

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗОЛОТОНОСНЫХ МЕДИСТЫХ КОНГЛОМЕРАТОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НАХЧЫВАНСКОЙ АР

А.З.Ахмедов

НИИ Минерального сырья МЭПР Азербайджана
AZ1117, Баку, ул. Натаван, 16

На примере 5 технологических проб, а также галечного материала двух рудопроявлений конгломератовых отложений Нахчыванской АР детально рассмотрены вещественный состав и технологические особенности этого минерального сырья. В целом, данное минеральное сырье характеризуется как золотоносная медная руда интенсивно окисленного типа. С учетом вещественного состава и выявленных технологических особенностей ценных компонентов (Cu, Au) разработаны и экспериментально подтверждены высокоэффективные технологические схемы переработки этих руд.

В центральной части Нахчыванской АР широко распространены оруденелые туфо-конгломератовые отложения андезито-дакитового состава олигоценового возраста. По результатам поисковой стадии геологоразведочных работ, выполненных в 1961 – 1963 гг. (Мамедов и др., 1964) и в 1977 – 1979 гг. (Керимов и др., 1981) в этих отложениях выделена целая группа перспективных рудопроявлений меди (Хал-Халское, Гёйдаринское, Паизское, Мисдагское, Сурмалинское и др.), впоследствии названная Асхабюкяфской.

К сожалению, золотоносность данной группы рудопроявлений, изученных в основном наземными горными выработками (шурфы, канавы) и редкими относительно неглубокими скважинами, в указанных работах не была исследована и до настоящего времени в должной мере не оценена. Вместе с тем актуальность этого вопроса не вызывает сомнений, т.к. положительные её результаты могут способствовать переоценке и значительному повышению промышленной значимости данного широко распространенного в указанном регионе минерального сырья.

Впервые наличие свободного гравитационно легкоизвлекаемого самородного золота в рассматриваемом минеральном сырье было выявлено в 1971 году при технологических исследованиях пробы руды (вес 500 кг, Au – 0,4г/т), отобранной на Гёйдаринском рудопроявлении меди (Ахмедов, 1971). Затем в 1977-1979 гг., при поисковых геологоразвед-

дочных работах на Хал-Халском рудопроявлении меди в дубликате кернового материала одной из пробуренных в 1961-1963 гг. скважин также было выявлено наличие золота с содержанием до 2,2г/т (Керимов и др., 1981).

Приведенные данные принципиально указывают на золотоносность данных конгломератовых отложений и о возможном наличии в них, наряду с медью, значимых содержаний золота. Данный фактор может значительно повысить ценность этого минерального сырья. В этой связи в настоящей работе на примере относительно объемных (по весу) технологических проб, отобранных из различных близповерхностных точек (участков) Гёйдаринского и Хал-Халского рудопроявлений меди, детально рассматриваются вещественный состав и технологические особенности этих конгломератовых отложений.

Исследования выполнены на 5 технологических пробах, 4 из которых (весом по 80-100 кг) характеризуют Хал-Халское, а одна (весом 500 кг) Гёйдаринское рудопроявления. Отметим, что оценка материала пробы Гёйдаринского рудопроявления выполнена по результатам вышеуказанных исследований автора настоящей работы (Ахмедов, 1971), а оценка минерального сырья Хал-Халского рудопроявления произведена по результатам исследований 4 проб, отобранных в 2005 году из различных участков ранее пройденных (1961-1963 и 1977-1979 гг.) горных выработок (предварительно очищенных на глубину 5-10 см).

Принимая во внимание, что значительная часть рассматриваемых конгломератовых отложений представлена обломочным, а также галечным материалом округлой (сферической) формы различной крупности, непосредственному изучению вещественного состава была подвергнута также относительно крупная галька (диаметром 80-90 мм). Последняя была отобрана из материала одной из рассматриваемых технологических проб (№4) Хал-Халского рудопроявления.

Для оценки вещественного состава перечисленных материалов были использованы: химический (в т.ч. силикатный), пробирный (на Au, Ag), приближенно-количествоенный спектральный, термогравиметрический, химический рациональный (на соединения меди) анализы, а также минералого-петрографические исследования.

Химический состав

Согласно результатам химического, пробирного и спектрального анализов (табл. 1) материал всех рассматриваемых проб обоих рудопроявлений фактически идентичен. Отличие заключается лишь в содержаниях меди, изменяющихся по соответствующим пробам в пределах от 0,76% до 3,6%. Во всех этих пробах выявлено наличие золота с содержанием в пределах 0,2-0,4 г/т, что подтверждает золотоносность данного минерального сырья.

Особо следует отметить, что основной химический состав гальки и технологической пробы (№4), из которой была отобрана эта галька, также фактически одинаков. При этом в гальке выявлено определенное количество меди (0,15%) и даже несколько повышенные содержания (по сравнению с исходной пробой №4) золота (0,3 г/т) и серебра (2,6 г/т). Данный фактор дает основание утверждать – галька в рассматриваемых конгломератовых отложениях представляет собой золотоносный рудный материал, не отличающийся от цементирующего её материала.

