Известия НАН РА, Науки о Земле, 1998, LI, №3, 48-56

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ СОТКСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 1998 г. **Х. В. Хачанов, Ш. О. Амирян, Г. Б. Аракелян, Р. С. Симонян, А. С. Фарамазян, М. П. Асланян**

Институт геологических наук НАН РА
375019 Ереван, пр.Маршала Баграмяна, 24а, Республика Армения

Поступила в редакцию 10.04.98.

Рассматриваются особенности состава и строения мультипликативных первичных геохимических ореолов (ПГО), морфология которых преимущественно подчинена структурному контролю Соткского месторождения. Установлена обобщенная модель геохимической зональности элементов-индикаторов: (Mo, Cu)-Sn-Co-(Ni, Au, As)-Pb-Ag-Zn (снизу вверх), позволяющая выбрать оптимальный для месторождения коэффициент зональности (K_3 = Ag×Pb×Zn/Mo×Sn^2) – главный индикатор уровня эрозионного среза и масштаба оруденения.

Выделяются два перспективных аномальных геохимических поля (АГП) – в центральной части рудного поля и на горизонте штольни №40 (2180 *м*).

Основной задачей исследований, проведенных на Соткском (Зодском) месторождении в 1990-1997гг., было построение поисковой геохимической модели, представляющей собой взаимоувязанную систему индикаторов оруденения в качественном и количественном выражении и способов их выявления [10], главными составными частями которой являются околорудные метасоматические и первичные ореолы.

Методика полевых и лабораторных исследований регламентировалась "Инструкцией..." [5] и "Методическими рекомендациями..."[7]. Геохимическому опробованию (свыше 1400 проб) подверглись рудовмещающие коренные породы как на поверхности рудного поля, так и на горизонтах штолен №№122 (2316 *м*), 25 (2266 *м*) и 40 (2180 *м*). Пробы были подвергнуты приближенно-количественному спектральному и атомно-абсорбционному (на золото и серебро) анализам, проведенным в спектральной и химической лабораториях ИГН НАН РА, с последующей математической обработкой аналитических данных.

Для выявления геохимических аномалий приоритет был отдан полиэлементным мультипликативным ПГО надрудных и подрудных ассоциаций, т.к. они обладают высокой контрастностью и усиливают слабые аномалии. Выделение и оконтуривание ореолов проводилось по трем уровням вероятности появления аномальных содержаний в фоновой выборке с учетом величин стандартного отклонения (стандартный множитель для логнормального закона распределения). Определение параметров производилось раздельно для пород различного состава, т.к. они почти всегда имеют разный статистически значимый уровень фоновых и минимально-аномальных содержаний элементов-индикаторов (табл.1), но без чрезмерной детализации.

Геология месторождения детально освещена в многочисленных публикациях [1,2,6], краткая характеристика приводится в [9].

Геохимические исследования, выполненные на месторождении, позволили выявить характерный набор элементов-индикаторов, образующих вокруг рудных тел ПГО. В их развитии наблюдается вертикальная зональность, полностью совпадающая с зональностью руд. Установленные ряды

Таблица 1

Статистики логнормального распределения концентраций рудогенных элементов ($n \cdot 10^{-4}\%$) в породах Соткского золоторудного месторождения

