

## ТИПИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОКИСЛЕННЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРМЕНИИ

© 1996 г. П. Г. Алоян

*Институт «Армипроцветмет» Министерства промышленности РА  
375010 Ереван, ул. Корюна 14, Республика Армения  
Поступила в редакцию 9.07.96.*

В статье впервые предпринята попытка промышленной типизации и технологической оценки окисленных руд месторождений Армении. Установлена определенная минералогическая специализация природных разновидностей окисленных руд в зависимости от формационной принадлежности и морфогенетических особенностей месторождения. Критерий выделения, типизация и сортировка окисленных руд имеют формационно-технологическую основу.

В современной практике горнорудного производства при промышленной типизации руд выделяются сульфидные и окисленный геолого-технологические типы. Промышленная типизация сульфидных руд проводится на формационно-технологической, горнотехнической и экономической основе, что дает возможность определить оптимальную схему обогащения, номенклатуру товарной продукции, выбор способов рудоподготовки, режимов дробления и флотации [3]. Промышленная типизация окисленных руд до сих пор не проводилась. Окисленный тип руд выделяется по степени окисления основного (или основных) полезного компонента без учета характерной ассоциации основных окисленных минералов, их количественного соотношения и технологических сортов. Общее определение «окисленные руды» не дает представления об их формационной принадлежности и тем самым лишает оптимального технологического тестирования. Это отрицательно сказывается на эффективности использования окисленных руд, т. к. окисленные разновидности руд «сваливаются» в единую кучу без соответствующей сортировки.

В настоящей статье сделана первая попытка промышленной типизации и сортировки природных разновидностей окисленных руд на формационно-технологической основе с целью повышения полноты освоения недр.

При выделении промышленных разновидностей и технологических сортов окисленных руд мы в основном исходим из формационной принадлежности месторождения, парагенезиса основных окисленных минералов, их количественного соотношения, а также технологической схемы переработки. В данном случае горнотехнические возможности и экономика горнорудного производства не имеют существенного значения, т. к. природная (минеральная) разновидность тестируется технологически с выходом на промышленную разновидность и сортность или отбраковывается. При оценке промышленных разновидностей окисленных руд важное значение имеет фациальная характеристика поверхностного слоя месторождения или рудного поля (в особенности при ведении вскрышных работ). В любом случае окисленные руды требуют их селективной добычи, сортировки и отдельного складирования, а в большинстве случаев и селективной переработки. Поэтому промышленная типизация окисленных руд с выделением технологических сортов так же важна, как и выделение геолого-технологических и промышленных типов сульфидных руд.

Многолетние детальные исследования показали, что критерием

выделения окисленных руд может служить степень окисления основного (или основных) полезного компонента: для однокомпонентных медных руд—степень окисления меди, для двухкомпонентных медно-молибденсвых руд—степень окисления меди и молибдена, для многокомпонентных золотополиметаллических руд—степень окисления цинка или свинца (при отсутствии меди), для собственно золоторудных—степень «лимонитизации», а в редких случаях—степень окисления железа. Следовательно, критерий выделения окисленных руд предопределяется формационной принадлежностью месторождения. Степень окисления выражается отношением окисленной части полезного компонента к общему его количеству, выраженному в процентах.

Методика оконтуривания окисленных руд на месторождениях различных морфогенетических типов разная и заключается в нанесении показателей степени окисления полезных компонентов на продольные проекции рудных тел (на месторождениях жильного типа) или разрезы (на месторождениях штокверкового типа). Верхняя граница окисленных руд проводится по результатам опробования поверхностных горных выработок. На месторождениях жильного типа нижняя граница окисленных руд проводится между двумя разведочными горизонтами интерпретацией количества окисленных и сульфидных минералов или степени окисления соответствующих компонентов, а на месторождениях штокверкового типа используются результаты анализа керна буровых скважин. Процессы гипергенеза наиболее интенсивно развиты на месторождениях прожилково-вкрапленного (штокверкового) морфологического типа.

В зависимости от геолого-структурных условий месторождения переход окисленных руд в сульфидные может быть резким или постепенным (рассеянным). В последнем случае между окисленными и сульфидными рудами по результатам фазового анализа выделяются так называемые «смешанные» руды, занимающие промежуточное положение. Они обычно перерабатываются в шихте с сульфидными рудами.

Сводные данные по типизации и технологической оценке окисленных руд приводятся в таблице 1. Характерно, что наблюдается минералогическая специализация разновидностей окисленных руд в зависимости от формационной принадлежности месторождения.

