

В. М. ГЕВОРКЯН

## ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ СУЛЬФИДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АРМЯНСКОЙ ССР

Рассмотрен характер изменения удельного электрического сопротивления, поляризуемости, плотности и магнитной восприимчивости окисленных руд и руд первичных образований с глубиной в зависимости от различных геологических факторов на рудных месторождениях Армянской ССР.

Особенностью верхних горизонтов рудных месторождений является то, что сульфидная минерализация рудных жил и зон в большинстве случаев подвергнута окислению. Окисление сульфидных руд обычно сопровождается резким преобладанием процессов растворения, вследствие чего для окисленных руд характерны пористые, друзовые, землистые и тому подобные текстуры [8].

Природа и механизм образования зон окисления сульфидных месторождений находят свое полное объяснение в работах [7, 8, 9] как последовательная и непрерывная цепь изменений рудного вещества, стремящегося принять наиболее устойчивые формы в условиях зоны окисления. Протекающие процессы в конечном итоге ведут к полному удалению серы и рассеянию некоторых других элементов, входящих в состав рудной массы.

Интенсивность окислительно-восстановительного процесса верхних горизонтов определяется, главным образом, содержанием в природных водах растворенного кислорода и разных химических элементов с переменной валентностью. При этом на месторождениях сульфидного оруденения основное значение имеют  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ;  $S^{2-}/S^{6+}$  и количество растворенного кислорода в рудничных водах [7].

Процесс окисления сульфидных руд приводит к образованию новых минералов и соединений, которые по физическим свойствам отличаются от их первичных гипогенных образований. В этих зонах в итоге окисления сульфидной руды обычного типа (с пиритом, халькопиритом, сфалеритом и галенитом) преобладающее значение имеют, в основном, окислы, гидроокислы, сульфаты и карбонаты. Кроме этого, в составе рудных зон окисления, не достигающих еще конечных стадий развития, встречается также то или иное количество сульфидов (остаточные гипогенные сульфиды) [8].

Учитывая это обстоятельство, нами предприняты попытки оценить особенности поведения основных физических параметров при переходе от зоны окисленных к зоне первичных рудоносных и рудовмещающих образований и установить определенную зависимость их в условиях рудных месторождений АрмССР.

В табл. 1 представлены результаты исследований физических свойств окисленных и первичных руд и вмещающих их пород в пределах медноколчеданных, медно-молибденовых, полиметаллических и кварц-сульфидных месторождений Армянской ССР. Исследования проводились в естественном залегании пород на поверхности (в канавах, шурфах) и в горных выработках путем параметрических наблюдений удельного электрического сопротивления ( $\rho$ ) и поляризуемости ( $\eta$ ), а также путем лабораторных измерений плотности ( $\sigma$ ) и магнитной восприимчивости ( $\chi$ ) образцов тех же петрографических образований. Судя по таблице, характер изменения физических свойств окисленных

руд по сравнению с их первичными образованиями выражается, в основном, уменьшением параметров поляризуемости (особенно значительное для рудных тел), магнитной восприимчивости и плотности. Особый интерес представляет поведение удельного электрического сопротивления. Изменение  $\rho$  для окисленных руд и рудовмещающих пород носит инверсионный характер. Для рудных тел процесс окисления приводит к увеличению электрического сопротивления, а для рудовмещающих пород наоборот—к уменьшению.

По результатам экспериментальных исследований (табл. 1) были введены переходные или поправочные коэффициенты, представляющие собой отношение значений физических параметров окисленных руд (пород) по каждому параметру к соответствующим значениям руд (пород) первичных образований. Судя по таблице, для параметров  $\eta$ ,  $\sigma$  и  $\rho$  окисленных руд, а также  $\rho$  рудовмещающих пород, значение поправочных коэффициентов меньше единицы; для окисленных руд больше единицы (инверсия электрического сопротивления). Причиной увеличения удельного сопротивления рудоносных образований является, в основном, окисление и растворение электроннопроводящих минералов пирита и халькопирита и относительное увеличение более высокоомных рудных и нерудных компонентов: гидроокиси железа, гетита, лимонита, малахита, азурита, церуссита и некоторых сульфатов и карбонатов. Часть растворимой массы по трещинам распространяется в околорудных породах и они становятся более проводящими.