Эл-ты	Ультрабазиты		Базиты		Средние		Кислые		Вулк.-осадоч.		Метасоматиты		Жильные	
	$\widetilde{X}$ (N)	ε	$\widetilde{X}$ (N)	ε	$\widetilde{X}$ (N)	ε	$\widetilde{X}$ (N)	ε	$\widetilde{X}$ (N)	ε	$\widetilde{X}$ (N)	ε	$\widetilde{X}$ (N)	ε
Au	0,95(42)	2,9	1,28(422)	2,2	0,004(9)	1,8	0,02(85)	1,5	0,08(3)	2,1	0,34(467)	3,0	1,34(22)	1,4
Ag	0,1(44)	3,3	0,14(724)	2,4	0,03(9)	1,3	0,04(85)	1,5	0,08(3)	2,9	0,27(492)	2,5	0,31(24)	5,8
Cu	78,7(48)	2,8	83,2(724)	2,6	99,9(9)	1,9	42,6(85)	2,1	7,5(3)	1,5	93,3(492)	2,6	57,7(24)	6,7
Pb	0,97(54)	2,5	2,13(724)	2,5	2,2(9)	1,4	1,06(73)	1,7	4,1(3)	2,5	1,74(492)	1,9	2,43(24)	3,9
Zn	39,5(56)	1,9	63,7(724)	2,2	94,1(9)	2,2	52,5(85)	1,4	56,1(3)	1,3	61,1(492)	2,5	58,5(24)	6,6
Mo	1,34(56)	3,0	1,21(724)	2,1	0,16(9)	1,3	0,36(85)	2,5	0,42(3)	2,2	5,36(492)	2,3	2,06(24)	3,0
Sn	1,38(56)	2,1	0,6(724)	2,3	1,4(9)	4,2	0,64(85)	1,8	0,97(3)	1,9	1,17(492)	1,8	0,5(24)	2,4
Ba	235,3(44)	1,5	90(724)	1,2	169,8(9)	1,5	133,1(36)	1,4	142,9(3)	1,5	195,1(479)	1,5	–	–
Co	34,6(56)	1,6	40,9(724)	1,8	21,0(9)	3,2	26,4(85)	1,6	17,8(3)	1,4	41,1(492)	2,3	19,8(24)	3,9
Ni	124,7(56)	2,1	76,9(724)	2,9	27,9(9)	2,6	41,8(85)	2,4	83,2(3)	2,4	88,9(492)	2,7	60,7(24)	2,3

Примечание: $\widetilde{X}$ – среднее геометрическое содержание; N – количество проб; ε – стандартный множитель.

зональности для различных частей рудного штокверка незначительно отличаются друг от друга. Так, вертикальная составляющая западного фланга штокверка характеризуется следующим рядом (снизу вверх): Cu-Sn-Mo-Co-As-Au-Ni-Pb-Zn-Ag; центрального участка: Sn-Mo-Cu-Co-Ni-As-Au-Pb-Ag-Zn; восточного фланга: Mo-Cu-(Sn, Co)-Au-Ni-As-Pb-Ag-Zn. Обобщенный ряд зональности для месторождения имеет следующий вид: (Mo, Cu)-Sn-Co-(Ni, Au, As)-Pb- Ag-Zn и в целом согласуется с рядом зональности С.В.Григоряна и Л.Н.Овчинникова для месторождений данного типа [3,4,8].

Для контрастного выделения ПГО в пространстве, т.е. усиления сигнала контрастности зональности, и тем самым увеличения познаваемых размеров ореолов и повышения соответственно глубины поиска, был применен метод накопления сигналов путем мультипликации параметров содержаний элементов-индикаторов. Для Соткского месторождения информативными являются мультипликативные ПГО Ag×Pb×Zn (надрудные) и Mo×Sn^2 (подрудные).

При геохимических исследованиях показатели зональности оруденения служат наиболее надежным критерием для определения уровня эрозионного среза и прогноза оруденения на глубину. Наиболее контрастным коэффициентом зональности ПГО для Соткского месторождения является отношение III порядка: K_3 = Ag×Pb×Zn / Mo×Sn^2.

Наблюдается и горизонтальная зональность этого отношения, выявленная на основании расчета импульсов миграции элементов, корреляционных связей их с золотом и между собой, анализом кластер-дендрограмм [9]. Контрольность K_3 в породах и рудном штокверке Соткского месторождения отражена в табл.2.

Таблица 2

Коэффициенты геохимической зональности ПГО Соткского месторождения

Уровень сечения	Вмещающие породы	Метасоматиты	Рудный штокверк		
			Зап.фл.	Цент.уч-к	Вост.фл.
1. Поверхность	$9{,}0\cdot10^{2}$	$2{,}2\cdot10^{3}$	–	$2{,}3\cdot10^{10}$	$1{,}5\cdot10^{8}$
2. Гор-т 2366 *м* (шт.№5)	–	–	$2{,}7\cdot10^{7}$	$4{,}7\cdot10^{9}$	$7{,}7\cdot10^{6}$
3. Гор-т 2316 *м*	$3{,}0\cdot10^{2}$	$2{,}0\cdot10^{2}$	–	$4{,}7\cdot10^{2}$	$2{,}5\cdot10^{4}$
4. Гор-т 2266 *м*	$1{,}2\cdot10^{2}$	$9{,}8\cdot10^{0}$	$2{,}0\cdot10^{1}$	$4{,}5\cdot10^{1}$	$3{,}5\cdot10^{3}$
5. Гор-т 2180 *м*	$8{,}0\cdot10^{1}$	$3{,}2\cdot10^{0}$	$5{,}7\cdot10^{-2}$	$3{,}0\cdot10^{-4}$	–
Коэфф. контраст	$1{,}1\cdot10^{1}$	$6{,}9\cdot10^{2}$	$4{,}7\cdot10^{8}$	$7{,}7\cdot10^{13}$	$4{,}3\cdot10^{4}$

