

УДК 553.1(479.25)

Н. И. МАГАКЯН, Т. М. АРУТЮНЯН, С. С. АКМАЕВА, С. О. КАРАГУЛЯН

ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ РУД ЗОДСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Состав золотосодержащих руд определяет их обогатимость. По комплексу признаков на Зодском месторождении установлено несколько минералого-технологических разновидностей: сульфидных и окисленных руд. Экспериментальными исследованиями показано, что эффективность различных способов обогащения (гравитационного, флотационного и цианирования), для этих разновидностей заметно отличается. С учетом условий залегания, определяющих возможность селективной добычи и переработки, выделено три геолого-технологических типа руд: а) мышьяковистые (полисульфидные) в метасоматитах; б) полиметаллические в кварцевых порфирах; в) окисленные и полуокисленные (смешанные) руды верхних горизонтов.

Указанные типы руд могут перерабатываться как селективно, так и совместно по комплексной схеме. В последнем случае необходимо выдерживать определенное соотношение составных частей перерабатываемой шихты.

Одной из важнейших предпосылок для решения проблемы рационального использования минерального сырья является всестороннее изучение его вещественного состава, позволяющее совершенствовать схемы переработки руд и оптимизировать режим отдельных циклов технологических процессов, с целью повышения извлечения компонентов.

На многих месторождениях состав первичных руд в значительной степени варьирует, чем обуславливается их различная обогатимость. Большое влияние на этот показатель оказывают также процессы гипергенеза—окисленные разновидности руд требуют принципиально иных способов обогащения, а в некоторых случаях вообще теряют промышленную ценность. В практическом отношении важное значение имеет характер распределения оруденения. Этим фактором определяется возможность селективной добычи и переработки различных по составу руд.

Весь указанный комплекс вопросов рассматривает геолого-технологическая типизация. Основные принципы типизации руд при геологических и технологических исследованиях для месторождений цветных металлов Армянской ССР разработаны В. И. Луценко и Г. Г. Шехяном. Такая типизация (классификация) проведена нами на Зодском месторождении. Прежде чем перейти к ее результатам, для ясности дальнейшего изложения представляется целесообразным уточнить применяемую терминологию.

Понятие «минеральный тип руд» трактуется в литературе [3, 5, 7] достаточно определенно и однозначно. Такие типы выделяются с учетом состава слагающих руды минеральных ассоциаций, их текстурно-струк-

турных и морфологических особенностей. Дополнительным требованием для выделения минеральных типов является возможность их фиксации в полевых условиях, т. е. они должны быть локализованы в разных рудовмещающих полосах или слагать отчетливо устанавливаемые отдельные участки рудных тел.

Разные геолого-технологические типы руд характеризуются существенно отличным минеральным составом (с учетом текстурно-структурных особенностей и характера вмещающих пород), что предопределяет их технологические свойства. Во многих случаях для отдельных геолого-технологических типов целесообразно применение различных схем обогащения или существенно отличающихся технологических режимов (степень измельчения, реагенты, продолжительность процессов и т. п.). Обязательным условием для выделения геолого-технологических типов является возможность их отдельной добычи и переработки, т. е. они должны слагать отдельные участки месторождения или достаточно крупные рудные тела. Если последнее требование не соблюдается, то можно говорить лишь о наличии минералого-технологических разновидностей руд.

Иногда, в силу различных обстоятельств, разные геолого-технологические типы руд могут обрабатываться в общей шихте (и, следовательно, рассматриваться как разновидности). Однако в этом случае технологическая схема должна быть комплексной и учитывать свойства всех составных частей шихты. При этом эффективность ее отдельных переделов будет зависеть от вариаций состава перерабатываемых руд.

Таким образом, геолого-технологические типы руд могут включать одну или несколько минералого-технологических разновидностей, которые, в свою очередь, представлены определенными минеральными типами.

Минералогия руд Зодского месторождения детально изучена и описана Ш. О. Амиряном [1]. Им указаны минеральные ассоциации на основе которых выделяются минеральные типы сульфидных руд: пирит-арсенипиритовый, полиметаллический (полисульфидный), антимонитовый (сульфоантимонитовый) и золото-теллуридный.

