

УДК 622.775

К.Н. Чёрный

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Предложены технологии, применяемые при проектировании и отработке предприятий кучного выщелачивания золота в суровых климатических условиях.

Ключевые слова: золото, рудное поле, глинистая руда, дробление, фильтрация, грохочение, экономический кризис.

Зародившись в конце 60-х годов, сегодня кучное выщелачивание золота (КВ-Ау) цианид содержащими растворами зарекомендовало себя, как надёжная и эффективная технология.

Если в 1979 году доля кучного выщелачивания золота в годовой добыче в США составляла 7 %, то в 1986 она составляла уже 30 %¹. В настоящее время, предприятия кучного выщелачивания золота в США производят, по различным оценкам, порядка 35—40 % золота от валовой добычи страны. В России, несмотря на экономический кризис 90-х, технология кучного выщелачивания активно развивалась. В СССР первый опыт КВ-Ау был получен на Васильковском золотодобывающем, Забайкальском редкометалльном ГОКах, в России – руднике Майском. К настоящему времени введено в эксплуатацию 29 промышленных и опытно-промышленных установок КВ-Ау на месторождениях: Майское и Чазы-Гол в Хакасии, Куранахское рудное поле, Лопуховское, Самолазовское, Таборное и Межсопочное в Якутии, Муртыкты и Западно-Озерное в Башкортостане, Кировское и Каменское в Оренбургской, Сафьяновское и Воронцовское в Свердловской обл.,

Кочкарское, Светлинское и Березняковское в Челябинской обл., Комсомольская залежь в Хабаровском крае, Покровское и Бамское в Амурской обл., Дельмачик, Богомолдовское, Итакинское, Погромное, Амазаркан в Читинской обл., Мурзинское в Алтайском крае, Бабгора и Эльдorado а Красноярском крае. Динамика увеличения доли кучного технологии выщелачивания в валовой добыче золота за прошедшее десятилетие показана в табл. 1.

На сегодняшний день можно констатировать, что уровень технологических решений при реализации проектов КВ в России достиг международного уровня. В табл. 2 приведены некоторые неблагоприятные факторы для технологии кучного выщелачивания, неблагоприятное влияние которых было преодолено путём внедрения современных технологических приёмов.

В представленной работе сконцентрируюсь на некоторых, предельно конкретных и практически важных деталях, учёт которых необходим при проектировании и отработке предприятий кучного выщелачивания золота в суровых климатических условиях.

Неблагоприятные факторы, чьё влияние на кучное выщелачивание

Таблица 1

Добыча золота способом кучного выщелачивания в России

| Показатель | Объемы добычи золота в России по годам | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
| Добыча всего за год, т | 131,9 | 122,2 | 113,5 | 115,8 | 105,8 | 114,0 | 130,8 | 141,5 | 158,6 | 158,1 | 158,8 | 152,0 |
| Добыча методом КВ-Ау за год, т | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 1,2 | 1,8 | 2,8 | 4,7 | 7,7 | 8,1 | 8,9 | 10,4 | 10,0 |
| Доля КВ-Ау во всей добыче, % | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 1,7 | 2,5 | 3,6 | 5,5 | 5,1 | 5,6 | 6,6 | 6,6 |
| Доля россыпной добычи во всей, % | | | | | | | 61,5 | 56,5 | 50,2 | 48,5 | 46,3 | 45,2 |

² Объемы добычи взяты из опубликованных данных.

Таблица 2

Проблемы технологии КВ-Ау, типовые решения которых с успехом применяются в России в настоящее время

| № пп. | Неблагоприятный фактор для технологии КВ | Способ устранения влияния неблагоприятного фактора |
|-------|--|--|
| 1 | Повышенная глинистость руд | Окомкование руд |
| 2 | Повышенная минерализация растворов | Контрольная фильтрация выщелачивающих растворов, добавки спецреагентов, аэрация выщелачивающих растворов |
| 3 | Вредные растворимые примеси меди, цинка, ртути и др. | Особенности гидрометаллургического (цементация цинковой пылью) и пирометаллургического переделов |
| 4 | Арктические климатические условия | Подземная система орошения, особенности архитектуры системы орошения, подогрев растворов |

выявилось в процессе эксплуатации производств КВ-Ау в суровых климатических условиях и способы.

Хочу обратить внимание на некоторые существенные трудности в реализации технологии КВ в суровых климатических условиях и предложить технические решения позволяющие эти трудности преодолеть.