Таким образом, зоны вмещающих гидротермально измененных пород на поверхности месторождения, а также околорудно измененные породы сопровождаются аномальными ореольными концентрациями рудообразующих компонентов и элементов-примесей. Преобладающей формой нахождения элементов в ореолах является сульфидная, в меньшей степени теллуридная и, отчасти, изоморфная в арсенидах, окислах, карбонатах, хлоритах, алюмосиликатах.

Особенности локализации, морфологии и строения мультипликативных ПГО во вмещающих породах и метасоматитах месторождения изучались на поверхности и на горизонтах штолен №№122, 25 и 40. Их основные характеристики приводятся в табл.3.

Таблица 3

Основные характеристики мультипликативных ПГО Соткского золоторудного месторождения

Уровни интенсивн.	Форма	Структура	m				H			
			горизонты							
			поверхность	2316 *м*	2266 *м*	2180 *м*	поверхность	2316 *м*	2266 *м*	2180 *м*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
			Ag×Pb×Zn							
I	Лентовидная, удлиненно-линзовидная, линзовидная	неравномерная, редко равномерная	67–293	48–64	8–48	–	147–640	160–184	20–94	–
II	Удлиненно-линзовидная, лентовидная, реже линзовидная	– " –	40–133	8–20	6	3–18,5	135–320	32–50	20	18,5–52
III	Линзовидная, удлиненно-линзовидная, редко лентовидная	– " –	53–80	8	10	3–12,5	133–267	28–40	34	18,5–34
			$Mo \times Sn^2$							
I	Лентовидная, редко удлиненно-линзовидная	равномерная, редко неравномерная	54,5–123, редко до 350	12–35, редко до 65	–	–	109–314, редко до 560	43–98	–	–
II	Линзовидная, редко удлиненно-линзовидная	– " –	27–109	10–19,5	10–56, редко до 104	5,5–61, редко до 136	123–177, редко до 273	25–39	36–>168	37–243
III	Линзовидная, реже удлиненно-линзовидная, на нижнем горизонте в том числе лентовидная	– " –	82–136	10–25,5	8–12	5,5–67	109–245, редко до 560	25,5–39	30–50	24–229

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
					$\frac{Ag \times Pb \times Zn}{Mo \times Sn^2}$					
I	Линзовидная, удлиненно-линзовидная, реже лентовидная, сложные формы их сочетаний	равномерная, неравномерная	75–675	10–46	8–10, редко до 24	16–72	125–825	>20–82	58–92	>35-128
II	Линзовидная, удлиненно-линзовидная, сложные формы их сочетаний, на нижнем горизонте в том числе лентовидная	– " –	37,5–150, реже до 338	8–12	8	>5,5	>62,5–375	26–56	18	>43
III	Линзовидная удлиненно-линзовидная	– " –	37,5–62,5	–	12	–	50–225	–	42	–

Пимечание: I – низкоаномальные ПГО; II – среднеаномальные ПГО; III – высокоаномальные ПГО;
m – мощность (ширина) ПГО, *м*; H – длина ПГО по падению, *м*

Высокоаномальные мультипликативные ореолы Ag×Pb×Zn на поверхности рудного поля наиболее контрастно проявляются над рудными телами месторождения. Они в целом имеют близширотную – СЗ ориентацию и характеризуются линзовидной и удлиненно-линзовидной, реже ленто-видной формами. Блокируются ореолами среднеаномальных концентраций, образуя в совокупности над рудными телами аномальные поля. Интерес представляет С-СЗ фланг рудного поля, где выявляются аномалии мультипликативных надрудных элементов с явно выраженной зональностью интенсивности ореолов. Здесь три контрастных высокоаномальных ореола близширотной – СВ ориентации блокируются среднеаномальными ореолами, которые, в свою очередь, блокированы широкими низкоаномальными ореолами изометричной линзовидной формы.