Представляет интерес сопоставление результатов исследований физических свойств руд с глубиной, полученных на различных горизонтах медноколчеданных, полиметаллических и кварц-сульфидных месторождений (рис. 1) [1].

Анализируя данные, представленные в таблицах 1,2, можно отметить, что сравнительно высокие значения поляризуемости (8,5%) и плотности (2,83 г/см<sup>3</sup>) наблюдались для окисленных руд Анкадзорского месторождения меди (гор. шт. 54 и 52). Здесь первичная рудная масса представлена, в основном, пиритом и халькопиритом. Подчиненное значение имеют арсенопирит, сфалерит и борнит [4].

В процессе окисления пирита на верхних горизонтах месторождений образовались окислы и гидроокислы железа, которые в конечном итоге превращались в лимонит. Гораздо быстрее окисляется и растворяется халькопирит окисным железным сульфатом, давая сульфаты меди и железа. В частности, при окислении халькопирита довольно распространенным является также замещение последних халькозином (и лимонитом), купритом (и лимонитом). Куприт в дальнейшем переходит в окислы и гидроокислы меди, а последние—в малахит и подобные соединения [4,8].

При окислении руд пирит окисляется быстрее халькопирита и форсирует процесс окисления последних. Однако в пределах развития зоны окисления медноколчеданных месторождений помимо минералов зоны окисления (лимонит, малахит, азурит, халькозин, куприт) встречается также халькопирит, не подвергавшийся полному окислению. Этот факт установлен в результате минералогического анализа окисленных руд и можно констатировать, что сравнительно повышенное значение параметров  $\eta$  и  $\sigma$  обусловлено относительно высоким содержанием халькопирита в окисленной руде [3,4].

В окисленных рудах полиметаллических месторождений интерес представляет характер сульфидной минерализации. Ее особенность в том, что сфалерит принадлежит к числу наиболее легко окисляемых сульфидов и обладает исключительно низким потенциалом окисления, и поэтому окисление и растворение сфалерита, когда он находится в

## Физические свойства окисленных разностей и первичных руд и вмещающих их пород

№№ пп	Наименование горных пород и руд	Рудные минералы зон первичных образований	Рудные минералы зон окисленных руд	$\rho_{\text{окис.}}$	$\eta_{\text{окис.}}$	$\sigma_{\text{окис.}}$	$\chi_{\text{окис.}}$	Коэффициенты			
				$\rho_{\text{перв.}}$	$\eta_{\text{перв.}}$	$\sigma_{\text{перв.}}$	$\chi_{\text{перв.}}$	$K_p$	$K_T$	$K_\sigma$	$K_\chi$
1	Медноколчеданные рудные жилы и зоны (Анкадзор)	пирит, халькопирит, арсенопирит и др.	гидроокислы железа, гетит, лимонит, малахит, азурит, куприт, халькопирит и др.	75	8,5	2,83	12	2,2	0,5	0,9	0,7
				30	17,0	3,20	175				
2	Медно-молибденовые рудные зоны (Каджаран)	пирит, халькопирит, арсенопирит, молибденит и др.	ковеллин, молибденит и др.	250	2,5	2,57	24	1,3	0,2	0,9	0,8
				200	11,0	2,77	30				
3	Полиметаллические рудные зоны (Арманис)	пирит, халькопирит, сфалерит, галенит, и др.	гидроокислы железа, лимонит, малахит, галенит халькопирит и др.	220	4,6	2,59	128	1,8	0,5	0,9	0,5
				115	9,0	2,90	300				
4	Золоторудные зоны (Зод)	пирит, арсенопирит сфалерит, халькопирит	гидроокислы железа, гетит, лимонит, малахит и др.	145	2,2	2,61	20	1,4	0,2	0,9	0,7
				107	11,0	2,95	28				
5	Плагиоклазовые порфириты (Анкадзор)	пирит	гидроокислы железа	580	2,1	2,42	225	0,5	0,7	0,9	0,5
				1300	2,9	2,68	420				
6	Вторичные кварциты (Анкадзор)	—	—	650	1,5	2,45	17	0,5	0,6	0,9	1,0
				1400	2,5	2,70	17				
7	Гидротермально изм. породы (Арманис)	—	—	—	1,3	2,45	25	—	0,4	0,9	0,9
				—	3,6	2,63	28				
8	Габбро (Зод)	—	—	540	1,7	2,55	28	0,3	0,7	0,9	0,8
				1700	2,3	2,85	33				
9	Перидотиты (Зод)	—	—	170	1,0	2,35	1500	0,4	0,6	0,9	0,4
				250	1,6	2,59	3700				