Меднорудная формация Армении представлена месторождениями жильного (Капан, Алаверди, Шамлуг) и штокверкового (Личк) морфологического типа. Зона окисления наиболее хорошо развита на Личкском месторождении [6]. Окисленные руды здесь представлены в основном лимонитом и малахитом, реже присутствуют гетит, азурит, куприт, тенорит, значительно реже—повеллит, ферримолибдит, хризоколла и др. Эти минералы образуют прожилки, корочки, налеты, примазки и землистые охристые массы. Глубина зоны окисления составляет в среднем 40 м при степени окисления от 20 до 80—90%. Окисленные руды Личкского месторождения относятся к лимонит-малахитовой природной разновидности. Технологические исследования показали, что устанавливается четкая зависимость извлечения меди от степени ее окисления в руде. Извлечение резко падает при степени окисления меди более 15—20%. При степени окисления 20—50% достигается извлечение меди флотационным методом до 80%, а при окислении свыше 50% происходит снижение извлечения меди до 53%, при окислении 80—90% извлечение меди составляет всего 35% (табл. 1). С увеличением степени окисления и снижении извлечения резко падает содержание меди в обогащенном продукте. Геотехнологические исследования показали, что из таких окисленных

руд медь эффективно извлекается методом кучного выщелачивания (Бабаджанян, 1989). При содержании меди в окисленной руде 0,6% и степени ее окисления свыше 50% сернокислотным выщелачиванием в раствор извлекается до 72,5%, а из раствора в цементационную медь—до 96% меди при содержании в цементе до 90%.

Таким образом, по степени окисления и технологической оценке на Личкском месторождении выделяются два технологических сорта лимонит-малахитовой разновидности руд. При степени окисления от 20 до 50% они могут перерабатываться в шихте с сульфидными рудами флотационным методом, а при степени окисления меди свыше 50% рекомендуется окисленные руды перерабатывать кучным выщелачиванием. Не исключается кучное выщелачивание обоих сортов [2].

Наиболее интенсивно и выдержанно процессы окисления развиты на месторождениях медно-молибденовой формации штокверкового типа (Каджаран, Агарак, Техут). Известна химическая активность меди по сравнению с молибденом в процессе окисления [5]. Поэтому в слабоокисленных рудах молибден остается почти нетронутым. С углублением процесса окисления, как правило, следовало бы ожидать опережения окисленных медных минералов по сравнению с молибденовыми. Однако, как показывает фактический материал, такое соотношение не всегда выдерживается [4]. Степень окисления меди и молибдена на различных месторождениях разная. Эти различия обусловлены в основном геолого-структурными и минералогическими факторами: в особенности от многообразия минерального состава, содержания и агрегатного состояния рудообразующих минералов, а также миграционной способности металлов в виде растворимых форм и др. Например, на Каджаранском месторождении молибденит образует крупночешуйчатые агрегаты и окисляется лишь с поверхности, образуя точные каемки повеллита, обуславливая тем самым низкую степень окисления, но плохую флотуемость руд, т. е. низкую извлекаемость полезного компонента. Это так называемые «упорные» руды. Для мелковкрапленных руд Агаракского месторождения процессы окисления проникают глубже и поэтому здесь степень окисления выше. Этим объясняется тот факт, что количество «упорных» руд на Агаракском месторождении значительно (почти в 2—3 раза) меньше, чем на Каджаранском месторождении. Кроме того, наличие пирита в первичных рудах способствует интенсификации процессов гипергенеза. Так зона окисления Техутского месторождения четко контурируется визуально по рыжему цвету; в связи с наличием большого количества пирита в сульфидных рудах интенсивно каолинизированные и кварц-слюдисто-карбонатные породы доведены до трухи. Следует отметить, что на месторождениях медно-молибденовой формации четкой корреляционной связи между степенью окисления меди и молибдена не устанавливается. Окисление только медных или только молибденовых минералов достаточно для выделения окисленного типа руд. Поэтому при выделении последних можно руководствоваться степенью окисления одного из них. Достоверность такого учета степени окисления подтверждают экспериментальные данные. Технологические исследования по извлечению меди и молибдена из различной степени окисленных руд показали, что наблюдается резкое падение извлечения полезных компонентов в интервале окисления меди 15—20%, а молибдена—свыше 6% (Луценко, Тагворян, Алоян, 1983). Эти показатели являются исходными при выделении окисленных руд на месторождениях медно-молибденовой формации. Они апробированы при утверждении запасов в ГКЗ СССР.