С глубиной интенсивность ореолов Ag×Pb×Zn монотонно уменьшается, и на горизонте штольни №40 они отмечаются спорадически. Однако на восточном фланге штольни выявляется высокоаномальный ореол близширотной ориентации, блокирующийся среднеаномальным ореолом.

Мультипликативные ПГО подрудных элементов $Mo \times Sn^2$ наиболее интенсивно и контрастно проявляются на горизонте штольни №40. Здесь высокоаномальные контрастные ореолы большой интенсивности, блокируя всю центральную часть горизонта штольни, заключены в широкий среднеаномальный ореол. Все аномальное поле вытянуто в СВ направлении согласно рудному телу. На ЮЗ фланге отмечается высокоаномальный ореол неправильной изометрично-линзовидной формы, который блокирован среднеаномальным ореолом.

На горизонте штольни №25 наблюдается ряд высокоаномальных линейно вытянутых ореолов близширотной-СВ ориентации. Выше, на горизонте штольни №122 и на поверхности рудного поля, высокоаномальные ореолы малоконтрастны и встречаются спорадически. Относительно широкий высокоаномальный ореол $Mo \times Sn^2$ на поверхности отмечается над горизонтами штолен. Он имеет линейно вытянутую в близширотном направлении удлиненно-линзовидную форму.

Анализ особенностей мультипликативных ПГО, построенных по K_3, показывает, что наибольшей интенсивностью и контрастностью отличаются АГП на поверхности месторождения (рис.1), причем в целом наблюдается положительная пространственная корреляция с мультипликативными ПГО надрудных элементов. Так, над рудным телом отмечаются изометричные линзовидные или линейно вытянутые в близширотном направлении удлиненно-линзовидные высокоаномальные ($K_3 \geq 10^4$) ореолы, а также среднеаномальные ($K_3 = 10^3\text{-}10^4$) ореолы близмеридиональной-СЗ ориентации. Они блокируются широким изометричным низкоаномальным ореолом ($K_3 = 10^2\text{-}10^3$) линзовидной формы. Обширная аномалия отмечается в центральной части рудного поля, пространственно коррелируя с аномалией Ag×Pb×Zn. Здесь поля высокоаномальных ореолов блокируются среднеаномальным изометричной формы, а последний – обширным низкоаномальным ореолом.

С глубиной интенсивность и контрастность ореолов Ag×Pb×Zn/ $Mo \times Sn^2$ закономерно падает. Так, на горизонте шт. 122 отмечаются разрозненные среднеаномальные ореолы, тяготеющие к центральной части штольни. Формы их линзовидные и удлиненно-линзовидные близширотной ориентации. К северной части штольни тяготеет высокоаномальный ореол близмеридиональной ориентации. Низкоаномальные ореолы на горизонте штольни № 122 широкие, разноориентированные.

На горизонте штольни №25 ореолы мультипликативного K_3 встречаются спорадически, тяготея к центральной части, где малоконтрастный линейно-вытянутый в близширотном направлении высокоаномальный

ореол блокируется широким низкоаномальным ореолом той же ориентации, и к северному флангу – здесь отмечается среднеаномальный, линейно вытянутый в СЗ направлении ореол.

На СВ и ЮЗ флангах штольни №40 выделяются среднеаномальные ореолы K_3 неправильной формы, линейно вытянутые в СЗ-близширотном направлении (рис.2). Они блокированы низкоаномальными ореолами.

