

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД
ДАГКЕСАМАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
(МАЛЫЙ КАВКАЗ)**

Ахмедов А.З., Китачаев Ш.М., Шибаева А.А., Ахмедов А.М., Алиева Т.М.

*Национальная Геологоразведочная Служба МЭПР Азербайджана
AZ1073, Баку, ул. Б.Агаева, 100(А): alikhmedov@mail.ru*

**MATERIAL COMPOSITION AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ORES
OF DAGKESAMAN GOLD FIELD (LESSER CAUCASUS)**

Akhmedov A.Z., Kitachayev Sh.M., Shibayeva A.A., Akhmedov A.M., Aliyeva T.M.

*National Geological Exploration Service of MENR of Azerbaijan
100(A), B.Agayev str., Baku, AZ1073: alikhmedov@mail.ru*

Keywords: *Lesser Caucasus, gold ore, material composition, refining technology, gravity, flotation, hydrometallurgy, cyanidation*

Summary. On the example of technological ore samples (~ 150 kg) taken from ores of the upper horizons of the deposit, the material composition (chemical and mineralogical), as well as textural and structural forms of the connection of gold with various minerals that make up the ore, the composition and degree of oxidation of ore minerals, technological (metallurgical) features of this gold ore minerals have been described in the paper. The main industrialized valuable component in the test is the gold ore, which is characterized by native form. Varieties, as well as the main dimensions of the present particles of native gold, a significant number of which is characterized by small forms (0.005-0.01mm) have been identified and considered. The ore minerals are mostly supergene forms of iron compounds, and the host rocks are characterized by basalts porphyry structure modified by autometasomatism. It has been established that gold in the ore under study using such methods as gravity, flotation and hydrometallurgy (cyanidation) is characterized by relatively easy recoverability while degree of material grinding reaches 80-85% <0.075 mm. According to the results of the experiments performed, the corresponding mode of the most effective combined technological scheme was developed and recommended. The latter is based on the preliminary gravity of ore crushed to a certain size in the corresponding hydrocyclone and the subsequent agitation method of cyanidation obtained by the rough gravity concentrate. The recommended technology, confirmed by relevant laboratory experiments, provides the possibility of extracting up to 94.5% of gold from ore to the leach solution for subsequent use in the production of Dore alloy ingots.

© 2019 Earth Science Division, Azerbaijan National Academy of Sciences. All rights reserved.

Введение

В последние годы азербайджанская часть Малого Кавказа становится крупным золоторудным регионом Республики. В настоящее время здесь осваиваются Гядабейское и Човдарское (Дашкесанский административный район) золоторудные месторождения. Кроме того, в данном регионе по результатам предварительной стадии геологоразведочных работ, выполненных в 1966-1974 годах, было разведано весьма перспективное Дагкесаманское золоторудное месторождение, расположенное в Акстафинском районе (Абдуллаев и др., 1975).

Согласно материалам геологоразведочных работ, месторождение было изучено многочисленными буровыми скважинами и горными выработками от поверхности до глубины 300 м. Специально для разведки основных рудоносных зон нижних горизонтов (горизонт 400 м) была пройдена шахта глубиной 114 м с системой штреков, квершлагов и ортов.

На месторождении развиты в основном сульфидоносные жилы переменного состава. В результате гипергенного изменения широкое развитие на оцениваемой площади получили зоны окисления и вторичного сульфидного обога-

щения, в которых сосредоточены основные запасы золота месторождения. Отмечается, что золото-серебряное оруденение с глубиной переходит в полиметаллические руды.

По кондиционным лимитам, рассчитанным в 1975 г., на месторождении установлены запасы золота в количестве 3.8 тонн при среднем содержании Au – 5.3 г/т и Ag – 28 г/т. В указанные относительно небольшие запасы того времени вошли только зоны с богатым оруденением золота и частично отдельные участки рудовмещающих жил. Однако необходимо отметить, что согласно геолого-экономическим исследованиям, выполненным в НИИМР Национальной геологоразведочной службы, пересчёт кондиций по новым современным мировым ценам золота может обеспечить возможность увеличения запасов золота месторождения почти в 10 раз за счёт снижения бортового и соответственно среднего содержания этого металла до 2.0-2.5 г/т (Şirinov, Hüseyinov, 2015).

В этой связи представляется актуальным детально изучить вещественный состав и технологические (металлургические) особенности руд, характеризующие основные запасы месторождения с относительно невысоким содержанием золота (2.0-3.0 г/т) в них, а также разработать и экспериментально оценить для этого минерального сырья рациональную технологическую схему его переработки.

Отметим, что ранее (1979 г.) Институтом «Армнипроцветмет» (г. Ереван) по заданию Министерства цветной металлургии бывшего Советского Союза были произведены лабораторные минералого-технологические исследования на материале технологической пробы весьма богатой руды (Au – 9.4 г/т, Ag – 67 г/т), отобранной из поверхности (канавы и шурфа) зоны № 4 месторождения (Акмаева и др., 1979).

Дагкесаманское месторождение рассматривалось в этот период времени как сырьевой источник для Араратской ЗИФ (Армения). В этой связи технологическая оценка материала указанной пробы была выполнена по довольно сложной комбинированной технологической схеме (гравитация – флотация – цианирование хвостов флотации), осуществляемой в то время на названной ЗИФ. При этом исследования были проведены в упрощенном варианте и весьма поверхностно. В этой связи предложенная рекомендация технологической схемы не соответствовала технологическим особенностям оцениваемого материала руды.

Рассматриваемые в данной статье исследования выполнены на материале технологической

пробы руды весом 150 кг, отобранной в 2016 г. из стенок основного ствола ранее пройденной разведочной штольни № 3, расположенной на относительно высоких горизонтах Дагкесаманского месторождения.

