

УДК 622.343:622.349.69

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СОСТАВА РУДЫ И ПОРОД ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕНСИВНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**Битимбаев М.Ж., Орынгожин Е.С., Джумабаев Е.И.***Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, e-mail: e24.01@mail.ru*

В статье даны результаты лабораторных исследований по определению состава руды и пород для корректировки основных параметров технологии интенсивного кучного выщелачивания. Данные, полученные в лабораторных условиях, дают представления о перераспределении элементов в каждой фазе, что является основанием для применения технологии интенсивного кучного выщелачивания золота месторождения Акжал.

Ключевые слова: лабораторные исследования, состав руды, параметры, выщелачивание, золото**LABORATORY RESEARCH OF DETERMINATION OF ORE AND ROCK COMPOSITION FOR CORRECTIONS OF MAIN PARAMETERS OF INTENSIVE HEAP LEACHING TECHNOLOGY****Bitimbaev M.Z., Oryngozhyn E.S., Dzhumabaev E.I.***National engineering academy of Republic of Kazakhstan, Almaty, e-mail: e24.01@mail.ru*

In this paper it is presented the results of laboratory research of ore and rock composition for corrections of main parameters of intensive heap leaching technology. The data obtained in laboratory conditions giving a representation of redistribution of elements in each phase, that is basis for application of technology of intensive heap leaching of gold field Akzhal.

Keywords: laboratory research, ore composition, parameters, leaching, gold

Кучному выщелачиванию подвергают легкообогатимое сырье, в котором золото (и серебро) находится преимущественно в цианируемой форме. В основном это окисленные руды или коры выветривания коренных месторождений золота, отработка которых возможна открытым способом, а также забалансовые рудные отвалы и техногенное сырье – лежалые хвосты золото-извлекательных фабрик, текущие хвосты переработки золотых руд. Качество перерабатываемого сырья варьируется в широких пределах. Опыт горных предприятий Казахстана показывает, что сырьем для кучного выщелачивания могут служить бедные товарные руды, забалансовые руды и минерализованная масса вскрышных пород с содержанием от 0,5–0,7 до 3–5 г/т, а также техногенные отходы с содержанием золота 1,5–2,0 г/т [1, 2].

Технологию кучного выщелачивания золота можно рекомендовать к широкому применению на золотодобывающих предприятиях Казахстана, и для интенсификации процесса можно использовать разработанный нами способ выщелачивания в тонком слое руды. Проекты кучного выщелачивания в тонком слое руды характеризуются быстрым вводом в эксплуатацию и получения товарного золота.

Для разработки технологии интенсивного кучного выщелачивания золота нами была получена представительная проба руды месторождения Акжал Восточного Казахстана и проведены лабораторные испытания по определению состава руды и пород, их физико-механических и химических характеристик, осуществлена корректировка основных параметров технологии интенсивного кучного выщелачивания.

На основании данных лабораторных исследований разработан технологический регламент для опытно-промышленных испытаний разработанной технологии.

Крепость горных пород – общепринятое условное понятие, символизирующее совокупность физико-механических свойств горных пород, проявляющуюся в различных технологических процессах при добыче и переработке полезных ископаемых [3]. Показатели крепости пород месторождения Акжал приведены в табл. 1.

Разведанные руды месторождения Акжал полускальные, встречаются крепкие глинистые сланцы, некрепкие песчаники, мягкие конгломераты. А также относятся к одному технологическому типу – типу окисленных руд, пригодных для технологии кучного выщелачивания без разделения по сортам.

Таблица 1

Показатели крепости руд месторождения Акжал

Категория пород	Коэфф. крепости	Горные породы	Категория руд	Показатель трудности разрушения P_p	Класс пород
Va средней крепости	6–8	Разнообразные сланцы, плотный мергель, глинистый доломит	Полускальные	4	Полускальные плотные и легко-разрушаемые, $P_p = 0,2 - 5$
V средней крепости	8–10	Крепкий глинистый сланец, некрепкие песчаник и известняк, мягкий конгломерат, трещиноватый известняк и песчаники	Полускальные	4	Полускальные плотные и легко-разрушаемые, $P_p = 0,2 - 5$

Мощности рудных тел варьируются от 4 до 10 м, резкие раздувы и пережимы редки. Выклинивание их по простиранию большей частью естественное. Падение рудных тел преимущественно северо-восточное под углами 60–70°. Балансовые запасы $A + B + C_1 + C_2 = 899,52$ т, забалансовые запасы – 10008 т.