Затруднённость мелкого дробления руд перед кучным выщелачиванием.

Научно-исследовательские организации обычно предписывают, в том числе для КВ-Ау окисленных глинистых руд, крупность дробления: менее

20 мм, менее 10 мм, вплоть до менее 5 мм. Обосновывается такая крупность дробления более интенсивным протеканием процесса выщелачивания золота при более качественной дезинтеграции руды, и как следствие больший процент извлечения в готовую продукцию.

Трудности возникающие при мелком дроблении глинистых руд, а это распространённый тип для технологии КВ-Ау, широко известны. Рабочие и разгрузочные зоны дробилок запрессовываются пластичной рудной массой и дробление мельче — 25 мм

Зависимость производительности дробления глинистой золотосодержащей руды месторождения Кировское (Оренбургская обл.) в лабораторной щековой дробилке (загрузочное отверстие 100x200 мм) от влажности руды.

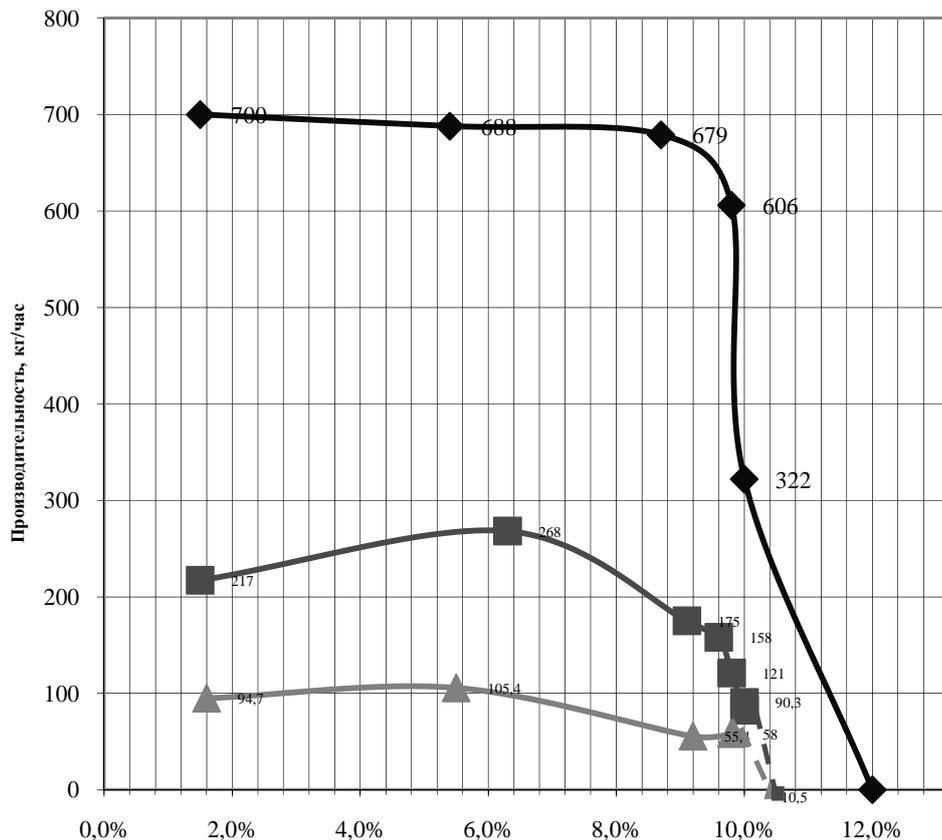


Рис. 1

весьма затруднено. Для иллюстрации этого процесса приведу диаграмму зависимости производительности лабораторной щековой дробилки (камера дробления 100 x 200) при дроблении глинистой окисленной руды золоторудного месторождения Кировское от влажности (рис. 1). Содержание гидрослюд в руде достигает 85 %.

Капитальные затраты на узел рудоподготовки: просушивание, дробление, окомкование при переходе от крупности дробления с – 40 мм до

крупности – 10 мм для глинистой руды увеличиваются в 3 раза.