В процессе этих исследований были детально изучены вещественный состав (химический, минералогический, текстурно-структурная форма связи золота с различными минералами) и технологические – металлургические особенности материала этой пробы. С учётом выявленных факторов экспериментально оценены различные методы переработки исследуемого материала руды, осуществляемые в промышленной практике переработки золоторудного минерального сырья.

Вещественный состав материала объекта исследований

Химический состав материала технологической пробы, установленный по результатам химического, пробирного (на Au, Ag) и приближенно-количественного рентгенофлуоресцентного (XRF) анализов (табл.1), свидетельствует, что основным промышленно значимым элементом в нём является только золото с содержанием в пределах 2.6–2.8 г/т. Серебро представлено промышленно незначимым содержанием (1.0-1.4 г/т). Положительным фактором для рассматриваемого золоторудного минерального сырья является незначительное присутствие в нём вредных для металлургии элементов-примесей (As и Sb).

Рассматривая состояние основных рудообразующих элементов (Fe, S) и их химических соединений, отметим относительно повышенное содержание оксида железа (6.57%) по сравнению с серным ангидридом (2.9%) и соответственно количеством общей серы (1.16%). Данный фактор при наличии в рассматриваемом материале весьма незначительных количеств различных цветных металлов (Cu, Pb, Zn и др.) свидетельствует, что значительная часть железа в этой пробе руды представлена его оксидными – гипергенными минералами. Количество же серосодержащих – сульфидных форм железа, в том числе пирита, в руде незначительно.

Для оценки количественного соотношения основных форм минералов железа в руде был выполнен специальный гидрохимический фазовый анализ (Филиппова, 1963). Результаты этого анализа (табл.2) подтвердили отмеченное выше состояние названных минералов. Более 89% железа в руде представлено его оксидами (в т.ч. гидроксидами) и частично пирротинном. Количество же первичной сульфидной его формы – пирита составляет всего около 9%.

Таблица 1

Химический состав технологической пробы руды

№ п/п	Элементы	Содержание: %, г/т	№ п/п	Соединения	Содержание, %
1	Au*	2.6-2.8 г/т	1	SiO ₂	71.15
2	Ag*	1.0-1.4 г/т	2	Al ₂ O ₃	6.29
3	Zn	0.10	3	Fe ₂ O ₃ , В т.ч. Fe вал.	6.57
4	Cu	0.028			4.60
5	Pb	0.035	4	SO ₃ , В т.ч. S общ.	2.90
6	As**	0.0055			1.16
7	Sb**	0.002	5	CaO	1.15
8	Co**	0.006	6	MgO	0.01
9	Te**	0.0001	7	Na ₂ O	2.75
10	Se**	0.0001	8	K ₂ O	4.54
11	Cd**	0.0019	9	TiO ₂	0.01
12	Ni**	0.013	10	MnO	0.35
13	Mo**	0.006	11	P ₂ O ₅	0.10
14	Cl**	0.076	12	ППП	3.10
15	Hg**	0.0001		Итого	98.92
16	V**	0.0001			
17	Cr**	0.015			
	Итого	0.289			

Примечание: * - пробирный анализ; ** - XRF анализ

Таблица 2

Результаты гидрохимического фазового анализа минералов железа в руде

Формы минералов железа	Содержание Fe, %	Распределение %
Оксиды и пирротин	4.02	89.1
Сульфиды – пирит.	0.39	8.7
Другие – труднорастворимые	0.10	2.2
Руда по балансу	4.51	100

Породообразующие химические соединения в руде (табл.1) представлены в основном оксидом кремния (71.15%). Кроме того, в рассматриваемой пробе руды выявлены относительно повышенные содержания оксида алюминия (6.3%), а также оксидов калия (4.5%) и натрия (2.75%), свидетельствующие о наличии в исследуемом материале достаточно значимых количеств минералов глин. Последние, как известно, оказывают отрицательное влияние на технологические процессы переработки золотосодержащих руд.

Положительным фактором для технологии переработки данного минерального сырья является незначительное присутствие в нём карбона-

тообразующих оксидов кальция (1.15%) и магния (0.01%).

Формы нахождения самородного золота, его крупность и текстурно-структурные ассоциации с различными минералами являются одним из основных факторов, определяющих технологические особенности золоторудного минерального сырья. Для количественной оценки названных форм на материале данной пробы руды, измельчённой до крупности 80% <0.075 мм, был выполнен диагностический гидрохимический рациональный (фазовый) анализ по соответствующей методике (Зеленов, 1989).

Результатами этих исследований (табл.3) установлено, что при указанной крупности материала более 75% содержащихся в нём зерен самородного золота полностью освобождаются от сростков с другими минералами. Эти относительно крупные самородные частицы названного металла характеризуются обычно как технологически легко извлекаемые. Ещё около 21% частиц золота находится в сростках с различными минералами, однако поверхность этих золотин открыта, что обеспечивает возможность доступа к ним соответствующего реагента-растворителя (цианида). Эта форма золотин также характеризуется как легко извлекаемая.

Результаты диагностического фазового анализа руды крупностью 80% - 0,075 мм

№ п/п	Формы нахождения золота	Абсолютное содержание Au, г/т	Распределение форм Au, %
1	Свободное с чистой поверхностью (амальгамируемое ртутью) – легко извлекаемое	2.19	75.5
2	В минеральных сростках с открытой поверхностью (цианируемое) – легко извлекаемое	0.60	20.7
3	Тонкодисперсное, покрытое оксидами железа – трудно вскрываемое	0.07	2.4
4	Тонкодисперсное, заключенное в сульфидах и кварце – трудно вскрываемое	0.04	1
Итого в руде по балансу		2.90	100

В целом по результатам рассматриваемого анализа 96% золота в исследуемой пробе руды представлено легко извлекаемыми формами. Количество трудно извлекаемых – тонкодисперсных форм, заключенных (покрытых) в оксидах железа, а также в сульфидах и кварце, составляет всего около 4%.