**Типизация и технологическая оценка окисленных руд месторождений Армении**

Сформация, основной металл	Месторождение	Природная (минералогическая) разновидность	Степень окисления (сортированность) %	Технология переработки			Промышленная разновидность окисленных руд, схема переработки
				Флотация	Выщелачивание	Гр+Ф+Ц	
Медно-рудная (Cu)	Лячк	Лимонит-малахитовая	$O_K = 20-50$	$\alpha = 0,6-0,7$ $\varepsilon = 71,7-80,0$ $\beta = 10,0-14,0$	-	-	Лимонит-малахитовая. Шихта с сульфидными рудами
			$O_K = 50-90$	$\varepsilon = 53,0-35,0$ $\beta = 11,0-6,1$ $\alpha = 0,45$	$\alpha = 0,6$ $\beta = \text{до } 90,0$ $\varepsilon_{\text{рас}} = 72,5$ $\varepsilon_{\text{при}} = 96,0$	-	Кучное выщелачивание
Медно-молибденовая (Cu, Mo)	Каждаран	Лимонит-малахит-повелит-ферримолибдитовая	$O_K = 15-20$ (смешанные)	$\varepsilon_{\text{Cu}} = 68,0-69,0$ $\varepsilon_{\text{Mo}} = 70,0-72,0$	-	-	Лимонит-малахит-повелит-ферримолибдитовая. Шихта с сульфидными рудами.
			$O_K > 20,0$	$\alpha_{\text{Cu}} = 0,27$ $\alpha_{\text{Mo}} = 0,016$ $\varepsilon_{\text{Cu}} = 21,1$ $\varepsilon_{\text{Mo}} = 42,1$ $\beta_{\text{Cu}} = 2,5$ $\beta_{\text{Mo}} = 0,2$	-	-	Шихта с сульфидными рудами - 1:9 или 2:8
			$O_K > 60,0$	-	$\alpha_{\text{Cu}} = 0,3$ $\varepsilon_{\text{Cu рас}} = 90,0$ $\varepsilon_{\text{Cu при}} = 95,0-96,0$ $\beta_{\text{Cu}} = \text{до } 90,0$ $\varepsilon_{\text{Cu}} = 0,01$ $\beta_{\text{Mo}} = 80,0$	-	Кучное выщелачивание
	Агарак	Лимонит-малахит-гидрогематитовая	$O_K = 20-50$	$\alpha_{\text{Cu}} = 1,5$ $\alpha_{\text{Mo}} = 0,017$ $\varepsilon_{\text{Cu}} = 48,7$ $\varepsilon_{\text{Mo}} = 83,3$ $\beta_{\text{Cu}} = 6,2$ $\beta_{\text{Mo}} = 0,15$	$\varepsilon_{\text{Cu рас}} = 54,0$ $\varepsilon_{\text{Cu при}} = 93,0-97,0$ $\beta_{\text{Cu при}} = 80,0$ $\alpha_{\text{Mo}} = 0,007$	-	Лимонит-малахит-гидрогематитовая. Кучное выщелачивание.
	Техут	Лимонит-малахит-гетитовая Бирюзоносная	$O_K = 20$ и более	$\alpha_{\text{Cu}} = 0,2$ $\alpha_{\text{Mo}} = 0,01$ $\varepsilon_{\text{Cu, Mo}} = 10,0-20,0$	-	-	Промышленная разновидность не выделяется. Бирюзоносные породы.
Золото-полуметаллическая (Au, Ag)	Мардигет	Лимонит-малахит-купритовая	$O_K = 15-20$ (смешанные)	-	-	Гр+Ф $\alpha_{\text{Au}} = 3,6 \text{ г/т}$ $\varepsilon_{\text{Au}} = 89,5$ $\beta_{\text{Au}} = 37,7 \text{ г/т}$	Лимонит-малахит-купритовая. Шихта с сульфидными рудами АрЗИФ 1:5 и >
			$O_K = 40-50$	-	-	Гр+Ф $\alpha_{\text{Au}} = 9,2 \text{ г/т}$ $\varepsilon_{\text{Au}} = 88,3$ $\beta_{\text{Au}} = 79,2 \text{ г/т}$	
		Лимонит-дерусит-англезит-смитсонитовая		Пока нет технологии			Промышленная разновидность пока не выделяется
	Тертерасар	Лимонит-дерусит-пломбозит-скородитовая	$O_K = 25-30$	-	-	Гр+Ф $\alpha_{\text{Cu}} = 0,35$ $\alpha_{\text{Au}} = 20,5 \text{ г/т}$ $\alpha_{\text{Ag}} = 72,7 \text{ г/т}$ $\varepsilon_{\text{Au}} = 90,0-92,0$ $\varepsilon_{\text{Ag}} = 92,0$	Лимонит-дерусит-пломбозит-скородитовая. Не шихтовать с сульфидными рудами, селективная переработка.
$O_K = 50-52$			-	-	Гр+Ф+Ц $\alpha_{\text{Au}} = 22,5 \text{ г/т}$ $\varepsilon_{\text{Au}} = 86,5$ $\beta_{\text{Гр}} = 216 \text{ г/т}$ $\beta_{\text{Ф}} = 60,4 \text{ г/т}$	Гр+Ф+Ц	

Примечание:  $\alpha$  - содержание в руде, % г/т;  $\varepsilon$  - извлечение в концентрат, %;  $\beta$  - содержание в концентрате, %;  $O_K$  - степень окисления, %; Гр - гравитация; Ф - флотация; Ц - цианирование.

