



(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2023.02.07(51) Int. Cl. C22B 3/10 (2006.01)
C22B 34/22 (2006.01)
C22B 5/10 (2006.01)(22) Дата подачи заявки
2021.05.21

(54) ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ОТВАЛОВ

(31) 63/028,616

(32) 2020.05.22

(33) US

(86) PCT/IB2021/054414

(87) WO 2021/234653 2021.11.25

(71) Заявитель:

АНГЛО АМЕРИКАН ТЕКНИКЛ ЭНД
САСТЕЙНАБИЛИТИ СЕРВИСИЗ
ЛТД (GB); АНГЛО КОРПОРАТ
СЕРВИСИЗ САУТ АФРИКА (ПТИ)
ЛТД (ZA)

(72) Изобретатель:

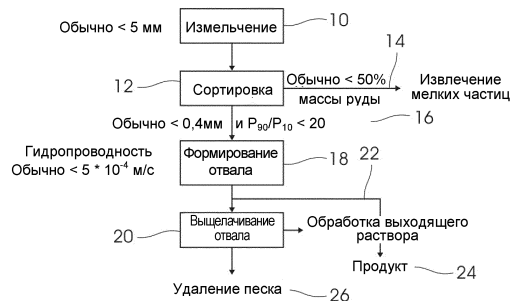
Филмер Энтони Оуэн (AU), Байли
Кристофер Алан (ZA), Александер
Дэниел Джон (умер)

(74) Представитель:

Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов
А.В., Кузнецова Е.В., Соколов Р.А.,
Кузнецова Т.В. (RU)

(57) Описывается способ извлечения ценных металлов, таких как золото, медь, никель, цинк и уран, из руд, содержащих указанные ценные металлы. Способ включает следующие шаги: измельчение (10) руды, содержащей ценные металлы, для получения песка, содержащего ценные металлы, в котором P_{80} для размеров частиц меньше 5 мм и больше 1 мм; сортировка (12) песка для удаления более мелкой фракции, чтобы обеспечить отсортированный песок, в котором P_{10} для размеров частиц больше 0,15 мм, и отношением P_{90}/P_{10} размеров частиц меньше 25 и больше 3; формирование (18) отвала из отсортированного песка и обеспечение распространения выщелачивающего агента и воздуха через отвал для выщелачивания ценных металлов из песка в выходящий обогащенный раствор, из которого могут быть извлечены выщелоченные ценные металлы. В заявке также описывается отвал, сформированный из руды, обработанной предложенным способом.

Блок-схема получения песка, формирования отвала и выщелачивания песчаного отвала



ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ОТВАЛОВ

5 Предпосылки создания изобретения

Выщелачивание традиционных отвалов представляет собой малозатратный процесс извлечения металлов с экономным расходом воды, однако при этом степень извлечения содержащихся ценных компонентов низка в связи с тем, что:

- 10
- имеются зоны с породой, характеризующейся недостаточными условиями для выщелачивания, создаваемыми микропроницаемостью внутри отвалов породы;
 - имеются зоны внутри отвалов с недостаточными условиями для выщелачивания, создаваемыми переменной макропроницаемостью в отвалах; и

15

 - происходит повторное осаждение ценных компонентов в связи с проблемными кусками жильной породы, вызывающими локальную макропроницаемость.

Такая низкая степень извлечения ценных компонентов означает, что выщелачивание используется лишь для обработки низкосортных руд, когда

20

низкие затраты являются более важным фактором по сравнению с высоким выходом процесса. Для большинства современных производств предпочтительным способом обработки является более тонкое измельчение и флотация или выщелачивание с перемешиванием.

Термин "микропроницаемость" используется для описания легкости, с

25

которой выщелачивающий агент может проникать к ценным компонентам, содержащимся в твердых частицах, для растворения этих компонентов и последующего выхода раствора, обогащенного растворенными компонентами из частиц, для окончательного извлечения с использованием силы тяжести у основания отвала. Степень микропроницаемости может быть определена с

30

помощью рентгеновской томографии (Miller, международный журнал "Переработка минеральных ископаемых", 72 (2003), 331–340, содержимое статьи вводится ссылкой в настоящую заявку).

Чем больше минерализованные частицы раскрыты для действия на них выщелачивающего агента, либо непосредственно на зерна, находящиеся на поверхности частиц жильной породы, либо через микротрещины в породе, окружающей зерна, тем выше степень извлечения ценных минералов.

5 Наиболее важным фактором, определяющим микропроницаемость, является размер частиц. При меньших размерах повышается вероятность того, что зерно ценного минерала расположено либо на поверхности частицы, либо по меньшей мере к нему имеется доступ через трещину, имеющую размер, достаточный для приемлемых скоростей прохождения выщелачивающего агента. Например, в
10 вышеуказанной работе (Miller) степень раскрытия зерен медной руды превышала 90% для частиц размерами менее 3 мм.

Однако микропроницаемость также зависит от способа дробления породы. Она также зависит от минералогических характеристик, которые влияют на растрескивание породы в результате дробления.

15 Основным продолжением достоинства этой микропроницаемости является выщелачивание с перемешиванием, при котором тонкоизмельченную руду можно выщелачивать со скоростью и с общим выходом, которые определяются скоростью химической реакции, а не диффузией внутри частиц. Однако выщелачивание с перемешиванием требует значительных капитальных и
20 эксплуатационных расходов на оборудование для измельчения и выщелачивания, и становится практически нецелесообразным для низкосортных руд или в случае продолжительности выщелачивания, превышающего примерно 24 часа.

При выщелачивании отвалов устранение тонким дроблением ограничения, связанного с микропроницаемостью, создает другие ограничения, связанные с
25 макропроницаемостью отвалов. Термин "макропроницаемость" используется для описания проницаемости для потока текучей среды через массу отвала, то есть, на расстояниях сантиметров или метров в различных местах внутри отвала.

Макропроницаемость отвала снижается при уменьшении размера
30 дробления в связи с повышенным содержанием мелких частиц, затрудняющих прохождение через отвал выщелачивающего агента и воздуха. Даже при умеренно грубом помоле (размеры кусков порядка 100 мм), может происходить

разделение при формировании отвала и уплотнение в процессе выполнения операций благодаря широкому распределению размеров частиц.

Переменная макропроницаемость может влиять на прохождение воздуха и выщелачивающего агента внутри некоторых частей отвала, так что в некоторых зонах эффективность выщелачивания будет низка либо из-за локального заполнения или недостатка выщелачивающего агента внутри зоны с низкой проницаемостью, либо из-за "дождевой тени", возникающей в этой зоне с низкой проницаемостью, либо из-за неудовлетворительной аэрации в части отвала.