Для оценки форм свободных золотин, выделенных ртутной амальгамацией, последние после отмывки их от ртути были подвергнуты просмотру под бинокулярным микроскопом (рис.1). В результате установлено, что основное количество этих золотин характеризуется мелкими зернами (от 0.03 до 0.1 мм) с отличающимися по цвету и соответственно пробности металла разновидностями: от ярко-желтого, светло-желтого (с относительно высокой пробностью) до коричневатого с красноватым оттенком. Различие цвета золотин, наряду с изменением пробности, вероятно, связано с окислением их поверхности в экзогенных условиях.

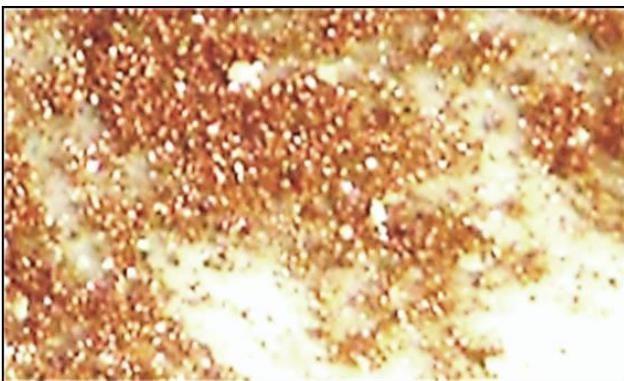


Рис. 1. Свободное самородное золото, выделенное из руды амальгамацией. Общий вид; бинокуляр, увеличение 25^x

Минералогический состав материала исследуемой руды был оценен посредством изуче-

ния под микроскопом нескольких прозрачных и полированных шлифов, изготовленных из наиболее представительных обломков каменного материала этой пробы.

По результатам изучения *прозрачных шлифов* установлено, что рудовмещающие породы представлены базальтами порфириковой структуры, измененными автometасоматозом. На измененный автometасоматозом базальт накладывается рудная минерализация в виде рассеянной вкрапленности пирита, редко тончайших волосовидных (0.1-0.2 мм) прожилков. Альбитизация, хлоритизация, пиритизация, замещение магнетита сфеном предшествовали развитию золотоносных альбит-кварцевых, кварцевых прожилков с убогой сульфидной минерализацией. Оценка текстуры кварца позволяет предполагать возможность отнесения его к эпitherмальному (близповерхностному) типу, частично измененному бластезом.

В одном из прозрачных шлифов при просмотре рудных минералов в боковом свете были выявлены зерна самородного золота в количестве 26 знаков, приуроченных к кварцу. Включения расположены примерно параллельно зальбанду, отчетливо обособляясь от пирита, образуя с последним случайные сростки. Размер золотин составляет 0.04-0.17 мм. Форма их полностью подчинена пустоткам в кварце и межзерновым стыкам. При большом увеличении по границам зерен золотин видны «корни» (рис. 2), проникающие вглубь кварцевых зерен.

Оценка рудной минерализации была произведена по результатам изучения под микроскопом ряда *анишлифов*, изготовленных как из преобладающих измененных рудовмещающих базальтов, так и из редких кварцевых прожилков.

Измененные рудовмещающие базальты характеризуются мономинеральным составом, где

единственным рудным минералом является *пирит*, образующий равномерную рассеянную вкрапленность в количестве 5-7% от объёма породы. Вкрапленники пирита имеют размеры 0.1-0.2, редко 0.5 мм, иногда сгруппированы по 3-4 штуки и нередко сопровождаются роем более мелких индивидов. Особенностью вкрапленников является часто встречаемая кубическая форма, иногда переходящая в неправильную из-за коррозии метакристаллов. В пирите часто наблюдаются обильные включения нерудной массы резко угловатой формы. Эту форму вкрапленников метасоматического пирита можно характеризовать как первая генерация.

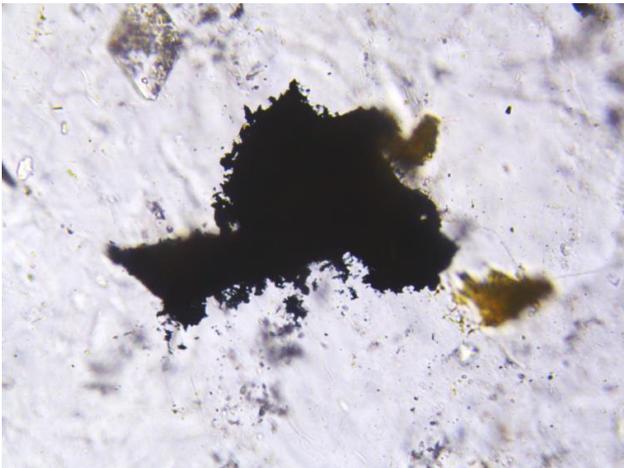


Рис. 2. Зерно самородного золота с «корнями». Прозрачный шлиф, проходящий свет. Увеличение 130 \times

Аншлифы из кварцевых прожилков характеризуются полиминеральной рудной минерализацией, включающей пирит, халькопирит, редко сфалерит и самородное золото. При этом текстура золотосодержащего кварца массивная с пустотками (3-5 мм), инкрустированными кристаллами. В виде включений данный кварц содержит тонкие полоски светло-зелёного хлорита. Цвет кварца меняется закономерно от молочно-белого с массой тонких включений глинистого минерала до просвечивающегося и полупрозрачного вблизи пустот. Трещиноватость ориентирована вдоль зальбандов и перпендикулярно к последним. Наиболее крупные скопления рудных минералов приурочены к границам пустот. В единичных случаях отмечаются кристаллы пирита, проникшие в пустотку.

Пирит образует разрозненные или сближенные включения в кварце размером от 0.01 до 1.0, редко 5 мм. Он характеризуется зёрнами неправильной формы и кубическими кристаллами массивного сложения с чистой гладкой поверхностью. В виде микровключений часто содержит халькопирит неправильной формы.