На Техутском месторождении, как уже было отмечено, зона окисления хорошо выражена и прослеживается на глубину до 100—120 м (в среднем 70 м). Она сложена в основном лимонитом и гетитом. В виде налетов местами наблюдаются малахит, гидрогематит, азурит, куприт, ярозит, повеллит и ферримолибдит. Окисленные руды Техутского месторождения относятся к лимонит-малахит-гетитовой природной разновидности и содержат промышленные запасы бирюзы. Вторичные сульфиды меди и первичные минералы меди и молибдена очень редки. По данным фазовых анализов, в зоне окисления Техутского месторождения 50—60% меди и молибдена представлены окисленными формами при среднем содержании меди 0,2% и молибдена 0,01%. Переход окисленных руд в сульфидные резкий. В основании зоны лежит прослой водонепроницаемых каолинизированных образований. Зона вторичного сульфидного обогащения проявляется фрагментарно. Из окисленных руд в коллективный флотационный концентрат извлекается не более 10—20% меди и молибдена (Тагворян, Даниелян, 1989), что обусловлено низким содержанием полезных компонентов, высокой степенью окисления и дисперсной фазой проявления окисленных минералов. Эти данные свидетельствуют о том, что породы зоны окисления Техутского месторождения не могут быть сырьем для получения меди и молибдена и поэтому промышленная разновидность этих руд не выделяется. Они рассматриваются как бирюзоносные породы.

Сравнительно слабо затронуты гипергенезом руды Каджаранского и Агаракского месторождений. Зона окисления развита слабо, но характеризуется постоянным присутствием гидроокислов железа. Широко развиты также малахит, лампадит; менее распространены медно-марганцевые смоляные руды, азурит и ярозит. Редко наблюдаются куприт и гипс, а на Каджаранском месторождении—смитсонит и церуссит. На Каджаранском месторождении продукты окисления молибдена представлены повеллитом и ферримолибдитом, тогда как на Агаракском месторождении повеллит встречается очень редко. Это, по-видимому, объясняется тем, что воды Каджарана существенно карбонатные, а на Агараке они характеризуются непостоянным составом—от сульфидного до карбонатного [1]. На Каджаранском месторождении на разных участках штокверка матрица окисления различна: на северо-западе и северо-востоке—мелковкрапленная магнетитовая минерализация, на западе—преимущественно молибденовые руды, а на востоке—преимущественно медные руды в зонах аргиллитизации и гипсования. Этими отличиями коренных пород обусловлены минералогические особенности зоны окисления: преимущественная лимонитизация на западе, малахитизация на востоке и повеллитизация по молибденовым рудам на западе. Окисленные руды месторождения относятся к лимонит-малахит-повеллит-ферримолибдитовой природной разновидности. Нижняя граница зоны окисления имеет извилистый характер и проникает в среднем на глубину 30—50 м, в отдельных случаях «языки» проникают до глубины 200 м. Среди окисленных руд Каджаранского месторождения по степени окисления выделяются три технологических сорта (табл. 1). На Агаракском месторождении скорость эрозийного среза чрезвычайно велика и процессы эрозии часто опережают процессы окисления и выщелачивания. В целом зона окисления развита крайне неравномерно при средней мощности 20—25 м. В отличие от каждаранских руд, здесь развита лимонит-малахит-гидрогематитовая природная разновидность, которая тестируется технологически в одну промышленную разновидность и один тех-

нологический сорт. Технологические исследования показали, что из смешанных каджаранских и агаракских руд в коллективный флотоконцентрат извлекаются в среднем 68—69% меди и 70—72% молибдена, что близко к технологическим показателям сульфидных руд (Луценко, Пашовкин, Арутюнян, 1983). Поэтому смешанные руды этих месторождений перерабатываются в шихте с сульфидными рудами в соответствующей пропорции (1:5 или более). В настоящее время окисленные руды в основном добыты. Некоторая часть запасов каджаранских руд при степени окисления более 20% переработаны в шихте с сульфидными рудами в отношении 1:9 или 2:8, а остальная часть вместе с сильно окисленными рудами вывезена в отвал для кучного выщелачивания. Окисленные руды Агаракского месторождения также вывезены в отвал и отдельно складированы для их дальнейшей переработки кучным выщелачиванием или для иного использования в народном хозяйстве. Кучное сернокислотное выщелачивание обеспечивает сквозное извлечение меди из каждаранских окисленных руд 86% при ее содержании в цементе 90%, а из агаракских—соответственно 51 и 80% (табл. 1) (Сатин, Гукасян, 1959; Арамян, 1960, 1978).