Эта изменчивость является результатом скопления мелких частиц руды, возникающих либо при растрескивании и разделении кусков породы в процессе подготовки отвала, либо при чрезмерном дроблении. Они имеют тенденцию к дальнейшему уплотнению при укладке отвала и осуществлении выщелачивания. Мелкие частицы блокируют непрерывный доступ выщелачивающего агента к зоне внутри отвала.

Это обстоятельство иллюстрируется эмпирическим уравнением Хейзена (<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017WR020888>), которое относится к макропроницаемости любого материала для 10-го перцентиля распределения размеров частиц в любой зоне внутри отвала.

Макропроницаемость скопления частиц зависит от абсолютного размера частиц. На нее также влияет форма частиц и распределение размеров частиц, которые определяют коэффициент пустотности отвала. Коэффициент пустотности является важным фактором, поскольку смеси частиц разных размеров будут естественным образом объединяться, обеспечивая более высокую плотность заполнения объема, причем более мелкие частицы заполняют пространства между более крупными частицами.

Другим выражением макропроницаемости является влагопроводность. Однако для отвалов, сформированных из частиц очень разных размеров, эта характеристика может быть очень разной в разных зонах внутри отвала. Таким образом, другой эффективной характеристикой является время дренирования (фильтрации).

Таким образом, при выщелачивании традиционных отвалов основным фактором, определяющим макропроницаемость отвала, является абсолютный размер частиц после измельчения. Фактически этот размер измельчения влияет

на содержание тонких частиц, получаемых в процессе измельчения. Когда размер частиц становится малым, вокруг частиц аккумулируется слой прилипающей жидкости. Когда толщина этого слоя имеет величину порядка зазоров между зернами песка, прохождение жидкой или газообразной фазы затрудняется. Вторым по важности фактором является плотность распределения размеров частиц, причем частицы примерно одинаковых размеров обеспечивают более высокую проницаемость по сравнению с частицами, размеры которых распределены в широком диапазоне, поскольку последние могут упаковываться более плотно в процессе уплотнения отвала.

10 Учтывая вышеуказанные соображения, максимальный размер дробления при нормальном выщелачивании отвалов обычно выбирают в диапазоне 10-500 мм, так чтобы избежать формирования излишнего количества мелких частиц.

15 Для снижения влияния тонких частиц при выщелачивании традиционных отвалов эти частицы перед формированием отвалов иногда агломерируют. В процессе агломерирования мелкие частицы плотно сцепляются с более крупными частицами. При полностью управляемой укладке, когда предотвращается излишнее разрушение агломератов, обеспечивается улучшенная макропроницаемость между агломератами, однако в этом случае ухудшается микропроницаемость внутри каждого агломерированного

20 образования. По этой причине среда выщелачивания обычно используется в качестве связующего агента для агломератов. В этом случае ослабляются проблемы с микропроницаемостью, вызванные покрытием мелких частиц.

В то время более мелкое дробление и агломерирование могут повысить выход для некоторых руд, которые хорошо подходят для выщелачивания отвалов, соотношение расходов и получаемых выгод не делают этот процесс эффективным для всех руд. Кроме того, возможность агломерирования не обеспечивается в случае изменения рабочих условий в отвале, например, в случае использования нескольких выщелачивающих агентов для обработки разных видов минералов. Также агломерирование не обеспечивает полное

25 устранение проблем, связанных с доступом выщелачивающего агента к ценному материалу, заключенному в более крупных фрагментах, которые формируют центральные части агломератов.

30

Соответственно, осуществлялся поиск золотой середины в выщелачивании традиционных отвалов между более крупным дроблением с умеренным выходом при выщелачивании в отвалах (обычно порядка 65%) и дроблением, обеспечивающим более мелкие частицы размером порядка 12,7 мм, с
5 агломерированием этих частиц перед укладкой в отвалы для достижения несколько более высокого выхода (обычно порядка 80%).

Также предлагалось физическое удаление мелких частиц перед выщелачиванием отвалов, правда, в промышленных масштабах этот способ не применялся. Для оптимизации обработки мелких компонентов руд с помощью
10 обогащения в документах WO2016/170437 и US6146444 предлагается удалять мелкие частицы для отдельного обогащения, перед выщелачиванием отвалов остающейся руды.

В обоих документах предусматривается более мелкое измельчение по сравнению с обычно используемым при выщелачивании традиционных отвалов.
15 Оба документа предлагают новые способы обработки более мелкой фракции руды. В обоих документах предлагается выщелачивание отвалов остающейся более крупной фракции с умеренным содержанием всех ценных компонентов, с последующей сортировкой по размерам для основного режима извлечения ценных компонентов.

20 Размер частиц, заявленный в WO2016/170437, ограничивается верхним пределом 1 мм, так что ограничивается пропорциональная часть ценных компонентов, извлекаемых с помощью выщелачивания отвалов, что переводит выщелачивание отвалов во второстепенные способы получения ценных компонентов. Выщелачивание отвалов руды с размерами частиц более 1 мм не
25 рассматривается.

А в US6146444 выщелачивание отвалов относится к высвобождению золота из пирита, а не к непосредственному извлечению золота. Таким образом, количественное извлечение пирита не является основной целью выщелачивания, таким же образом, как если бы пирит был основным ценным компонентом.

30 Автор также не рассматривает влияние удаления мелких частиц на макропроницаемость и микропроницаемость более крупной фракции в процессе выщелачивания отвалов, а также на эффективность извлечения и гибкость при выполнении операций с отвалами.

Сортировку по размерам в US6146444 осуществляют с помощью мокрого или сухого грохочения руды после ее дробления для получения размеров кусочков в диапазоне 6-20 мм. Грохочение осуществляют для получения размеров частиц в диапазоне 0,6-2 мм, причем тонкая фракция предназначена для обогащения с использованием других способов для извлечения пирита и выщелачивания золота. Надрешетная фракция (>0,6-2 мм) представляет примерно половину веса руды, до максимального размера 25 мм, и предназначена для выщелачивания в отвалах для растворения пирита. Это выщелачивание отвалов дополняется добавлением пирита, извлеченного в процессе флотации более тонкой фракции или отделения ее под действием силы тяжести. Из дополнительного пирита не только высвобождается больше содержащегося золота, но в этом случае также ускоряется биовыщелачивание в отвалах. Эти комбинированные действия обеспечивают в результате повышенное извлечение золота в отдельном процессе выщелачивания.