Идентичность вещественного состава гальки и материала пробы (№4), из которой она отобрана, была подтверждена также результатами термогравиметрического анализа. Последний выполнен на аппарате «Дериватограф» марки Q-1500D (Венгрия) системы

«Паулик – Паулик»-ЕРД при нагревании тонкоизмельченных (0,07мм) образцов рассматриваемых материалов в интервале температур 20-1000⁰С с режимом обжига 20⁰С/мин. Полученные в результате этого анализа термограммы (рис. 1) весьма схожи, что свидетельствует об однородности состава гальки и цементирующего её материала.

Оценивая химический состав материалов всех рассматриваемых проб (табл. 1), необходимо отметить, что основным промышленно значимым ценным компонентом в них является медь. Для попутного извлечения определенный интерес представляет золото, даже при столь незначительном (0,2-0,4 г/т) его содержании. Других ценных компонентов с промышленно значимыми содержаниями в этих пробах не выявлено. При этом положительным фактором является отсутствие в них таких вредных для рассматриваемого минерального сырья примесей, как мышьяк и сурьма.

Рассматривая наличие в исследованных пробах рудообразующих химических соединений, следует отметить весьма низкие содержания серного ангидрида (0,08-0,25%) и соответственно серы общей (0,03-0,1%), при относительно высоких содержаниях оксида железа (2,7-3,9%). Данный фактор свидетельствует об отсутствии в них значимых количеств сульфидных минералов и о высокой степени окисленности присутствующих в этом минеральном сырье рудных минералов.

Оценивая породообразующие химические соединения, следует указать относительно высокие содержания в пробах оксида алюминия (12,6-14,8%), а также оксидов натрия и калия (суммарно 6,5-7,4%), свидетельствующие о наличии в них большого количества глинистых минералов. Последние, как известно, являясь шламообразующими (при дроблении и измельчении руды), отрицательно влияют на технологические процессы извлечения ценных компонентов из рудного минерального сырья.

Вместе с тем следует отметить относительно низкое содержание в данном минеральном сырье оксида углерода (1,1-1,9%), указывающее на незначительное содержание карбонатных минеральных форм, что весьма благоприятно для технологических процессов, используемых в гидрометаллургических схемах переработки подобных руд.

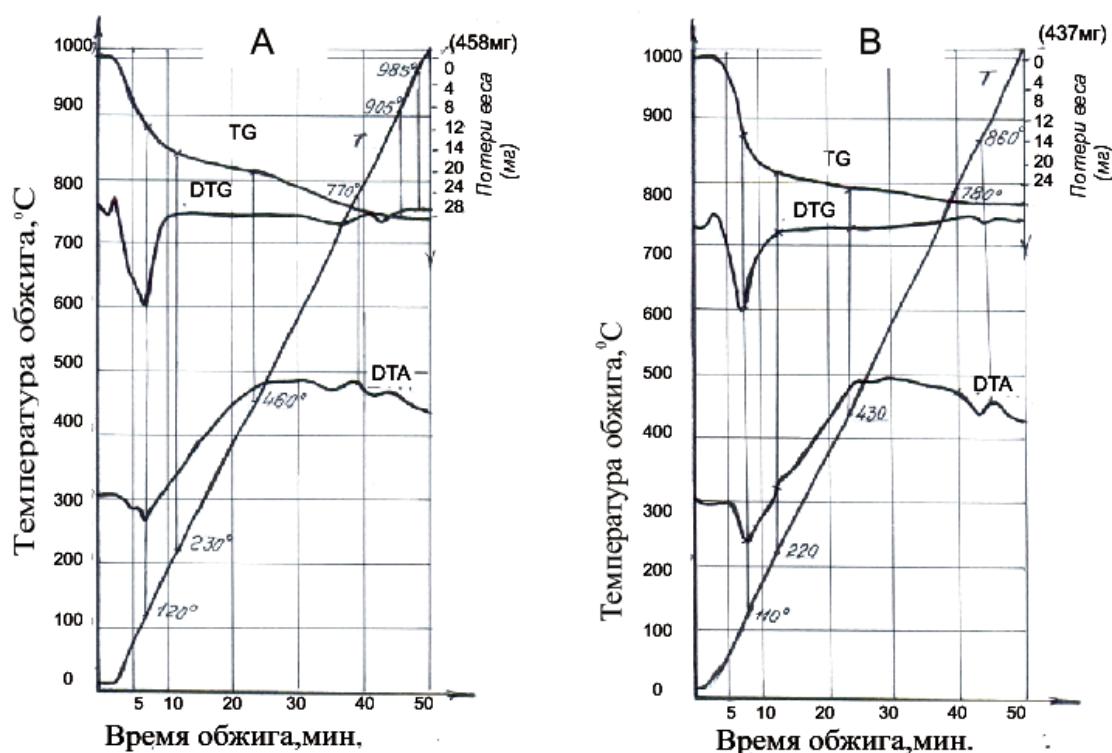


Рис. 1. Термограммы материала пробы №4 (А) и гальки (В) Хал-Халского рудопроявления

В целом, по результатам выполненных исследований материал всех рассматриваемых технологических проб следует характеризовать как золотоносная медная руда окисленного типа.

Минералого-петрографические исследования*

Принимая во внимание, что по своему химическому составу материал технологических проб Гейдаринского и Хал-Халского рудопроявлений фактически идентичен, наиболее детально данные исследования выполнены на образцах каменного материала, отобранных из проб Хал-Хала.

