

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 553.411'3/9 550.84(479.25)

А. А. АВАКЯН, Р. Н. ЗАРЬЯН, Р. А. САРКИСЯН

О КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВЯЗЯХ ОСНОВНЫХ  
РУДООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ШАУМЯНСКОГО  
ЗОЛОТО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Содержания элементов в рудных телах, их количественные взаимосвязи являются важными свойствами руд, определяющими их практическую ценность. Это обстоятельство и определяет в основном прикладные цели изучения указанных свойств. Цель же настоящей статьи в том, чтобы обратить внимание на информацию, связанную с генетическими и минералогическими особенностями руд, которую несет изучение количественных взаимосвязей между основными компонентами руд.

Данный вопрос рассмотрен на примере Шаумянского золото-полиметаллического месторождения. Выбор этого объекта обоснован высокой степенью его разведанности и изученности минералого-геохимических особенностей. Кроме того, данное месторождение интересно еще и тем, что в его рудах широко распространен целый ряд элементов (*Au, Ag, Cu, Zn, Pb* и др.), по которым имеется большой аналитический материал. Корреляционные связи между *Pb-Zn* и *Zn-Cu* в рудах полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений Армянской ССР изучены В. О. Пароникяном [8].

Шаумянское золото-полиметаллическое месторождение расположено на юго-восточном фланге Кафанского рудного поля. Золото-полиметаллическое оруденение пространственно размещено в кварцевых андезито-дацитах (барабатумских) верхнебайосско-нижнебатского возраста.

Рудовмещающая толща общей мощностью до 700 м прорвана дайками кварцевых андезито-дацитов, габбро-диабазов и диабазов, приуроченных главным образом к нарушениям северо-западного и северо-восточного простирания с крутыми углами падения. Рудовмещающие структуры размещены в тектонических блоках, ограниченных крупными субмеридиональными нарушениями (Барабатум-Халаджский, Централь-но-Шаумянский, Тежадинский и др.) [4, 9]. Рудные жилы, выполняющие трещины отрыва, имеют преимущественно субширотное направление и крутые падения—65—85°. Морфологически золото-полиметаллическое оруденение представлено массивными кварц-сульфидными жилами с сопровождающими зонами прожилково-вкрапленных руд.

На месторождении гидротермальный рудообразовательный процесс имеет многостадийный характер [3, 7]. Выделяются следующие стадии

минерализации: 1) кварц-пиритовая; 2) пирит-халькопиритовая; 3) галенит-халькопирит-сфалеритовая (с теллуридами *Pb*, *Bi*, *Au* и *Ag*); 4) кварц-карбонатная и 5) ангидрит-гипсовая. В минеральном составе гипогенных руд принимают участие: пирит, сфалерит, халькопирит, галенит, теннантит, тетраэдрит, алтант, гессит, самородное золото, петцит, самородный теллур, сивьянит, самородное серебро и др. Гипергенные минералы представлены: самородной медью, халькозинном, борнитом, ковеллином, малахитом, азурином, церусситом, лимонитом и др. Из жильных минералов наиболее распространены кварц, кальцит, доломит, реже сидерит и очень редко флюорит и барит. Из гипогенных минералов — пирит, сфалерит и халькопирит, а из жильных — кварц и кальцит в разных количествах встречаются почти во всех рудных стадиях минерализации.

Разнообразие минеральных ассоциаций руд и форм нахождения элементов делают интересным изучение их количественного соотношения. Наиболее распространенным методом решения этой задачи является корреляционный анализ, который позволяет установить наличие стохастических связей между содержаниями элементов и оценить их силу. Данные связи не предполагают наличия причинно-следственных отношений между рассматриваемыми величинами, но допускают причинную интерпретацию корреляционной зависимости, обоснованную геологическими фактами [5, 6]. Подобная интерпретация корреляционных связей широко используется при изучении геологических объектов, ее эффективность показана в ряде работ [1, 2], список которых можно продолжить.

В настоящей статье приведены данные по парной корреляции между содержаниями *Au*, *Ag*, *Cu*, *Zn*, *Pb* в рудных телах Шаумянского золото-полиметаллического месторождения. Коэффициент корреляции

парных элементов рассчитан по формуле: 
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{(n-1)S_x S_y}$$

где  $x_i$ ,  $y_i$  — выборочные значения содержаний элементов,  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  — выборочные оценки средних,  $S_x$ ,  $S_y$  — выборочные оценки стандартов.

