

ОПЫТ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С НИЗКИМ СОДЕРЖАНИЕМ ЗОЛОТА НА ПРИМЕРЕ PARACATU (KINROSS)

Козырев А. С.

**Научный руководитель д-р техн. наук, проф. Брагин В. И.
*Сибирский Федеральный Университет***

Введение

Впервые с золотом человечество столкнулось в пятом тысячелетии до нашей эры, в эпоху неолита. Золото было легкодоступно, так как большое его количество находилось в самородном состоянии. Считается, что большая часть металла (и в рассыпном, и в рудном состоянии) в то время добывалась на территории 800 квадратных километров между Нилом и Красным морем. Лидирующую позицию в добыче золота занимал Египет, добывавший желтый металл на территории Нубии (мало кто знает, но само слово «нуб» в переводе с древнеегипетского означает «золото»). Технология добычи золота в Египте была настолько высокой, что проводимое с 1902 по 1912 год опробование древних отвалов показало практически полное отсутствие золота. Также не было найдено ни одного месторождения, которое не было бы полностью разработано.

На всю свою историю человечество добыло почти 170 тысяч тонн золота, только одна десятая ушла на технические цели, а почти половина – на ювелирные изделия. Однако перед обогатителями и металлургами встает серьезная проблема – падение содержания в месторождениях золота. Если раньше содержание желтого металла достигало 30 грамм на тонну для коренных месторождений и 50 грамм на тонну для рассыпных, то сейчас это значение с трудом достигает 3-5 грамм. Конечно, благодаря улучшению технологии обогащения (например, автоклавного окисления упорных руд или кучного цианирования) стало доступно извлекать золото из руд с содержанием от одного до 0.5 и даже 0.3 грамм на тонну. Это повысило рентабельность вторичной переработки хвостов обогатительных фабрик.

Однако некоторые предприятия пошли по другому пути, развития технологии, извлекая металл низкого содержания не только из хвостов, но еще и из бедных руд. В данной статье описывается одно из таких месторождений, Паракату, при разработке которого извлекается золото из руды с содержанием 0.4 грамма на тонну.

Анализ ситуации

Месторождение Паракату находится в Бразилии, в северо-западной части штата Минас-Жейрас. Ближайший крупный город – Паракату, находится в 2 километрах южнее месторождения и имеет население 75 тысяч человек. Добыча золота в регионе началась в 1722 году в связи с нахождением рассыпного золота в окрестностях города, а своего пика достигла с середины 1800 годов до восьмидесятых годов прошлого века. В 1984 году компания Rio Tinto (позже TVX Gold Inc.) начала исследовать залежи с использованием современных средств геологической разведки. К 1987 году был построен технологический комплекс и рудник, началась работа месторождения, продолжающаяся до сих пор. В 2004 году TVX Gold Inc. поглотила

канадская компания Kinross, являющаяся на данный момент владельцем месторождения.

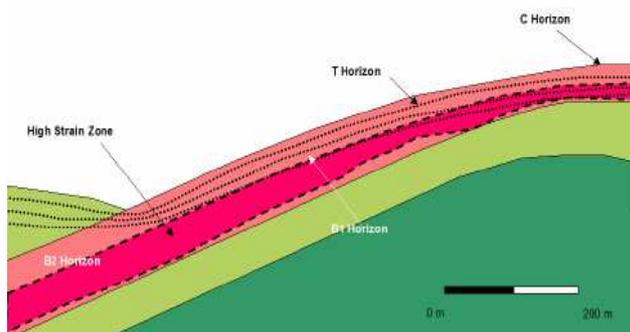


Рисунок 1 – профиль месторождения

На сегодняшний день комплекс включает в себя шахту, обогатительную фабрику и территорию хвостохранилища. Месторождение разрабатывается открытым способом, площадь карьера равна почти четырем квадратным километрам. По состоянию на 2004 год на месторождении было добыто 84 тонны золота из 240 миллионов тонн руды. Производительность Паракату равна 18 млн. тонн руды в год, но планируется увеличение