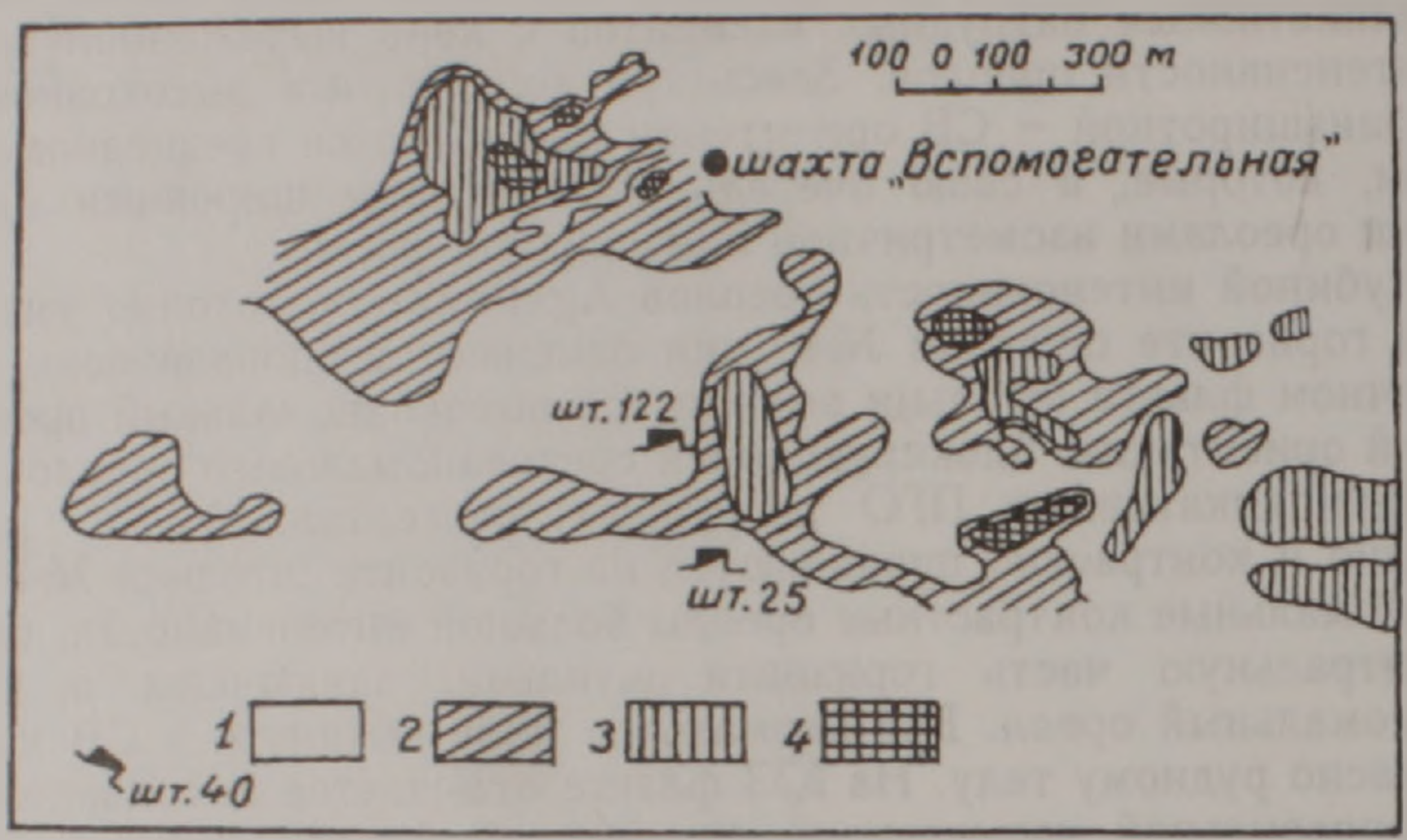

Рис. 1. Распределение мультипликативного $K_3=Ag\times Pb\times Zn/Mo\times Sn^2$ на поверхности Соткского месторождения. 1-4 – величины K_3: 1. $<10^2$; 2. 10^2-10^3; 3. 10^3-10^4; 4. $\geq 10^4$