Широкое развитие процессов гипергенеза привело к образованию четкого месторождения зоны окисленных руд. Здесь сульфиды и теллуриды разложены, выщелочены и превращены в различные гидроокислы. Окисленные и полуокисленные (смешанные) руды также представляют собой особые минеральные типы.

Начатые впервые С. С. Акмаевой и Ш. О. Амиряном специальные минералого-технологические исследования, продолженные и развитые авторами настоящей статьи, показали, что указанные минеральные типы руд Зодского месторождения характеризуются разной обогатимостью.

На эффективность переработки золотоносных руд оказывает влияние целый ряд факторов [6].

Для руд Зодского месторождения важнейшими из них являются:

1. Степень окисления золотосодержащих сульфидов и теллуридов.
2. Дисперсная (гранулометрическая) характеристика самородного золота и его распределение по минералам-носителям.
3. Формы нахождения золота.
4. Состав минеральной ассоциации.
5. Состав рудовмещающих пород.

Окисление минералов-носителей золота самым непосредственным образом отражается на технологических свойствах руд. С одной стороны, резко ухудшается их флотационная способность, что снижает эффективность соответствующего способа обогащения. В то же время разрушение сульфидов и теллуридов приводит к «освобождению» заключенных в них частиц золота, облегчает доступ к ним растворов и, тем самым, способствует высокому извлечению золота в процессе выщелачивания цианидами. Степень окисления руд легче всего определяется по содержанию окисленных форм железа и серы. С учетом отмеченного, С. С. Акмаевой предложена следующая классификация:

1. Окисленные—Fe окисленное более 70%.
2. Смешанные—Fe окисленное 30—70%.
3. Сульфидные—Fe окисленное менее 30%.

Формы нахождения золота, его распределение в различных минералах и размеры золота определяют очень важную технологическую характеристику золотосодержащих руд—их фазовый состав. Последний устанавливается рациональным анализом, а также минералграфическими исследованиями. При этом выявляется количество: а) «свободного» золота (относительно крупных его самородных частиц), которое можно извлечь гравитационными способами; б) золота «в сростках», извлекаемого при флотации (с сульфидами и теллуридами), а также цианированием; в) тонкодисперсного золота, часть которого (в сульфидах и теллуридах) извлекается во флотоконцентрат, а другая (в нерудных минералах теряется в отвальных хвостах; г) «ржавого» золота (покрытого окисленными пленками), которое также теряется, если не применять специальные методы обработки руды.

Как показали проведенные исследования, фазовый состав золота в рудах Зодского месторождения довольно изменчив. Так, количество «свободного» золота колеблется от 3—4 до 50—60% и более. Дисперсное золото в сульфидах составляет от 1—2 до 20%, а в нерудных минералах—от 0 до 2—3%.

Колебания фазового состава характерны для всех указанных минеральных типов руд. В то же время устанавливается, что в золото-теллуридной и полиметаллической (полисульфидной) ассоциациях относительное количество дисперсного золота меньше, чем в пирит-арсенопиритовой. Естественно, что «ржавое» золото наблюдается лишь в окисленных рудах. Отмеченное, как будет показано ниже, в определенной степени сказывается на обогатимости выделяемых геолого-технологических типов и их разновидностей.

Из указанных четырех минеральных ассоциаций более или менее самостоятельным развитием пользуются пирит-арсенопиритовая, полиметаллическая (полисульфидная) и антимонитовая (сульфоантимонитовая). Золото-теллуридная ассоциация, как правило, наложена на ранее сформированные руды и образует лишь мелкие прожилки, вкрапления и небольшие гнезда (размеры от нескольких мм до 10—15 см). Из руд, представленных указанной ассоциацией, практически невозможно получить самостоятельную технологическую пробу, поэтому они не могут рассматриваться даже как минералого-технологическая разновидность.

