

УДК 622.7:658.567.1

И.В. Шадрюнова, О.Е. Горлова, С.А. Провалов

**АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДОИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА
ИЗ ХВОСТОХРАНИЛИЩ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ
ФАБРИК**

Предложена технология хлоридного выщелачивания с организацией подачи выщелачивающих растворов через скважины для доизвлечения золота из хвостов Семеновской золотоизвлекательной фабрики на месте их складирования.

Ключевые слова: гравитация, золотосодержащая руда, минеральное сырье, техногенные минеральные ресурсы, обводнение.

Рост интереса промышленности к техногенному золотосодержащему минеральному сырью в последние два десятилетия во многом предопределен динамичными изменениями минерально-сырьевой базы золота, а также появлением новых технологий извлечения благородных металлов. Увеличение объемов добычи золота, обусловленное растущим спросом на этот металл со стороны финансовых институтов, промышленности и медицины — с одной стороны, и резкое сокращение легкодоступных запасов золота в коренных рудах и россыпях и, как следствие, снижение промышленных кондиций — с другой, послужили причиной детального изучения и активного вовлечения в эксплуатацию техногенных минеральных ресурсов, содержание золота в которых сопоставимо, а иногда и превосходит этот показатель по рудам. Ряд техногенных объектов может быть легко вовлечен в повторную разработку без привлечения значительных инвестиций. На Урале это в первую очередь относится к хвостохранилищам Миндякской, Тубинской и Семеновской золотоизвлекательных фабрик, которые представляют инте-

рес как по объемам сырья, так и по содержанию в них золота.

В основе технологии обогащения золотосодержащих руд традиционно лежат гравитация, флотация, цианирование, сорбция, биотехнология. Для переработки лежалых хвостов ЗИФ требуется принципиально новый подход, обусловленный высокой степенью изменения физических и физико-химических свойств составляющих его компонентов вследствие процессов окисления, выщелачивания, переосаждения. Длительное нахождение золотосодержащих хвостов ЗИФ в водной среде приводит к изменению строения и состава минеральных ассоциаций, перераспределению золота в отвальных продуктах, а также изменению типоморфных свойств золота. Специфично измененные технологические свойства техногенного золота и вмещающих его пород требуют адаптации традиционных методов обогащения для повышения технической, экономической и социально-экологической эффективности переработки лежалых хвостов золотоизвлекательных фабрик.

Оптико-геометрически оценены морфометрические параметры час-

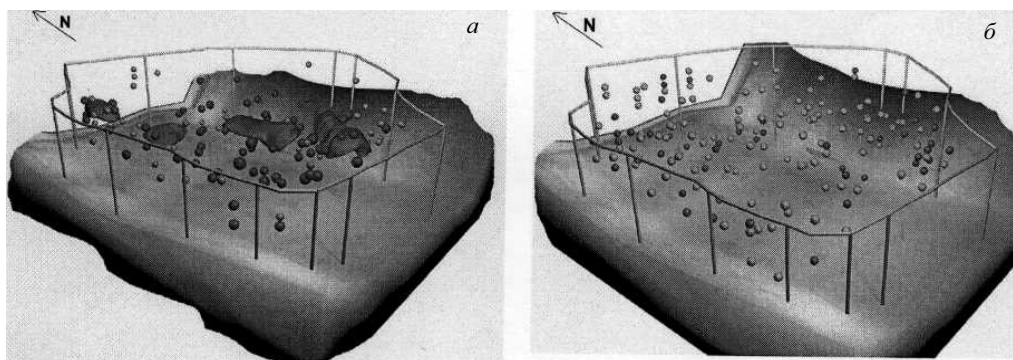


Рис. 1. Распределение золота по объему хвостохранилища: а — участки с массовой долей золота более 1,4 г/т; б — участки с массовой долей золота 0,5—0,7г/т (черные), участки с массовой долей золота 0,7 — 1 г/т (зеленые)

тиц золота. Рудное золото характеризуется значением круглого фактора формы в пределах 0,35...0,5 с частотой встречаемости 90 %. Морфометрические параметры зерен золота, извлеченного из массива хвостохранилища, характеризуются значением круглого фактора формы крупных золотинок 0,72, тонких частиц — 0,84, что должно быть учтено при выборе аппаратов гравитационного обогащения хвостов.

Разработанная многомерная модель перераспределения золота в толще хвостохранилища позволила выделить три типа участков разной продуктивности по золоту: необходимые участки хвостохранилища, представленные в основном песками с относительно средним и крупным золотом; необходимые участки хвостохранилища, представленные песками с мелким и тонким золотом; обводненные глубокие алевритоглинистые участки, представленные песками с тонким и мелким золотом. Для доизвлечения золота из необходимых песков пляжной зоны, которые характеризуются повышенным содержанием относительно крупного свободного золота, наиболее целесообразно гравитационное обогащение на

центробежных концентраторах. Обводненные глубокие алевритоглинистые участки с преимущественно тонким и мелким золотом наиболее пригодны к выщелачиванию.