Специалистам в данной области техники будет очевидно, что удаление мелких частиц, предлагаемое в US6146444, будет частично устранять проблемы макропроницаемости в отвале, в частности удаление ила, как это указано в US6146444. Однако количественное влияние удаления мелких частиц руды, размеры которых не превышают 0,6-2 мм, на макропроницаемость отвала, неясно.

Что касается микропроницаемости, то максимальный размер дробления в US6146444 лишь немного меньше типичного размера агломератов при выщелачивании традиционных отвалов, и, соответственно, проблемы, связанные с микропроницаемостью, сохраняются.

Это влияние микропроницаемости на скорость выщелачивания пирита четко иллюстрируется на фиг. 2 в US6146444, где растворение материала с частицами размерами 0,25 дюйма (наименьший заявленный размер дробления) происходит медленно. Всего лишь примерно 15% пирита окисляется биологически через 300 суток, а при размерах 2 мм выход составляет 55%. В то время как такие выходы могут быть удовлетворительными для частичного удаления трудноизвлекаемого элемента, такого как пирит, в пропорции от общего количества руды, они не подходят для извлечения основных ценных компонентов при нормальном выщелачивании отвалов.

В документе WO2016/170437 используется другой способ измельчения и обогащения, в процессе которого руду измельчают до меньших размеров частиц, R_{80} менее 1 мм, и наиболее предпочтительно менее 0,6 мм, с последующей флотацией крупных частиц в реакторе с качающимся слоем. Извлечение в процессе флотации крупных частиц размерами не более примерно 0,5 мм эффективно, оставляя на выходе утилизируемые остатки. Если размер измельчения увеличивается до предельной величины 1 мм, указанной в формуле, процесс флотации крупных частиц разделяют для получения потока остатков с частицами средних размеров. Извлечение из этой фракции руды с частицами размерами 0,5-1 мм несколько хуже из-за сниженного высвобождения ценных компонентов в процессе измельчения. Соответственно, остатки с частицами средних размеров еще содержат значительные количества ценных компонентов. В документе WO2016/170437 указывается, что остатки представляют собой низкосортный материал и подходят для хранения или для выщелачивания в отвалах.

С этими предпочтительными и максимальными размерами, указанными в формуле, остатки с частицами средних размеров после флотации крупных частиц будут составлять 0-30% от общего веса руды, подвергаемой измельчению. И благодаря естественному выходу в процессе измельчения и частичного извлечения ценных компонентов в процессе флотации крупных частиц эти остатки будут обычно содержать менее 10-20% от общего содержания ценных металлов. Таким образом, выщелачивание отвалов не является первостепенным элементом всего производственного процесса.

В документе WO2016/170437 ничего не сказано о влиянии подготовки фракции с частицами средних размеров на условия выщелачивания отвалов или на подготовку отвалов. Также нет указаний в отношении способов, с помощью которых из фракции с частицами средних размеров при выщелачивании отвалов может быть извлечена основная часть ценных компонентов.

В отдельном документе WO2018/234880, относящемся к выщелачиванию после удаления мелких частиц размерами менее 0,5 мм, используется механизм извлечения полезных продуктов из отходов при выщелачивании отвалов для низкосортных фракций руды, отброшенных при сортировке основной массы руды и при флотации крупных частиц, объединение этих потоков, из которых

удаляют мелкие частицы в отвалы для выщелачивания. Опционально могут быть введены другие промежуточные сортировки по размерам, с добавлением фракций руды с более крупными частицами в поток для выщелачивания в отвалах.

5 Хотя удаление мелких частиц, указанное в документе WO2018/234880, будет улучшать макропроницаемость, однако размеры частиц после сортировки основной массы руды и грохочения типичны для выщелачивания традиционных отвалов, и они таковы, что проблемы, связанные с микропроницаемостью, сохраняются.

10 Ширина распределений размеров частиц будет очень большой, и, соответственно, возникнут также проблемы с макропроницаемостью из-за уплотнения в частях отвала.

Возвращаясь к выщелачиванию традиционных отвалов, необходимо отметить, что существует другая проблема для многих руд с высоким содержанием меди, которые содержат значительные количества халькопирита. Халькопирит реагирует очень медленно при нормальных условиях выщелачивания отвалов.

15 Для выщелачивания первичных медных руд, содержащих значительные количества халькопирита, были определены другие условия. Управление выщелачиванием в определенном диапазоне потенциала окисления в паре двухвалентная медь-одновалентная медь в среде с высоким содержанием солей соляной кислоты обеспечивает приемлемые скорости выщелачивания халькопирита для рассмотрения при выщелачивании традиционных отвалов (Muller, WO2007/134343A2).

25 Аналогично, выщелачивание раствором сульфата железа, более типичным для выщелачивания в процессе биологического окисления в отвале, при температурах, превышающих 60° С, обеспечивает приемлемые скорости выщелачивания халькопирита для рассмотрения при выщелачивании традиционных отвалов (Robertson, "Журнал Южно-Африканского института добычи руды и металлургии", том 112, № 12, Йоханнесбург, январь, 2012).

30 Однако макропроницаемость и микропроницаемость традиционных отвалов делают эти дорогостоящие выщелачивающие агенты проблематичными для выщелачивания традиционных отвалов первичных медных руд. Например,

использование раствора кислотного раствора хлористой меди в течение продолжительного времени выщелачивания требует использования значительных количеств кислоты и больших оборотных средств, что приводит в результате к излишнему разбавлению и потерям реагента в полном цикле

5 выщелачивания отвалов. В случае выщелачивания отвалов при высокой температуре обеспечение и поддержание во всем отвале температур, превышающих 60° С, в течение продолжительного времени выщелачивания традиционных отвалов требует подвода извне значительного количества тепла.

В связи с вышеуказанными причинами коммерческое выщелачивание отвалов первичных медных руд ограничивается выщелачиванием, параметры

10 которого каждый раз приходится подбирать заново, и при этом извлечение меди достигает примерно 20%. Халькопирит, содержащийся в этих рудах, большей частью не выщелачивается.

Таким образом, несмотря на многие попытки по оптимизации выщелачивания традиционных отвалов общее извлечение металлов с

15 использованием технологии выщелачивания отвалов остается на низком уровне по сравнению с уровнем, достижимым с помощью флотации или выщелачивания с перемешиванием этой же руды. Выщелачивание традиционных отвалов основывается на низких затратах на его осуществление и прежде всего

20 направлено на переработку низкосортных руд, которые могут быть легко растворены.