На месторождениях золото-полиметаллической формации основными ценными компонентами являются золото и серебро, которые слабо подвергаются окислению и по ним трудно судить о наличии на месторождении окисленных руд. На золоторудных месторождениях о наличии окисленных руд можно судить по окислению пирита. В настоящее время на этих месторождениях окисленный тип выделяется по степени окисления железа. Как показывают результаты исследований, такой подход может быть ошибочным, т. к. определенное фазовым анализом окисленное железо включает не только железо окисленного пирита (лимонита, гетита и т. д.), а также железо гипогенного магнетита, особенно гематита и даже пирротина. Последние часто встречаются в рудах этой формации. Ошибочным может быть и определение степени окисления руд по содержанию сульфатной серы, т. к. водорастворимые сульфаты часто выносятся из зоны выщелачивания. Поэтому для определения степени окисления золотосульфидных руд предлагается руководствоваться степенью «лимонитизации» [4]. В этом случае количественный показатель определяется расчетным путем по результатам минералогического анализа—отношением количества лимонита к суммарному количеству лимонита и пирита, выраженному в процентах. Наглядным примером эффективности этого подхода могут служить Марцигетское и Тергерасарское месторождения.

На Марцигетском золотополиметаллическом месторождении зона окисления хорошо выражена и представлена заохренными и ожелезненными породами желтоватого цвета. Окисленные руды представлены двумя разновидностями: лимонит-малахит-купритовой по сульфидному медно-золоторудному геолого-технологическому типу и лимонит-церуссит-англезит-смитсонитовой по сульфидному золотополиметаллическому типу.

По данным минералогических исследований и фазового химического анализа, установлено полное окисление железа, меди, цинка и свинца в рудах, вскрытых поверхностными выработками. С глубиной степень окисления этих металлов уменьшается и появляются реликты сульфидных руд. Граница зоны окисления расплывчатая и проводится интерполяцией между двумя разведочными горизонтами (табл. 2).

Данные, приведенные в табл. 2, свидетельствуют о том, что степень окисления железа не может служить надежным критерием выде-

ления окисленных руд; при отсутствии окисленной меди для рудных тел 6, 7, 7а степень окисления железа составляет 40—50%. Кроме того, для рудных тел 1 и 2 на горизонте 980 м при степени окисления меди 10—15% окисление железа составляет 75—80%.

Таблица 2

Изменение степени окисления металлов с глубиной на Марцигетском месторождении

Участок	Геолого-технологический тип сульф. руд	Разведочные горизонты	Рудные тела	Степень окисления, %		
				Cu	Fe	Zn
Дзагидзор	Медно-золото-с-рудный	I разв. гор. 1100 м	6, 7, 7а	5—75	50—100	10—70
		II разв. гор. 1029 м	—	10—15	60—90	до 10
		III разв. гор. 980 м	—	—	40—50	—

При равных условиях окисления отношение окисленного железа к таковому меди должно быть постоянным [4]. Статистический анализ данных 70 проб показал, что это отношение колеблется в широких пределах—от 1 до 15, причем высокие значения соответствуют пробам с большим содержанием гематита. По этим же данным устанавливается следующий ряд отношений степени окисления меди и степени «лимонитизации» (без лимонита за счет железа халькопирита).

Степень окисления меди, %	20	50	75
Степень «лимонитизации», %	30—35	65—70	80—90

Средняя степень окисления меди в зоне окисления уч. Дзагидзор составляет 20—25%. Здесь золото в основном приурочено к лимониту. В окисленных рудах «ржавое» золото составляет 6%. Исследования по двум лабораторным и одной крупнолабораторной технологическим пробам при степени окисления 20—40% и более показали легкую обогатимость этих руд по золоту (Акмаева, 1990).

По гравитационно-флотационной схеме Араратской золотоизвлекательной фабрики из окисленных руд извлечение золота ниже извлечения из сульфидных руд всего на 2—3%. Цианированием хвостов флотации дополнительно извлекается лишь 5—8%. При высоком содержании золота в рудах, даже при степени окисления от 40—50% до 80% крупнолабораторными исследованиями доказана возможность высокого извлечения золота и серебра (табл. 1), т. е. степень окисления меди на извлечение драгметаллов практически не влияет. Учитывая высокий процент окисления руд, следовало рекомендовать комбинированную полную схему обогащения (гравитация+флотация+цианирование хвостов флотации), однако высокий процент «свободного» золота позволяет гравитацией и флотацией извлекать основное количество золота. Однотипность технологической схемы обогащения сульфидных руд медно-золоторудного типа (кварц-пиритовая природная разновидность) и их производных—окисленных руд лимонит-малахит-купритовой разновидности, дает основание рекомендовать их переработку в единой шихте со степенью окисления не более 20% по схеме гравитация+флотация.