Халькопирит и в ещё меньшей степени *сфалерит* распространены значительно реже пирита. Они образуют изометричные и неправильные формы зёрна размером обычно 0.1-0.2 мм, а вблизи кварцевых пустот достигают иногда 5-7 мм. Халькопирит нередко содержит сеть трещин, заполненных *ковеллином*. Сфалерит часто содержит эмульсионную вкрапленность халькопирита.

Золото самородное, многочисленные знаки (81 шт.) которого обнаружены в одном из кварцевых аншлифов, приурочено в основном к призальбандовой полосе кварца. Оно обычно проявляет тенденцию к обособлению, и лишь в некоторых случаях зафиксированы срастания с пиритом. Цвет золотинок в основном густой ярко-жёлтый (высокая пробыность металла), но встречаются и более светлые зёрна жёлтого цвета. Форма золотинок полностью зависит от заполненных ими участков трещин и мелких пор. В целом характерны угловатые зерна. Отмечаются также искаженные квадраты в сечениях.

Для отмеченных выше 81 знака золотинок была произведена их статистическая оценка по крупности и по формам нахождения. По крупности золотины были подразделены на 3 класса, мм: 0.001-0.01 (очень мелкие); 0.01-0.1 (мелкие); 0.1-1.0 (относительно крупные). Результаты этого анализа (рис.3) показали, что основное количество (81.5%) самородного золота, выявленного в аншлифе, характеризуется мелкими (0.01-0.1 мм) зёрнами. Кроме того, до 14% золотинок в этом аншлифе представлено очень мелкими (0.001-0.01 мм) формами, а количество относительно крупных (0.1-1.0 мм) – гравитационно извлекаемых золотинок в руде весьма незначительно (~5%).

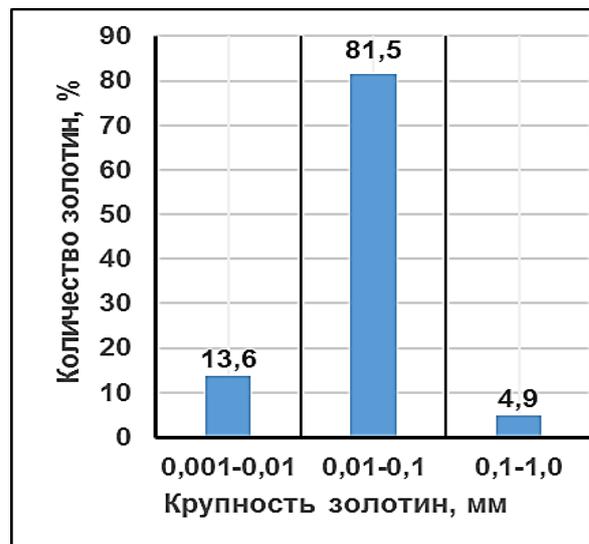


Рис. 3. Распределение по крупности золотинок, выявленных в аншлифе

Для статистической оценки форм нахождения золота были использованы следующие факторы его нахождения: в пустотках кварца (рис.4); в трещинках кварца (рис.5); в массивном кварце (рис.6); в сростании с пиритом в кварце (рис.7).

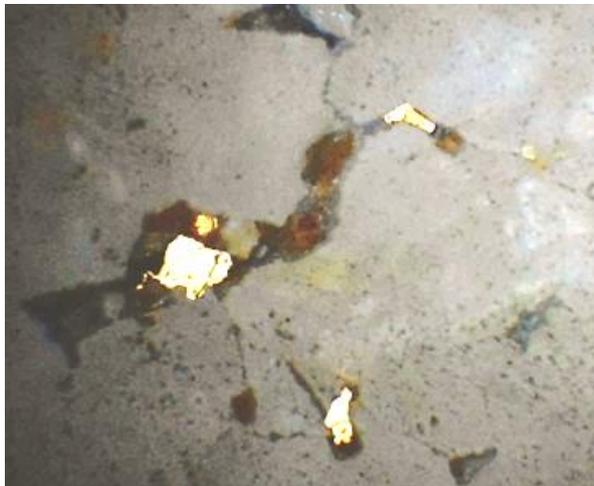


Рис. 4. Золото в пустотках кварца. Аншлиф, увеличение 130[×]

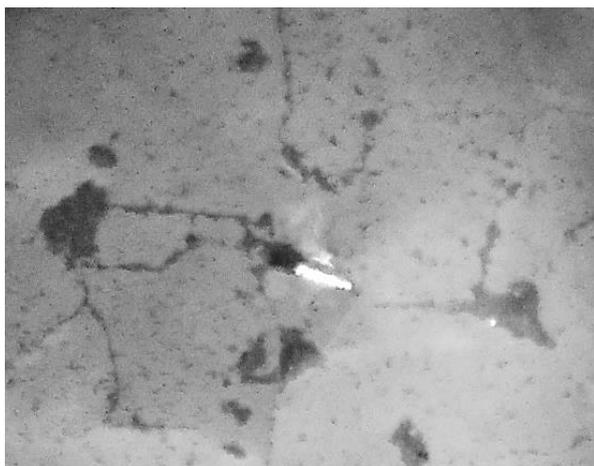


Рис. 5. Золото в трещинках кварца. Аншлиф, увеличение 130[×]

