	151	$Au_{152}Ag_9$
	$Au < 0.25$ г/т	295	$Au_4Mg_3$
	$Au \geq 1$ г/т	82	$Au_{464}Ag_{11}$
	$Au < 1$ г/т	364	$Au_7$

Для оценки информативности имеющегося массива данных при изучении вертикальной геохимической зональности рудопроявления были проанализированы гипсометрические отметки точек отбора проб и сформированы погоризонтные выборки. Для погоризонтных выборок так же вычислены коэффициенты концентрации и выделены геохимические ассоциации (табл. 3).

Таблица 3. Геохимические ассоциации в погоризонтных выборках

Фланг	Выборка	Горизонт, м	Кол-во проб	Геохимическая ассоциация
Восточный	$Au \geq 0.25$ г/т	550-650	51	$Ag_{309}Au_{276}Cd_{177}Pb_{146}Zn_{98}Cu_{87}S_7Mg_4Mo_4Co_4Al_3K_3Fe_3$
		650-750	41	$Ag_{210}Au_{161}Pb_{84}Cu_{26}Zn_{18}Cd_{18}Mg_4Mo_4S_3$
650-750		6	$Au_{67}Ag_{14}Cu_{12}Pb_{11}Zn_5Cd_4Cr_4Mo_3$	
850-950		46	$Au_{135}Ag_8$	
950-1050		74	$Au_{221}Ag_8Mg_4$	
1050-1300		25	$Au_{101}Ag_{11}Sr_4Ca_4$	
Восточный	$Au \geq 1$ г/т	550-650	36	$Ag_{661}Au_{549}Cd_{467}Pb_{347}Zn_{202}Cu_{191}S_9Mg_5Co_4Al_3Mo_3Fe_3$
		650-750	27	$Ag_{380}Au_{317}Pb_{140}Cu_{34}Zn_{26}Cd_{25}Mg_5S_4Mo_4Al_3Fe_3V_3$
650-750		2	$Au_{158}Ag_{12}Cu_9Pb_6Zn_6Cd_4Cr_4Mg_4V_3$	
850-950		23	$Au_{384}Ag_{10}$	
950-1050		44	$Au_{666}Ag_{11}Mg_4Zn_3$	
1050-1300		13	$Au_{224}Ag_{11}Sr_4Ca_3$	

### **Интерпретация результатов**

В геохимических ассоциациях выборок, характеризующихся пониженными концентрациями золота, коэффициенты концентрации полиметаллов (Cu, Pb, Zn) снижаются до уровня элементов, характерных для вмещающих пород (Al, Mg, P, V), при этом в обогащенных золотом группах проб коэффициенты концентрации полиметаллов повышены (табл. 2). Это позволяет в контексте выделения геохимической зональности рассматривать золотое и полиметаллическое оруденение как единый процесс. Исходя из геохимической специализации погоризонтных выборок (табл. 3), оруденение восточного фланга можно охарактеризовать как комплексное, серебро-золото-полиметаллическое. Для западного фланга, главным образом опробованного на верхних горизонтах (>850 м, табл. 3), в целом характерно собственно золотое оруденение, что проявляется в существенном снижении коэффициентов концентрации серебра относительно золота, однако, на нижних горизонтах (650-750 м, табл. 3) сохраняются аномальные коэффициенты концентрации полиметаллов, что свидетельствует о наличии вертикальной зональности оруденения. На самом верхнем горизонте опробования (1050-1300 м, табл. 3) выделяются повышенные коэффициенты концентрации кальция и стронция, что интерпретируется нами как относительное преобладание карбонатной минерализации, характерной для надрудного эрозионного среза.

Имеющиеся данные достаточно представительно характеризуют геохимическую специализацию оруденения на нескольких уровнях эрозионного среза. Это делает целесообразным изучение вертикальной геохимической зональности рудопроявления по методике А.П. Соловова [2], что и будет предпринято в качестве следующего этапа исследований.

### **Список литературы**

1. *Литвинов А.С., Марковский Б.А., Патока М.Г.* Карта полезных ископаемых Камчатской области. Камчатприродресурс, 1999 г.
2. *Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А. и др.* Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / по ред. А.П. Соловова. М.: Недра, 1990. 335 с.