Визуально последние представлены гальками и фрагментами конгломератовидной породы буровато-коричневого, серого, голубовато-зеленого цвета. Галька имеет округлую форму, крепкая, иногда напротив, не прочная – рассыпается от слабого давления. Соотношение гальки и связующей массы (це-

мента) можно оценить как примерно равное.

Под микроскопом связующая масса представлена песчано-гравийной смесью, подсчет размеров зерен которой показал, что доля средне- (0,2-1,0мм) и крупнозернистых (1,0-1,6 мм) частиц составляет в сумме более 80%, а доля гравийных (>3мм) частиц около 20%. Данный фактор позволяет характеризовать связующую массу как среднекрупнозернистый песчаник с примесью гравия. Изучение обеих составляющих конгломерата (галька – обломки, связующая масса) в шлифах показало, что все обломки по составу соответствуют андезитам и их туфам, собственно осадочный материал отсутствует.

Цементом песчано-гравийных зерен являются гидроокислы железа и цеолиты. Основная масса андезитов имеет буровато-коричневый цвет. Они обладают гиалопилитовой, пилотакситовой структурой с резким преобладанием основной массы (стекла) над вкрапленниками. Последние представлены плагиоклазом, (редко гиперстен), базальтической роговой обманкой, биотитом, пироксенами (авгит, пижонит).

* Исследования выполнены Г.А. Велиевым и А.А. Ахмедовым

Таблица 1
Химический состав технологических проб

Наименование элементов и соединений	Содержание: %, г/т					
	Гейдаринское		Хал-Халское (место отбора пробы)			
	Проба №1	Проба №1 (штольня №1)	Проба №2 (шурф №1)	Проба №3 (канава №10)	Проба №4 (шурф №10)	Галька из пробы №4
Cu	3,6	0,87	2,08	0,92	0,76	0,15
Au, г/т	0,4	0,25	0,2	0,25	0,2	0,3
Ag, г/т	6,0	0,8	0,8	0,8	0,6	2,6
Zn	0,01	0,01	0,007	0,009	0,01	0,017
Pb	0,04	0,01	0,008	0,007	0,006	0,003
Ni	0,005	0,008	0,006	0,006	0,009	0,006
Co	0,004	0,006	0,008	0,006	0,005	0,005
Fe ₂ O ₃ , общ. в т. ч. Fe вал.	3,87 2,71	3,82 2,67	3,14 2,20	2,73 1,91	3,20 2,24	3,38 2,37
SO ₃ в т. ч. S общ.	0,13 0,05	0,15 0,06	0,25 0,10	0,18 0,07	0,15 0,06	0,08 0,03
SiO ₂	60,94	67,07	67,65	69,76	66,99	67,35
Al ₂ O ₃	13,86	14,82	14,78	13,89	12,57	14,65
CaO	4,05	2,04	2,08	2,18	4,87	3,19
MgO	1,28	0,62	0,18	0,35	0,65	0,45
Na ₂ O	3,35	4,33	4,62	3,51	4,12	4,39
K ₂ O	3,57	3,06	1,92	2,76	2,37	2,68
MnO	0,10	0,07	0,05	0,055	0,07	0,07
TiO ₂	0,56	0,84	0,73	0,77	0,85	0,74
P ₂ O ₅	0,21	0,12	0,11	0,14	0,12	0,12
CO ₂	1,94	1,16	1,35	1,41	1,70	1,10
H ₂ O ⁺	2,42	1,20	1,04	1,17	1,11	1,35
Сумма	99,94	100,20	100,01	99,58	99,56	99,73
V*	0,006	—	—	—	0,003	0,001
Cr*	0,005	—	—	—	0,003	0,001
Ba*	0,09	—	—	—	—	—
Zr*	—	—	—	—	0,001	0,001

*- определено приближенно количественным спектральным анализом, при этом As, Sb, W в пределах до 0.01%, Bi, Sn, Cd, Ge в пределах до 0.001%, Mo в пределах до 0.0001% не обнаружены.

Песчано-гравийные зерна имеют угловато-округлую форму. По составу они являются производными андезитовых лав с микролитовой, гиалопелитовой, пилотакситовой, витрофировой структурами. Наименее окатанными являются обломки вулканического стекла темного, почти черного цвета, не реагирующие на поляризованный свет. Редко встречаются обломки черной пемзы с мелкими сферическими пустотами. В обломках наблюдается плотная упаковка зерен, тесно сжатых даже по криволинейным стыкам, что почти нет пространства для развития цемента. Поэтому последний большей частью носит пленочный (толщина 0,01- 0,05мм) характер. При сильных увеличениях (450^х) этот пленоч-

ный цемент имеет коричневый цвет, расплывчатый облик, сложен войлокообразным тонкокристаллическим веществом – стильбитом, чешуйками железной слюды и цеолитом.

Гидротермальное изменение пород выразилось в хлоритизации, карбонатизации, цеолитизации, окварцевании. При этом **хлоритизация** наблюдается в замещении вкрапленников андезитов темного цвета (пироксен) агрегатом шелковистого светло-зеленого цвета. Встречаются мелкие миндалевидные (0,1 x 0,2, 0,2 x 0,7мм) агрегаты, заполненные хлоритом и тридимитом.