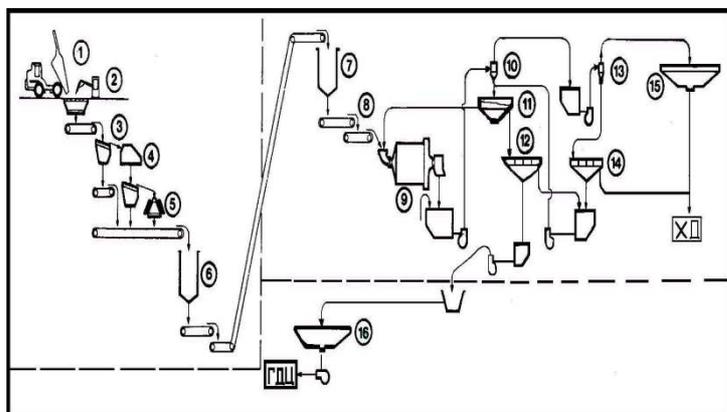
производительности до 30 млн. тонн в год.

Само месторождение разделено по степени окисления и поверхностного выветривания на четыре горизонта: С, Т, В1 и В2 (по уменьшению степени окисления с увеличением глубины залегания) (см. рис. 1). На данный момент горизонты С и Т полностью истощены. Рудные минералы на месторождении представлены в первичных рудах в основном сульфидами (пирит, арсенопирит и пирротин). Частички золота концентрируются на границах арсенопирита и пирита.

Окисленные руды, находящиеся на горизонтах С и Т, обогащаются следующим образом. Самосвалы транспортируют руду в дробильное отделение, состоящее из трех параллельных линий с производительностью 750 тонн в час. Ввиду неравномерных свойств руды существует запасная, четвертая линия, благодаря чему производительность каждой линии составляет 375 тонн в час. Руда подается на каждую линию через горизонтальный питатель (300x1500 мм), оборудованный пневматическим породоразрушителем. Таким образом материал поступает на предварительное грохочение с сеткой 25 мм. Подрешетный продукт идет на основной конвейер, надрешетный же отправляется в роторную дробилку (3000x1200 мм). Дробленый продукт идет на вибрационный грохот, откуда опять разделяется на подрешетный и надрешетный. Подрешетный отправляется также на основной конвейер, надрешетный же идет в конусную дробилку, где дробится до крупности в 12.5 мм. Окончательно дробленая руда поступает в бункер (310 м³), в который идет материал со всех трех линий. Данная схема имела два крупных изъяна. Дело в том, что во время дробления в роторных дробилках часто создавались плоские куски, что влекло операционные проблемы в конусных дробилках. Также со временем на дробление все больше стал поступать материал из горизонтов В1 и В2, обладающий большей твердостью. Это затрудняло как первичное, так и вторичное дробление.

Измельчение проводилось в одну стадию на четырех шаровых мельницах (4572x3658), работающих в замкнутом цикле с гидроциклонами, причем циркулирующая нагрузка равна почти 450%. Производительность цеха измельчения составляет 600 тонн в час, диаметр шара равна 60 мм. Измельченный до крупности 75 мкм материал идет в цех обогащения (см. рис. 2).

Обогащение окисленной руды включало в себя флотацию во флотомашинах «Outokumpu» (каждая имеет две камеры по 8 м³), собиратель и пенообразователь добавляется во флотомашину. После основной флотации концентрат поступает на перемешивание, пенный продукт которой отправляется на грубую экстракцию на аппарате Кнелсона, а затем – в гидрометаллургический аппарат. Камерный продукт перемешивания операции



1 – самосвал; 2 – породоразрушитель; 3 – грохот (25 мм); 4 – Роторная дробилка (3000 x 1200 мм); 5 – конусная дробилка; 6 – бункер (310 м³); 7 – бункер главного корпуса (2 x 310 м³); 8 – ленточные питатели переменной скорости; 9 – шаровая мельница (4572x3658); 10 – батарейный циклон (4 шт); 11 – флотомашина «Outokumpu» (2 x 8 м³); 12 – флотомашина «Outokumpu» (4 x 8 м³); 13 – батарейный циклон; 14 – флотомашина «Outokumpu» (4 x 16 м³); 15 – сгуститель (75 м); 16 – сгуститель (8 м)

Рисунок 2 – схема цепей аппаратов для окисленных руд

уменьшают крупность материала с 1300 мм до 350. Данные шнековые дробилки способны дробить материал с твердостью более 12. Дробленая руда попадает на ленту транспортного конвейера, длина которого равна 1.5 км. По нему идет доставка материала непосредственно на обогатительную фабрику.