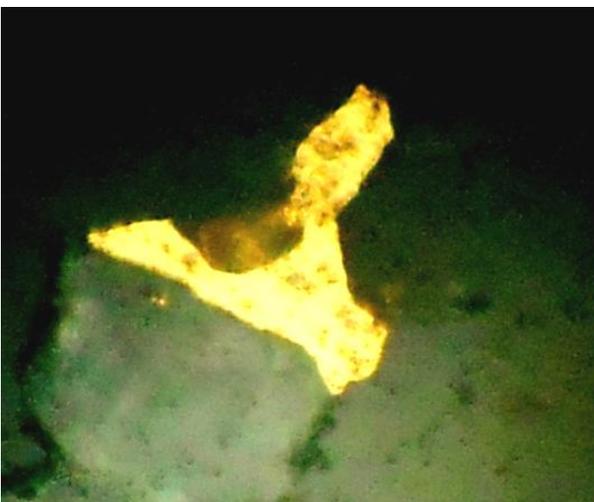


Рис. 6. Золото в массивном кварце. Аншлиф, увеличение 130[×]

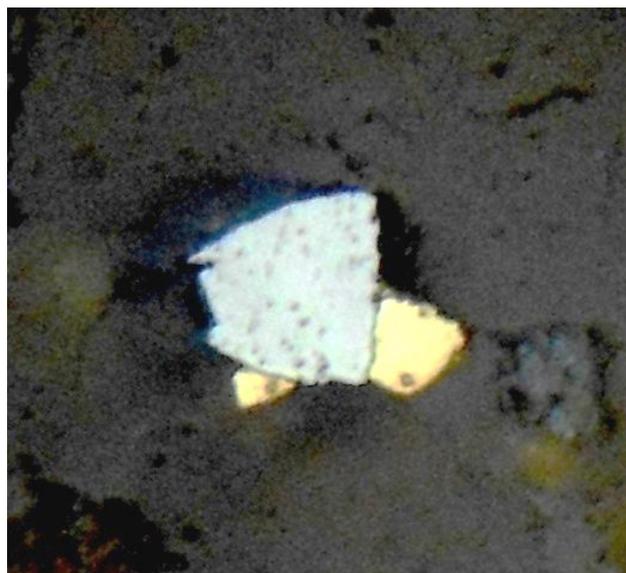


Рис.7. Золото в сростании с пиритом в кварце. Аншлиф, увеличение 130[×]

Результатами этого анализа (табл.4), включая оценку пределов крупности выявленных золотинок, установлено, что до 80% золота в рассматриваемом аншлифе (вероятно, и в руде) представлено в основном относительно мелкими (0.005-0.1 мм) свободными зёрнами, расположенными в пустотках и трещинках кварца, в том числе 21% из них (17 знаков) характеризуются очень мелкими (0.005-0.045 мм) зёрнами. Количество золотинок в сростках с пиритом незначительно (~11%), при этом они характеризуются более крупными (0.01-0.06 мм) зёрнами.

В целом, результаты минералогических исследований свидетельствуют, что основное количество золота в рассматриваемой руде, хотя и представлено мелкими зёрнами, однако при этом они характеризуются относительно легко доступными формами, находящимися в пустотах и межзерновых стыках кварца. Данный фактор, подтверждённый ранее представленными результатами диагностического фазового анализа (табл.3), может обеспечить эффективное высвобождение золотинок в процессе тонкого измельчения руды.

Кроме того, положительным технологическим фактором является наличие в руде двух разновидностей вмещающих пород: обогащенные рудной минерализацией, в т.ч. золотом; менее обогащенные с редкой рудной минерализацией. В этой связи представляется возможным выделение определённого количества относительно обеззолоченных фракций последних посредством экономически наиболее дешёвого гравитационного метода обогащения.

Результаты статистической оценки форм нахождения зёрен золота, выявленных в аншлафте

№ п/п	Формы нахождения золота	Пределы крупности золотин, мм	Количество знаков, шт.	Распределение, %
1	В пустотках кварца, рис.4	0.005 – 0.1	48	59.3.
2	В трещинках кварца, рис.5	0.005 – 0.045	17	21.0
3	В массивном кварце, рис.6	0.02 – 0.1	7	8.6
4	Сростки с пиритом, рис.7	0.01 – 0.06	9	11.1
	Итого	0.005 – 0.1	81	100

Технологическая характеристика материала руды

Для оценки технологических (металлургических) особенностей материала рассматриваемой пробы руды были экспериментально испытаны различные технологические процессы, применяемые в промышленной практике переработки подобного золоторудного минерального сырья, в том числе: гравитация, флотация и гидрометаллургия.

Опыты по *гравитационной технологии*, используемой обычно для выделения относительно крупного свободного золота в кондиционный гравиконоцентрат, как и предполагалось, не обеспечили положительных результатов. Эксперименты были выполнены на различном лабораторном гравитационном оборудовании, включая малогабаритную двухкамерную отсадочную машину, сотрясательный концентрационный стол, а также гидроциклонную установку с короткоконусным и длинноконусным гидроциклонами центробежного действия.

Относительно низкие показатели гравитационного обогащения золота обусловлены рассмотренными выше минералогическими исследованиями, свидетельствующими, что золото в исследуемой руде представлено в основном трудно извлекаемыми гравитацией мелкими (0.005-0.01 мм) формами.

Вместе с тем в процессе этих экспериментов выявлена весьма важная положительная технологическая особенность материала данной руды. Обработка руды, измельченной до определенной крупности (80-85% <0.075 мм), в длинноконусном гидроциклоне с соотношением диаметров песковой и шламовой насадок, равными соответственно 4 и 12 мм (1:3), обеспечивает возможность выделения из неё до 33-37% практически обеззолоченного материала пустой породы. При этом в песковую фракцию гидроциклона (черновой Au концентрат) извлекается более 96% золота с содержаниями, в 1.5 раза превышающими исходное содержание данного металла в руде. Потери золота в шла-

мовой фракции гидроциклона (отвальный продукт) составляют всего 3.8-3.9% с содержаниями данного металла 0.3-0.25 г/т.

Оценивая результаты испытаний в длинноконусном гидроциклоне, отметим весьма важное их технико-экономическое значение. Так, уже при первой основной операции переработки руды – измельчении, обеспечивается возможность довольно простым и дешёвым способом выделить из неё значительное количество пустой, практически обеззолоченной породы.