Карбонатизация наблюдается в прожилках (0,2–0,5мм) линейного и неправильного типа, а также пятнах, встречающихся в се-

рых и бурых трещиноватых гальках и фрагментах конгломерата. Иногда карбонат содержит мелкие включения рудного минерала буро-коричневого цвета.

Цеолитизация проявлена отчетливо, при этом наиболее значительные скопления цеолита наблюдаются в ассоциации с купритом. Иногда в тонких сетях микропрояжилков цеолита присутствует и более поздняя хризоколла. Из группы цеолитовых минералов наиболее ранним отмечается шабазит. Более поздним является стильбит оранжевого цвета (пропитан окислами железа). В единичных пустотах, выполненных халцедоном, встречен также натролит.

Окварцевание встречается часто. Оно выражено в развитии тридимита, местами замещающего стекло андезитов и плагиоклаз вкрапленников. Тридимит встречается исключительно в агрегатах размером от $0,01 \times 0,02$ до $0,016 \times 0,025$ мм, иногда они вытянуты в прерывистые прожилки и пятна. Отдельные зерна тридимита имеют размер $0,003-0,005$ мм, в срастаниях приобретают характерное чешуйчатое строение. Кроме того, в образцах встречены редкие прожилки ($0,1-0,3$ мм) халцедона, образующего иногда радиально-лучистые агрегаты, а также правильные сферические выделения кристобалита, диаметром $0,02$ мм.

Оруденение, согласно изученным полированным шлифам и аншлифам, представлено в рассматриваемом минеральном сырье в основном гипергенными минералами меди и железа. Для первых характерен широкий набор минералов, включающий (в порядке уменьшения распространенности): куприт, тенорит, хризоколла, малахит, азурит, халькоzin, ковеллин, самородная медь, атакамит. Из минералов железа выявлены: лимонит, гётит, гидрогётит, гематит и магнетит. Установлен также минерал магния – рутил.

Медное оруденение в каменном материале макроскопически представлено в виде пятен куприта, окруженных ореолом пёстроокрашенных гипергенных медных минералов. В шлифах отчетливо виден замкнутый характер пятен, не связанных друг с другом какой-либо системой прожилков. Вероятнее всего, включения самородной меди присутствовали в андезитах в виде разрозненных, преимущественно

2-5 мм вкраплений, которые впоследствии (при окислении) были окружены ореолом переотложенных прожилков куприта, тенорита, хризоколлы и др. вторичных минералов меди. Эта зональность наблюдается также в отдельных штуфных образцах (рис. 2) руды: в ядре самородная медь радиально сменяется купритом, а затем теноритом.

Куприт и несколько в меньшей степени тенорит являются наиболее распространенными медными минералами. При этом первый наблюдается в основном в виде целых зерен, скрытокристаллических выделениях и идиоморфных кристаллах. Часто куприт слагает вышеописанные пятна и прожилки в нерудной массе; в проходящем свете имеет рубиново-красный цвет, изотропен.

Тенорит образуется по куприту, замещая его по периферии. Местами, удаляясь от куприта, он образует самостоятельные прожилки; в пустотах, в благоприятных для кристаллизации условиях, образует сферовидные натечные формы. В проходящем свете имеет черный цвет, непрозрачен.

Хризоколла – широко распространенный минерал рассматриваемых руд. Она, проникая по межзерновым пространствам, образует обширные ореолы пропитки вокруг куприт-теноритовых агрегатов, особенно в туфах. Это могло произойти благодаря избирательному замещению хризоколлой пленочного (цеолитового) цемента туфов, что подтверждается тем, что в андезитах хризоколла использует уже сформированную сеть микротрещин, заполненных предрудным цеолитом. Замещая последний, этот минерал местами образует дополнительные прожилки мощностью от $0,05$ до $0,5$ мм, которые сложены радиально-лучистыми и одновременно колломорфно-слоистыми агрегатами. Хризоколла имеет голубовато-зеленый, светло-зеленый, местами темно-зелёный цвет.

Малахит и *азурит* встречаются спорадически. Первый образует скрыто-кристаллические, зернистые скопления и радиально-лучистые агрегаты удлиненных кристаллов. Наблюдаются также колломорфные выделения малахита. Последний часто пропитывает карбонат и другие нерудные минералы, окрашивая их в зеленый цвет. Внутри агрегатов малахита изредка встречаются сростки хлористого

соединения меди – атакамит $[\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3]$. Азурит встречается в разрозненных зернах, иногда в колломорфных выделениях.

Халькоzin и ковеллин, являясь вторичными сульфидными минералами меди, встречаются редко. Они образуют агрегаты различных конфигураций во вмещающих породах. Иногда эти агрегаты образуют в нерудной массе брекчевидные текстуры. Эти брекчи, имея эллипсо- и линзовидные формы, занимают небольшие площади.

Самородная медь также отмечается редко. Она представлена в основном выделениями неправильной формы, по которым, как было отмечено выше, развивается куприт в виде широкой каймы. Отмечается большой разброс размеров выделений самородной меди: от весьма мелких аллотриоморфных, дендритовидных, пористых, мохообразных частичек (зерен) до плотных, удлиненных, проволоковидных форм (прожилков) металла, диаметром 4-5 мм и длиной до 9-12 мм (рис. 2). Часто наблюдаются мелкие включения самородной меди (0,01-0,1 мм), проникающие в куприт по микротрещинам последнего, а также образующего скопления вблизи выделений куприта. Иногда встречаются выделения самородной меди, корродированные гидроокислами железа.