При переработке хвостов пляжной зоны хвостохранилища испытанная типовая конструкция центробежного концентратора САЦ-0,75 не обеспечивала извлечения тонкого техногенного золота, основная масса золота уходила с хвостами сепарации. Необходима параметрическая оптимизация чаши центробежного концентратора для адаптации гравитационного обогащения лежалых хвостов ЗИФ. С учетом.

Хвостохранилище Семеновской золотоизвлекательной фабрики — характерное техногенное месторождение, запасы золота в котором оцениваются в 3,3 т со средним содержанием золота 1,2 г/т. В геологическом понятии хвостохранилище представляет собой технологическую россыпь состава: кварца до 60 %, полевых шпатов до 25 %, слюди-стоглинистых минералов до 10 %, оксидов, гидроксидов железа до 9 %, сульфидов до 2 %. Золото преимущественно находится в свободном виде, 75 % его связано с классом — 0,074

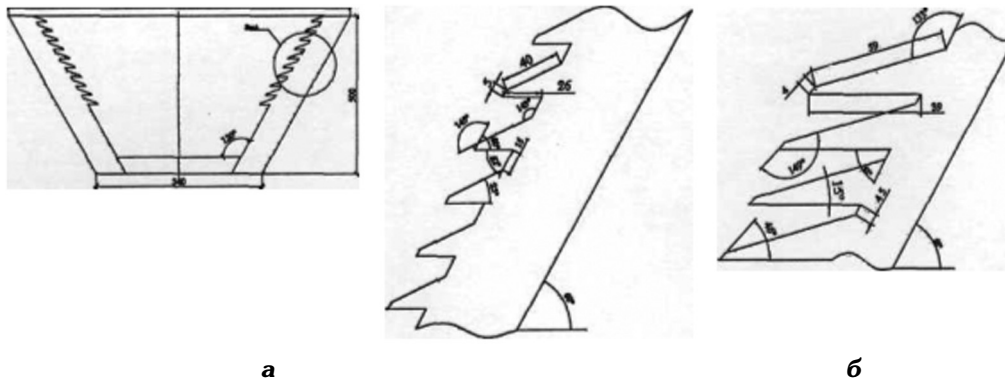


Рис. 2. Конструкция чаши концентратора САЦ 0,75 (а) и модифицированного концентратора (б)

мм; 25,4...42,9 % — в связанном состоянии, в основном с кварцем. Проведенная геолого-технологическая оценка и выявленные закономерности формирования зон концентрации золота в толще хвостохранилища Семеновской ЗИФ показали, что доминантными факторами при выборе методов и технологических схем доизвлечения золота являются наличие зон концентрации золота и их параметры, формы нахождения и морфология золота, водно-физические свойства техногенного массива, топографические особенности хвостохранилища. В толще хвостохранилища массовая доля золота изменяется от 0,3 до 5,8 г/т неравномерно как по простиранию, так и по глубине. Выявлено устойчивое повышение золота в придонной части хвостохранилища. Механическая миграция золота продолжается и после заполнения хвостохранилища, обусловленная особенностями рельефа его дна. Графическая объемная модель распределения золота в хвостохранилище с учетом его топографических особенностей (рис. 1) позволила выделить участки разной продуктивности по золоту: <0,7; 0,7—1,0; 1,0-1,2; 1,2-1,4 г/т, определить контуры опытно-эксплуатационных блоков, порядок и последова-

тельность их включения в технологию отработки. Повышенные концентрации золота наблюдаются в северо-восточной и в северо-западной части хвостохранилища, они приурочены к глубоким участкам и к местам сосредоточенного сброса пульпы. Хвосты относятся к категории влагопроницаемых: значение коэффициента фильтрации пробы, отобранной на обводненном участке на глубине 2 м, $K_f = 0,89$ м/сут, отобранной на глубине 7 м, — $K_f = 0,1$ м/сут. Тонкие глинистые частицы затрудняют фильтрацию раствора. Отмывка материала в 2%-ном растворе соляной кислоты повысила коэффициент фильтрации до 0,26 м/сут. морфометрических особенностей мелкого и тонкого техногенного золота и специфично измененных технологических свойств лежалых хвостов предложена модернизация профиля рифлей концентратора САЦ (рис. 2): увеличение длины полки стандартного центробежного концентратора с 40 до 59 мм, уменьшение угла наклона рифлей с 145 до 133 град, снижение межрифлевого расстояния с 15 до 4,5 мм, что обеспечило повышение извлечения золота в 1,45 раза.

