УДК 622

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЯЕМОГО НЕПРЕРЫВНОГО КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА НА ИХ ОСНОВЕ

[1]Кожогулов К.Ч., [2]Битимбаев М.Ж., [3]Орынгожин Е.С., [4]Джумабаев Е.И.

[1]Институт геомеханики и освоения недр НАН Кыргызской Республики, e-mail: e24.01@mail.ru;
[2]РОО «Национальной инженерной академии Республики Казахстан», Алматы;
[3]Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы;
[4]Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева, Алматы

Необходимость создания новых технологических решений, позволяющих качественно улучшить достигаемые технико-экономические показатели кучного выщелачивания на базе месторождения Акжал, выбранного в качестве эталона, были заложены в направления исследовательских работ, которые выполнялись в стенах Национальной инженерной академии Республики Казахстан в 2013-2015 гг. В основу создания инновационной технологии управляемого непрерывного кучного выщелачивания были заложены решения по всему комплексу задач, обеспечивающих устранение недостатков технологии кучного выщелачивания, которые на сегодня общеизвестны и зафиксированы на всех действующих объектах КВ.

Ключевые слова: технология, непрерывность, кучное выщелачивание, золота, месторождение Акжал

DETERMINATION OF BASIC PARAMETERS OF INNOVATIVE TECHNOLOGY OF CONTROLLED CONTINUOUS HEAP LEACHING PROCESS FOR THE PURPOSE OF PROJECT REALIZATION

[1]Kozhogulov K.Ch., [2]Bitimbayev M.Zh., [3]Oringozhin E.S., [4]Zhumabayev E.I.

[1]Institute of geomechanics and earth exploration National Academy of Sciences of Kirgistan, e-mail: e24.01@mail.ru;
[2]Republic Social Association «National Academy of Engineering of Kazakhstan», Almaty;
[3]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty;
[4]Institute of geological sciences named after K.I. Satpaev, Almaty

Between 2013 and 2015 in National academy of engineering of Kazakhstan a work directed on the necessity of new technological decisions, needed for the improvement of technical and economic characteristics of heap leaching process at Akzhal field, has been conducted. Creation of innovative technology of controlled continuous heap leaching process was based on the decisions which provided the elimination of common shortcomings of heap leaching process.

Keywords: technology, continuity, heap leaching of gold, Akzhal field

Малообъемные испытания руд на выщелачивание методом просачивания проводились на пробах тех же типов и сортов руд, которые добываются на карьере, чтобы можно было определить показатели извлекаемости и расхода реагентов, закладываемые в исходные проектные данные.

Предварительным стендовым испытаниям в колоннах подвергали пробы весом до 45 кг, которые загружают в колонны для выщелачивания высотой 0,3-0,5 м. Если руда имеет крупность частиц более 40 мм, их подвергали дроблению.

Успешное применение кучного выщелачивания предполагает высокую проницаемость руд после того, как они будут подвергнуты дроблению или другим видам обработки и сложены в штабель. При этом ставится цель обеспечить равномерное распределение цианидного выщелачивающего раствора при его просачивании через штабель, для чего были проведены испытания возможности предобогащения на стадии дробления легко и трудно разрушающихся руд.

Представительная проба легко разрушающейся руды (крепость $f = 6 \div 10$) была отобрана из отвала свежей руды способом поверхностного вычерпывания, усреднена методом сбрасывания на конце, раздроблена, рассеяна и направлена на разделение по фракциям (табл. 1) и определением содержания золота в каждом классе.

Как видно из приведенных в таблице данных, из исходной товарной руды с содержанием золота 1,15 г/т при дроблении руды на фракции – 40…+ 0 мм наиболее высокое содержание золота наблюдается во фрак-

ции – 40…+ 20 мм (вариант 1). При дроблении всей руды на фракции -20…+0 мм наибольшая доля золота сконцентрирована в более крупной фракции – 20…+ 10 мм (вариант 2).

Однако при дроблении всей руды до крупности – 10 +, мм большая часть золота концентрируется в наиболее мелкой фракции -2+0 мм (вариант 3).