Магнетит встречается в виде спорадически рассеянных зерен в нерудной массе. Обычно он целиком или частично замещен гематитом по периферии. Наблюдаются также замещение магнетита гидроокислами железа.

Золото, вследствие незначительных его содержаний (0,2-0,4 г/т), в изученных аншлифах не выявлено. В этой связи для оценки его структурного состояния усредненные, относительно крупноизмельченные (60-65% – 0,08 мм) материалы проб Гейдаринского и Хал-Халского (проба №4) рудопроявлений, были подвергнуты ртутной амальгамации. В результате установлено, что почти всё золото, содержащееся в этих пробах, было извлечено в амальгаму. Данный фактор свидетельствует, что основное количество этого металла в рассматриваемом минеральном сырье представлено в свободном самородном состоянии, возможном для извлечения как гравитационным, так и флотационным методами обогащения.

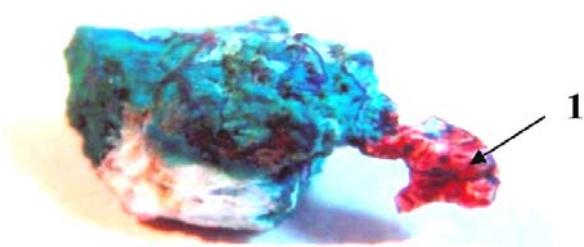


Рис. 2. Самородная медь (1), ассоциируемая с теноритом, хризоколлой, покрыта порошковатым малахитом

В целом, по результатам минералогопетрографических исследований в материалах проб рассматриваемых конгломератовых рудопроявлений выявлен широкий набор разнообразных, в основном гипергенных минералов меди, что подтверждает высокую степень окисленности данного минерального сырья. При этом необходимо отметить, что многие из них, наряду с тесной ассоциацией с минералами вмещающих пород (особенно с гидроокислами железа и глинистыми составляющими) и колломорфным состоянием, резко отличаются своими физико-химическими и соответственно технологическими свойствами. В этой связи возникает необходимость оценки рассматриваемых ниже количественных соотношений присутствующих в этих рудах технологических разновидностей минеральных форм меди.

Золото, как ценный попутный компонент, характеризуется в данном минеральном сырье в основном свободной самородной формой, пригодной для извлечения гравитационным, либо флотационным методами обогащения.

Технологические разновидности минералов меди

Основным, наиболее рациональным технологическим методом переработки первичных и частично окисленных (смешанных) медных руд является, как известно, флотационный способ обогащения. Возможность переработки окисленных руд данным способом определяется обычно относительным количеством (по сравнению с общим содержанием) в них сравнительно легкофлотируемых гипергенных минералов, так называемой *свободной меди*: малахит, азурит, тенорит, куприт, а также халькоzin, ковеллин и само-

родная медь. К трудно и практически не флотируемым минералам относят минералы *связанной меди*, в том числе: хризоколлу, диптаз, минералы водорастворимой меди (хальконтит, бутит), а также изоморфно связанные с некоторыми гидроокислами железа и частично с гидросиликатами, алюмосиликатами и фосфатами (бирюза, элит и др.). В этой связи для технологической характеристики окисленных медных руд большое значение имеет не только детальное изучение вида соединений меди (минералогическое изучение), но и некоторая общая суммарная характеристика этих соединений, определяющая пригодность данной руды для переработки тем или иным методами.

В зависимости от соотношения содержаний *свободной* и *связанной* меди, определяемого специальным рациональным химическим анализом, окисленные руды условно делят на относительно легкофлотируемые – неупорные и труднофлотируемые – упорные. При суммарном содержании легкофлотируемых соединений меди более 75% руда считается неупорной (Абрамов, 1986). Упорные же руды при соответствующих экономически выгодных содержаниях общей меди перерабатывают обычно комбинированными методами, основанными на гидрометаллургических процессах.

С целью определения пригодности рассматриваемого минерального сырья для переработки его флотационным либо гидрометаллургическим методами на усредненных материалах технологических проб Гейдаринского и Хал-Халского (проба №4) рудопроявления был выполнен соответствующий рациональный (фазовый) анализ (табл.2) по методике, представленной в работах А.А. Абрамова (1986) и С.И. Митрофанова и др. (1970). Определение количества водорастворимой (сульфатов) и самородной меди, а также халькопирита выполнено по методике Н. А. Филипповой (1963).

Результаты исследований (табл.2) свидетельствуют, что в рассматриваемом минеральном сырье количество флотационно-извлекаемых минералов меди незначительно (42-48%), поэтому применение названного метода обогащения представляется нецелесообразным.

Наиболее эффективным для извлечения меди из этих руд может быть технологическая схема, основанная на гидрометаллургических процессах. В этом случае, согласно экспериментально полученным данным (табл.2), при сернокислотном выщелачивании можно максимально извлечь в раствор до 96-98% меди, содержащейся в этих рудах.