На основании проведенных лабораторных испытаний установлено следующее: руды месторождения Акжал являются многокомпонентными, причем их единственным полезным компонентом является золото (коренное – 5–50 г/т, россыпное 0,3–2 г/т). Серебро присутствует в рудах на уровне 0,7–0,8 г/т, что явно не достаточно для учета его как экономически значимого компонента.

Ниже предоставлены результаты рентгенофазового полуколичественного анализа двух образцов месторождения Акжал.

Рентгенофазовый метод анализа (РФА) минералов позволяет исследовать структурные особенности минералов, горных пород и продуктов их технологической переработки. Выбранный для исследования метод основан на явлении дифракции рентгеновских лучей кристаллическими фазами исследуемого образца.

Целью РФА является выявление их реального строения, т.е. структурного состояния степени упорядоченности кристаллической структуры и наличия примесей.

Рентгенограммы образцов были получены на дифрактометре ДРОН-3М в цифровом виде с применением кобальтового излучения и графитового монохроматора на дифрагированном пучке (табл. 2 и 4). Режимы съемки образцов следующие: напряжение на рентгеновской трубке 30 kV, ток трубки 30 mA, шаг движения гониометра 0,05°2 θ , и время замера интенсивности в точке – 1,0 сек. Во время съемки образец

вращался в собственной плоскости со скоростью 60 об/мин.

Таблица 2

Рентгенометрические данные образца (месторождение Акжал, образец исходный № 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count
10,240	10,0233	455
14,459	7,1077	428
20,629	4,9956	427
23,021	4,4824	468
24,281	4,2530	1479
29,220	3,5461	427
31,042	3,3426	5224
34,313	3,0322	434
37,451	2,7862	420
40,435	2,5883	475
40,898	2,5602	537
42,724	2,4556	874
44,010	2,3872	406
46,196	2,2800	709
47,174	2,2354	516
49,746	2,1266	619
53,219	1,9970	385
53,759	1,9784	468
59,006	1,8163	771
64,742	1,6706	461
71,018	1,5400	681
76,111	1,4510	385
80,689	1,3817	523
81,333	1,3726	606

Таблица 3

Результаты полуколичественного анализа (образец № 1)

SiO ₂ -Quartz	62,6%
Muscovite	21,4%
Illite	9,4%
Kaolinite	6,3%
CaCO ₃	0,2%

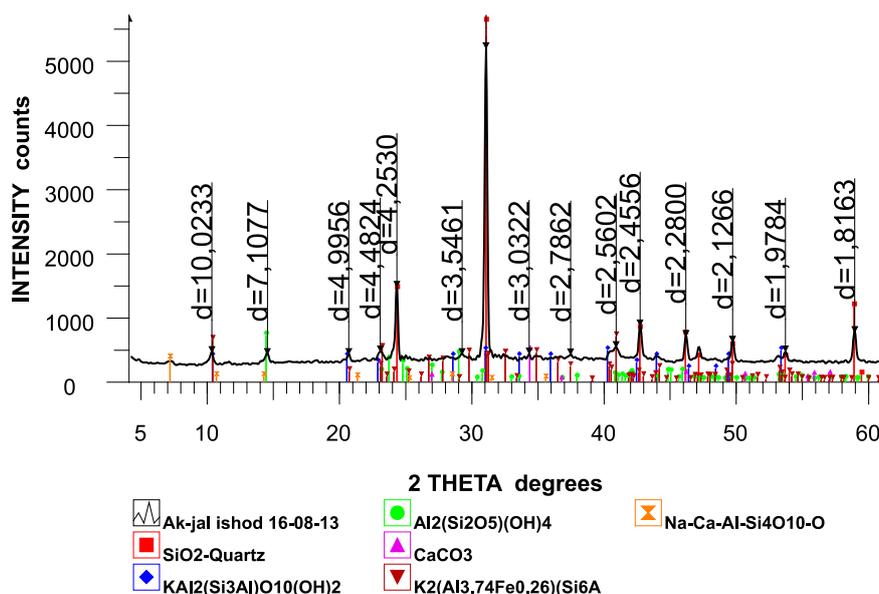


Рис. 1. Дифрактограмма образца (месторождение Акжал, образец № 1)

Таблица 4
Рентгенометрические данные образца (месторождение Акжал, образец ТФ № 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count
7,168	14,3083	360
10,224	10,0386	514
14,428	7,1227	476
20,654	4,9895	431
22,998	4,4869	508
24,256	4,2573	1552
29,172	3,5518	436
34,271	3,0358	423
37,372	2,7919	417
40,381	2,5916	455
40,863	2,5623	532
42,724	2,4556	847
43,964	2,3896	391
46,192	2,2802	603
47,180	2,2351	532
49,730	2,1272	661
53,175	1,9985	398
53,749	1,9787	462
58,964	1,8175	783
64,729	1,6709	411
70,954	1,5412	635
76,030	1,4524	372
80,670	1,3819	488
81,313	1,3729	641

Предварительная обработка рентгенограмм для определения углового положения и интенсивностей рефлексов проводилась программой Gpeak. При проведении фазового анализа использовалась программа PCPDFWIN с базой дифрактометрических

PDF-2. В табл. 3 и 5 показаны результаты полуколичественного анализа месторождения Акжал.