На Тертерасарском золоторудном месторождении зона окисления хорошо выражена и представлена рыхлой, рыжевато-буроватой породой с большим количеством желтовато-белого плотного кварца, гидро-

окислов железа, вторичных минералов свинца (церуссит, плюмбоярозит) и мышьяка (скородит, арсенолит), а также сохранившихся реликтов сульфидов (пирит, арсенопирит, халькопирит, галенит). Отмечаются вкрапленники пирита в кварце размером до 5 мм с густой сетью прожилков и каймой лимонита. Более мелкие вкрапленники полностью окислены. Часто в кварце отмечаются пустоты выщелачивания от 1 мм до 1 см и более, имеющие форму кристаллов пирита. Гидроокислы железа неоднородны, о чем свидетельствует четкая зональность зерен. В процессе замещения они образуют петельчатые, зональные, ритмические и др. структуры, псевдоморфозы по сульфидам. По халькопириту и теннантиту развиваются прожилки лимонита с ковеллином, по галениту—«рубашка» церуссита: некоторые зерна полностью превращены в плюмбоярозит. Сrostки с пирит-арсенопиритовой ассоциацией частично или полностью превращены в лимонит и скородит. Глубина зоны окисления составляет 100—125 м при средней степени окисления меди в ней 25—30%. Окисленные руды Тергетарсарского месторождения относятся к лимонит-церуссит-плюмбоярозит-скородитовой природной разновидности.

На примере Тергетарсарского месторождения можно увидеть зависимость извлечения золота от степени окисления меди и железа (определенная фазовым химическим анализом), а также от степени «лимонитизации». Самородное золото в рудах представлено монокристаллами и дендритами размером от 0,1 до 0,5-мм. Золотины содержат включение кварца, образуют сrostки с теллуридами. Некоторые из них покрыты пленками гидроокислов железа («ржавое» золото). Содержание золота в зоне окисления составляет в среднем 20,5 г/т, что в несколько раз превышает содержание в сульфидных рудах. Среднее содержание серебра в зоне окисления составляет 72,7 г/т, меди — 0,35%; установлены также висмут и теллур, содержание которых в концентратах доходит соответственно до 96,4 и 45,0 г/т.

Технологические исследования показывают, что сульфидные по степени «лимонитизации» руды имеют низкие показатели извлечения в гравно- и флотоконцентраты при степени окисления железа в пределах 13—25%. Установлено, что эти руды представлены магнетит-гематитовой разновидностью и содержат большое количество гипогенного магнетита и, особенно, золотоносного гематита. Последний во вмещающей породе образует тонкую вкрапленность и спутанно-волокнистые агрегаты.

При степени окисления 25—30% по схеме гравитация+флотация извлекается до 90—92% золота и серебра. В отличие от руд Марцигетского месторождения здесь наблюдается сильное негативное влияние процессов гипергенеза на технологические показатели. С увеличением степени окисления до 50—52% наблюдается резкое падение извлечения драгметаллов с 90—92% до 55—60% (табл. 1). Снижение технологических показателей обусловлено кислым составом рудовмещающих кварц-серпичитовых метасоматитов по монцитам и широким развитием процессов каолинизации. Однако, в данном случае цинирование хвостов флотации обеспечивает повышение извлечения золота на 26—27%, а серебра—на 18%. Учитывая высокое содержание золота в окисленных рудах и различия в технологических схемах обогащения, экономически целесообразно эти сорта окисленных руд не смешивать и выделить как самостоятельные промышленные сорта единой лимонит-церуссит-плюмбоярозит-скородитовой разновидности.

Все вышесказанное дает нам основание отметить следующее:  
I. Критерий выделения, типизация и сортировка окисленных

руд имеют формационно-технологическую основу. Природная минералогическая разновидность окисленных руд тестируется технологически с выходом на промышленную разновидность и сортность или отбраковывается. При этом, в отличие от промышленной типизации сульфидных руд, горнотехнические условия отработки и экономика горнорудного производства не имеют существенного значения, т. к. низкие технологические показатели окисленных руд в любом случае требуют их селективной добычи, сортировки, отдельного складирования; в большинстве случаев и отдельного использования. Промышленная типизация окисленных руд с выделением технологических сортов так же важна, как и промышленная типизация сульфидных руд.