В рассматриваемых рудах выявлено некоторое количество самородной меди (4-5 отн. %), крупные формы которой характеризуются обычно как гравитационно легко извлекаемые; мелкие же формы легко извлекаются флотацией.

Следует отметить весьма незначительное присутствие халькопирита, выявленное только в пробе Гейдаринского рудопроявления (0,5 отн.%), что ещё раз подтверждает высокую степень окисленности данного минерального сырья.

Технологическая характеристика руд

Вышеприведенный детальный анализ вещественного состава рассматриваемого минерального сырья дает основание полагать, что для наиболее полного извлечения из него многообразных минеральных форм основного ценного компонента – меди следует использовать технологические схемы, основанные на гидрометаллургических процессах. Вместе с тем наличие самородных форм выделений меди и золота указывает на целесообразность применения в «голове» технологической схемы обработки руд гравитационные способы обогащения. В этой связи технологические эксперименты были выполнены по обоим указанным направлениям.

Принимая во внимание, что в испытуемых рудах присутствуют наряду с мелкими относительно крупные формы самородной меди, а возможно, и золота, предварительно были выполнены укрупненные гравитационные опыты на передвижной (полевой) обогатительной установке ПОУ-4-3М конструкции Тульского НИИГП. Эти эксперименты были проведены на материалах 3 проб Хал-Халского рудопроявления (№1,2 и 3), весом по 60-80кг. Испытания были выполнены на 2 крупностях предварительно раздробленных руд: 10 и 5мм.

Таблица 2

Технологические разновидности минералов меди

Наименование технологических разновидностей минералов меди	Абсолютное содержание Cu, %		Распределение Cu, %	
	Гейдары проба №1	Хал-Хал проба №4	Гейдары проба №1	Хал-Хал проба №4
Флотационно-извлекаемые (растворимые в 2% р-ре KCN)	1,752	0,315	48,0	42,0
Гидрометаллургически-извлекаемые (растворимые в 5% р-ре H_2SO_4)	3,57	0,720	97,8	96,0
Водорастворимые (сульфаты)	0,007	0,0008	0,2	0,1
Самородная	0,186	0,032	5,1	4,3
Первичные сульфиды (халькопирит)	0,018	-	0,5	-
Общее содержание Cu в пробе	3,65	0,75		

В результате экспериментально установлено, что гравитационный способ обогащения материала крупностью 5мм, хотя и обеспечивает получение низкокачественного медного золотосодержащего концентрата (Cu – 14,5-16,5%, Au – 2г/т), однако степень извлечения названных металлов в этот концентрат не превышала соответственно 5,8 и 5%.

Данный фактор, как и предполагалось, подтвердил, что количество свободных крупных самородных форм меди и золота в рассматриваемом минеральном сырье неизначительно. Для эффективного извлечения самородных форм этих металлов и прежде всего золота руду необходимо измельчать более тонко.

С этой целью гравитационные опыты были продолжены в лабораторных условиях на сравнительно более тонко измельченных материалах (50-70% – 0,08мм) проб обоих рудопроявлений.

Экспериментально установлено, что использование гравитационной технологической схемы, включающей предварительную обработку измельченной руды (60-65% – 0,08 мм) в двухкамерной лабораторной отсадочной машине либо двухъярусном веерном шлюзе с последующей перечисткой полученного чернового концентрата на сотрясательном (концентрационном) столе, обеспечивает удовлетворительные для подобного минерального сырья показатели обогащения (особенно по золоту).

Из Гейдаринской руды был получен золотосодержащий медный концентрат (Cu – 28,5%, Au – 8,9г/т) при извлечении в него до 19,5% меди и 60% золота. Из руды

Хал-Хала (проба №4) с более низким содержанием в ней меди (0,76%) и золота (0,2г/т) получен золотосодержащий медный продукт (Cu – 5,1%, Au – 8,2г/т) при извлечении в него до 10,1% меди и 63% золота.

Примечательно, что в руде Хал-Хала концентрация золота в гравитационном концентрате повысилась (по сравнению с исходной рудой) более, чем в 40 раз. Кроме того, следует отметить, что значительная часть оставшегося, неизвлеченного из этой руды золота (25-30%), перераспределилась в хвосты концентрационного стола (хвосты перечистки), являющиеся промежуточным продуктом гравитационной схемы. Данный фактор дает основание предполагать, что в промышленных условиях, при осуществлении данного процесса в замкнутом непрерывном цикле, показатели извлечения золота в конечный гравитационный концентрат будут значительно выше указанных.

В целом, рассмотренные эксперименты выявили весьма важную технологическую характеристику золота данного минерального сырья. Основное количество этого металла представлено, хотя и мелкими, однако легко извлекаемыми гравитационным методом обогащения самородными формами. Изучение золотин, выделенных под бинокуляром из гравитационного концентрата Гейдаринского рудопроявления (рис. 3), показало, что они имеют в основном форму пластинок и дендритовидных кристаллов с пористой поверхностью, часть из них покрыта гидроокислами железа. Крупность золотин неравномерная, размеры их колеблются в пределах от 0,02 до 0,5мм.