На рис. 1 показана дифрактограмма образца № 1 месторождения Акжал.

Таблица 5
Результаты полуколичественного анализа (образец ТФ № 2)

SiO ₂ -Quartz	58,3 %
Muscovite	23,2 %
Illite	10,0 %
Kaolinite	7,7 %
CaCO ₃	0,9 %

РФА анализ, выполненный для двух образцов месторождения Акжал, показал, что основой минеральной структуры является кварц (SiO₂), количество которого колеблется от 62,6 до 58,3%. Это самый распространенный минерал семейства кремнезема. Содержит в небольших количествах примеси алюминия, железа, кальция, магния, титана, калия, натрия, лития и других элементов. Кроме того, этот минерал обладает пьезоэлектрическими свойствами, что позволяет разрабатывать новые геотехнологии, учитывающие его чувствительность к механическим вибрациям. Этот минерал легко травится HF, при повышенных температурах и давлениях растворяется в водных щелочных и бикарбонатных растворах. Эти особенности его поведения в окружающей среде используются в современных технологиях подземного и кучного выщелачивания.

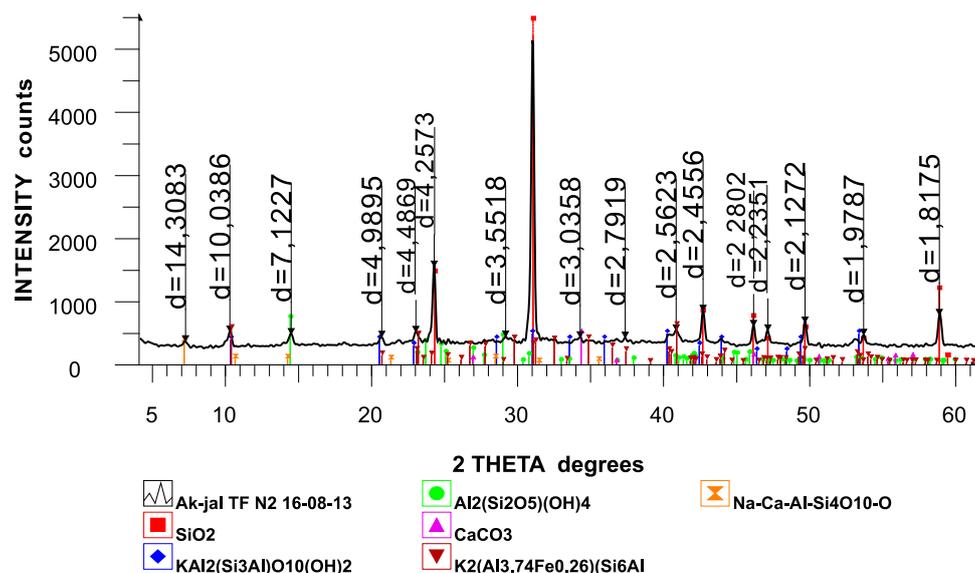


Рис. 2. Дифрактограмма образца (образец ТФ № 2)

Таблица 6

Химико-минералогический элементный состав образцов месторождения Акжал по данным спектрального анализа

Элемент	Содержание, %		
	исходный	тяжелая фракция	легкая фракция
Золото, г/т	5	5	4
Серебро 10^{-5}	100	80	30
Мышьяк 10^{-3}	> 1000	> 1000	> 1000
Фосфор 10^{-3}	4	3	3
Галлий 10^{-4}	8	6	10
Германий 10^{-4}	1	1	1
Висмут 10^{-4}	2	2	< 1
Сурьма 10^{-3}	3	2	2
Скандий 10^{-3}	2	2	2
Кадмий 10^{-4}	25	25	25
Вольфрам 10^{-3}	1,5	1,0	0,6
Ниобий 10^{-4}	8	8	8
Бериллий 10^{-4}	1,5	1,5	1,5
Литий 10^{-3}	2	< 2	3
Цинк 10^{-2}	0,6	0,6	0,6
Хром 10^{-3}	3	2	2
Свинец 10^{-3}	20	25	6
Титан 10^{-1}	2	1,5	1,0
Ванадий 10^{-3}	6	5	6
Марганец 10^{-2}	60	40	20
Никель 10^{-3}	10	8	6
Барий 10^{-2}	10	8	4
Молибден 10^{-4}	4	4	3
Олово 10^{-4}	2	2	6
Медь 10^{-3}	6	6	10
Иттрий 10^{-3}	2	2	2
Цинк 10^{-3}	100	60	100
Кобальт 10^{-4}	80	50	100
Стронций 10^{-2}	3	3	2