Таким образом по результатам лабораторных исследований показано, что наибольшее количество золота накапливается в варианте 1 в сумме фракций – 40…+ 20 мм и – 20…+ 10 мм (98,31% с содержанием 1,47 г/т) и в варианте 3 в сумме фракций – 5…+ 2 мм и – 2…+ 0 мм (96,6% с содержанием 1,23 г/т).

То же самое можно сказать о трудно разрушающейся руде (крепость f = 10 – 14).

Исследования показали, что с увеличением размера кусков руды от 40 мм и более (забойная 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.

В табл. 2 приведены результаты выхода отдельных фракций для двух типов руды: легко разрушающихся и трудно разрушающихся и распределение золота в них.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы, использованные далее в проекте переработки руды месторождения Акжал кучным выщелачиванием:

1. Исходя из данных лабораторных исследований, нами выбран для легко разрушаемой руды вариант 4 подготовки руды к складированию в штабель:

– руда фракции – 40…+ 20 мм из варианта 1 непосредственно подается в штабель (надгрохотный продукт 1-ой стадии дробления);

– руда фракции – 20…+ 10 мм из варианта 1 (надгрохотный продукт 2-ой стадии дробления) окомковывается и после этого подается в штабель для укладки;

Таблица 1

Распределение золота во фракциях после дробления легко разрушаемой руды

Вариант	Выход фракции при дроблении		Содержание золота во фракциях, г/т
	фракция, мм	фракция, %	
1	– 40...+ 20	43,0	1,87
	– 20...+ 10	34,0	0,96
	– 10...+ 5	10,0	0,1
	– 5...+ 2	5,0	0,08
	– 2...0	8,0	0,06
2	– 20...+ 10	50,1	1,67
	– 10...+ 5	10,0	0,34
	– 5...+ 2	16,0	0,55
	– 2...0	23,9	0,7
3	– 10…+ 5	9,9	0,4
	– 5...+ 2	36,1	0,6
	– 2...0	54,0	1,66

Таблица 2

Распределение золота во фракциях легко разрушаемой и трудно разрушаемой руд

Тип руды	Гранулометрический состав руды после дробления		Содержание золота во фракциях, г/т
	фракция, мм	выход фракции, %	
Трудно разрушаемая	– 40...+ 20	62,4	1,12
	– 20...+ 10	20,4	1,78
	– 10...+ 5	7,3	0,7
	– 5...+ 2	3,4	0,5
	– 2...0	6,5	0,3
Легко разрушаемая	– 40...+ 20	43,0	1,87
	– 20...+ 10	34,0	0,96
	– 10...+ 5	10,0	0,1
	– 5...+ 2	5,0	0,08
	– 2...0	8,0	0,06

– руда мельче фракции 10 мм из варианта 1 (надгрохотный продукт 2-ой стадии дробления), составляющая по массе 23% общего количества товарной руды, убирается из товарной руды, подаваемой на штабель с содержанием 0,00188 г/т в количестве 1,69% от всей массы;

– во фракциях – 40…+ 10 мм варианта 1 легко разрушаемой руды мы получаем 98,31% всего золота с содержанием золота на 27,67% выше, чем в исходной товарной руде (1,47 г/т вместо 1,15 г/т);

– руды при дроблении 100% – 20 мм и 100% – 10 мм (варианты 2 и 3) не могут технологически участвовать в процессе выщелачивания, т.к. в варианте 2 во фракции – 20…+ 10 мм накапливается только 72,75% всего золота; а в варианте 3 все золото практически накапливается в мелких фракциях – 5…+ 0 мм (96,5% всего золота), поэтому затраты на дробление до такой фракции и затем окомкование такого же количества экономически явно невыгодны (90,1% всей массы товарной руды).

2 Трудно разрушаемая руда (крепостью выше f = 10) готовится к укладке в штабель несколько по другой схеме:

– так как руда фракции – 40…+ 20 мм содержит 62,4% всей массы и 60,7% всего золота, но обладает трудной просачиваемостью, этот надгрохотный продукт додрабливается отдельно с получением продукта – 20…+ 10 мм, смешивается с подрешетными продуктами 1-ой стадии дробления и подается на укладку на штабель без окомкования;

– в штабеле накапливается 82,8% товарной руды по весу и 92,7% по количеству золота со средним содержанием 1,29 г/т, что на 11,20% выше, чем в исходной руде;

– руда крупностью – 10…+ 0 мм убирается из подаваемой на штабель в количестве 17,2% по золоту со средним содержанием 0,51 г/т.