Для сульфидных руд в качестве таковых нами выделены:

а) мышьяковистые руды (с преобладанием пирит-арсенопиритовой ассоциации);

б) полиметаллические руды;

в) свинцово-сурьмяные руды (с преобладанием антимонитовой ассоциации);

Количественная минералогическая характеристика этих разновидностей приведена в табл. 1.

Таблица 1

Минералы	Разновидности руд		
	мышьяковистая	полиметаллическая	свинцово-сурьмяная
относительное количество рудных минералов, %			
Пирит	25—40	30—40	25—40
Арсенопирит	30—35	1—5	20—30
Марказит	5—10	30—50	2—5
Сфалерит	1,5—5,5	5—10	1,5—4
Халькопирит	1—4	5—10	0,1—0,5
Галенит	0,1—0,5	0,5—1,0	0,0—3,0
Буланжерит	0,1—0,5	0,1—0,5	3,5—6,0
Антимонит	—	—	25—40
Прочие	до 0,5	до 2	до 1

Приведенные данные наглядно свидетельствуют о заметных отличиях состава выделенных разновидностей, в соответствии с чем они легко диагностируются.

Основные рудные тела Зодского месторождения¹ локализованы в тальк-карбонатных метасоматитах и дайках кварцевых липарито-дацитовых порфиров. Указанные породы резко отличаются по составу и, в некоторой степени, физико-механическим свойствам [2]. Это обстоятельство весьма существенно отражается на технологических свойствах руд, что наглядно проявилось при технологических исследованиях. Весьма примечательно, что в дайках преимущественно развито полиметаллическое оруденение, а в телах, локализованных в метасоматитах, преобладает мышьяковистая разновидность руд.

¹ Здесь не рассматриваются прожилковые руды в массиве габбро, слагающие отдельный морфологический и геолого-технологический тип.

В процессе систематического минералого-технологического изучения руд Зодского месторождения нами были отобраны и подвергнуты испытаниям характерные пробы всех указанных разновидностей.

Места отбора и краткая характеристика проб приводятся ниже (табл. 2), а результаты рационального анализа форм золота—в табл. 3.

Выполнялись также спектральные и химические анализы, которые показали хорошую сходимость с данными минералогических исследований.

Таблица 2

№ п/п	№№ проб.	Рудное тело	Главные рудные минералы	Минералого-технологическая разновидность
1	ЗТП-1	Р. т. № 1	Пирит, антимонит, арсенопирит	Сурьмяная в метасоматитах
2	ЗТП-2	Р. т. № 4 и 39	Пирит, халькопирит, сфалерит, галенит	Полиметаллическая в кварцевых липарито-дацитовых порфирах
3	ЗТП-3	Р. т. № 1	Пирит	Полисульфидная (пиритистая) в метасоматитах
4	ЗТП-4	Р. т. № 1	Пирит, арсенопирит	Мышьяковистая в метасоматитах
5	ЗТП-5	Р. т. № 2	Гидроокислы железа	Скисленная

Таблица 3

Форма золота	Распределение золота, %				
	ЗТП-1	ЗТП-2	ЗТП-3	ЗТП-4	ЗТП-5
Золото свободное	6,0	4,3	5,6	7,0	6,0
Золото „в сростках“	28,6	42,3	2,7	15,4	82,3
Итого легкоцианируемого золота	34,6	46,6	8,3	22,4	88,3
Содержание золота в исходной пробе, в условных единицах	940	650	100	820	280

Так проба ЗТП-1 отличается резко повышенным (на 1—2 порядка по сравнению с другими) содержанием сурьмы. В пробе ЗТП-2 ощутима концентрация свинца, меди и цинка, а в пробе ЗТП-4—мышьяка. Рудная минерализация пробы ЗТП-3 представлена, главным образом, пиритом, что и подтверждается анализами. В пробе ЗТП-5 относительное количество окисленного железа превышает 70%.