В то же время исследователи отмечают, что процесс цианирования золота не прекращается, а лишь существенно замедляется. Так при достижении в продуктивном растворе колонного (перколяционного) теста устойчивой концентрации 0,2 мг/л опыт принято считать законченным. Концентрация 0,2 мг/л золота в продуктивном растворе справедливо считается непромышленной для гидроме-

таллургического передела. Длина пути фильтрации на стадии определения требуемой крупности дробления для КВ-Аu обычно составляет 1 метр и никогда не превышает 2-х метров. Естественно, при более мелком дроблении процесс растворения золота протекает интенсивнее. При достижении концентрации золота в продуктивном растворе уровня 0,2 мг/л извлечение из руды при прочих равных условиях будет выше. Регламентирование рудоподготовки при подобном «узком» подходе, зачастую приводит к неоправданно высоким капитальным затратам при технико-экономической оценке и реализации проекта. Следует помнить, что результаты полученные в тестовой колонне длиной 1-2 метра, требуется пересчитывать на высоту промышленного штабеля. Так на момент достижения в лабораторном перколяторе концентрации 0,2 мг/л, в промышленном штабеле высотой 9 метров концентрация золота составляет 0,6 мг/л, что является вполне приемлемой для сорбционной переработки продуктивных растворов. Зависимость прослеживалась для месторождений: Муртыкты, Кировское, Таборное.

Такой важнейший для проектов аспект как рудоподготовка требует более серьёзного изучения и обоснования. В то же время, используя существующую методологию исследователь получает картину, показанную на рис. 2.

Динамика перколяционного выщелачивания золота из руды месторождения Таборное при различной крупности дробления.

На диаграмме отчётливо видно, что различие в извлечении золота для проб с дроблением: – 20 мм, — 40 мм, — 60 мм, не превышают погрешности эксперимента. Парадокс максимального процента извлечения золота при наиболее грубом дроблении

(– 60 мм) легко объясним при анализе величины погрешности определения содержания золота в руде (15-25 %).

По таким результатам, которые встречаются достаточно часто, невозможно сделать вывод об оптимальной крупности дробления. Агитационное выщелачивание (бутылочный тест) даёт ещё более противоречивые результаты вследствие неоднородности малых навесок по петрографическому составу и распределению золотин. Предлагаю исследователям применять более широкий диапазон крупности и последовательным снижением крупности дробления по необходимости и срокам выщелачивания. Например, выщелачивание перколятора с крупностью дробления – 40 мм. Через 10 суток исследователь получит достаточно данных для уверенного прогнозирования окончательного процента извлечения золота в раствор $\pm 5\%$. На современном этапе представлений о математической модели процесса это несложно. При прогнозе – 75 % извлечения и более, начать опыт с крупностью дробления – 60 мм, при прогнозе извлечения менее 75 % перейти к изучению крупности – 20 мм. Представляется, что таких последовательных опыта должно быть не менее трёх. Задавать минимальный ожидаемый процент извлечения следует исходя из требований ГКЗ, а максимально ожидаемый из лучшего опыта промышленной отработки месторождений способом КВ. Следует проводить модельный — наиболее крупномасштабный опыт (~ 100-150 кг руды) с экономически **оптимальной** крупностью дробления. В итоге исследователь должен выдать три варианта переработки изучаемой руды при выщелачивании с различной крупностью дробления. К этим вариантам выщелачивания следует прилагать диаграмму затрат энергии на