Суммируя все вышесказанное, можно сказать, что ограничения, связанные с макропроницаемостью и микро-проницаемостью, приводят в результате к тому, что выщелачивание традиционных отвалов является второстепенным

25 способом получения металлов.

Сущность изобретения

Настоящее изобретение относится к способу извлечения ценных металлов, таких как золото, медь, никель, цинк и уран из руд, содержащих указанные

30 ценные металлы, таких как золотосодержащая руда (включая золото-пиритную руду и золотосодержащую медную руду), медная руда (включая сульфид меди, первичную медную руду, вторичную, переходную и окисленную медную руду), никелевая руда (включая сульфид никеля, никель в основной и в ультраосновной

породе), цинковая руда и урановая руда в песчаном отвале с высокой макропроницаемостью и микропроницаемостью.

Предлагаемый в изобретении способ включает следующие шаги:

- 5 • измельчение руды, содержащей ценные металлы, до размеров частиц, при которых раскрыто по меньшей мере 85% зерен ценных минералов, для получения песка, содержащего ценные металлы, с P_{80} менее 5 мм, предпочтительно менее 3 мм и даже более предпочтительно равным примерно 2 мм, и превышающим 1 мм;
- 10 • сортировка песка (то есть, пропускание песка через грохот или грохоты) для удаления более мелкой фракции (то есть, для удаления частиц с размерами менее 0,1 мм, или менее 0,2 мм, или менее 0,3 мм, или менее 0,4 мм), чтобы обеспечить отсортированный песок, в котором P_{10} для размеров частиц превышает 0,15 мм, или превышает 0,25 мм, или превышает 0,3 мм, или превышает 0,4 мм, и отношение P_{90}/P_{10} не превышает 25, не превышает 20, не превышает 18 или не превышает 15 и превышает 3, превышает 5 или превышает 8, и предпочтительно с водопроницаемостью, превышающей 10^{-5} м/с, более предпочтительно превышающей 5×10^{-4} м/с;
- 15 • формирование отвала из отсортированного песка, причем водопроницаемость отвала предпочтительно превышает 10^{-5} м/с, более предпочтительно превышает 5×10^{-4} м/с; и
- 20 • обеспечение распространения выщелачивающего агента и воздуха через отвал для выщелачивания ценных металлов из песка в выходящий обогащенный раствор, из которого могут быть извлечены
25 выщелоченные ценные металлы.

Обычно выщелачивание песчаного отвала используется в качестве основного способа извлечения, и более 50% руды извлекают в форме песка, и обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала, и предпочтительно более 60%, и даже более предпочтительно примерно 70%.

- 30 Обычно для руды, предназначенной для выщелачивания, не осуществляют предварительно шаг обогащения, такой как флотация, гравитационное или магнитное разделение.

Выщелачивание песчаного отвала может осуществляться в стационарном или в динамическом отвале с временем пребывания менее 2 лет, предпочтительно менее 6 месяцев и даже более предпочтительно менее 3 месяцев.

5 Предпочтительно в отвале обеспечивается свободное дренирование, так чтобы после прекращения орошения уровень содержания воды менее 15% достигался в течение 2 недель, предпочтительно в течение 1 недели и даже более предпочтительно примерно за 3 суток.

10 Отвал может быть подвергнут более чем одному циклу орошения и дренирования для последовательного улучшения аэрации и выщелачивания.

15 Могут последовательно использоваться несколько выщелачивающих агентов для удаления трудноизвлекаемой жильной породы и последующего извлечения ценных компонентов из песчаного отвала. Например, руда, содержащая как медь, так и золото, может выщелачиваться в отвале сначала для извлечения меди, после чего следует промывание водой и затем выщелачивание с использованием другого реагента для извлечения золота.

Потери выщелачивающих агентов и управление балансом воды могут быть снижены за счет эффективного промывания и дренирования песчаного отвала, подвергнутого выщелачиванию.

20 Песок может быть уложен в отвал путем выбрасывания из выходного отверстия с помощью гидравлического или механического устройства.

Песок может быть уложен последовательным подъемом (штабилизацией) на высоту, превышающую 5 метров, предпочтительно превышающую 10 метров, даже превышающую 20 метров и не превышающую 40 метров.

25 Песок может быть подвергнут выщелачиванию в динамическом отвале, который затем удаляют с динамической платформы с помощью гидравлической горной техники. Термин "динамический отвал" означает отвал, который сформирован на стационарной платформе, подвергнут выщелачиванию и затем перемещен для хранения в другом месте, так что платформа будет свободна для выщелачивания следующего отвала.

30 Настоящее изобретение относится также к песчаному отвалу с высокой макропроницаемостью и микропроницаемостью, причем песок в отвале содержит руду, подвергнутую измельчению, которая содержит ценные металлы,

такие как золото, первичная медь, вторичная медь, никель, цинк и уран, и к песку, в котором P_{10} для размеров частиц больше 0,15 мм, или больше 0,25 мм, или больше 0,3 мм, или больше 0,4 мм, и с отношение P_{90}/P_{10} меньше 25, меньше 20, меньше 18 или меньше 15, и больше 3, больше 5 или больше 8, и

5 предпочтительно с водопроницаемостью, величина которой превышает 10^{-5} м/с, более предпочтительно превышает 5×10^{-4} м/с.

Песок может быть уложен последовательным подъемом на высоту, превышающую 5 метров, предпочтительно превышающую 10 метров, даже превышающую 20 метров и не превышающую 40 метров.

10 Краткое описание чертежей

На фиг. 1 – блок-схема способа выщелачивания отвалов по настоящему изобретению;

на фиг. 2 – иллюстрации способов формирования отвалов;

на фиг. 3 – графики извлечения меди в процессе колонного выщелачивания

15 медной руды, подготовленной в форме фракций с различными размерами частиц, с использованием кислого хлорида меди или сульфата железа. Линии показывают извлечения, рассчитанные для баланса раствора, а точки показывают извлечения для баланса массы;

на фиг. 4 – графики зависимости общего извлечения меди с корректировкой

20 запасов от размеров частиц и от времени;

на фиг. 5 – графики зависимости извлечения минералов от размеров частиц и от времени;

на фиг. 6 – графики зависимости гидравлической проницаемости

25 нескольких образцов от максимального размера частиц и отношения P_{90}/P_{10} или коэффициента классификации;

на фиг. 7 – графики зависимости степени насыщения от скорости подачи для образцов медной руды, подготовленных в форме фракций частиц разных размеров;

на фиг. 8 – графики зависимости воздухопроводности от скорости подачи

30 для образцов медной руды, указанных на фиг. 7;

на фиг. 9 – графики профиля дренирования для образцов медной руды, указанных на фиг. 7, после прекращения орошения.