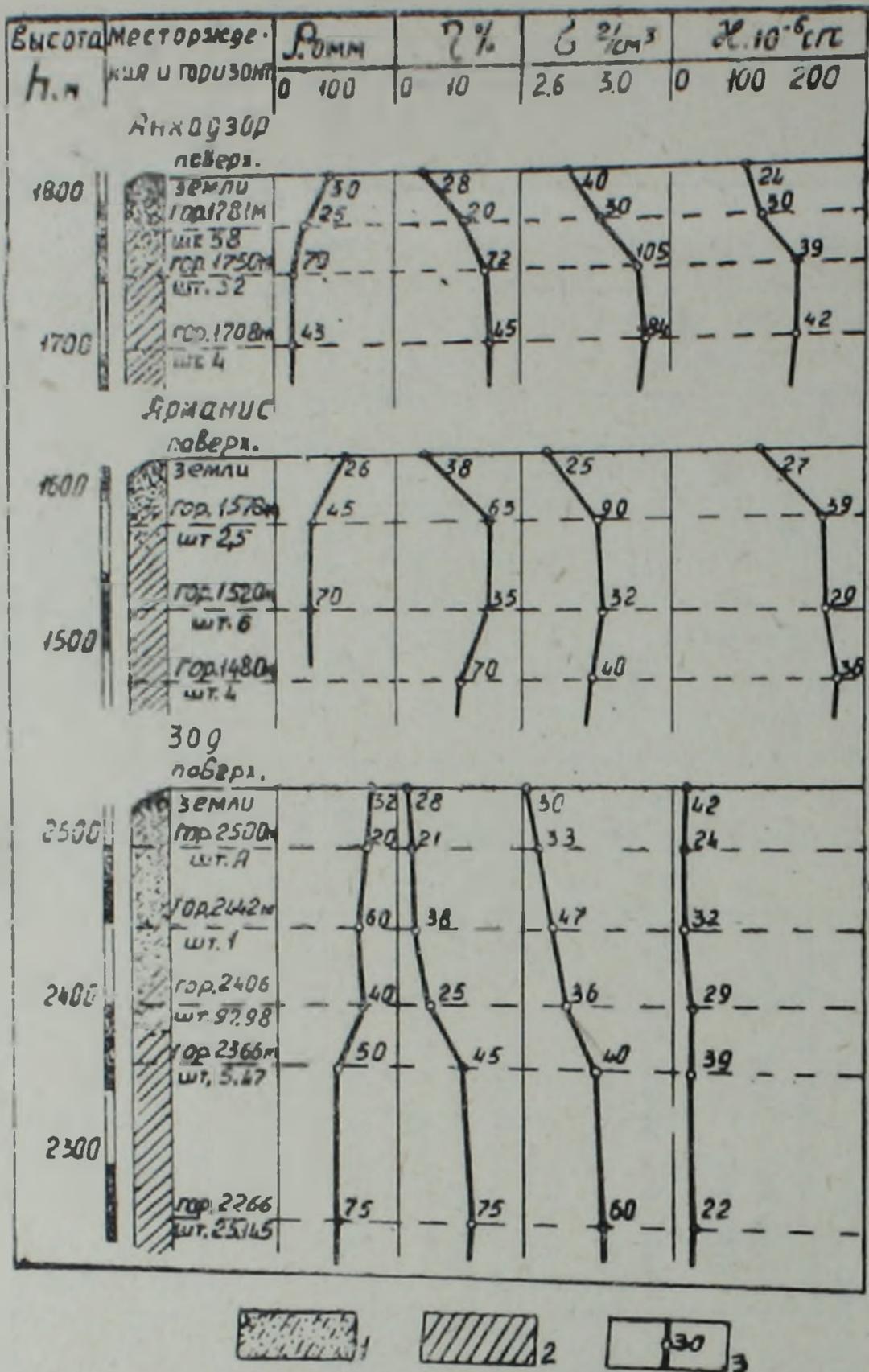


Рис. 1. Характер изменения физических свойств руд с глубиной на примере медных (Анкадзор), полиметаллических (Арманис) и кварц-сульфидных (Зод) месторождений АрмССР. 1—зона окисленных руд; 2—первичных руд; 3—количество определений по горизонту.

контакте с другими сульфидами, особенно с пиритом, имеющим высокие потенциалы, идет довольно быстрее, чем он окисляется в тех же условиях один. Полученный в результате окисления сфалерита цинковый сульфат обладает исключительно большой растворимостью и легко покидает окисляющийся сфалерит, и поэтому сфалерит окисляется одним из первых среди сульфидов полиметаллических образований [8,9].

Начальные стадии окисления галенита идут довольно быстро, хотя получающийся продукт сульфата свинца (англезит) в связи с ничтожной растворимостью, не удаляется и затрудняет доступ вод несущих кислород к еще неизменным частям скопления галенита, образуя своего рода защитную корку. Окисление халькопирита в присутствии галенита и сфалерита происходит в сравнительно меньшей степени, в результате чего даже на поверхности земли, в канавах и в шурфах этого типа месторождений, со скоплениями галенита, наблюдаются вкрапленники халькопирита, обуславливающие повышенные значения параметров  $\gamma$  и  $\sigma$ .

Достаточно интенсивное и глубокое проникновение окисленных зон характерно для Зодского и Меградзорского месторождений [4, 6]. На этих месторождениях зона окисления представлена почти полностью гидроокислами железа (гидрогетитом, гетитом, лимонитом), являющимися индикаторами зоны окисления.