Весьма показательны данные рационального анализа. Несмотря на существенную разницу в абсолютной концентрации золота в исследуемых пробах, относительное количество «свободного» золота примерно одинаково во всех разновидностях. Дисперсного (не цианируемого) золота больше всего в пробах ЗТП-3 и ЗТП-4, отобранных из рудного тела № 1. Относительно велико и его количество в пробе ЗТП-1 из того же рудного тела. Резко повышено содержание легкоцианируемого золота в окисленных рудах, что объясняется, прежде всего, его высвобождением при разложении сульфидов и теллуридов-носителей. В полиметаллической разновидности дисперсного золота меньше, чем в других, к тому же значи-

тельная часть его выделений (более 20%) приурочена к контактам разноименных минералов и доступна воздействию цианистых растворов.

Отличия в минеральном составе проб и фазовом состоянии содержащегося в них золота определяют различную эффективность разных технологических процессов. Это отчетливо подтверждается результатами экспериментов, в процессе которых пробы подверглись гравитации, флотации и цианированию.

Опыты по гравитационному обогащению проводились при измельчении проб до 2 мм. В соответствии с содержанием «свободного» золота его извлечение в рассматриваемом цикле колеблется в пределах 4,5—8%.

Значительно больше отличаются результаты флотационного обогащения. Опыты по флотации проводились при следующих условиях: измельчение 83%—0,08 мм, время флотации—30 мин, расход ксантогената—200 г/т, соснового масла—60 г/т.

Результаты опытов приведены в табл. 4.

Как следует из приведенных данных, результаты флотационного обогащения проб существенно отличаются. Хуже всего флотируются окисленные руды пробы ЗТП-5: большая часть полезного компонента переходит в хвосты флотации, а степень его концентрации в пенном продукте не превышает 2,5х. Почти такие же показатели получены при флотации пробы ЗТП-3, что, по-видимому, обусловлено низким содержанием золота в исходной руде. Этим фактором, однако, нельзя объяснить ощутимые отличия в обогатимости проб ЗТП-1, ЗТП-2 и ЗТП-4. Лучшие показатели по извлечению в концентрат и степени концентрации получены для полиметаллических руд в дайке кварцевых порфиров (проба ЗТП-2). Достаточно высоко извлечение во флотоконцентраты золота из свинцово-сурьмяных руд (проба ЗТП-1). Значительно хуже показатели для мышьяковистой разновидности, что, вероятно, связано с ошламованностью (оталькованностью) руды и ощутимыми потерями в хвостах золотосодержащих рудных минералов в виде сростков с нерудными, т. е. обусловлено текстурно-структурными особенностями этого типа. Обращает на себя внимание также повышенное содержание мышьяка в концентрате (достигающее 4%). Как указывалось, эффективность извлечения золота цианированием непосредственно связана с доступом раствора к поверхности золотинок. Эта возможность затрудняется (или вовсе исключается), если тонкодисперсные частицы золота заключены в массе нерастворимых сульфидов и кварца. Именно такая форма резко преобладает как в мышьяковистых, так и в полисульфидных пиритистых рудах, локализованных в метасоматитах (пробы ЗТП-3 и ЗТП-4 из рудного тела № 1). Характерно, что здесь, даже во флотоконцентратах, не установлено визуально наблюдаемых частиц самородного золота. В сурьмяных и полиметаллических рудах количество достаточно крупных золотинок ощутимо—они наблюдаются как в исходной руде, так и во флотоконцентратах (пробы и концентраты ЗТП-1 и ЗТП-2). Максимально благоприятные условия для доступа растворов и образования цианидов золота создает

полное разложение сульфидов. Такие условия характерны для окисленных руд, представленных пробой ЗТП-5.

Изложенным объясняются данные рационального анализа проб и результаты опытов по прямому их цианированию, приведенные в табл. 5. Опыты проводились в следующих условиях: измельчение—83%—0,08 мм, время выщелачивания—18 часов, концентрация KCN—0,04%, концентрация CaO—0,02%.