3. В представительных пробах, как и в недрах, содержащих окисленную руду, соотношение легко разрушаемой и трудно разрушаемой руды составляет примерно 2:3, поэтому в проект можно заложить, исходя из п.п. 1 и 2 выводов исследований, следующие данные:

– в каждой 1 тонне товарной руды содержится 400 кг легко разрушаемой и 600 кг трудно разрушаемой руды, из которой убирается из штабеля, соответственно, 92 кг легко разрушаемой (23% от всей массы) и 103,2 кг трудно разрушаемой (17,2% от всей массы) с количеством золота 0,00208 г и 0,00876 г (в сумме 0,01084 г);

– в штабель укладывается 308 кг легко разрушаемой руды, содержащей 0,45276 г золота и 496,8 кг трудно разрушаемой руды, содержащей 0,64087 г золота. Итого в штабель будет уложено 804,8 кг руды, содержащей 1,0936 г золота со средним содержанием 1,36 г/т;

– в добытой товарной руде весом 1000 кг содержалось золота 1,15 г со средним содержанием 1,15 г/т, т.е. мы уменьшили количество выщелачиваемой руды на 19,52% и увеличили содержание золота на 18,2%, убрав из штабеля 5,64% золота из общего количества в товарной руде, которое не могло быть извлечено (среднее содержание золота 0,29 г/т);

– указанная руда, убранная из штабеля, складируется отдельно от вскрышных пород с целью извлечь из нее золото в будущем после создания новых технологий, позволяющих работать с такими бедными рудами;

– экономические предпосылки данного решения заключаются в том, что выщелачиванию будет подвергаться руды меньше, чем в первоначальном проекте, извлечение будет выше уже по причине как улучшения проницаемости и фильтрации раствора, так и в результате увеличения среднего содержания золота, будут снижены трудовые, материальные и энергетические затраты.

Полученные результаты позволили перейти к следующим этапам исследований – к определению времени полного просачивания раствора через штабель и возможности 100%-ного извлечения золота, способа складирования и последовательности складирования в зависимости от этих требований.

Вне зависимости от специфики конкретного проекта в состав предприятия с кучным выщелачиванием золота входят:

- Карьер и/или подземный рудник;
- Участок рудоподготовки;
- Рудный штабель и подстилающая «подушка»;
- Системы подачи раствора на штабель и сбора продуктивного раствора;
- Система хранения выщелачивающего раствора;
- Контур извлечения благородных металлов;
- Отстойник отработанного раствора.

Схематически производственная система кучного выщелачивания представлена на рис. 1.

В зависимости от вещественного состава руды материал для выщелачивания должен характеризоваться определенным размером частиц с тем, чтобы обеспечить необходимый контакт с раствором и растворение. Предварительная рудоподготовка может быть нулевой (в этом случае на штабель направляется руда, добытая из недр), может включать дробление и агломерацию или только агломерацию (для дезинтегрированной руды или хвостов).