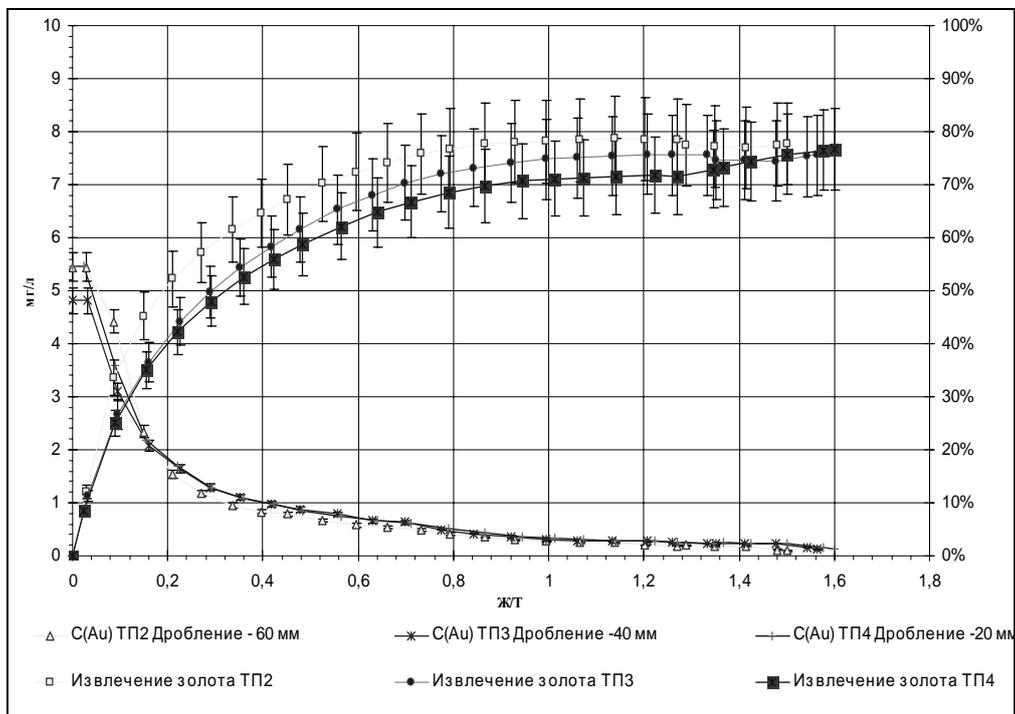


Рис. 2

дробление при различной влажности руды: 5 %, 10 %, 15 %, 20 %. Располагая такой информацией, проектная организация при составлении ТЭО легко вычислит экономически оптимальный вариант схемы дробления.

Почему в Канаде на сопоставимых объектах кучного выщелачивания минимально промышленное содержание золота в рудах 0,6 г/т, а у нас 1,0 г/т? Среди ряда причин не последнее место занимает узость подхода исследователей и неоправданно упрощённый подход при составлении технического задания на проектирование у заказчиков.

Избыточная влажность товарной руды поступающей на дробление и окомкование.

Техническим регламентом на проектирование определяется, с какой влажностью должна поступать на

дробление товарная руда. На случай длительных дождей проекты рекомендуют: останавливать дробление (учитывая деградацию отсыпаемого штабеля); использовать каменистые типы руд; использовать крытый склад товарной руды.

Первое ведёт к снижению эффективности использования основных фондов. Второе часто невозможно по горным условиям. Строительство склада увеличивает не только капитальные затраты на строительство, но и операционные затраты связанные с обслуживанием этого сооружением. Такой склад заполняется и зачищается путём перевалки бульдозерной техникой. Обращаю внимание, что на рисунке 3 показан заполненный крытый склад товарной руды. Дальнейшее заполнение склада ведёт к нарушению требований техники

безопасности. Оптимально, с моей точки зрения, в сухой тёплый период укрывать фрагмент отвала товарной руды геомембраной толщиной 1,0 мм сваренной обычным способом. При затяжных дождях постепенно скатывать в рулон покрытие и открытый фрагмент оперативно направлять на переработку. Как показала практика месторождения Таборное – до четырёх дождливых суток удаётся не приостанавливать переработку руды соблюдая требования технологического регламента. В отрогах Кадарского хребта Южной Якутии именно с такой периодичностью обычно меняется погода.

3. Размыв штабеля КВ-Аu при обильных дождях.

Дожди, особенно интенсивные ливни — большая проблема для кучного выщелачивания.

При переработке глинистых руд с применением окомкования ливень разрушает структуру окатыша на поверхности штабеля. Слой разрушенного окатыша в процессе выщелачивания штабеля становится водоупором и экранирует нижележащие слои руды от орошения. Приемистость поверхности штабеля по выщелачивающим растворам, так же резко падает после ливней. Ливень двояко воздействует на поверхность штабеля. Во первых, кинетическая энергия капель воды механически разрушает окатыши. Дождевая вода медленно впитывается, и её излишки скапливаются на поверхности штабеля. Такой водоём подтапливает наиболее низкую кромку штабеля и катастрофически размывает борт штабеля. В случае существенно глинистых руд, образуется промоина.

В случае существенно кварцевых руд, может образоваться соль и последствия могут быть ещё более драматическими.