Установлены оптимальные параметры работы модернизированного

концентратора: скорость вращения чаши концентратора 210 об/мин, продолжительность накопления концентрата 16 минут; продолжительность промывки концентрата 6 минут; продолжительность разгрузки концентрата 2 минуты; расход промывной воды 45—65 дм³/мин; содержание твердого в пульпе 32 %. Технологическая схема гравитационного обогащения лежалых хвостов из обводненных участков хвостохранилища Семеновской ЗИФ с использованием модифицированных концентраторов САЦ-0,75 включает основную, пересистную и контрольную сепарации и позволяет получать гравитационные концентраты с массовой долей золота 45,6 г/т при достигнутом уровне извлечения 65 %.

Адаптация кучного выщелачивания к специфично измененным технологическим свойствам техногенного минерального сырья и фильтрационной неоднородности массива хвостохранилища обеспечивается выбором растворителя и схем организации его подачи. Для доизвлечения золота из лежалых хвостов на месте их залегания в качестве растворителя выбрана хлорная вода. Способ хлоридного выщелачивания является вполне конкурентным цианидному поскольку реакция протекает в диффузионном режиме и большая концентрация окислителя — молекулярного хлора в растворе обуславливает высокую скорость растворения золота; при гидрохлорировании не так опасны некоторые примеси, осложняющие процесс цианирования (медь, сурьма и др.); активный хлор характеризуется высокой неустойчивостью и быстро разлагается на нетоксичные хлорид-ион и кислород, что повышает экологическую безопасность метода; хлор значительно дешевле цианидов. По-

дача растворов активного хлора в рудоносный пласт для последующего растворения золота возможна только через скважины. Положительный опыт скважинного подземного выщелачивания золота растворами хлора на Гагарском золоторудном месторождении, отработка которого осуществляется с 1994 г., послужил основанием для адаптации данной технологии применительно к хвостам Семеновской ЗИФ.

Золотосодержащие лежалые хвосты Семеновской ЗИФ представляют весьма благоприятный объект для хлоридного выщелачивания. Они характеризуются наличием золота в виде мелких и тонких частиц, освобожденных от связи с рудными и породообразующими компонентами в результате гипергенных процессов, протекавших в толще хвостохранилища. Золото равномерно распределено по всем классам крупности хвостов. Хвосты содержат незначительное количество сульфидов (1-2 %) и не содержат сорбционно-активных углистых веществ.

Хвостохранилище Семеновской ЗИФ характеризуется наличием водонепроницаемого глинистого дна толщиной 0,6-1,0 м, сооруженного при его строительстве, которое будет служить водупором. Благоприятными факторами для способа скважинного выщелачивания являются также низкий уровень грунтовых вод (3-4 м) и обводненность основной части техногенного массива хвостохранилища.

Опытно-экспериментальное хлоридное выщелачивание по методике геотехнологического тестирования, проведенное на пробах хвостов Семеновской ЗИФ, показало возможность получения в оптимальном режиме выщелачивания продуктивных растворов с концентрацией золота до 1,5 мг/дм

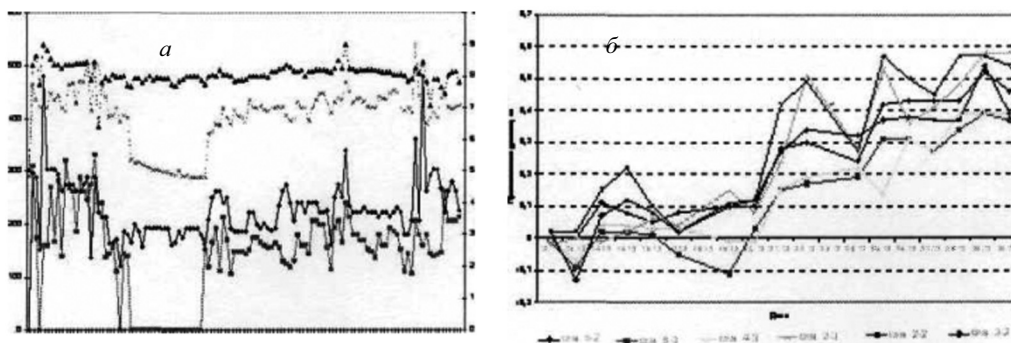


Рис. 3. Результаты гидрогеологических замеров: а — сводные параметры закачных скважин, б — изменение уровня подземных вод в наблюдательных скважинах

при максимальном извлечении золота в раствор 93 %. Средняя кислотоёмкость хвостов в интервале значений кислотности 1,0—4,0 г/дм³ составила 3,5 кг/т, хлороёмкость хвостов — 1,3—1,54 кг/т. Предварительная кислотная обработка способствует повышению извлечения золота в продуктивный раствор и снижению удельного расхода хлора в 1,12—1,19 раз.