На Меградзорском месторождении в окисленных рудных зонах гетит развивается при наличии халькопирита и имеет очень тонкую зонально-колломорфную структуру, в некоторых случаях в рудных зонах сохраняются реликты халькопирита. Часто гидроокислы железа развиваются на отдельных зернах пирита, замещая последние по многочисленным трещинам.

Таблица 2

Изменения параметров  $\rho$ ,  $\eta$  и  $\sigma$  рудных тел на различных горизонтах месторождений в зависимости от развития окисленных зон.

Горизонт в м	№ № штолен	Уд. электр. сопр.		Поляризуемость		Плотность	
		кол-во опр.	$\rho_{ср}$	кол-во опр.	$\tau_{ср}$	кол-во опр.	$\sigma_{ср}$
<b>Анкадзорское медноколчеданное месторождение</b>							
1820	поверх. земли	30	85	28	5,3	43	2,80
1781	54	25	60	20	12,0	30	2,95
1750	52	70	28	72	16,0	105	3,30
1708	4	43	35	45	18,0	84	3,55
<b>Арманисское полиметаллическое месторождение</b>							
1620	поверх. земли	28	220	38	4,0	10	2,58
1578	2,5	57	45	65	16,0	90	2,90
1525	6	32	70	35	15,0	35	2,83
1480	4	80	165	70	9,0	40	2,79
<b>Зодское кварц-сульфидное месторождение</b>							
2500	A	20	150	21	2,1	33	2,53
2447	1	60	130	8	2,4	47	2,58
2406	97,98	40	135	25	2,5	36	2,67
3366	5,47	50	100	45	10,6	40	2,85
2266	108 25,145	74	110	75	11,5	60	2,90
<b>Меградзорское кварц-сульфидное месторождение</b>							
2105	поверх. земли	18	155	16	0,8	20	2,45
2047	53	13	120	15	1,3	25	2,56
2011	52,54	20	76	22	12,0	30	2,65
1970	66	16	80	14	15,0	20	2,90
1930	55	36	95	35	13,2	53	2,78