В последующих экспериментах по изысканию наиболее рациональной технологии переработки исследуемой руды были использованы как флотационный, так и гидрометаллургический методы. При этом названные эксперименты были выполнены как непосредственно на измельченном материале исходной руды, так и на отмеченном выше измельченном материале, предварительно подвергнутом гравитационной классификации в длинноконусном гидроциклоне.

Оценка эффективности *гидрометаллургического метода* была осуществлена посредством агитационного – чанового способа выщелачивания золота слабыми щелочными растворами цианистой соли. В этих исследованиях наряду с экспериментами, выполненными на тонко измельченном (70-90% <0.075 мм) материале, дополнительно была изучена возможность использования названного способа выщелачивания для относительно крупно раздробленного (100% <5 и <10 мм) материала руды. Опыты на последних позволяют оценить целесообразность применения к рассматриваемой руде кучного способа выщелачивания, характеризуемого в промышленной практике относительно низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

Представленные в табл. 5 технологические показатели экспериментов, полученные в оптимальных режимах обработки руды по всем испытанным технологическим схемам, свидетельствуют, что:

– *гравитационная обработка руды* крупностью 80% <0.075 мм в длинноконусном гидроцик-

лоне с использованием указанного выше технологического режима этой операции обеспечивает возможность выделения из руды до 32.4% практически обеззолоченной пустой – отвальной породы;

- *флотационная схема*, испытанная в условиях замкнутого цикла лабораторных опытов по соответствующему разработанному режиму этого процесса, обеспечивает возможность выделения из руды, измельченной до крупности 87% <0.075 мм, кондиционного золотосодержащего флотоконцентрата ($Au = 34.9 \text{ г/т}$) при извлечении в него из руды 90.9% названного металла;
- *агитационное выщелачивание* (цианирование) непосредственно тонко измельченной руды (85% <0.075 мм) обеспечивает возможность выделения в цианистый раствор до 97.8% содержащегося в ней золота при продолжительности процесса 8 часов и расходах: KCN – 1.1, CaO – 4.6 на кг/т руды.
- *агитационное выщелачивание* (цианирование) непосредственно относительно крупных классов дробленной руды (100% <5 и <10 мм) не обеспечивает удовлетворительных показателей растворимости золота. Степень растворимости названного металла по классу крупности -5 мм составило всего 50.3%, а по классу -10 мм – 29.1%, при продолжительности процесса 24 часа. Данные показатели, обусловленные присутствием в крупном материале руды в основном мелких – тонко вкрапленных форм самородного золота, указывают на нецелесообразность применения к данному минеральному сырью кучного способа выщелачивания, осуществляемого в статических – менее эффективных по сравнению с агитацией условиях;
- *комбинированная схема, включающая предварительную флотацию руды крупностью 85% <0.075 мм с последующим агитационным цианированием полученного золотосодержащего флотоконцентрата*, обеспечивает возможность сквозного извлечения из руды в цианистый раствор до 90.2% содержащегося в ней золота при продолжительности процесса выщелачивания 8 часов и расходах: KCN – 0.3, CaO – 0.5 на кг/т исходной руды.

– *комбинированная схема, включающая предварительную гравитационную классификацию руды крупностью 85% <0.075 мм с последующим агитационным выщелачиванием* (цианированием) концентрата гравитации (песков длинноконусного гидроциклона), обеспечивает возможность сквозного извлечения из руды в цианистый раствор до 94.5% содержащегося в ней золота при продолжительности процесса выщелачива-

ния 8 час. и расходах: KCN – 0.8, CaO – 1.85 на кг/т исходной руды.

В целом результаты представленных технологических (металлургических) исследований (табл.5) свидетельствуют, что материал рассматриваемой относительно бедной по золоту (2.6-2.8 г/т) руды зоны окисления Дагкесаманского месторождения представляет собой легко обогащаемое (по золоту) минеральное сырьё. Наиболее высокая степень извлечения золота (97.8%) наблюдается при применении технологии агитационного цианирования непосредственно руды крупностью 80% <0.075 мм.

Однако для переработки данного минерального сырья рекомендуется технически и экономически более целесообразная комбинированная технология, включающая предварительную гравитацию измельчённого материала руды в гидроциклоне с последующим агитационным цианированием полученного чернового золотосодержащего гравиоконцентрата. Данная технология, принципиальная рекомендуемая схема и разработанный технологический режим которой представлены на рис. 8, обеспечивает возможность выделения из руды в выщелачивающий раствор до 94.5% золота. Указанный раствор в последующем рекомендуется направлять на хорошо освоенное золоторудной промышленностью производство золотосодержащих слитков сплава Доре.



Рис. 8. Рекомендуемая принципиальная технологическая схема переработки руд Дагкесаманского месторождения

Заключение

Детально рассмотрен вещественный состав (химический и минералогический) и технологические (металлургические) особенности относительно убогой по золоту (2,5-2,7г/т) пробы руды (150 кг), отобранной из верхних горизонтов Даг-

кесаманского золоторудного месторождения, в которых сосредоточены основные его запасы. Установлены и описаны формы текстурно-структурных ассоциаций самородного золота с различными минералами, составляющими эту руду. Кроме того, выявлены разновидности и основные размеры присутствующих золотин, значительное количество которых характеризуются мелкими формами (0,005-0,01мм).

Для изыскания рациональной технологии переработки этого минерального сырья экспериментально испытаны и оценены различные технологические (металлургические) процессы, используемые в промышленной практике переработки подобных руд, в т.ч. методы гравитации, флотации и гидрометаллургии (цианирование). В целом, золото в исследуемой руде характеризуется относи-

тельно лёгкой извлекаемостью названными методами, при сравнительно тонкой степени измельчения (80-85% <0,075мм) материала.