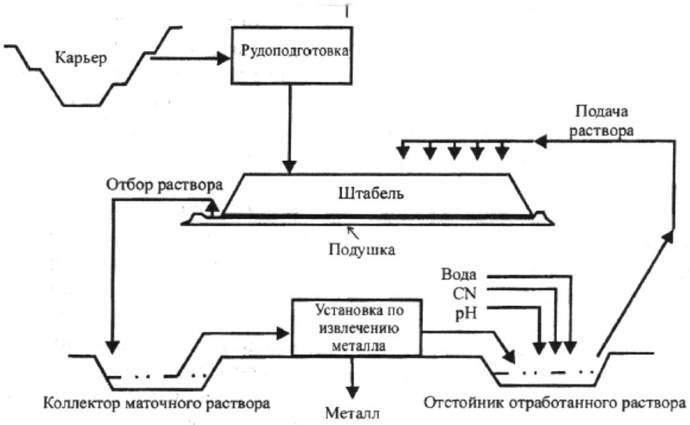

Рис. 1. Схема процесса кучного выщелачивания

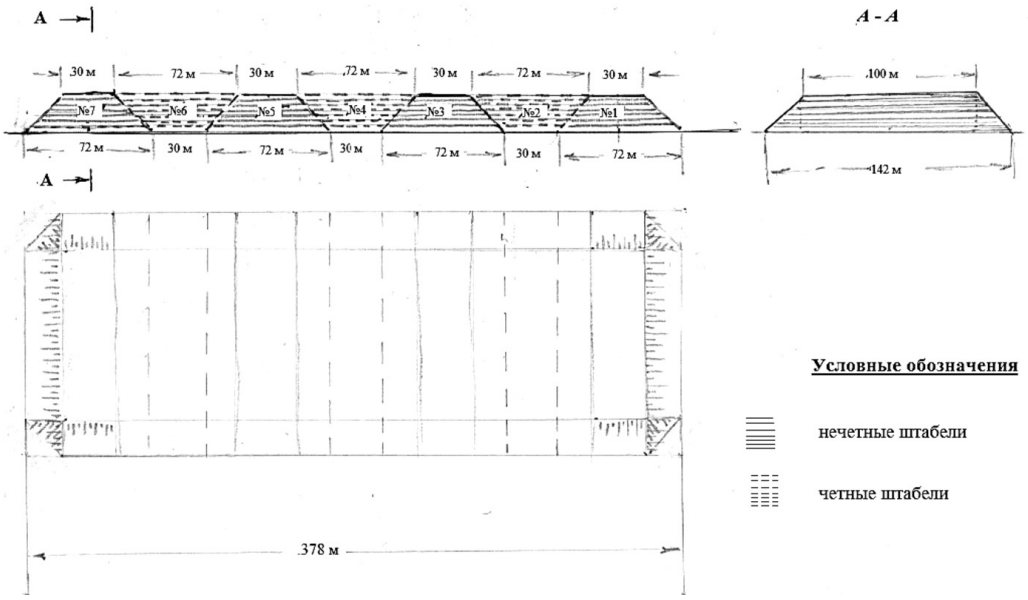

Рис. 2. Разработанная и реализованная схема участка кучного выщелачивания (М. 1:2500)

Цели рудоподготовки для кучного выщелачивания – достичь такой степени измельчения руды, которая обеспечивала бы необходимый контакт раствора с металлами и адекватную его проницаемость через штабель. Затраты на рудоподготовку прямо связаны с показателями извлечения металла. Так, например, если затраты на переход от крупного к мелкому дроблению не перекрываются приростом стоимости извлеченного металла, операция мелкого дробления нецелесообразна.

Мы для условий рудника Акжал сделали основные выводы по возможности предобогащения руды, укладываемой в штабель, путем сбора руды в зависимости от перехода золота в определенный гранулометрический состав.

Формирование штабеля руды и всего участка кучного выщелачивания, предназначенного для выполнения плана производства, в результате изучения существующих и применяемых способов на основе анализа соответствия их требованиям производства по оптимизации параметров выщелачивания нами предлагается производить со следующими особенностями (рис. 2):

1. Подготовка и укладка руды в штабель должна производиться с применением предобогащения разделением легко и трудно разрушающихся руд на классы по кускова-

тости с четко выявленной закономерностью концентрации золота.

2. Укладка руды в штабель осуществлять особым образом. Штабелю придается форма равнобедренной трапеции, причем крупные фракции руды закладываются в нижнюю часть штабеля, мелкие – сверху. Эта особенность обеспечивает, во-первых, сохранение тепла внутри штабеля длительное время и улучшает процесс вскрытия минералов за счет лучшего сохранения тепла, выделяемого при экзотермических реакциях. Во-вторых, крупные фракции легко разрушающейся руды и фракция – 20…+ 10 мм трудно разрушающейся, сложенные внутри массива штабеля и в нижнюю его часть, легче обрабатываются выщелачивающим раствором; заложенные сверху и по бортам окомкованная разность легко разрушающейся руды, подогреваясь из нижней части штабеля, также выщелачивается с повышенной интенсивностью и извлечением золота.