Анализ проведенных исследований показывает, что установленные зависимости изменений физических параметров со степенью развития зоны окисленных руд и рудовмещающих пород позволяют оценить глубину развития последних сопоставлением результатов измерений параметров  $\rho$ ,  $\eta$  и  $\sigma$ . Так, для Зодского месторождения резкие различия этих параметров отмечаются (рис. 1) для глубины порядка 150 м (горизонты 2406 и 3366), для Меградзорского месторождения на глубине порядка 50—70 м (горизонты 2047 и 2011) и в пределах первых десятков метров (ниже горизонтов 1578 и 1781 м) для Арманисского и Анкадзорского месторождений. Эти данные полностью соответствуют геологическим данным о степени и глубине развития зон окисления упомянутых месторождений.

Определение взаимосвязи между физическими свойствами руд и физико-химическими условиями на различных горизонтах месторождения может способствовать получению дополнительных поисковых критериев, а установленная дифференциация физических свойств горных пород и руд на различных горизонтах месторождения должна учитываться при интерпретации наблюдений методов электроразведки и гравиразведки.

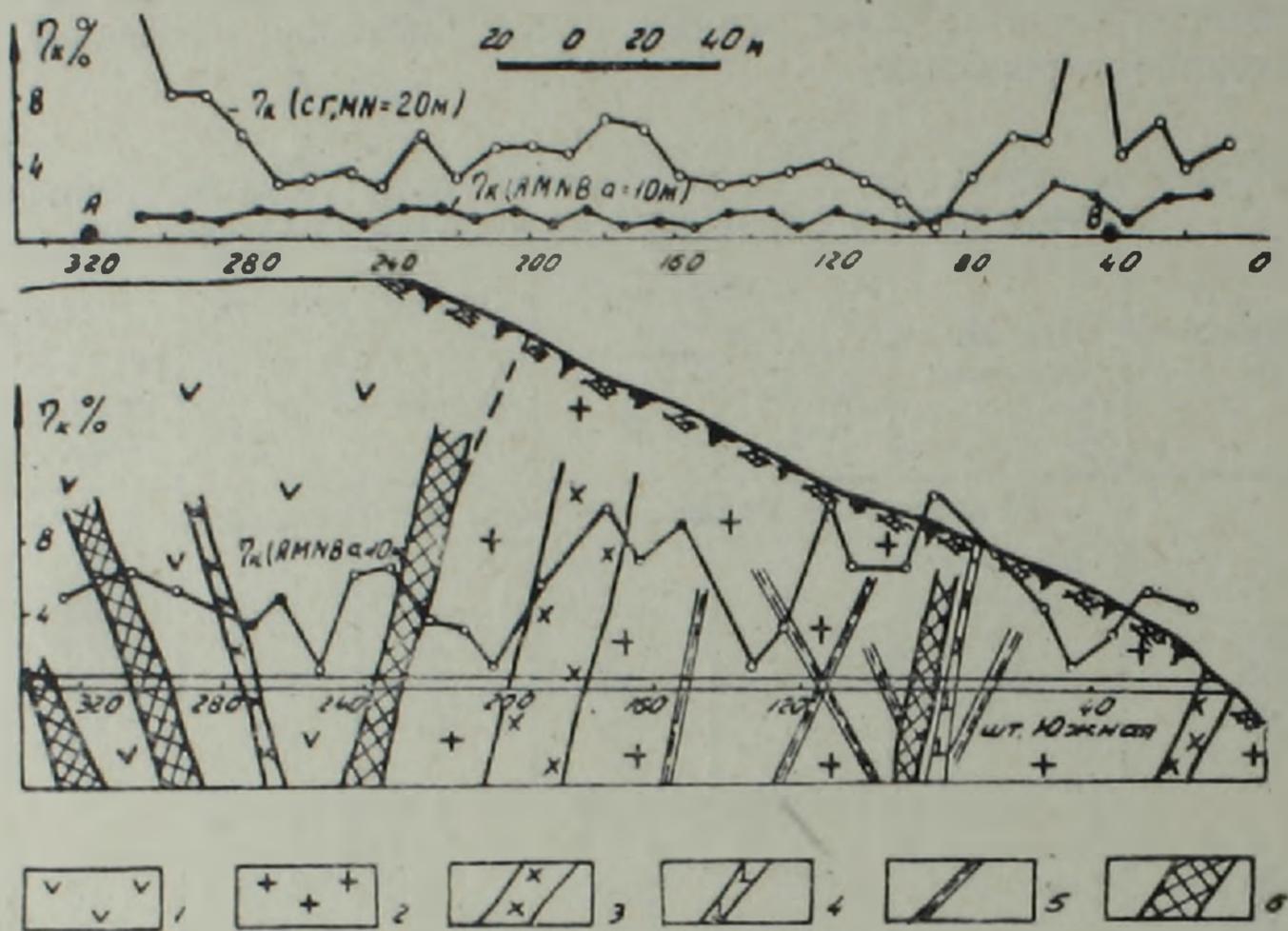


Рис. 2. Наблюдения методом ВП в зоне окисленных пород на поверхности земли и первичных образований в горных выработках. 1—порфиры, 2—гранодиориты, 3—диорит-порфириновые дайки, 4—диабаз-порфириновые дайки, 5—тектонические нарушения и трещины, 6—зоны медно-молибденового оруденения.