Подробное описание осуществления изобретения

В настоящем изобретении предлагается способ, в котором песок готовят и укладывают таким образом, чтобы сформировать отвал с подходящей макропроницаемостью и микропроницаемостью, для обеспечения более быстрого и более высокого уровня извлечения металлов, представляющих
5 интерес.

Выбор размеров частиц является критическим фактором для обеспечения микропроницаемости и макропроницаемости, необходимых для быстрого и полного выщелачивания отвалов.

10 Создание макропроницаемости и микропроницаемости частиц руды в песчаном отвале не только обеспечивает высокое извлечение в процессе выщелачивания отвалов, но и обеспечивает характеристики отвала, которые дают возможность эффективного использования более широкого ассортимента выщелачивающих агентов. Примеры таких выщелачивающих агентов включают
15 более дорогие агенты, такие как хлористая медь в качестве окислителя, или глицин в качестве комплексанта, причем при выщелачивании традиционных отвалов оборотные средства и потери реагентов. чрезмерны.

Макропроницаемость обеспечивается подготовкой песка с высокой степенью раскрытия ценных минералов, по меньшей мере 85%, с узким
20 распределением размеров частиц и с нижним предельным размером частиц для обеспечения свободного дренирования выщелачивающего агента из отвала.

Эта комбинация характеристик обеспечивает возможность укладки песка без излишнего уплотнения в процессе формирования отвала. Отношение P_{90}/P_{10} размеров частиц обеспечивает удовлетворительный коэффициент пустотности. С
25 таким узким распределением размеров продукт выщелачивания и воздух могут проходить непрерывно через отвал, в то время как выщелачивающий агент может проникать к большей части имеющихся минералов, представляющих интерес.

Нижний предельный размер (P_{10}) для частиц песка задают для обеспечения
30 свободного дренирования песчаного отвала, то есть, влагопроводность будет превышать 10^{-5} м/с, обеспечивая возможность дренирования в течение нескольких суток до уровня 15% от количества влаги, содержащейся в отвале. Нижний предельный размер важен для обеспечения макропроницаемости отвала,

и он описывается уравнением Хейзена. В результате обеспечивается возможность дренирования отвала для непрерывного извлечения продукта выщелачивания с высоким выходом. Коэффициент пустотности должен быть таким, что даже при выполнении орошения воздух мог проходить между

5 частицами для поддержания потенциала окисления в отвале.

Оптимальное количество сравнительно мелкого песка также определяется балансом между гравитационными и капиллярными силами, причем достаточно мелкие частицы присутствуют для обеспечения возможности поперечного прохождения выщелачивающего агента через отвал. Они обычно составляют в

10 отвале >5 вес.%.

Верхний предельный размер (P_{90}) для частиц песка задают для обеспечения эффективной микропроницаемости, позволяющей обеспечить высокое извлечение и соответствующий коэффициент пустотности внутри отвала.

Авторы изобретения совершенно неожиданно обнаружили, что с

15 характеристиками микропроницаемости и макропроницаемости, получаемыми с помощью способа, предлагаемого в настоящем изобретении, извлечение с использованием выщелачивания песчаных отвалов может быть увеличено экспоненциально до уровней, достижимых при мелком измельчении и продолжительном выщелачивании с перемешиванием, и даже выше уровней,

20 достижимых с помощью альтернативных технологий извлечения, таких как флотация.

Как уже отмечалось, верхний предельный размер, при котором ценные компоненты будут в достаточной степени раскрыты для обеспечения возможности выщелачивания определенной руды, будет зависеть от размеров

25 зерен ценных минералов, и характеристик растрескивания минералов и жильной породы. На практике приемлемый уровень извлечения будет также определяться исходным содержанием руды, подвергаемой выщелачиванию для формирования утилизируемых остатков.

Например, низкосортная медная руда с крупными зернами, которая была

30 подвергнута предварительному обогащению, может иметь верхний предельный размер порядка 5 мм со степенью раскрытия порядка 85%, в то время как высокосортная медная руда с мелкими зернами требует более тонкого измельчения для обеспечения утилизируемых остатков после выщелачивания

песчаных отвалов. Для частиц размерами более 5 мм различное растрескивание по границам зерен недостаточно для обеспечения требуемого микрорастрескивания.

Соответственно, в соответствии с настоящим изобретением
5 предпочтительный верхний размер частиц (P_{80}) измельченной руды меньше 5 мм, предпочтительно меньше 3 мм, и более предпочтительно порядка 2 мм, но больше 1 мм.

Для выполнения требований по макропроницаемости частицы руды должны
10 иметь достаточный диаметр, чтобы обеспечивалось свободное дренирование отвала с проницаемостью, превышающей 10^{-5} м/с, и предпочтительно более 5×10^{-4} м/с. В этом случае P_{10} для размеров частиц должен превышать 0,15 мм и предпочтительно превышать 0,25 мм. Обеспечение эффективного коэффициента пустотности требует, чтобы отношение P_{90}/P_{10} было меньше 20 и предпочтительно меньше 15.

15 Для достижения этих критериев макропроницаемости и микропроницаемости измельченная руда должна быть отсортирована для удаления мелких частиц перед назначением фракции крупных частиц на выщелачивание в песчаных отвалах. Используя эффективное измельчение и сортировку, до 70% руды с заданными предельными размерами частиц может
20 быть назначено для выщелачивания в песчаных отвалах.

Остающиеся более мелкие частицы должны быть обработаны отдельно с использованием флотации или выщелачивания с перемешиванием. Аналогично
25 выщелачиванию традиционных отвалов, но в отличие от изложенного в документах US6146444, WO2016/170437 или WO2018/234880, выщелачивание песчаных отвалов может быть первостепенным способом получения ценных компонентов, с дополнительным получением из мелких частиц.

Как показано на фиг. 1, в одном из вариантов осуществления изобретения
30 руду подвергают измельчению 10 (в измельчителе, таком как валковая мельница высокого давления, мельница с частичным самоизмельчением, роторная дробилка с вертикальным валом или коническая дробилка, обычно для получения частиц с размерами менее 5 мм, для обеспечения p_{80} менее 5 мм. Затем измельченную руду подвергают сортировке 12 (например, просеивают) для удаления мелких частиц 14 с размерами менее 0,4 мм и получения песка 16 с

размерами частиц, превышающими 0,4 мм, и с отношением P_{90}/P_{10} , равным примерно 12,5. Песок 16 укладывают в отвал 18, который имеет типичную влажностепроводность, величина которой превышает 5×10^{-4} м/с. Отвал 18 подвергают выщелачиванию с получением продукта 22 выщелачивания, из которого получают продукт 24, содержащий ценные металлы, и который рециркулируют в процесс 20 выщелачивания отвала. После завершения выщелачивания отвала получают песок 26, из которого извлечены ценные металлы и который может быть удален.