Критерий значимости корреляционной связи рассчитывается по

формуле:  $t = \frac{R}{\sqrt{1-R^2}} \sqrt{n-2}$ , где  $R$  — коэффициент корреляции,  $n$  — объем выборки (число проб). Коэффициент корреляции считается значимым, если расчетная величина превышает табличное значение критерия Стьюдента ( $t_c$ ) при принятой доверительной вероятности (95%) и соответствующей степени свободы ( $n-2$ ).

Результаты корреляционного анализа рассмотрены в комплексе с минералого-геохимическими данными, обосновывающими и объясняющими количественные связи между содержаниями элементов (табл. 1).

Указанный вопрос изучен на примере двух жил (№ 11 и 5) на горизонте 780 м. В качестве исходных данных использованы результаты опробования горных выработок (более 200 пробирных и химических анализов руд), проведенного Кафанской ГРЭ Производственного

геологоразведочного треста при детальной разведке месторождения. Опробование проведено бороздовым способом разрезами вкрест простирания рудных тел с интервалом в 4 м. По каждому разрезу отобраны три пробы. Из них средняя по положению в разрезе проба охватывает жилу по мощности, крайние — характеризуют сопровождающую жилу зону прожилково-вкрапленного оруденения в ее обоих зальбандах.

Для рассмотрения корреляции между содержаниями элементов в руде исходный аналитический материал разделен на три основные