Рудоподготовительный комплекс (см. рис. 3) настроен на производительность, равную 5100 тонн в час. Схема цепи рудоподготовительных аппаратов состоит из одной мельницы полусамозмельчения (11600x6700 мм, шаровая загрузка равна 18%), после которой идут две шаровые мельницы с центральной разгрузкой (7300x12000 мм).

МПСИ работает в одной цепи с барабанным грохотом и виброгрохотом. Надрешетный продукт барабанного грохота отправляется на виброгрохот с двумя решетками, подрешетный же – в зумпф мельниц.

Материал, попавший на вибрационный грохот, просеивается на сите с отверстием 10 мм. Подрешетный продукт так же уходит в зумпф мельницы, надрешетный же дробится на конусной дробилке среднего дробления. Она не предназначена для дробления негабаритного материала МПСИ, однако установка подобной дробилки планируется. Шаровые мельницы работают в замкнутой цепи с

продукт перемешивания операции вновь отправляется на основную флотацию. Благодаря данной системе извлечение золота составляло почти 80%, а выпуск золота достиг 5.4 тонн в год. Однако, истощение горизонтов С и Т потребовало модернизировать обогатительный комплекс.

В 2006 году руководством Kinross было принято решение модернизировать обогатительный комплекс ввиду истощения верхних горизонтов и необходимости более качественного обогащения первичных руд. Теперь автотранспорт доставляет материал в отделение предварительного дробления, находящееся на территории карьера. Отделение предварительного дробления оснащено шнековыми дробилками, которые

двумя гидроциклонами, обеспечивающими циркулирующую нагрузку в 230%. После гидроциклонов материал поступает на сгущение, после которого идет отделение флотации.

Флотационная схема состоит из основной и перерывной флотаций. Собиратель и пенообразователь подаются непосредственно в камеру. Фронт флотации составляет 24 камеры (4 ряда по 6 камер) емкостью 160 м³ пневмомеханического типа. Пенный продукт перерывки подается в гидрометаллургическое отделение для цианирования, с предварительным обеднением на концентраторах Кнелсона, хвосты же под действием силы тяжести попадают в отделение для хвостов, откуда поступают на повторную флотацию. Благодаря модернизации теоретическое извлечение золота из руды достигает 86%, а выход концентрата – 15.8 тонн золота в год.

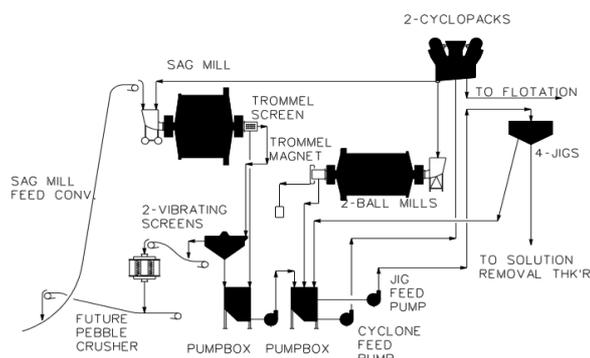


Рисунок 3 – Схема цепи аппаратов отделения рудоподготовки для первичных руд

Заключение

Таким образом, на Паракату используется несколько нововведений, позволяющих извлекать золото содержания. Это, в первую очередь, уникальная система флотационного извлечения золота из окисленных руд. Обычно окисленные руды не обогащаются, а подвергаются прямому цианированию. Использование же флотации для чернового обогащения позволяет существенно снизить операционные затраты. Также дает эффект использование нестандартных рудоподготовительных схем для первичных и окисленных руд, позволяющее справиться с неравномерной твердостью и обеспечить максимальное раскрытие зерен минералов. Также нужно упомянуть совместное использование флотации и цианирования, которое дает более высокий выход золота в концентрат. Все это позволяет месторождению не только оставаться прибыльным, но и развиваться, увеличивая добычу.