Иллюстрацией высказанного положения могут служить наблюдения методом вызванной поляризации по стволу штольни «Южная» и на поверхности медно-молибденового месторождения (рис. 2), который позволяет представить общую характеристику геоэлектрического разреза и выделить известные зоны оруденения. При подземных измерениях вне зоны окисления получены достаточно четкие характеристики. При поверхностных наблюдениях по оклону горы кривая  $\tau_k$  при работе симметричного электропрофилеирования AMNB, AB=30 м представляет собой весьма пологую линию, т. к. глубина наблюдений не превышала мощности окисленных и выветренных зон. С увеличением глубины исследований установки срединного градиента AB=280 м соответственно увеличивается интенсивность поля ВП, которая приближается к значениям наблюдений ВП в горной выработке. В этом случае глубина исследований уже превышала мощность окисленной зоны, что и сказалось на результатах.

Аналогичные исследования методами ВП и естественного электрического поля вне зоны окисленных руд по стволу шт. 54 медноколчеданного месторождения (рис. 3) показали, что аномальное значение кривой  $\tau_k$  по схеме градиента AB=240 м и  $u$  в интервале 115—165 м с интенсивностью в 30% и 250 мВ обусловлено известными рудными телами. При исследовании на поверхности земли в пределах окисленных и выветренных пород и руд над шт. 54 по той же установ-

лено, что интенсивность аномальных значений, а также нормального поля ВП уменьшается примерно в 1,5—2 раза, а график наблюдений методом ЕП представляет собой спокойную линию, не отражающую наличия известных рудных тел.

Резюмируя все вышесказанное, можно констатировать, что породы и руды окисленных зон существенно отличаются по физическим свойствам от их первичных образований. Величина расхождения физических параметров окисленных и первичных образований зависит от степени окисления.