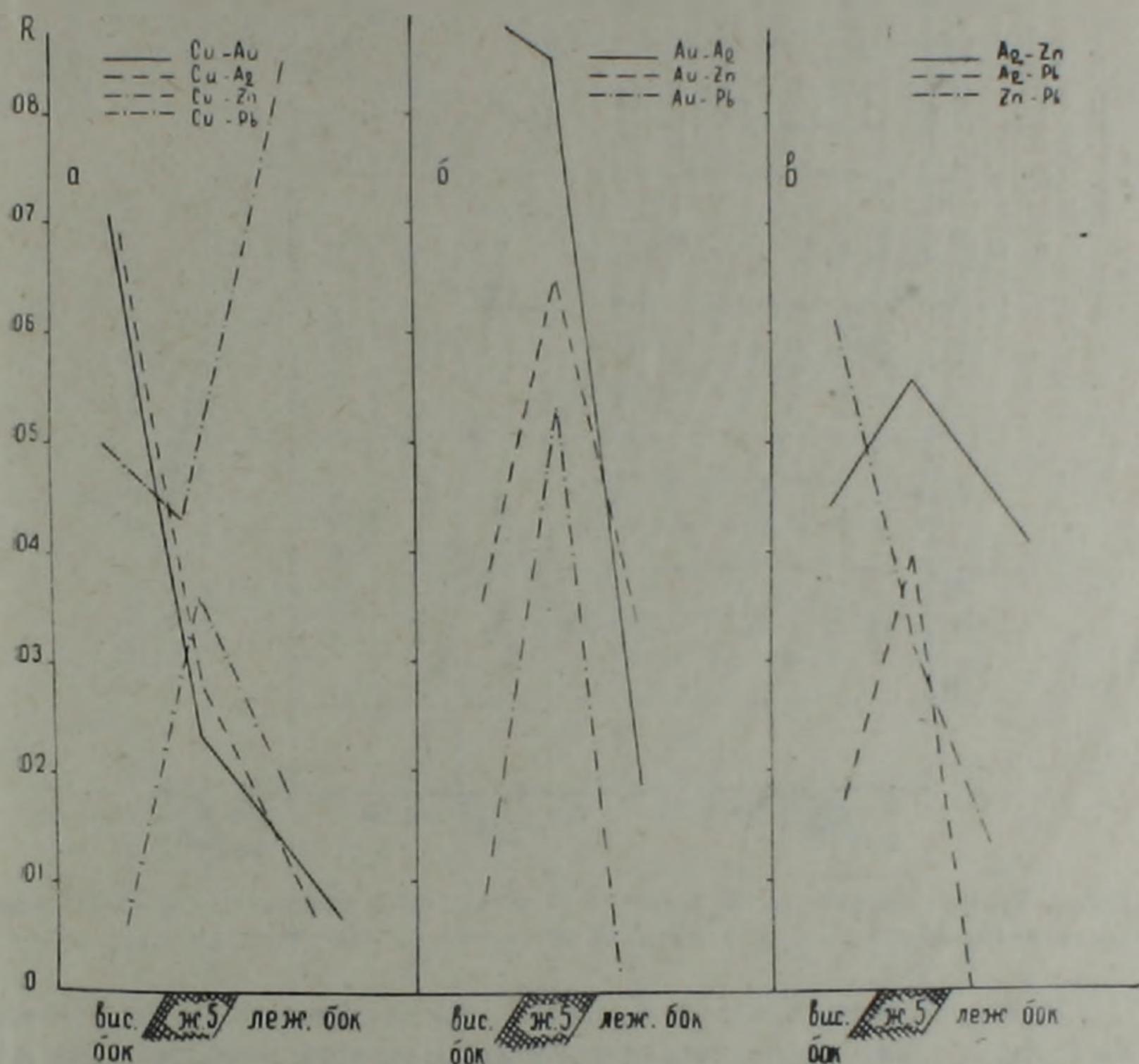


Рис. 1. Кривые корреляционной зависимости между содержаниями меди, золота, серебра, цинка и свинца в полиметаллических рудах жилы 5 Шаумянского месторождения

выборки, характеризующие жилу, прожилково-вкрапленную зону в призальбандовой полосе висячего и лежащего боков.

Между рассматриваемыми элементами обнаруживается, как правило, существенная положительная парная корреляционная связь (табл. 1). Ее наличие объясняется данными минералого-геохимических исследований.

Ниже рассматриваются особенности корреляционной связи между отдельными элементами в рудных телах №№ 5 и 11 (рис. 1 и 2).

Медь, как правило, находится в существенной корреляционной связи со всеми рассматриваемыми элементами. Этот факт объясняется

наличием на месторождении изоморфизма меди с *Au*, *Ag*, *Pb*, *Zn*, а также тесными структурно-текстурными и генетическими связями между собственными минералами этих элементов. Так, минералогическое изучение руд показало, что халькопирит и другие минералы меди из жилы наряду с изоморфной примесью золота и серебра содержат механические включения этих элементов—самородного серебра, золота, петцита, сильванита, гессита.