По результатам выполненных экспериментов для переработки рассматриваемых руд месторождения разработана и рекомендована комбинированная технологическая схема, включающая предварительную гравитацию измельченной руды в гидроциклоне с последующим агитационным цианированием полученного черного золотосодержащего гравииоконцентрата. Эта технологическая схема и рекомендуемые в ней режимы используемых операций обеспечивают возможность выделения из исследуемой руды в соответствующий выщелачивающий раствор до 94,5% золота, направляемого далее на производство золотосодержащих слитков сплава Доре.

Таблица 5

Показатели переработки руды по различным испытанным технологиям

Технология и схема переработки руды	Крупность руды	Наименование продуктов переработки	Выход твердого, %	Абсолютное содержание Au, г/т	Извлечение Au, %
Гравитация в длинноконусном гидроциклоне	80% <0.075мм	Пески гидроциклона (концентрат)	67.64	3.68	96.2
		Шламы гидроциклона (отвал)	32.36	0.30	3.8
		Руда по балансу	100	2.58	100
Флотационная схема	87% <0.075мм	Au концентрат флотации	7.90	34.93	90.9
		Хвосты флотации (отвал)	92.1	0.30	9.1
		Руда по балансу	100	3.03	100
Агитационное цианирование тонко измельченной руды	80% <0.075мм	Au раствор CN ⁻	0.8	326.3	97.8
		Хвосты цианирования	99.2	0.06	2.2
		Руда по балансу	100	2.67	100
Агитационное цианирование крупных классов руды	<5мм	Au раствор CN ⁻	1.0	148.5	50.3
		Хвосты цианирования	99.0	1.48	49.7
		Руда по балансу	100	2.95	100
	<10мм	Au раствор CN ⁻	1.1	85.0	29.1
		Хвосты цианирования	98.9	2.30	70.9
		Руда по балансу	100	3.21	100
Комбинированная схема: флотация – цианирование концентрата флотации	85% <0.075мм	Au раствор CN ⁻	0.07	3902.6	90.2
		Хвосты цианирования (отвал)	7.83	0.25	0.7
		Хвосты флотации (отвал)	92.1	0.30	9.1
		∑Отходы технол. схемы	99.93	0.296	9.8
		Руда по балансу	100	3.03	100
Комбинированная схема: Гравитация – цианирование концентрата гравитации (рис. 8)	85% <0.075мм	Au раствор CN ⁻	0.80	291.7	94.5
		Хвосты цианирования (отвал)	60.92	0.06	1.5
		Хвосты гравитации (отвал)	38.28	0.26	4.0
		∑Отходы технол. схемы	99.20	0.137	5.5
		Руда по балансу	100	2.47	100

В итоге отметим, что результаты рассматриваемых исследований свидетельствуют о принципиальной технологической (металлургической) возможности рентабельной отработки руд зоны окисления Дагкесаманского месторождения при среднем содержании золота в них 2.0-2.5 г/т. Данный фактор, а также современная весьма высокая стоимость золота позволяют, по нашему мнению, пересчитать кондиции и значительно увеличить запасы этого металла месторождения по сравнению с ранее

утвержденными (1975 г., 3.8 тонн) при среднем содержании данного металла – 5.3 г/т. В этой связи отмеченные выше результаты геолого-экономических исследований НИИМП Национальной Геологоразведочной Службы (Şirinov, Hüseynov, 2015), указывающие на возможность увеличения запасов золота рассматриваемого месторождения почти в 10 раз за счет переоценки соответствующих кондиций, представляется вполне реальными.

ЛИТЕРАТУРА

- Абдуллаев Ф.Ш., Казимов К.Г., Рамазанов Ю.А. Отчет о результатах поисковых работ и предварительной разведки Дагкесаманского золото-полиметаллического месторождения за 1966-1974гг. ГИА Фонды МЭПР Азербайджана, Баку, 1975, 123 с.
- Акмаева С.С. и др. Минералого-технологическое исследование пробы Дагкесаманского месторождения. Отчет Армниипроцветмета (Ереван), ГИА Фонды МЭПР Азербайджана, Баку, 1979, 49 с.
- Зеленов В.И. Методика исследования золото- и серебросодержащих руд. Недра. Москва, 1989, 302 с.
- Филиппова Н.Ф. Фазовый анализ руд цветных металлов и продуктов их переработки. Metallurgizdat. Москва, 1963, 212 с.
- Şirinov Y.R., Hüseynov Q.S. Filiz yataqların ehtiyatlarının hesablanması və ekspert qiymətləndirilməsi üçün elmi-metodik əsasların hazırlanması. MХETİ-un hesabatı, DİAF Azərbaycanın ETSN, Bakı, 2015, 144 с.

REFERENCES

- Abdullayev F.Sh., Kazimov K.G., Ramazanov Yu.A. Report on the results of prospecting and preliminary exploration of the Dagkesaman gold-polymetallic deposit for 1966-1974. GIA Funds of the MENR of Azerbaijan, Baku, 1975, 123 p. (in Russian).
- Akmayeva S.S. et al. Mineralogical and technological research of a sample from the Dagkesaman field. Report Armnii-prosvetmet (Yerevan), GIA Funds of the MENR of Azerbaijan, Baku, 1979, 49 p. (in Russian).
- Filippova N.F. Phase analysis of non-ferrous metals ores and refinery products. Metallurgizdat. Moscow, 1963, 212 p. (in Russian).
- Shirinov Y.R., Huseynov G.S. The preparation of scientific and methodological basis for calculation and expert assessment of ore bed reserves. Report of Scientific Research Institute of Mineral Resources. GIA Funds of the MENR of Azerbaijan, Baku, 2015, 144 p. (in Azerbaijani).
- Zelenov V.I. Research methodology for gold and silver ores. Nedra. Moscow, 1989, 302 p. (in Russian).