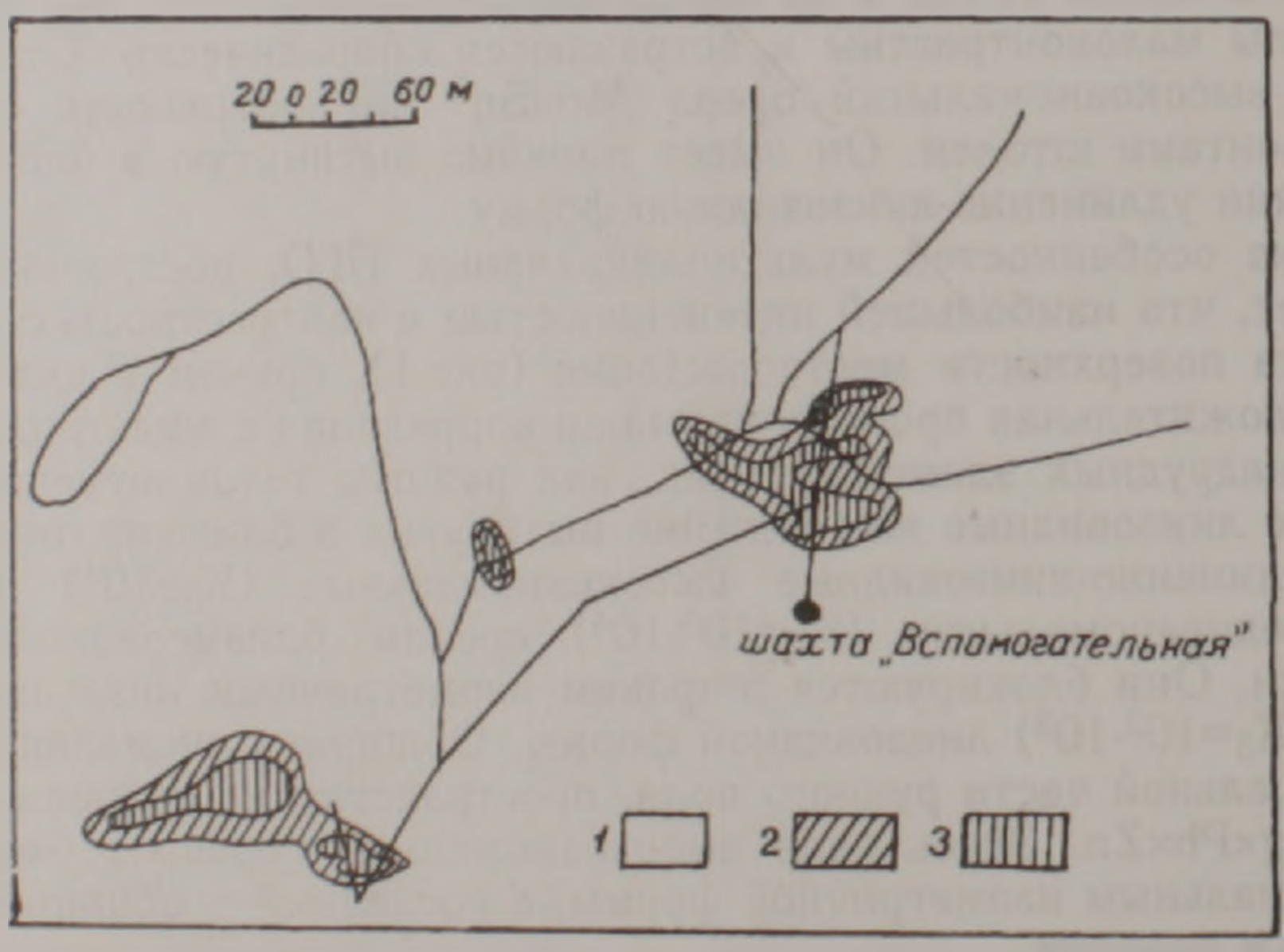

Рис. 2. Распределение мультипликативного $K_3=Ag\times Pb\times Zn/Mo\times Sn^2$ на горизонте штольни №40 Соткского месторождения. Усл. обозначения см. рис.1

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что в пределах Соткского рудного поля в центральной части выделяется аномалия, перспективная на обнаружение слепого рудного тела. Кроме того, на горизонте штольни №40 среднеаномальные поля мультипликативного K_3 на СВ и ЮЗ флангах также позволяют прогнозировать наличие слепого рудного тела глубже горизонта штольни.

Таким образом, проведенные исследования позволили выделить на Соткском рудном поле два перспективных АГП, требующих оценки современными методами.

Работа выполнена в рамках тем 96-125 и 96-108, финансируемых из госбюджета Республики Армения.