Гибкость процесса выщелачивания для песчаных отвалов

Макропроницаемость и микропроницаемость, достижимые в песчаных отвалах с этим распределением размеров частиц, обеспечивают некоторые дополнительные характеристики, которые совершенно отличаются от характеристик традиционных отвалов. Распределение потоков выщелачивающего агента и воздуха внутри песчаных отвалов с узким распределением размеров частиц очень однородное; время, необходимое для обеспечения высоких уровней извлечения при выщелачивании песчаных отвалов, мало; и отвал дренируется быстро и равномерно до низкого содержания влаги.

Эти три уникальные характеристики песчаных отвалов обеспечивают гибкость в регулировании и управлении условиями выщелачивания отвалов с использованием способов, которые невозможны в выщелачивании традиционных отвалов.

Равномерное распределение выщелачивающего агента и воздуха внутри песчаных отвалов обеспечивает создание условий для эффективного выщелачивания во всех зонах отвала. Действительно, за счет регулирования формирования отвалов и операций с ними можно управлять потенциалом окисления и температурой в отвалах для обеспечения однородности условий в различных зонах отвалов.

Это улучшенное управление потенциалом окисления внутри отвалов имеет особенное значение для выщелачивания первичных медных руд, когда четкое управление потенциалом в растворах сульфатов и хлоридов предотвращает пассивацию халькопирита

В результате улучшенного распределения выщелачивающего агента и воздуха может обеспечиваться более высокий уровень извлечения ценных компонентов.

5 Второй источник гибкости процесса выщелачивания песчаных отвалов – высокая микропроницаемость, обеспечивающая гораздо более короткое время пребывания для достижения высокого уровня извлечения металлов.

10 Для таких минералов, как легкообогащаемая золотосодержащая руда, вторичные и окисленные медные руды, в которых химическое растворение происходит быстро, то есть, выщелачивание происходит полностью в течение двух суток выщелачивания с перемешиванием при нормальных условиях окружающей среды, времена выщелачивания в песчаных отвалах обычно может быть сокращено до 3 месяцев и менее, и даже до 1 месяца и менее.

15 Это обеспечивает возможность выщелачивания отвалов таких руд на динамических платформах со скоростью и с уровнем извлечения, сравнимыми с характеристиками, достижимыми при чановом выщелачивании и выщелачивании с перемешиванием, и существенно более высокими, чем при выщелачивании традиционных отвалов. Эти высокие уровни извлечения могут быть достигнуты без инфраструктуры, необходимой для тонкого измельчения, и без перемещения материалов, осуществляемого в процессах чанового
20 выщелачивания и выщелачивания с перемешиванием.

Убыстрение процесса, достижимое при выщелачивании песчаных отвалов, также обеспечивает более высокое содержание ценных минералов в потоке выходящего обогащенного раствора, что позволяет снизить его объем, который необходимо обрабатывать при последующем извлечении металлов.

25 Реакция выщелачивания для большей части руд носит экзотермический характер. Таким образом, при выщелачивании температура в отвале повышается, особенно когда окисление сульфида происходит со скоростью, превышающей скорость выхода тепла из отвала. Например, при выщелачивании традиционных отвалов медных руд в некоторых зонах отвалов были зарегистрированы
30 температуры до 70° С. Такие температуры положительно сказываются на более быстром биологическом окислении и повышают скорости диффузии, в результате чего повышается микропроницаемость внутри частиц. Использование выщелачивания песчаных отвалов обеспечивает более высокие скорости

выщелачивания полностью окисленных вторичных минералов, содержащих медь, и, соответственно, большее повышение температуры в отвалах.

5 Это повышение температуры является одним из факторов, повышающих уровень извлечения ценных минералов, который может быть достигнут при выщелачивании песчаных отвалов вторичных медных руд.

10 Более быстрое повышение температуры также обеспечивает способ инициализации окисления при выщелачивании халькопирита, так что выделяется дополнительное тепло. Кроме того, сравнительно короткое время, необходимое для преодоления ограничений, связанных с микропроницаемостью внутри выщелачиваемых частиц, уменьшает время поддержания отвала при повышенной температуре, необходимой для выщелачивания большей части халькопирита. Таким образом, выщелачивание песчаных отвалов, как указывается в настоящем изобретении, обеспечивает возможность выщелачивания отвалов первичных медных руд.

15 В еще одном варианте выщелачивания первичной медной руды при повышенных температурах может обеспечиваться подача тепла извне с помощью таких средств, как солнечные нагреватели, для нагрева выщелачивающего агента. Обычно время пребывания, в течение которого отвал должен поддерживаться при повышенной температуре, чрезмерно, однако в случае сокращения времени выщелачивания, обеспечиваемого высокой микропроницаемостью, возможность подачи тепла извне повышается.

Третий источник гибкости при выщелачивании песчаных отвалов – это свободное дренирование, обеспечиваемое песком.

25 Это эффективное дренирование обеспечивает резкую отсечку выхода элюата по завершении выщелачивания отвала. При этом концентрация остающегося продукта выщелачивания в отвале низка, и микропроницаемость обеспечивает возможность быстрого выхода этого остающегося раствора. Это также означает, что отвал может быть промыт без существенного разбавления раствора. Потери реагентов будут ниже, и облегчается управление балансом воды при выщелачивании песчаных отвалов.

30 Таким образом, песчаный отвал обеспечивает возможности использования дорогостоящих выщелачивающих агентов, которые не могут рассматриваться как экономичные при выщелачивании традиционных отвалов, в которых поток

текучей среды распределен гораздо менее равномерно, и захват компонентов
выщелачивающим агентом внутри отвала более высокий. Например, для
выщелачивания первичных медных руд может использоваться кислый хлорид
меди. Другие примеры включают использование глицина для выщелачивания
5 медноколчеданных или никелевых сульфидных руд, а более концентрированные
растворы цианидов могут использоваться для ускорения выщелачивания золота.

Свободное дренирование и однородная структура отвала также
обеспечивают прерывистую подачу выщелачивающего агента, и после каждой
10 подачи следует перерыв, в течение которого большая часть пустот в отвале
заполняется воздухом, без опасений в отношении доступа к зонам, которые
остаются переполненными выщелачивающим агентом или в которых
недостаточно выщелачивающего агента. Было обнаружено, что эти перерывы
полезны в ряде операций по выщелачиванию традиционных отвалов.