Фильтрационные свойства техногенного массива являются определяющим гидрогеологическим фактором проведения скважинного хлоридного выщелачивания золота из хвостов на месте их складирования. Проведены гидрогеологические исследования на опытной геотехнологической ячейке выщелачивания, сооруженной в самом глубоком месте хвостохранилища Семеновской ЗИФ (-9м), и рассчитаны коэффициенты фильтрации по данным замеров уровней грунтовых вод и дебитов скважин (рис. 3).

Для скважины, заложенной в мелко- и среднезернистых песках, при диаметре скважины 132 мм дебит составляет 10—20 м³/сут, радиус влияния скважины $R = 30—50$ м; значения коэффициента фильтрации находятся в пределах 7—11 м/сут. Для скважины, заложенной в глинистых песках или в песках с прослоями суглинков,

дебиты при том же диаметре скважины составляют 5—15 м³/сут, радиусы влияния скважины в пределах 10—20 м, коэффициент фильтрации находится в пределах 0,3—1,5 м/сут. Водопритоки к скважинам не превышают 0,1 м³/м, приемистость скважин в кратковременных опытах составляет 0,05—0,08 м³/ч, достигая в отдельных случаях 0,15 м³/ч. При организации технологии выщелачивания рекомендуется проводить предварительное закисление массива и реверсирование потоков в скважинах, что значительно повысит фильтрационные свойства массива кучи.

Изучение геологического строения хвостохранилища и определение фильтрационных свойств техногенного массива показало, что, несмотря на присутствие глинистых минералов, хвосты ближе по своим свойствам к несвязным грунтам, чем к глинам, и обладают достаточной проницаемостью и доступностью золота для выщелачивающих растворов. Небольшая толщина техногенной залежи позволяет использовать густую сеть скважин на участках с преобладанием глинистых составляющих и максимально компенсировать низкие фильтрационные свойства хвостов, а высокая стоимость золота обуславливает экономическую эффективность данного спо-

соба отработки. Равномерность и интенсивность проработки хвостохранилища достигается геометрией и плотностью сети технологических скважин и системой регулировки подачи и откачки растворов. Расчетами установлено, что для глубоких участков с мощными прослоями глины размеры прямоугольных ячеек, вовлекаемых в переработку, должны быть равновелики квадрату со стороной 5,5 м, т.е. от 4,4 x 6,6 м до 3,7 x 7,3 м; для мало-мощных участков юго-западной части хвостохранилища — равновелики квадрату со стороной 6,9 м, соответственно от 5,5 x 8,3 м до 4,6 x 9,2 м.

Величина рН пластовых вод хвостохранилища характеризовалась как слабо щелочная рН= 7,8...8,05. Для проведения закисления использовался слабый раствор соляной кислоты концентрацией 0,8... 1,0 г/дм³, рН закачного раствора поддерживался на уровне рН=1,6...1,8. По окончании этапа закисления опытной ячейки рН откачного раствора снизился до уровня 6,0...6,2. Для выщелачивания золота применялся слабый раствор соляной кислоты и активного хлора концентрацией 0,1...0,12 % и рН= 2,1...2,2. Удельный расход кислоты составил 0,36 кг/т хвостов, полная кислотоемкость хвостов 3,7...4,1 кг/т.

На основании экспериментальных и опытно-промышленных испытаний

адаптирована технология хлоридного выщелачивания с организацией подачи выщелачивающих растворов через скважины для доизвлечения золота из хвостов Семёновской ЗИФ на месте их складирования. Технология гидрохлоридного выщелачивания золота из глубоких обводненных участков хвостохранилища включает: закисление участка раствором соляной кислоты до рН <4; нагнетание выщелачивающих растворов в толщу массива; выщелачивание растворами с концентрацией активного хлора 200-1200 мг/дм³ и соляной кислоты 100-500 мг/дм³; подъем продуктивных растворов на поверхность и сорбционное извлечение золота из продуктивных растворов. Содержание золота в продуктивных растворах 0,2...0,85 мг/дм³, извлечение золота в готовую продукцию 85 %.

Для комплексного и экологичного освоения запасов хвостохранилищ золотоизвлекающих фабрик целесообразно применение комбинированной схемы: необводненные участки пляжной зоны хвостохранилища с мелким и тонким золотом перерабатываются по гравитационной технологии; обводненные глубокие с тонким и мелким золотом — выщелачиванием на месте залегания с подачей выщелачивающих растворов через скважины. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шадрунова И.В. — ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru

Горлова О.Е. — МГТУ, г. Магнитогорск, www.magtu.ru

Провалов С.А. — «Башкирская медь», Республика Башкортостан, г. Сибай.