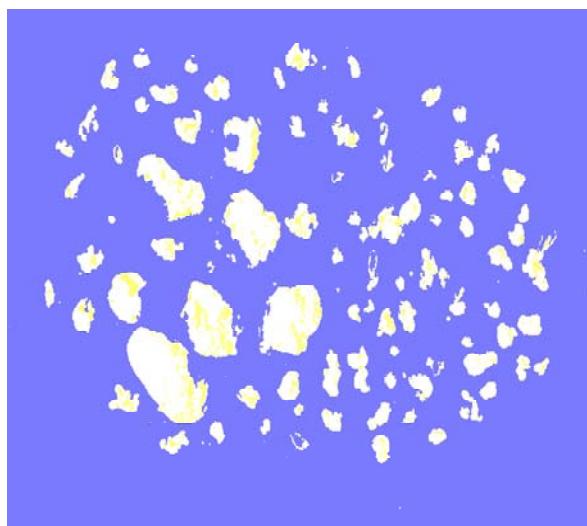


Рис. 3. Самородное золото, выделенное из гравитационного концентрата Гейдаринского рудопроявления

Как было отмечено выше, значительная часть основного ценного компонента данного минерального сырья представлена практически нефлотируемыми медными минеральными соединениями. Для извлечения последних были испытаны два гидрометаллургических способа, основанных на обработке рудного материала слабыми водными растворами серной кислоты (2-3%).

Один из них – агитационный, осуществлялся при механическом перемешивании относительно мелко измельченного материала в указанном растворе-растворителе. Второй – перколяционный, осуществлялся в соответствующих стеклянных перколяторах посредством непринудительного просачивания раствора-растворителя через слой неподвижно лежащего относительно крупнодробленого материала руды. Последний способ позволяет оценить возможность применения к рассматриваемому минеральному сырью экономически наиболее эффективного – кучного метода выщелачивания.

Эксперименты по агитационному способу выщелачивания, выполненные на рудах Гейдары и Хал-Хала (проба №4), показали, что наиболее высокие показатели растворимости меди (в пределах 93-96%) обеспечиваются как на материалах исходных технологических проб, измельченных до крупности 60-65% – 0.08 мм, так и на хвостах гравитации этих проб указанной крупности. При этом оптимальными усло-

виями выщелачивания являются: исходная концентрация серной кислоты в растворе-растворителе 40-60 г/л; Т:Ж=1:1,75-2,0; продолжительность процесса – 60 мин. при комнатной температуре (20-22⁰С).

Эксперименты по перколяционному выщелачиванию выполнены на материале пробы Хал-Хала (№4) крупностью 95% менее 5мм. Результаты этих исследований показали, что непосредственное перколяционное выщелачивание руды указанной крупности малоэффективно, что обусловлено наличием в обрабатываемом продукте значительного количества мелкого (0,5мм) шламистого глинистого материала, Последний, заполняя пространство между более крупными частицами руды, препятствует просачиванию раствора-растворителя.

С целью снижения отрицательного влияния шламов на ряде зарубежных предприятий, перерабатывающих подобные окисленные медные руды, применяют предварительное выделение шламов посредством грохочения дробленой руды по классу менее 1мм. Материал менее 1мм подвергается агитационному, а классы более 1мм – перколяционному выщелачиванию в отдельных циклах (Абрамов и др., 1991).

Подобная комбинированная технология, испытанная на пробе руды Хал-Хала (№4) с исходной крупностью 5мм, обеспечила высокую эффективность как перколяционного, так и агитационного узла выщелачивания. В изысканных оптимальных режимах названных процессов суммарная степень растворимости меди составила почти 94% при расходе серной кислоты 64 кг/т руды. При этом один из главных показателей, определяющих возможность применения перколяционного процесса – скорость просачивания (перколяции) раствора увеличилась более, чем в 70 раз по сравнению с аналогичным процессом на необесшламленном материале.

Для выделения меди из продуктивных растворов применен метод осаждения (цементации) ее губчатым железом, широко используемым в практике переработки подобных руд. С этой целью были испытаны два способа выделения медного концентрата: фильтрационный, основанный на осаждении меди из предварительно отфильтрованного раствора;

безфильтрационный, основанный на цементации меди непосредственно в пульпе сернокислотного выщелачивания с последующей флотацией образовавшейся цементной меди из этой же пульпы. Последний способ, согласно данным практики, обеспечивает возможность извлечения во флотационный концентрат определенного количества благородных металлов, часто присутствующих в подобных типах руд (Абрамов и др., 1991).

Экспериментально установлено, что комбинированная перколяционно-агитационная схема выщелачивания относительно крупнодробленого материала (95% – 5 мм) руды Хал-Хала с последующим выделением меди из продуктивных растворов цементацией губчатым железом, обеспечивает получение качественного концентрата (Cu – 59,1%) при извлечении меди из этой руды в количестве 93,5%.

Опыты по безфильтрационной технологии, основанной на агитационном выщелачивании измельченной (60-62% – 0,08мм) руды Хал-Хала с последующей флотацией цементной меди непосредственно из пульпы выщелачивания, показали возможность получения золотосодержащего медного концентрата (Cu – 48,6%, Au – 6,8 г/т), при извлечении в него меди – 89,6% и золота – 58,5%.