3. Учитывая невозможность задалживания под укладку штабелей руды территории более выданного отвода, в т.ч. и из-за неэкономичности и технических трудностей, предварительно всю имеющуюся территорию разделить на секции под штабели и поочередно производить укладку стандартных штабелей высотой 3 м с промежутками между штабелями по длинной стороне, равными ширине штабеля:

– после выщелачивания двух соседних штабелей высотой 3 м в промежуток между ними, равный ширине штабеля, уложить новый штабель такой же высоты, представляющий перевернутую малым основанием вниз трапецию, для последующего его выщелачивания;

– после окончания выщелачивания и перевода максимально возможного количества в раствор (т.е. достижения экономически эффективного извлечения) уложить на этот штабель новый штабель высотой также 3 м и повторить те же операции по выщелачиванию;

– как вариант для работы выщелоченный штабель убрать и использовать пустую породу для других целей (использование в виде балласта для полотна дорог в поселке или в шахте на рельсовых путях, для закладки выработанного пространства). В этом случае, возможно, с добавлением какого-то количества вяжущего.

4. Многослойное формирование штабеля секциями высотой 3 м друг над другом с независящими друг от друга системами подачи выщелачивающего раствора перфорированными трубами, расположенными вертикально или горизонтально внутри штабеля, что обеспечивает полный охват всей массы руды без оставления закольматированных «мертвых зон» и ускоренное непрерывное и управляемое выщелачивание.

5. Практическая организация производства в соответствии с разработанной схемой формирования штабелей, обеспечивающих как выполнение производственного плана по выщелачиванию золота в продуктивный раствор, так и подготовку новых штабелей на территории выделенного горного отвода размером рабочей площади 378х142 м.

На этой площади формируются нечетные и четные штабели с разделением на секции высотой 3 м в такой последовательности, как сказано в п. 3.

Когда нечетный штабель № 1 и четный штабель № 2 будут выщелочены, процесс выщелачивания будет продолжен на штабеле № 3, выложенный ранее.

Штабель № 1 после начала работ по выщелачиванию штабеля № 3 будет убран вместе с прилегающей частью штабеля № 2 в объеме, равным созданию на штабеле № 2 угла естественного откоса. Уборка производится по назначению в соответствии с проектом.

При выщелачивании штабеля № 3 формируется штабели № 4 и № 5, на которых также может начаться процесс выщелачивания с отставанием по высоте от штабеля № 3.

В конце процесса выщелачивания штабеля № 3 и № 4 формируются штабели № 6 и № 7, которые также подвергаются выщелачиванию после окончания выщелачивания штабелей № 3 и № 4, при этом штабель № 3 с прилегающей частью штабелей № 2 и № 4 убираются по назначению.

В процессе выщелачивания штабелей № 6 и № 7 производится укладка и формирование штабелей №№ 1, 2 и 3, после чего процесс повторяется в такой же последовательности.

Руды в указанных штабелях №№ 1-7 будет достаточно для 2-х лет работы в соответствии с производственным планом, т.е. для отработки имеющихся запасов потребуется двукратное формирование штабелей, или примерно 14 штук указанных габаритов.

Список литературы

1. Битимбаев М.Ж., Джумабаев Е.И. лабораторные испытания по определению физико-механических характеристик и химико-минералогического состава руды и пород золоторудного месторождения Акжал // Найновите постижения на Европейската наука. Материалы за XI Международна научна практична конференция. – Том 13. – София. «БялГРАД-БГ» ООД, 2015. – С. 17-21.

2. Битимбаев М.Ж., Кожогулов К.Ч., Орынгожин Е.С., Джумабаев Е.И. Подготовка руды и сооружение штабеля технологической операции интенсивного кучного выщелачивания// Сборник трудов «Современные проблемы механики сплошных сред». – Выпуск 20. – Бишкек. 2015. – С. 142-148.

3. Джумабаев Е.И. Месторождения, перспективные для реализации инновационной технологии интенсивного кучного выщелачивания // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2015. – № 5. – С. 7-11.