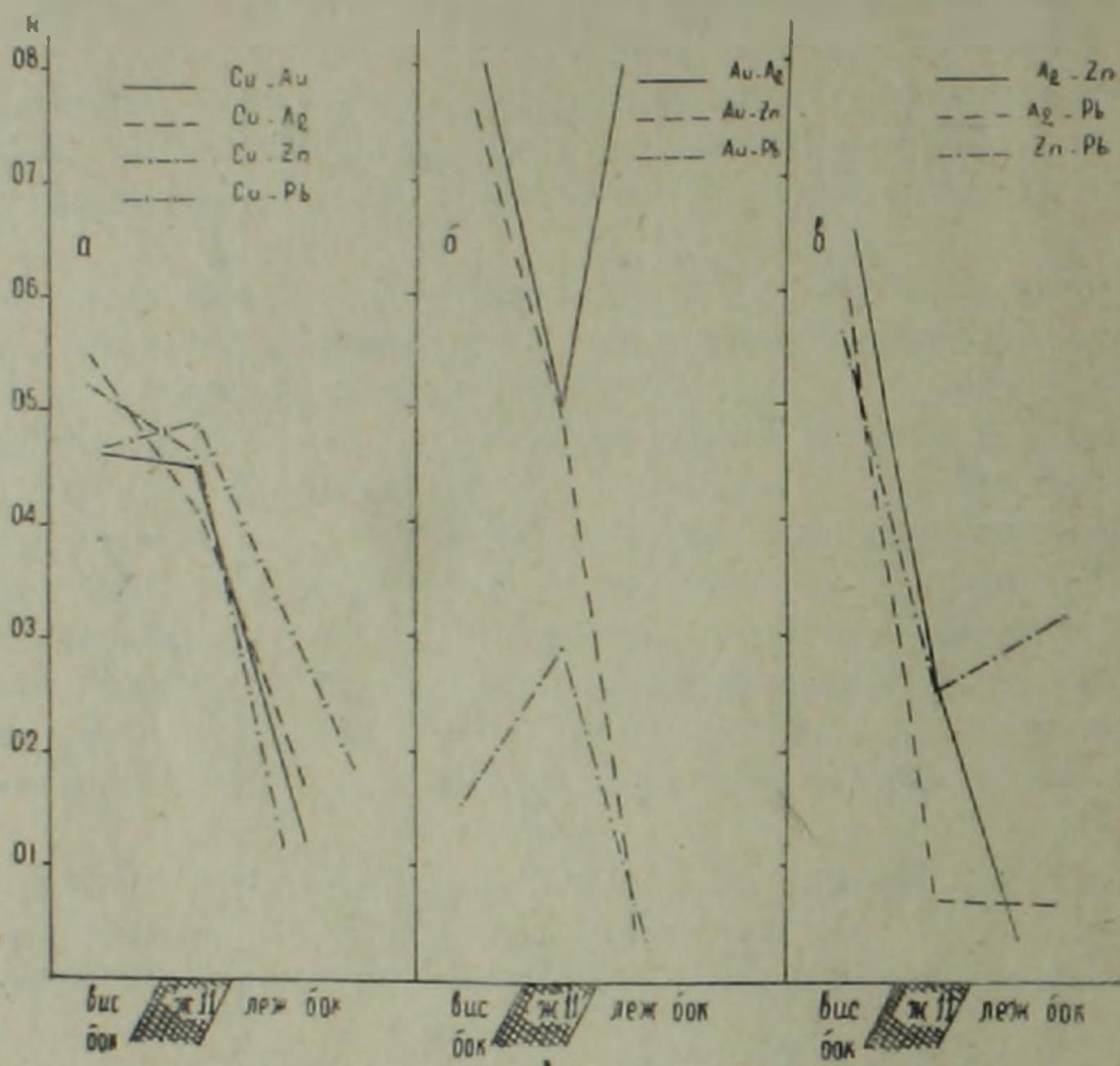


Рис. 2. Кривые корреляционной зависимости между содержаниями меди, золота, серебра, цинка и свинца в полиметаллических рудах жилы I Шаумянского месторождения.

Наряду с медью, корреляционные связи обнаруживаются между *Au* и *Ag*, а также этими металлами и *Zn*. При этом наиболее сильная корреляционная связь из всех рассмотренных пар элементов наблюдается между золотом и серебром, по причине наличия высокой степени изоморфизма между ними.

Содержания свинца коррелируют только с медью и цинком. Эта связь объясняется присутствием примеси свинца в халькопирите и сфалерите. Отсутствие корреляционной связи между свинцом, с одной стороны, и золотом и серебром—с другой, объясняется следующей спецификой минерального состава руд месторождения. Свинец на данном месторождении, как отмечено выше, широко распространен в виде галенита. Первая из указанных форм нахождения свинца не может обусловить непосредственные корреляционные отношения этого элемента с золотом и серебром. Высокая же степень компенсационного изоморфизма между свинцом и серебром, золотом, весьма распространенная в га-

Парные коэффициенты корреляции между содержаниями элементов  $R$  и критерии их значимости ( $t$ )

Число проб ( $n$ ) критерий	Ж и л а 11						Ж и л а 5					
	висячий бок		ж и л а		лежащий бок		висячий бок		ж и л а		лежащий бок	
	$n=52, t_T=2,0$		$n=56, t_T=2,0$		$n=52, t_T=2,0$		$n=28, t_T=2,05$		$n=32, t_T=2,02$		$n=24, t_T=2,06$	
	$R$	$t$	$R$	$t$	$R$	$t$	$R$	$t$	$R$	$t$	$R$	$t$
Пары элементов												
Cu—Au	0,46	3,6	0,45	3,6	0,12	0,85	0,63	4,14	0,23	1,3	0,15	0,7
Cu—Ag	0,5	3,7	0,41	3,3	0,16	1,1	0,68	4,7	0,28	1,6	0,15	0,7
Cu—Zn	0,5	3,7	0,46	3,6	0,04	0,28	0,48	2,8	0,43	2,6	0,86	2,39
Cu—Pb	0,47	3,6	0,49	3,6	0,27	1,98	0,08	0,41	0,36	2,11	0,21	1,0
Au—Ag	0,78	8,8	0,5	3,7	0,92	1,63	0,89	9,0	0,86	9,46	0,27	1,4
Au—Zn	0,71	7,1	0,49	3,6	0,03	0,22	0,37	2,0	0,15	0,99	0,37	1,8
Au—Pb	0,19	1,37	0,29	2,2	0,06	0,45	0,1	0,9	0,53	3,5	-0,1	0,4
Ag—Zn	0,63	5,7	0,27	2,1	0,05	0,36	0,46	2,9	0,56	3,8	0,47	2,5
Ag—Pb	0,51	3,7	0,07	2,0	0,07	0,49	0,17	0,9	0,40	2,3	-0,07	0,3
Zn—Pb	0,51	3,7	0,26	1,98	0,29	2,14	0,59	3,9	0,32	1,8	0,15	0,7