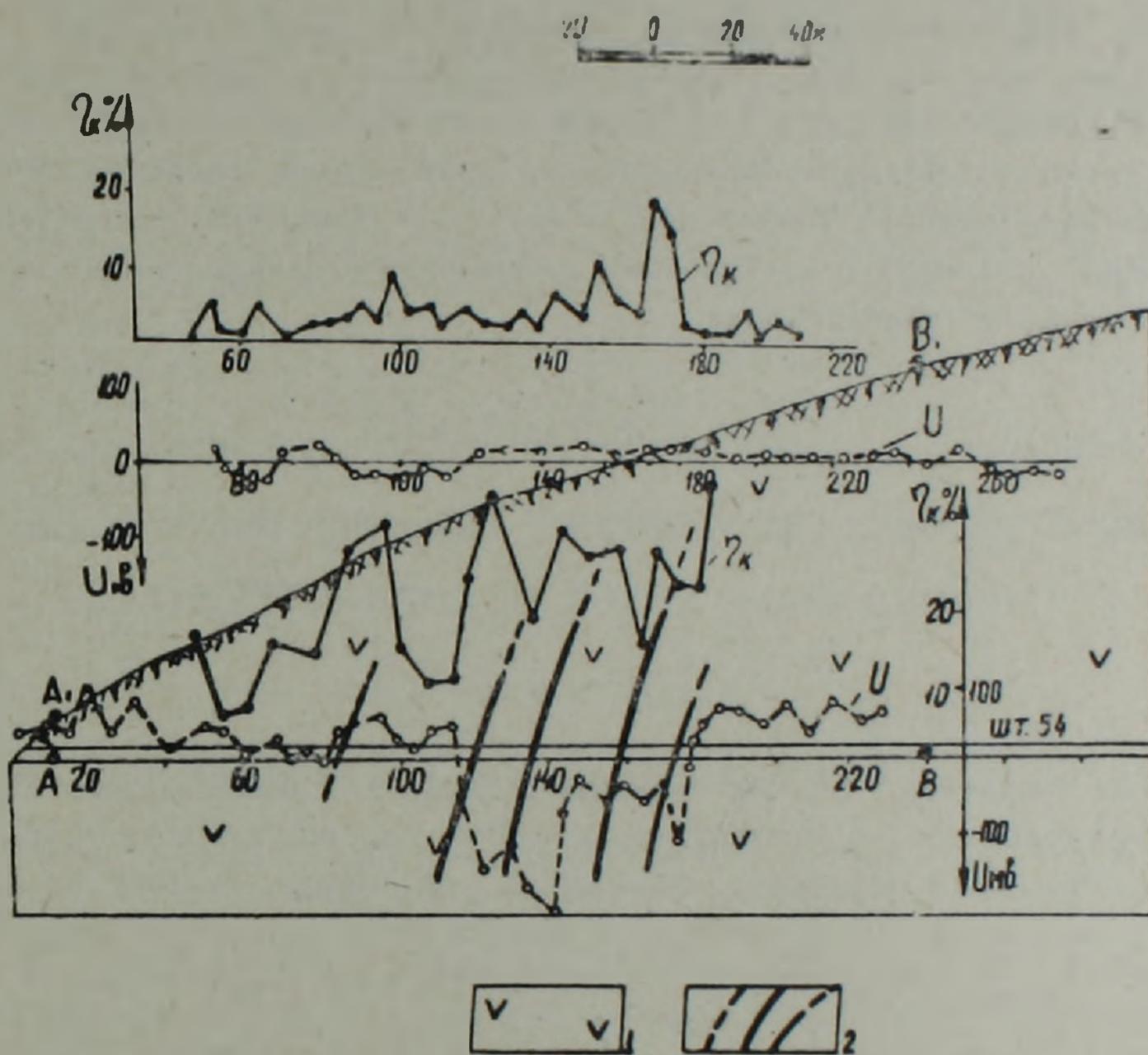


Рис. 3. Наблюдения методом ВП и ЕП в зоне окисленных пород на поверхности земли и первичных образований в горных выработках [2]. 1—плагноклазовые порфиры, 2—медноколчеданные рудные жилы.