Результаты проведенных опытов показывают, что в двух основных циклах обогащения (флотации и цианирования) изученные пробы проявляют существенно различные свойства. Как полисульфидная (пиритистая), так и мышьяковистая разновидности золотоносных руд, локализо-

Таблица 4

№№ проб	Извлечение в концентрат (ε, %)	Степень обогащения
ЗТП—1	81,2	4,1
ЗТП—2	92,3	4,9
ЗТП—3	64,4	2,8
ЗТП—4	65,3	3,5
ЗТП—5	45,3	2,5

Таблица 5

№№ проб.	Извлечение золота в раствор цианида (%)
ЗТП—1	33,5
ЗТП—2	46,6
ЗТП—3	8,3
ЗТП—4	22,2
ЗТП—5	88,3

ванные в тальк-карбонатных метасоматитах, отличаются ощутимо худшей обогатимостью. Важно подчеркнуть, что в отличие от окисленных руд их относительно низкая обогатимость в цикле флотации не компенсируется высоким извлечением золота при цианировании. Ожидаемое извлечение золота при обогащении исследованных руд по комбинированной схеме (гравитация+флотация+цианирование) составляет: для сурьмяной, полиметаллической и окисленной разновидностей—около 90%, а для полисульфидной и мышьяковистой в метасоматитах—70—75%.

Таким образом, результаты технологических испытаний проб, представляющих характерные разновидности руд Зодского месторождения, полностью подтверждают правомерность и целесообразность предложенной нами их типизации.

При этом необходимо учесть следующее.

Применение комбинированной технологии переработки руд практически полностью решает проблему обогащения окисленных их разновидностей. Общее извлечение золота (в концентраты и раствор) остается достаточно высоким.

Сложнее обстоит дело с обогатимостью различных типов и разновидностей сульфидных руд. Проведенные опыты наглядно свидетельствуют о том, что при стандартных условиях предварительной подготовки (степени измельчения) и проведения технологических процессов (режимы флотации и цианирования) результаты обогащения отдельных типов и разновидностей руд заметно отличаются.

Некоторые из этих разновидностей (например, свинцово-сурьмяная) не играют существенной роли в общем балансе руд месторождения. В

то же время другие — полиметаллическая в кварцевых порфирах и мышьяковистая (пирит-арсенопиритовая) в тальк-карбонатных метасоматитах, не только обособлены пространственно, но и определяют характер минерализации отдельных рудных тел, т. е. отвечают всем необходимым условиям для выделения в самостоятельные геолого-технологические типы.

Вопрос о целесообразности их отдельной переработки остается дискуссионным (добыча разных типов руд фактически и в настоящее время производится отдельно), однако во всех случаях необходимость оперативного регулирования и оптимизации технологических режимов (в зависимости от состава добытой шихты) несомненна. Планировать средний состав перерабатываемых руд необходимо как по содержанию золота, так и по минералого-технологическим признакам.

Для этого необходимо систематически определять и учитывать не только содержание полезных компонентов в недрах и добываемой массе, но также особенности минерального состава руд.

В ы в о д ы

1. На Зодском месторождении четко выделяются три геолого-технологических типа руд.

а) окисленные и полуокисленные (смешанные) руды всех минеральных типов, развитые на верхних горизонтах; б) мышьяковистые (полисульфидные) руды, локализованные в жильных зонах и жиллообразных телах в пределах метасоматитов; в) полиметаллические руды, приуроченные к дайкам кварцевых лиларито-дацитовых порфиров.

2. Все геолого-технологические типы руд могут добываться и перерабатываться как отдельно, так и в шихте по комплексной схеме. В последнем случае однако необходимо выдерживать определенное соотношение составных частей шихты, с целью обеспечения постоянства ее технологических свойств.

Научно-исследовательский и проектный
институт цветной металлургии
(Армнипроцветмет) МЦМ СССР, г. Ереван

Поступила 12.III.1980.