лените золото-полиметаллических, полиметаллических, свинцово-цинковой формаций руд, является причиной тесных корреляционных связей между этими элементами. Роль данного фактора в формировании количественных взаимосвязей свинца с золотом и серебром, вероятно, может зависеть от количественного соотношения указанных форм нахождения свинца в рудах. Таким образом отсутствие корреляционной связи между рассмотренными элементами можно объяснить весьма малым распространением на месторождении галенита.

В аспекте указанной возможной зависимости корреляционных отношений от минералогических особенностей руд весьма интересно рассмотрение изменения величины коэффициента парной корреляции в пространстве. Эти величины для одной и той же пары элементов отличаются в разных рудных телах и изменяются сложным образом по мощности рудных тел.

Несмотря на указанную сложность, весьма устойчиво наблюдается следующая закономерность. Наиболее сильные связи обнаруживаются в рудах из жил и призальбандовой части прожилково-вкрапленной зоны висячего бока. В аналогичных рудах лежачего бока, за редким исключением ( $Au-Ag$ , ж. II и  $Cu-Zn$ , ж. 5, табл. 1), величина коэффициента корреляции незначима.

Минералогические исследования показывают, что преобладающей формой нахождения элементов в прожилково-вкрапленных рудах являются их собственные минералы. Данное обстоятельство, возможно, является причиной различия корреляционных отношений элементов в массивных и прожилково-вкрапленных рудах, но не может объяснить принципиально разную силу корреляции в прожилково-вкрапленных рудах висячего и лежачего боков. Последнее, по-видимому, требует специальных минералогических исследований.

В заключение необходимо подчеркнуть следующее.

На Шаумянском золото-полиметаллическом месторождении между основными рудными компонентами— $Au$ ,  $Ag$ ,  $Cu$ ,  $Zn$ ,  $Pb$  обнаруживается значимая корреляционная связь, обусловленная минералого-геохимическими особенностями руд.

По степени корреляционной связи прожилково-вкрапленные руды висячего бока, массивные руды жил закономерным образом отличаются от прожилково-вкрапленных руд лежачего бока. Обнаруженная закономерность, ввиду минералогической природы корреляционной связи, свидетельствует об устойчивом различии взаимоотношений минералов—концентраторов изученных компонентов в различных частях рудных тел. Выяснение характера и причин указанного различия требует специального изучения.

Практическое значение данного исследования заключается в том, что выявленные корреляционные отношения позволяют по концентрациям одного компонента прогнозировать количество или количественное соотношение компонентов руд, анализ или опробование которых связано с методическими трудностями. При этом, достоверность такого

прогноза, в силу указанного выше изменения силы корреляционных связей, различна для отдельных частей рудных тел.

Институт геологических наук  
АН Армянской ССР

Поступила 13.IV. 1981.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Вистелиус А. Б. Мера связи между членами парагенезиса и методы ее изучения. ЗВМО, № 2, 1948.
2. Григорян С. В., Каблуков А. Д. Об использовании корреляционного анализа для интерпретации данных геохимического опробования. Геология рудных месторождений, № 4, 1965.
3. Зарьян Р. Н. О стадиях минерализации Кафанского медно-полиметаллического месторождения. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4—5, 1963.
4. Зограбян С. А. Положение Шаумянского месторождения в юрском вулканогенном комплексе южной Армении. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, т. XXXII, № 3, 1979.
5. Каждан А. Б., Гуськов О. И., Шиманский А. А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. Изд. «Наука», М., 1960.
6. Крамбейн Ф., Грейбилл. Статистические методы в геологии. М., 1969.
7. Магакьян Н. И., Карагулян С. О. Минеральные ассоциации и типы руд Шаумянского месторождения. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, т. XXXI, № 1, 1978.
8. Пароникян В. О. Корреляционные связи между содержаниями главных компонентов руд полиметаллических и свинцово-цинковых месторождений Армянской ССР. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 5, 1970.
9. Саркисян Р. А. Закономерности формирования рудовмещающих структур Кафанского рудного поля. Известия АН Арм. ССР, Науки о Земле, т. XXX., № 3, 1977.