2. Устанавливается определенная минералогическая специализация природных разновидностей окисленных руд в зависимости от формационной принадлежности и морфогенетических особенностей месторождения. Сквозной минеральной ассоциацией для всех рудных формаций является лимонит-малахитовая, т. к. в рудных формациях Армении широко развиты пирит и халькопирит. В медно-молибденовой формации окисленные минералы преимущественно представлены повеллит-ферримолибдитом, гидрогематитом и гетитом. Для повеллит-ферримолибдитовой ассоциации (Каджаран) характерны три технологических сорта окисленных руд, из которых первые два (с окислением 15—20% и 20—50%) перерабатываются в шихте с сульфидными рудами в различных пропорциях в зависимости от степени окисления, а третий (окисление свыше 60%) вместе с гидрогематитовой разновидностью (Агарак) является сырьем для кучного выщелачивания. Гетитовая минерализация (Техут) не дает возможности выделить промышленную разновидность, т. к. дисперсная фаза лимонита имеет очень низкие технологические показатели (табл. 1). Для этой разновидности характерна бирюзоносность в промышленных масштабах. В золото-полиметаллической формации окисление преимущественно представлено купритом, церуссит-англезит-смитсоном и церуссит-плюмбозинит-скородитом. Для купритовой разновидности характерен один технологический сорт, перерабатываемый по схеме гравитация+флотация в шихте с сульфидными рудами, вне зависимости от степени окисления. Церуссит-англезит-смитсоновая разновидность пока технологически не оценена и сортность не выделена. Церуссит-плюмбозинит-скородитовая—представлена двумя технологическими сортами, которые нецелесообразно шихтовать с сульфидными рудами, т. к. в них содержание драгметаллов относительно сульфидных руд высокое. При степени окисления руд до 25—30% рекомендуется технологическая схема, включающая гравитацию и флотацию, а при степени окисления 50% и выше—гравитацию+флотацию+цианирование хвостов флотации.

3. Технологическая изученность и сортировка руд по степени окисления обеспечивают сравнительно высокое извлечение основных полезных компонентов рудных формаций на уровне, обеспечивающем эффективное использование недр. Однако, при кучном выщелачивании окисленных многокомпонентных руд пока не обеспечено комплексное использование сырья и ограничиваются в основном извлечением одного—основного компонента.

4. Окисленные руды—это вторичное природное сырье, резко отличное от материнских сульфидных руд. Традиционное отношение к ним, как и к исходному сырью для извлечения одних и тех же полезных компонентов, является односторонним и формационно мало оправданным, т. к. здесь меняются не только концентрация полезных компонен-

тов и формы нахождения, но и минералогические ассоциации, что очень существенно для технологической оценки. Окисленные руды, в особенности сильно окисленные сорта, могут служить эффективным сырьем для получения новых видов товарной продукции, в особенности бирюзы и пигментов для изготовления различных красок, в кирпично-черепичном производстве и в других отраслях народного хозяйства. Дальнейшие технологические исследования следует вести также в этом направлении.

Работа выполнена в рамках темы 93—159, финансируемой из госбюджета Республики Армения.

## ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԵՐԻ ՕՔՍԻԴԱՑԱԾ ՀԱՆՔԵՐԻ ՏԵՍԱԿԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ

Պ. Գ. Այոյան

### Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում առաջին անգամ փորձ է արվում տալ Հայաստանի հանքավայրերում օքսիդացած հանքերի տեսակավորումը և տեխնոլոգիական գնահատականը: Պարզվում է, որ օքսիդացած հանքիղի բնական տարատեսակների առկա միներալոգիական մասնագիտացումը հիմնականում պայմանավորված է հանքավայրի ֆորմացիոն պատկանելությամբ և մորֆոգենետիկ առանձնահատկություններով: Բնական միներալոգիական տարատեսակները տեստավորվում են տեխնոլոգիայես իրրև արդյունաբերական տարատեսակներ և տեսակավորում կամ խոտանվում: Օքսիդացված հանքերի տեխնոլոգիական տեսակավորումը ունի ոչ պակաս նշանակություն, քան սուլֆիդային հանքերի արդյունաբերական տեսակավորումը, քանզի ապահովում է ընդերքի լիարժեք օգտագործումը:

Հայաստանի բոլոր հանքային ֆորմացիաների համար բնորոշ է պիրիտի և խալկոպիրիտի պարունակությունը, որը բերել է օքսիդացած հանքատեսակներում լիմոնիտ-մալախիտ ասոցիացիայի գերակայությունը: Պղինձ-մոլիբդենային ֆորմացիայի օքսիդացած հանքատեսակները ներկայացված են պոֆելիտ-ֆերիմոլիբդիտով, հիրզրոհեմատիտով և գյոսիտով, որոնք կախված օքսիդացման աստիճանից և հանքահարստացման եղանակից տեսակավորվում են ըստ տեխնոլոգիական տեսակների: Պոֆելիտ-ֆերիմոլիբդիտ ասոցիացիայի (Քաջարան) համար բնորոշ են երեք տեխնոլոգիական տեսակներ, որոնցից առաջին երկուսը (օքսիդացումը 15—20% և 20—50%) վերամշակվում են ֆլոտացիոն եղանակով սուլֆիդային հանքերի հետ համատեղ շաղախում տարբեր մասնարաժիներով, իսկ երրորդ տեսակը (օքսիդացումը 60% ավելի) հիրզրոհեմատիտային տարատեսակի (Ազարակ) հետ միասին հանդիսանում են հումք տարալուծման (выщелачивание) համար: Գյոսիտային տարատեսակը (Քեղուտ) խոտանվում է, քանի որ լիմոնիտի դիսպերսիոն ֆազան ունի շատ ցածր տեխնոլոգիական ցուցանիշներ: Այս տարատեսակին բնորոշ է փիրուզի արդյունաբերական սյաշարները:

Ոսկի-բազմամետաղային ֆորմացիայում օքսիդացումը հիմնականում ներկայացված է կուպրիտով, ցեոուսիտ-անգլեզիտ-ամիտսոնիտով և ցեոուսիտ-պլումբոյարոզիտ-սկորոզիտով: Կուպրիտային տարատեսակը անկախ օքսիդացման աստիճանից շաղախվում է սուլֆիդային հանքերի հետ և վերամշակվում գրավիտացիա-ֆլոտացիա սխեմայով: Ցեոուսիտ-անգլեզիտ-ամիտսոնիտ տարատեսակը առաջիմ տեխնոլոգիայես չի տեսակավորվել: Ցեոուսիտ-պլումբոյարոզիտ-սկորոզիտային տարատեսակը ներկայացված է երկու տեխնոլոգիական տեսակներով (օքսիդացումը 25—30% և 50% ու ավելին), որոնք նպատակահարմար չէ շաղախել սուլֆիդային հանքերի հետ, քանի որ

նրանցում թանկարժեք մետաղների պարունակությունները շատ բարձր են և կյս հանքատեսակները վերամշակվելու են կրարատի ոսկեկորդիչ ֆաբրիկայի կրճատ և լրիվ տեխնոլոգիական սխեմաներով:

Օքսիդացման գոտում առաջացած ապարները հանդիսանում են երկրորդային ծագման առաջացումներ և ունեն ուրույն միներալոգիական մասնագիտացում, օդտակար բաղադրիչների պարունակության այլ աստիճան և տեղայնացման ձևերի նոր արտահայտումներ, որոնք պետք է հաշվի առնվեն հետագա ուսումնասիրությունների ժամանակ:

## CLASSIFICATION AND TECHNOLOGICAL EVALUATION OF OXIDIZED ORES OF ARMENIA

P. G. Aloyan

Abstract

In the paper an attempt to perform an industrial classification and technological evaluation of oxidized ore deposits of Armenia is made for the first time. A certain mineralogical specialization of natural varieties of oxidized ores in dependence on the source formation and morphogenetic specific features of deposits is revealed. The revealing criterion, classification and quality of oxidized ores have a formation-and-technological basis. The natural mineralogical variety is tested technologically and this testing result is considered as either industrial variety and sorted one or unworthy technologically. Both the technological qualities of oxidized ores and the industrial classification of sulfide ores are equally important, and further the increase of the underground resource use efficiency.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Акопян Е. А. Минералогия зоны окисления главнейших медно-молибденовых месторождений Армении. Ереван: Изд. АН АрмССР, 1960, 252 с.
2. Алоян П. Г. Состояние сырьевой базы цветной металлургии Армении и перспективы ее расширения и эффективного освоения.—Тр. Армнипроцветмета. Ереван: 1987, с. 7—14.
3. Алоян П. Г. Промышленная типизация и управление качеством руд на основе геолого-технологического картирования.—Изв. НАН РА, Науки о Земле, XLVII, 1994, № 1—2, с. 49—55.
4. Арутюнян Т. М., Давтян А. А. Критерии выделения и оконтуривания зоны окисления и окисленных руд при геолого-технологическом картировании рудных месторождений.—Тр. Армнипроцветмета. Ереван: Изд. «Манкаварж», 1993, с. 38—49.
5. Лукашев К. И., Лукашев В. К. Геохимические поиски элементов в зоне гипергенеза. Минск: Изд. «Наука и техника», 1967, т. 1, 377 с.
6. Шамцян Ф. Г., Руднева А. Д. К характеристике зоны окисления Личкского месторождения меди.—Тр. Армнипроцветмета. Ереван: Изд. «Манкаварж», 1993, с. 31—37.