Свободное дренирование отвала также обеспечивает возможность
15 последовательного использования разных выщелачивающих агентов без
существенного перекрестного загрязнения этих агентов. В этом случае могут
использоваться два выщелачивающих агента в одном отвале для
первоначального удаления проблемной жильной породы перед извлечением
минерала, представляющего интерес, такого как пиритная золотосодержащая
20 руда. Также обеспечивается возможность последовательного выщелачивания
медно-золотых руд.

Последние разработки в области выщелачивания традиционных отвалов
первичных медных руд показывают, что высокие уровни извлечения
халькопирита могут быть достигнуты в течение нескольких лет с
25 использованием кислого хлорида меди в концентрированных солевых растворах.
Однако элементы жильной породы, присутствующие в руде, приводят к
значительному расходу кислоты, и поскольку пирит не окисляется в условиях
потенциала окисления системы, эта кислота представляет собой расходный
материал. Поскольку в отвале имеет место свободное дренирование, то можно
30 сначала осуществить выщелачивание традиционного отвала для использования
кислоты, получаемой из пирита в руде для нейтрализации основной жильной
породы, с последующим преобразованием в систему хлорида меди для
выщелачивания содержащегося медного колчедана.

Аналогичная предварительная нейтрализация может происходить в случае никелевых сульфидных руд, с использованием колчедана и пирротита, получаемого в процессе флотации мелких частиц, для дополнения производства кислоты при выщелачивании песчаных отвалов.

5 Извлечение золота, с использованием выщелачивания с перемешиванием или выщелачивания традиционных отвалов, обычно ограничивается легкообогащаемыми золотосодержащими рудами. Для этих руд, в которых золото заключено в пирите, для высвобождения золота необходимо осуществить очень тонкое измельчение пирита или его предварительное окисление.

10 Использование биологического окисления пирита – это хорошо известный способ высвобождения золота, и выщелачивание отвалов - это малозатратный способ обеспечения такого высвобождения. Однако извлечение высвобожденного золота с использованием цианидов связано с проблемами. Биологическое окисление пирита происходит в кислой среде, и выщелачивание отвалов осуществляется в базовой среде, содержащей цианид. Смесь двух систем опасна, и требования к реагенту для нейтрализации отвала перед
15 выщелачиванием золота очень жесткие. Поэтому в процессах, аналогичных процессам, раскрытым в документе US6146444, используется выщелачивание отвалов для высвобождения золота с последующим измельчением,
20 нейтрализацией и выщелачиванием с перемешиванием для извлечения высвобожденного золота.

Хорошо дренируемый песчаный отвал, предлагаемый в настоящем изобретении, обеспечивает возможность такого подхода с двойным выщелачиванием: сначала биологическое окисление в кислой среде с
25 последующим дренированием и нейтрализацией, и затем безопасное выщелачивание отвала цианидом, с минимальными затратами на дополнительный реагент и без необходимости тонкого измельчения и выщелачивания с перемешиванием.

Аналогичные возможности возникают для золотосодержащих руд с
30 высоким содержанием растворимой меди.

Примеры типов руд, которые могут обрабатываться в соответствии с настоящим изобретением, выщелачивающих агентов и в некоторых случаях

последовательно используемых выщелачивающих агентов указаны в нижеприведенной Таблице 1.

Таблица 1

Тип руды	Возможные выщелачиватели	Показатель P ₉₀ , мм	Показатель P ₁₀ , мм	Отношение P ₉₀ /P ₁₀	Необходим еще один выщелачиватель?	Второй выщелачиватель
Вторичные и окисленные медные руды	Биовыщелачивание	4	0,2	20	Нет	
	Кислый хлорид	4	0,2	20	Нет	
Переходные и первичные медные руды	Горячее биовыщелачивание	4	0,4	10	Нет	
	Кислый хлорид	4	0,4	10	Нет	
	Глицин	3	0,4	7,5	Нет	
	Аммиак	3	0,4	7,5	Нет	
Первичные медно-золотые руды	Горячее биовыщелачивание	4	0,4	10	Да	Цианид
Золотосодержащая руда	Цианид	3	0,2	15	Нет	
Труднораскрываемые золото-сульфидные руды	Биовыщелачивание	3	0,2	15	Да	Цианид
Никель в основной породе	Кислотное биовыщелачивание	3	0,3	10	Нет	
	Практически нейтральное биовыщелачивание	3	0,3	10	Нет	
	Глицин	3	0,3	10	Нет	
	Аммиак	3	0,3	10	Нет	
Никель в ультраосновной породе	Нейтральное биовыщелачивание	3	0,2	15	Да	Аммиак или глицин
	Биовыщелачивание	3	0,2	15	Нет	
	Глицин	3	0,3	10	Нет	
	Аммиак	3	0,3	10	Нет	
Цинк	Биовыщелачивание	4	0,4	10	Нет	
Уран	Биовыщелачивание	4	0,3	13,3	Нет	

Гибкость формирования песчаных отвалов для выщелачивания

Диапазон размеров частиц песка в соответствии с настоящим изобретением, заданный для обеспечения требований к макропроницаемости и микропроницаемости для выщелачивания песчаных отвалов, также создает
5 возможности для различных способов формирования отвалов и различных конфигураций этих отвалов.

Традиционные отвалы обычно формируют с помощью автосамосвалов, однако при этом возникают проблемы, связанные с чрезмерным уплотнением и возникновением мелких частиц, вызванным давлением тяжелого оборудования, проходящего по отвалу перед разгрузкой и после нее. В другом способе
10 традиционный отвал формируют с помощью отступающего конвейерного укладчика. Эта технология требует больших затрат, и необходимое оборудование устанавливают стационарно в определенном месте относительно формируемого отвала. Хотя вышеуказанная техника может использоваться
15 также и для формирования песчаных отвалов, однако монофракционный песок можно также выбрасывать, гидравлически или механически, из легко перемещаемой головки выброса песка (см. фиг. 2, на которой показана гидравлическая укладка песка с помощью гидропушки высокого давления, подающей руду, подлежащую выщелачиванию, с последующим дренированием
20 перед началом выщелачивания).

Таким образом, песчаный отвал может быть сформирован без необходимости доступа транспортных средств и оборудования, которые ограничивают возможности расположения отвала и получения необходимых
размеров в цикле укладки.