Комбинированная технологическая схема, включающая предварительное гравитационное обогащение с последующей гидрометаллурго-флотационной схемой переработки хвостов гравитации была испытана на пробе руды Гейдары крупностью 50% – 0,08 мм. Данная схема и изысканный технологический режим обеспечили возможность получения двух медных золотосодержащих концентратов: гравитационного (Cu – 28,5%, Au – 8,9 г/т) и флотационного (Cu – 36,8%, Au – 1,4 г/т), при суммарном извлечении в них 95,7% меди и 75,8% золота, содержащихся в указанной пробе руды.

Заключение

Детальное изучение вещественного состава 5-ти технологических проб и галечного материала, отобранных из двух рудопроявлений Асхабюкяфской группы конгломератовых отложений Нахчыванской АР, позволяет характеризовать данное минеральное сырьё как золото-

носные медные руды интенсивно окисленного типа. При этом галечный материал, составляющий значительную часть этого минерального сырья, представляет собой идентичную золотосодержащую медную руду, не отличающуюся от цементирующего его материала.

Медь в рассматриваемом минеральном сырье представлена широким набором гипергенных минералов (куприт, тенорит, хризоколла, малахит, азурит, халькозин, ковеллин, атакамит) и частично (на 4-5 отн.%) самородной формой. Последняя характеризуется как весьма мелкими (0,01-0,1мм), так и относительно крупными удлиненными (до 9-12 мм) проволоковидными выделениями. Гипогенной формы сульфида меди – халькопирита в изученных материалах выявлено весьма незначительно (0,5 отн.%).

Технологически значительная часть соединений меди (более 50 отн.%) характеризуются практически не извлекаемыми флотационным методом обогащения минеральными формами (хризоколла, колломорфные формы малахита и азурита, тесно ассоциируемые с минералами вмещающей породы и др.). Вместе с тем основная часть меди (более 95%) представлена гидрометаллургически легко извлекаемыми (в слабых растворах серной кислоты) минеральными соединениями.

Золото, несмотря на незначительное (0,2-0,4г/т) его содержание в изученных технологических пробах, характеризуется в основном хотя и мелкими, однако свободными самородными формами, легко извлекаемыми гравитационными методами обогащения. Крупность золотин (рис.3), выделенных из гравитационного концентрата одной из технологических проб (Гейдара), колеблется в пределах от 0,02 до 0,5 мм.

С учетом вещественного состава и выявленных технологических особенностей данного минерального сырья, для выделения ценных компонентов (Cu, Au) разработаны и испытаны в лабораторных условиях различные технологические схемы, основанные как на комбинации гравитационного обогащения и гидрометаллургического процесса, так и на непосредственной гидрометаллургии. По всем испытанным схемам получены высокие технологические показатели извлечения меди и золота в кондиционные товарные продукты –

концентраты. Рекомендация какой-либо одной из них может быть сделана только после более детальных геологоразведочных работ по оценке золотоносности рассматриваемых рудоносных конгломератовых отложений.

При достаточно значимых запасах золота наиболее рациональной представляется схема, основанная на гравитационно-гидрометаллургической технологии переработки относительно тонко измельченной (50-60% менее 0.08мм) руды.

При отсутствии значимых запасов золота наиболее экономически и технологически эффективной представляется комбинированная гидрометаллургическая схема, основанная на перколяционно-агитационном процессе переработки относительно крупнодробленой руды размером менее 10 мм, а, возможно, и менее 20 мм. По этой схеме в качестве перколяционного процесса может быть использован один из наиболее экономически выгодных – кучный метод выщелачивания.

В целом, согласно приведенным исследованиям, рудоносные конгломератовые отложения Асхабюкяфской группы рудопроявлений представляются перспективными на обнаружение относительно значимых запасов золота. Для более детальной оценки золото-

носности этого минерального сырья рекомендуется проведение соответствующих геологоразведочных работ.

ЛИТЕРАТУРА

- АБРАМОВ, А.А. 1986. Технология обогащения окисленных и смешанных руд цветных металлов. Недра. Москва. 302.
- АБРАМОВ, А.А., ГОРЛОВЕЦКИЙ, С.Н., РЫБАКОВ, В.В. 1991. Обогащение руд цветных и редких металлов в странах Азии, Африки и Латинской Америки. Недра. Москва. 312.
- АХМЕДОВ, А.З. 1971. Изучение обогатимости вкрапленных медистых руд олигоценовых отложений Нахичеванской АССР. Отчет Аз. ОКИ ЦНИГРИ. Государственные Информационно Архивные Фонды Министерства Экологии и Природных Ресурсов (ГИАФ МЭПР). Баку.
- КЕРИМОВ, Ю.А. и др. 1981. Отчет о результатах поисковых работ на площади развития третичных магматических образований вдоль полосы Нахичеванского бортового разлома на ртуть, сурьму и редкие элементы за 1977-1979гг. ГИАФ МЭПР. Баку.
- МАМЕДОВ, М.М. и др. 1964. Отчет Нахичеванской поисково-разведочной партии за 1961-1963гг. ГИАФ МЭПР. Баку.
- МИТРОФАНОВ, С.И. и др. 1970. Комбинированные методы переработки окисленных и смешанных медных руд. Недра. Москва. 288.
- ФИЛИППОВА, Н.А., 1963. Фазовый анализ руд цветных металлов и продуктов их переработки. Металлургиздат. Москва. 20- 27.

Рецензент: член-корр. НАН Азербайджана Г.В.Мустафаев