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУД ДАГКЕСАМАНСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАЛЫЙ КAVKAZ)

Ахмедов А.З., Китачаев Ш.М., Шибаетова А.А., Ахмедов А.М., Алиева Т.М.

Национальная Геологоразведочная Служба МЭПР Азербайджана
AZ1073, Баку, ул. В.Агаева, 100(А): alikahmedov@mail.ru

Резюме. На примере технологической пробы руды (~150 кг), отобранной из руд верхних горизонтов месторождения, детально рассмотрены вещественный состав (химический и минералогический), текстурно-структурные формы связи золота с различными минералами, составляющими руду, состав и степень окисленности рудных минералов, а также технологические (металлургические) особенности этого золоторудного минерального сырья. Основным промышленно ценным компонентом в исследуемой руде является золото, характеризующееся самородной формой. Выявлены и рассмотрены разновидности, а также основные размеры присутствующих частиц самородного золота, значительное количество которых характеризуется мелкими формами (0.005-0.01 мм). Рудные минералы представлены в основном гипергенными формами соединений железа, а рудовмещающие породы характеризуются базальтами порфириковой структуры, измененными автотомасоматозом. С учетом вещественного состава и выявленных технологических особенностей исследуемого материала руды экспериментально оценены различные технологические (металлургические) методы, осуществляемые в промышленной практике переработки подобного минерального сырья, в том числе: гравитация, флотация и гидрометаллургия (цианирование). В целом золото в исследуемой руде характеризуется относительно легкой извлекаемостью названными методами при сравнительно тонкой степени измельчения (80-85% <0.075 мм) материала. По результатам выполненных экспериментов разработан и рекомендован соответствующий режим наиболее эффективной комбинированной технологической схемы. Последняя основана на предварительной гравитации измельченной до определенной крупности руды в соответствующем гидроциклоне и последующем агитационном способе цианирования полученного черного гравиионоконцентрата. Рекомендуемая технология, подтвержденная соответствующими лабораторными экспериментами, обеспечивает возможность выделения из руды в выщелачивающий раствор до 94,5% золота для последующего его использования в производстве слитков сплава Доре.

Ключевые слова: Малый Кавказ, Дагкесаман, золото, руда, вещественный состав, технология переработки, гравитация, флотация, гидрометаллургия, цианирование

**DAĞKƏSƏMƏN QIZILLI FİLİZ YATAĞI FİLİZLƏRİNİN MADDİ TƏRKİBİ
VƏ TEXNOLOJİ XÜSUSİYYƏTLƏRİ (KİÇİK QAFQAZ)**

Əhmədov Ə.Z., Kitaçayev Ş.M., Şibayeva A.A., Əhmədov Ə.M., Əliyeva T.M.

Azərbaycan ETSN Milli Geoloji Kəşfiyyat Xidməti

AZ 1073, Bakı şəh., B.Ağayev küç., 100(A:) alikahmedov@mail.ru

Xülasə. Məqalədə yatağın üst horizontlarını təmsil edən filizlərdən götürülmüş texnoloji filiz sınağının (çəkisi 150 kq) dəqiq maddi tərkibi (kimyəvi və mineraloji), qızılın müxtəlif minerallarla tekstur-struktur əlaqəsi, filiz minerallarının oksidləşmə dərəcəsi və müxtəlif texnoloji (metallurji) əlamətləri bu qızılı mineral xammal üçün aparılmış təcrübələrlə təqdim edilir. Tədqiq edilən filizdə əsas sənaye dəyərli komponent sərbəst formada olan qızıldır. Sərbəst qızıl dənələrinin növləri və əsas ölçüləri təyin edilmiş və nəzərdən keçirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qızıl dənələrinin əksər hissəsi kiçik formalarla (0.005-0.01mm) təmsil olunur. Filiz mineralları əsasən dəmir birləşmələrinin hipergen formaları ilə, filizdaşıyıcı süxurlar isə avtometasomatoz ilə modifikasiya edilmiş porfir strukturlu bazaltlar ilə xarakterizə olunur. Filiz sınağında aşkar edilmiş mineraloji və texnoloji əlamətləri nəzərə alaraq, onun əldə edilməsi üçün qızılı mineral xammal sənayesində istifadə olunan zənginləşdirmə (qravitasiya, flotasiya) və hidrometallurgiya (sianidli aşındırma) texnologiyalarının əsas üsulları aparılmış təcrübələrlə araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan filiz nisbətən kiçik ölçü dərəcəsində (80-85% <0,075mm) üyüdülmə təqdirdə, qızılın əksər hissəsi nəzərdən keçirilmiş üsullarla asan ayrılır. Aparılmış təcrübələrlə tədqiq olunan filizin emalı üçün ən səmərəli kombinə edilmiş qravitasiya – hidrometallurgiya (sianlaşdırma) üsullarına əsaslanan texnoloji sxem və texnoloji şərait işlənilib hazırlanmışdır. Adlanan texnoloji sxemlə əvvəlcə müəyyən ölçü dərəcəsinə qədər üyüdülmüş filiz müvafiq hidrosiklonla qravitasiya əməliyyatına yönəldilir, sonradan alınmış qaralama qızılı qravitasiya konsentratın üzərində sianlaşma təşviq (mexaniki qarışdırma) prosesi aparılır. tövsiyə edilən sxem üzrə yerinə yetirilmiş təcrübələrlə çox sadə rejimlə filizin tərkibində olan qızılın 94,5 %-nin birbaşa aşındırıcı məhlulə ayrılmasını təmin edir. Alınmış məhlul sənayedə yaxşı mənimsənilmiş qızılı Dore xəlitəli külçələrin istehsalında istifadə oluna bilər.

Açar sözlər: *Kiçik Qafqaz, Dağkəsəmən, qızıl, filiz, maddi tərkib, emal texnologiyası, qravitasiya, flotasiya, hidrometallurgiya, sianlaşdırma*