ՍՈՏՔԻ ՈՍԿՈՒ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՀԵՌԱՆԿԱՐՆԵՐԻ ԳՆԱՀԱՏՄԱՆ ԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ՉԱՓԱՆԻՇՆԵՐԸ

Ք. Վ. Խաչանով, Շ. Հ. Ամիրյան, Գ. Բ. Առաքելյան, Ռ. Ս. Սիմոնյան, Ա. Ս. Ֆարամազյան, Մ. Պ. Ասլանյան

Ամփոփում

Հոդվածում դիտարկվում են առաջնային երկրաքիմիական մուլտիպլիկատիվ եզրապատկերի կազմի և կառուցվածքի առանձնահատկությունները, որոնց ձևաբանությունը և կազմը առավելապես ենթակա է Սոտքի հանքավայրի կառուցվածքային հսկողությանը: Քիմիական տարրերի ընդհանրացված մոդելի երկրաքիմիական զոնալականության ուսումնասիրման հիման վրա ներկայացվում է այդ հանքավայրի համար օպտիմալ մուլտիպլիկատիվ ցուցիչ (Ag_xPb_xZn/Mo_xSn^2), որը հանդիսանում է էրոզիոն կտրվածքի մակարդակի և հանքայնացման մասշտաբի հիմնական քանակական ցուցանիշ:

Երկրաքիմիական հետազոտությունների հիման վրա առանձնացվում են երկու հեռանկարային երկրաքիմիական անոմալ դաշտեր՝ հանքավայրի կենտրոնական մասում և թիվ 40 բովանցքի (2180 մ) հորիզոնում:

GEOCHEMICAL CRITERIA FOR EVALUATION OF THE SOTK ORE-GOLD DEPOSIT PERSPECTIVES

Cr. V. Khachanov, Sh. H. Amiryan, G. B. Arakelyan, R. S. Simonyan, A. S. Faramazyan and M. P. Aslanyan

Abstract

The paper discusses specific features of the composition and structure multiplicative primary geochemical aureole (PGA), the morphology of which is predominantly subordinated to the structural control of the Sotk deposit. A generalize model of geochemical zonation of elements-indicators such as (Mo, Cu)-Sn-Co-(Ni, Au, As)-Pb-Ag-Zn (from bottom to top) allowing to select an optimum zonality coefficient ($K_3=Ag\times Pb\times Zn/Mo\times Sn^2$) for the deposit, which is a basic index of erosion cut level and mineralization extent, is developed.

Two perspective anomalous geochemical fieids (AGF) in the field's central part and No 40 adit horizon are distinguished.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Амирян Ш.О.** Золоторудные формации Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1984, 303 с.
2. **Амирян Ш.О., Фарамазян А.С.** Минералогия, геохимия и условия образования рудных месторождений Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1974, 254 с.

3. **Григорян С.В**. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. М.: Недра, 1987, 408 с.
4. **Григорян С.В., Овчинников Л.Н.** Единая геохимическая зональность первичных ореолов сульфидсодержащих гидротермальных месторождений и ее практическое значение – В кн.: Проблемы прикладной геохимии. Новосибирск: Наука, 1983, с. 46-50
5. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1983, 191 с.
6. **Магакьян И.Г., Пиджян Г.О., Фарамазян А.С., Амирян Ш.О., Карапетян А.И., Пароникян В.О., Зарьян Р.Н., Меликсетян Б.М., Акопян А.Г.** Редкие и благородные элементы в рудных формациях Армянской ССР. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1972, 393 с.
7. Методические рекомендации по прогнозной оценке флангов и глубоких горизонтов золоторудных месторождений. М.: Недра, 1986, 59 с.
8. **Овчинников Л.Н.** Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990, 248 с.
9. **Хачанов Х.В., Амирян Ш.О., Симонян Р.С., Фарамазян А.С., Асланян М.П.** Некоторые аспекты геохимии рудовмещающих пород и критерии рудоносности метасоматитов Зодского месторождения золото-сульфидно-теллуровой формации (Малый Кавказ) – Международный симпозиум по прикладной геохимии стран СНГ. М.: ИМГРЭ, 1997, с.254-255.
10. **Чекваидзе В.Б.** Поисковые минералого-геохимические модели золоторудных месторождений и их практическое применение – Тр. ЦНИГРИ, М., 1987, вып.219, с.71-76.