В целях защиты штабеля от ливневых осадков разработан и реализован

в условиях месторождения Таборное следующий геотехнологический приём: раздельное складирование крупной и мелкой фракции дроблёной руды. Между стадиями дробления и окомкования вводится дополнительная операция грохочения. На этой стадии выделяется крупный класс дроблёной руды. Так при дроблении руды до крупности менее 40 мм, класс крупности – 40 мм + 25 мм не поступал на окомкование и складировался отдельно. На момент завершения отсыпки очередной секции штабеля организовывался автомобильный завоз крупной фракции руды на поверхность и борта штабеля. Естественно завоз осуществлялся по отработанной секции штабеля КВ-Аu. Работа колёсной технике на поверхности штабеля окомкованной руды недопустима. Крупная фракция планировалась бульдозером с мощностью 0,5 метров на поверхности и от 0,5 м до 2,0 метров на бортах. Слой крупной фракции служит защитой штабеля от размывов, так как препятствует переносу рудного материала дождевыми потоками. Кроме этого, крупная фракция руды в зимних условиях подвергается интенсивному морозному выветриванию, что дополнительно вскрывает полезный компонент.

4. Функционирование предприятия КВ-Аu в зимний период.

В суровых климатических условиях Сибири и Дальнего Востока особенно негативно на применение технологии КВ-Аu сказывается короткий тёплый период. В мировой практике функционирование предприятий КВ-Аu при отрицательных температурах скорее исключение чем правило. В России этот аспект особенно актуален. Однако, на сегодняшний день найдены решения для рентабельной реализации КВ-Аu в любых климатических зонах России. Руда дробится и

Диаграмма производства золота в зависимости от режима выщелачивания месторождения Таборное (Южная Якутия)

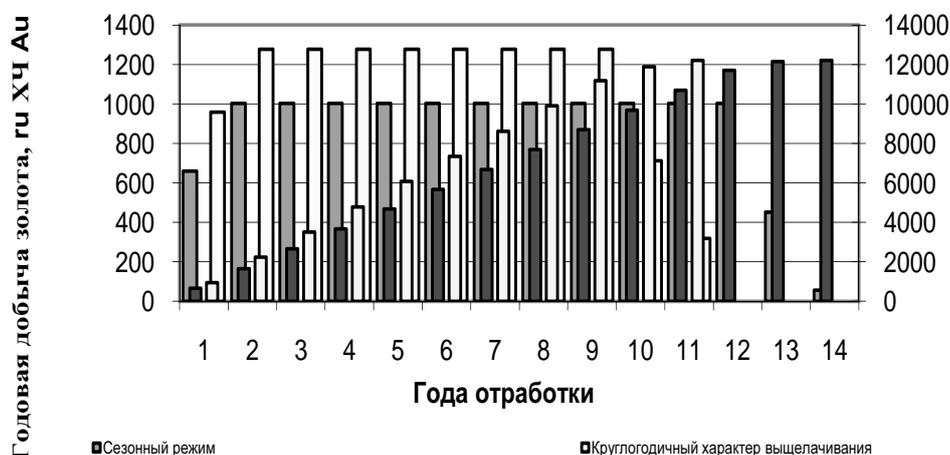


Рис. 3

укладывается в штабель в тёплое время года, а процесс кучного выщелачивания ведётся непрерывно. Хотелось бы проиллюстрировать экономическую эффективность применения круглогодичного выщелачивания на примере месторождения Таборное. Диаграмма, приведённая ниже, показывает результаты расчёта ежегодной добычи золота при сезонном и круглогодичном режимах выщелачивания. Реальная картина добычи подтверждает справедливость расчёта. Ясно видно преимущество круглогодичного варианта. Несмотря на несколько более высокую себе-

стоимость грамма золота и некоторые дополнительные затраты (подогрев растворов), работа в зимний период позволяет исключить значительные затраты, характерные для сезонного производства: консервация – расконсервация оборудования, простой производственных мощностей в течение 7 месяцев, текучесть кадров.

В завершение хочется констатировать, что на сегодняшний день в России имеются технологические решения для реализации круглогодичного проекта кучного выщелачивания золота в любых климатических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Введение в оценку, проектирование, добычи благородных металлов способом кучного выщелачивания. Дирк Ван Зил, Иэн Хатчисон, США, Литтлтон, Колорадо, 1988.
2. Гудков С.С., Татаринов А.П., Дружина Г.Я. Итоги освоения техноло-

гии кучного выщелачивания в золотодобыче России. — Иркутск, Иргередмет, 2006.

3. Фаздуллин И. Кучное выщелачивание благородных металлов. — М.: Москва, Академия горных наук, 2001. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Чёрный К.Н. — главный специалист департамента «ЗОЛОТО» Инвестиционной компании «Арлан», e-mail info@arlan.ru.