Минералы мусковит и иллит присутствуют в породе в меньших количествах: 21,4–23,2 и 9,4–10,0 % соответственно.

Фракция каолинита присутствует в пределах 6,3 и 7,7%.

Остальные примеси распределены в образцах неравномерно и выявлены в малых количествах.

В малом количестве присутствует монтмориллонит.

На рис. 2 показана дифрактограмма образца ТФ № 2 месторождения Акжал.

Ниже показаны снимки образцов этого месторождения, распределенные по шкале крепости Протодяконова М.М.

Ниже представлены химико-минералогический элементный состав трех образцов – представителей от данной пробы (табл. 6) и результаты петрографического анализа образцов месторождения Акжал (табл. 7).

При нормальных условиях золото не взаимодействует ни с кислородом, ни с серой. Золото обычно растворяется в водных растворах, содержащих лиганд (образующий с золотом комплексы) и окислитель, но каждый из них в отдельности не способен

его растворить. В царской водке (смесь 3:1 (HCl + HNO₃)) золото растворяется с образованием золото хлористоводородной кислоты H[AuCl₄]. Оно так же растворяется в хромовой кислоте в присутствии хлоридов и бромидов щелочных металлов в цианидных растворах в присутствии воздуха или пероксида водорода, в растворах тиосульфата, тиомочевины, в смеси *kj* + *j*₂.

Результаты спектрального анализа получены в лаборатории «Геоаналитика» на атомноэмисионном спектрометре для определения содержания 70 элементов при содержании их до 10⁻⁵% с возможностью одновременного определения в каждой пробе до 40 элементов.

Как видно, результаты элементного и петрографического анализа подтверждают данные РФА по минералогическому составу, остальные элементы распределены по классу примесей.

Степени окисления золота + 1, + 2, + 3, + 5 [1]. В соединениях золото наиболее часто проявляет валентность + 1 и + 3. Двухвалентное золото устойчиво лишь в форме сульфида, остальные соединения разлагаются водой.

Таблица 7

Результаты петрографического анализа образцов месторождения Акжал

Наименование	Содержание, %		
	исходный	тяжелая фракция	легкая фракция
Окись кремния	> 50	> 50	> 50
Окись алюминия	> 10	> 10	> 10
Окись железа, общий	25	25	20
Окись магния	3	2	5
Окись кальция	5	5	3
Окись натрия	0,4	0,3	0,3
Окись калия	3	3	3

Таблица 8

Гранулометрический состав окисленной золотоносной руды месторождении Акжал

Вариант	Выход фракции при дроблении		Содержание золота во фракциях, %
	фракция, мм	фракция, %	
1	- 40...+ 20	43,0	4,8
	- 20...+ 10	34,0	1,3
	- 10...+ 5	10,0	1,1
	- 5...+ 2	5,0	0,5
	- 2...0	8,0	0,3
2	- 20...+ 10	39,1	3,4
	- 10...+ 5	10,0	0,8
	- 5...+ 2	16,0	1,0
	- 2...0	23,9	1,6
3	- 10...+ 5	9,9	0,08
	- 5...+ 2	36,1	1,38
	- 2...0	54,0	7,08

При повышенной температуре оно взаимодействует с теллуром с образованием AuTe_2 , реагирует со всеми галогенами. Наиболее реакционноспособен бром: с порошком золота он вступает в экзотермическую реакцию при комнатной температуре. Реакция золота с хромом проходит чрезвычайно медленно, благодаря образованию поверхностных соединений [4, 5]. При восстановлении солей золота дихлоридом олова образуется стойкий коллоидный раствор ярко-красного цвета, т.н. «кассиев пурпур».

Красно-бурый гидроксид $\text{Au}(\text{OH})_3$ выпадает в осадок при действии сильных щелочей на AuCl_3 . Соли $\text{Au}(\text{OH})_3$ с основаниями ауранты образуются при его растворении в сильных щелочах.