Ն. Հ. ՄԱՂԱՔՅԱՆ, Տ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ս. Ս. ԱԿՄԱՆՅԱ, Ս. Հ. ԿԱՐԱԴՈՒՆՅԱՆ

ԶՈՒԻ ՀԱՆՔԱՎԱՅՐԻ ՀԱՆՔԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԵՐԿՐԱԲԱՆԱ-
ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱԿԱՆ ՏԻՊԱԿԱՆԱՑՈՒՄԸ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Ոսկի պարունակող հանքանյութերի կազմը կանխորոշում է նրանց հարստացման ենթարկվելու ունակութիւնը: Մի շարք հատկանիշների հիման վրա Զոդի հանքավայրում հաստատված է սուլֆիդային և օքսիդացած հանքանյութերի մի քանի միներալոգա-տեխնոլոգիական տարբերակների գոյութիւնը: Փորձարարական հետազոտութիւնները ցույց են տալիս, որ հարստացման տարբեր եղանակների (պրավիտացիոն, ֆլոտացիոն, ցիանացման) էֆեկտիվութիւնը վերահիշյալ տարբերակների համար զգալիորեն զանազան-

վում է: Հաշվի առնելով հանքանյութերի տեղադրման պայմանները, որոնք կանխորոշում են նրանց ընտրողական արդյունահանման և վերամշակման հնարավորությունը, բերվում է հանքանյութերի երեք երկրաբանա-տեխնոլոգիական տիպ. ա) մկնդեղային (քաղմասուլֆիդային)՝ մետասոմատիտներում, բ) բազմամետաղային՝ քվարցային պորֆիրներում և գ) վերին հորիզոնների օքսիդացած և կիսաօքսիդացած (խառն) հանքանյութեր:

Հանքանյութերի վերոհիշյալ տիպերը կարող են վերամշակվել ինչպես ընտրողաբար, այնպես էլ համատեղ՝ կոմպլեքսային սխեմայով: Վերջին դեպքում անհրաժեշտ է վերամշակվող բովախառնուրդի մեջ պահպանել բաղադրիչ մասերի որոշակի համամասնություն:

N. H. MAGHAKIAN, T. M. HAROUTIUNIAN, S. S. AKMAYEVA, S. H. KARAGULIAN

THE ORES GEOLOGICAL-TECHNOLOGICAL TYPIFICATION OF ZOD ORE DEPOSIT

S u m m a r y

The gold-bearing ores composition predeterminates their enrichmentness. By a complex of indications some mineralogical-technological varieties of sulfide and oxidized ores are revealed at Zod ore deposit. The experimental investigations show the various effectiveness of different enrichment methods (gravitational, flotation, cyanidation) for those varieties. Taking into account the localization conditions which determine the possibility of selective mining and working three geological-technological ore types are distinguished; 1) arseniferous (polysulfidic) ores in metasomattles, 2) polymetallic ores in quartz porphyries, 3) oxidized and semioxidized (mixed) ores of upper horizons.

The mentioned ore types may be worked both by selective and joint complex scheme. The application of the latter case requires definite ratio of working charge constituent parts.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Амирян Ш. О. Зодское золоторудное месторождение (минералогия, геохимия и условия образования руд). В кн. «Минералогия, геохимия и условия образования рудных месторождений Армянской ССР». Ереван, 1974.
2. Вуртинян С. У и др. Влияние петрофизических особенностей пород на локализацию гидротермального оруденения в ультраосновных породах. Ж. «Геология рудных месторождений», т. XX, № 5, М., 1978.
3. Исаенко М. П. Определитель текстур и структур руд. «Недра», 1964.
4. Луценко В. И., Шехян Г. Г. и др.—Статистический анализ данных геологической разведки для технологической типизации руд. Тезисы докл. Мат. Юбилейной научной сессии НИГМИ, Ереван, 1960.
5. Магакьян И. Г. Главные промышленные семейства и типы руд. Зап. Всес. минер. об-ва, 2-я серия, 1950, ч. 79, вып. 4.
6. Магакьян И. И. Зависимость технологических свойств золотосодержащих руд от их минерального состава. «Промышленность Армении», № 10; 1978.
7. Петровская Н. В. Самородное золото, Изд. «Наука», М., 1973.