В результате окисления поляризуемость и плотность руд резко понижается. Относительная дифференциация между рудными телами и рудовмещающими породами в пределах зоны окисления медноколчеданных и полиметаллических месторождений по физическим свойствам низкая, а на кварц-сульфидных месторождениях почти отсутствует. Здесь наблюдается слабая дифференциация по удельному электрическому сопротивлению.

При проведении геофизических исследований с поверхности, необходимо предварительно установить мощность зоны окисленных руд, и в соответствии с этим выбрать методику геофизических наблюдений для исследования горизонтов месторождений под зоной окисления.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ՄԵՏԱՂԱՅԻՆ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ՍՈՒՆԻԴԱՅԻՆ  
ՀԱՆՔԱՅՆԱՑՈՒՄՆԵՐԻ ՕՔՍԻԴԱՑՄԱՆ, ԶՈՆԱՅԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ  
ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հոդվածում բերված են մետաղային հանքավայրերի առաջնային և օքսիդացված հանքանյութերի տեսակարար էլեկտրական դիմադրության, հարուցված բևեռացման, խտության և մագնիսական դժայունակության ուսումնասիրման արդյունքները բնական տեղադրման պայմաններում: Բնութագրված է Հանքածորի պղնձի, Արմանիսի բազմամետաղային, Զոդի և Մեղրածորի քվարց-սուլֆիդային հանքավայրերի օքսիդացման զոնաների ֆիզիկական հատկությունների փոփոխություններն ըստ խորության՝ կախված որոշ հանքային միներալների օքսիդացման աստիճանից և օքսիդացմանը նպաստող երկրաբանական գործոններից:

V. M. GUEVORKIAN

THE ARMENIAN SSR ORE DEPOSITS SULPHIDE MINERALIZATIONS  
OXIDIZED ZONE PHYSICAL CHARACTERISTICS

Abstract

The Armenian SSR ore deposits primary and oxidized ores specific electrical resistance, polarizability, density and magnetic susceptibility changes by depth depending on various geological factors are considered.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бадалян С. В., Геворкян В. М. Об изменении электрических свойств горных пород и руд на рудниках в зависимости от геологических факторов.—Изв. АН АрмССР, «Науки о Земле», № 1, 1972, с. 97—102.
2. Бадалян С. В., Гамоян В. Б., Геворкян В. М., Овсепян Р. В., Арутюнян Г. В., Фиданян Ф. Н., Гарибян З. В. Применение методов подземной геофизики на месторождениях меди Армянской ССР.—В кн: Подземная геофизика при поисках и разведке минерального сырья. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1983, с. 135—143.
3. Геворкян В. М., Бадалян С. В. Физические свойства зоны окисления сульфидных руд на месторождениях Армянской ССР.—В кн: Материалы республиканской конференции молодых геофизиков ИГИС АН АрмССР. Ленинакан: 1977. с. 29—30.
4. Геворкян Г. М., Гольденберг Г. И. О геологическом строении и перспективах медного оруденения Анкадзорского рудного поля.—Изв. АН АрмССР, «Науки о Земле», 1972, № 1, с. 57—67.
5. Геология Армянской ССР, том. 6. Металлические полезные ископаемые. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1967. 540 с.
6. Матевосян С. М., Мадатян Э. М. Некоторые вопросы зоны окисления Зодского золоторудного месторождения.—Изв. АН Арм. ССР, «Науки о Земле», 1969. № 3, стр. 62—68.
7. Свешников Г. Б. Электрохимические процессы на сульфидных месторождениях. Л.: Изд. Ленинградского университета, 1967. 160 с.
8. Смирнов С. С. Зона окисления сульфидных месторождений. М.: Изд. АН СССР, 1955. 330 с.
9. Чухров Ф. В. Зона окисления сульфидных месторождений степной части Казахстана. М.: Изд. АН СССР, 1950. 151 с.