Характерная особенность золота – резко выраженная склонность к образованию комплексных соединений. Известны такие соединения, как: $[\text{AuCl}_2]$, $[\text{AuCl}_4]$, $\text{Au}(\text{OH})$, $[\text{Au}(\text{OH})_2]$, AuJ_2 и др.

Как видно из приведенных результатов, из вредных примесей присутствует мышьяк, содержание которого в среднем не превышает 0,1%. Каких-либо других вредных примесей и попутных компонентов в рудах не обнаружено. Содержание кремнезема колеблется от 47,94 до 66,76%, т.е. руды относятся к классу силикозоопасных.

Как было сказано выше, для предварительного исследования были отобраны пробы массой 25 кг окисленной золотосодержащей руды из отвала месторождения Акжал. Представительная проба была отобрана из отвала способом поверхностного вычерпывания, усреднена методом сбрасывания на конце, раздроблена, рассеяна и направлена на разделение по фракциям (табл. 8).

Как видно из приведенных в табл. 8 данных, при дроблении руды на фракции минус

40...0 наиболее высокое содержание золота наблюдается во фракции минус 40...+20 (вариант 1). При дроблении руды на фракции минус 20...0 наибольшая доля золота сконцентрирована в более крупной фракции – минус 20...+10.

Однако при дроблении руды до крупности минус 10...0 большая часть золота концентрируется в наиболее мелкой фракции – минус 2...0. Следовательно, с целью снижения потерь и повышения коэффициента извлечения золота руда должна быть раздроблена до крупности минус 40...+20. При более мелком дроблении, когда основное количество золота сконцентрировано во фракции минус 2...0, склонной к заиливанию, извлечение золота в раствор при выщелачивании может быть низким. Поэтому для мелких фракций рекомендуется процесс окомкования.

Таким образом, на этапе подготовки руды при предположенной технологии интенсивного кучного выщелачивания необходимо применять процессы дробления и окомкования.

Исследования показали, что с увеличением размера кусков руды от 40 мм и более (зачайная крупность) извлечение золота снижается на 30%. Измельчение руды до крупности минус 20...0 мм не способствует увеличению извлечения золота, что обусловлено свойствами руды и высокой степенью ее разрушения.

Исследования также показали, что в зависимости от крупности руды изменяется количество поглощенной кислоты, а это, в свою очередь, влияет на скорость выщелачивания. В табл. 9 приведены результаты исследований влияния гранулометрического состава руды на ее поглощающие способности для двух типов пород: легкоразрушающиеся (крепость 6–8) и трудноразрушающиеся (крепость 8–10).

Таблица 9

Зависимость поглощающей способности рудой цианистой кислоты от гранулометрического состава

Тип руды	Гранулометрический состав руды после дробления	
	фракция, мм	выход фракции
Трудноразрушаемая	– 40...+20	62,4
	– 20...+10	20,4
	– 10...+5	7,3
	– 5...+2	3,4
	– 2...0	6,8
Легкоразрушаемая	– 40...+20	43,0
	– 20...+10	34,0
	– 10...+5	10,0
	– 5...+2	5,0
	– 2...0	8,0

Полученные результаты позволили перейти к следующему этапу исследований – к определению способа складирования и последовательности складирования в зависимости от гранулометрического состава.

Укладку руды в штабель и ее обработку концентрированной кислотой предложено осуществлять особым образом. Куче при выдержке придается форма полусферы, причем крупные фракции руды закладываются в нижнюю часть кучи, а мелкие фракции – сверху. Это обеспечивает сохранение тепла внутри кучи длительное время и улучшает процесс вскрытия минералов за счет лучшего сохранения тепла, выделяемого при экзотермических реакциях.

Данные, полученные в лабораторных условиях, дают представление о перерас-

пределении элементов в каждой фазе, что является основанием для применения технологии интенсивного кучного выщелачивания золота месторождения Акжал.

Список литературы

1. Болотова Л.С., Романенко А.Г., Зайцева В.Н., Суворова Е.А. Новое в технологии извлечения золота «смола в пульпе» // Новости науки Казахстана. Научно-технический сборник. Комплексное использование минеральных ресурсов Казахстана. – Алматы, 1997. – С. 55–56.
2. Кубасов В.Л., Зарецкий С.А. Основы электрохимии. – М.: Химия, – 1985. – 134 с.
3. Лузин Б.С. Экономические проблемы золотодобывающей промышленности. – Алматы, 1999. – 142 с.
4. Попова Г.Б. Геохимические основы физико-химических методов разработки месторождений полезных ископаемых. – М.: МГИ. 1970. – 196 с.
5. Турчанинов И.А., Медведев Р.В. Комплексное исследование физических свойств горных пород. – М.: Недра, 1973. – 103 с.