Монофракционность песка также позволяет использовать гидравлическую горную технику для утилизации обработанного отвала и перекачки полученной
25 пульпы в место долговременного хранения. В этом случае дополнительно улучшается возможность динамического выщелачивания отвала на стационарной платформе для выщелачивания, помимо вышеуказанных выгод
30 малого времени пребывания.

Традиционные отвалы для выщелачивания обычно имеют высоту 5-10 м для поддержания эффективной вертикальной фильтрации через отвал. Благодаря однородности размеров частиц песка и однородности макропроницаемости,

пониженной способности к объединению частиц и способности дренирования и перерывов, эта высота для выщелачивания песчаных отвалов может быть существенно увеличена, особенно когда обеспечивается доступ под отвал для принудительной подачи воздуха.

5 Сравнительно малые размеры частиц песка обеспечивают возможность размещения воздухопроводов внутри отвала и, соответственно, снижения возможности недостатка кислорода в некоторых зонах, когда воздух проходит через отвал. Это размещение воздухопроводов может осуществляться путем бурения в сформированном отвале для введения труб; или это могут быть
10 стационарные средства в динамическом отвале, который формируют вокруг стационарных воздухопроводов, причем песок удаляют позднее с помощью средств гидравлической разработки. В этом случае обеспечивается возможность дополнительного увеличения высоты отвала.

Однородный размер частиц песка при выщелачивании песчаного отвала
15 создает идеальный путь распределения для потоков выщелачивающего агента и воздуха через отвал. Разделение ограничивается во время формирования отвала. Проблемы традиционных отвалов, связанные с образованием проходов в массе материала и с мертвыми зонами, устраняются в песчаных отвалах с частицами, размеры которых находятся в узком диапазоне величин. Эти улучшенные потоки
20 означают, что орошение сторон отвала и аэрация его центральной части связаны с меньшими проблемами при выщелачивании песчаных отвалов.

Описание экспериментов

Измельчением переходной медной руды были получены фракции частиц разных размеров -2,4 мм, -6,7 мм и -25 мм. Затем полученные фракции
25 сортировали для получения сравнительно узких распределений размеров частиц, как указано в Таблице 2, в результате чего были получены отличные показатели макропроницаемости. Дренирование этих песков в колонне высотой 1 м до содержания влаги менее 8% после прекращения орошения происходило в течение нескольких часов, как показано на фиг. 9.

30 Эти фракции, содержащие 30-40% меди в форме халькопирита, выщелачивали в колонне высотой 1 м при температуре 25° С с использованием кислого хлорида меди с различными величинами рН и с различными концентрациями соли b ионов меди. На фиг. 3 представлены графики извлечения

меди, которое определялось с помощью баланса раствора, без учета изменений запасов, а также, где это применимо, с помощью баланса масс. Эти результаты показывают, что высокие уровни извлечения переходной медной руды могут быть получены для более мелких частиц руды, растворяющихся быстрее и полностью. Результаты для системы хлорида, представленные на фиг. 3, показывают идентичные условия эксперимента за исключением использования прерывистого орошения для фракции -2,4 мм. В этих испытаниях высокие уровни извлечения легкорастворяющихся компонентов руды были получены в течение 10 суток, в то время как большая часть труднораскрываемого компонента, то есть, халькопирита, была извлечена через 150 суток. Пониженная скорость и уровень извлечения меди для увеличенных размеров частиц подчеркивает действие микропроницаемости.

Таблица 2: Характеристики размеров частиц в образцах для колонного выщелачивания

Образец	P ₁₀ (мм)	P ₅₀ (мм)	P ₉₀ (мм)	P ₉₀ /P ₁₀
-1,25 мм	0,17	0,38	0,79	4,5
-2,4 мм	0,58	1,43	2,16	3,7
-6,7 мм	0,51	3,30	5,97	11,7
-25 мм	1,18	13,20	22,55	19,1

Для дальнейшей демонстрации влияния микропроницаемости на достижимое извлечение образцы этой же руды измельчали до размеров менее 1,25 мм перед осуществлением флотации крупных частиц для получения концентрата и вывода песка с низким содержанием ценного компонента. Полученный песок, размеры частиц которого были ближе к более трудному краю распределения размеров частиц для обеспечения оптимальной макропроницаемости, показал приемлемую влажпроводность для выщелачивания, однако более высокую степень насыщения при эквивалентных потоках по сравнению с фракциями более крупных частиц, как показано на фиг. 7, на которой показано экспоненциальное улучшение степени насыщения для фракций с размерами частиц, для которых P₈₀ превышает 1 мм. Графики фиг. 7 четко показывают, что для достижения подходящей степени насыщения необходим размер частиц с P₈₀ более чем примерно 1 мм. В системах

выщелачивания, в которых происходит вторичное осаждение таких соединений как оксиды железа или сульфаты кальция и алюминия, или формирование элементарной серы, эта более высокая степень насыщения может представлять все более серьезную проблему. Осаждение таких соединений внутри отвала – это обычное явление во многих применениях выщелачивания отвалов.

Песок с размерами частиц -1,25 мм выщелачивали с использованием как кислого хлорида меди, так и сульфата железа при температуре 25° С в тех же условиях, в каких осуществляли выщелачивание других фракций. На фиг. 3 показано, что уровень извлечения в системе хлорида через 100 суток превышал 85% для халькопирита, растворяющегося медленнее других видов минералов. В то же время в системе сульфата был достигнут уровень извлечения 75% для каждого быстрорастворимого минерала, содержащего медь, за исключением халькопирита.

На фиг. 4 более четко иллюстрируется повышение суммарного извлечения по мере уменьшения размеров частиц, что согласуется с вышеуказанной работой (Miller и др.) в отношении зависимости раскрытия минералов от размеров частиц. Больше всего удивляет также заметное повышение скорости выщелачивания, связанное с размерами частиц, что можно объяснить улучшением доступа выщелачивающего агента к поверхности зерен ценного минерала. Идеальный размер частиц для быстрого и полного извлечения при сравнительно мягких условиях выщелачивания не превышает примерно 6 мм.

Это влияние размеров частиц также четко подтверждается при рассмотрении графиков скорости растворения различных минералов, содержащих медь, приведенных на фиг. 5.

Минералы, легче поддающиеся выщелачиванию, в данном случае халькозит и борнит, меньше зависят от размеров частиц по сравнению с трудноизвлекаемым халькопиритом, для достижения уровней извлечения, превышающих 85%. Для наиболее мелкой фракции, участвующей в испытаниях, в обеих системах выщелачивания, уровни извлечения оксида и вторичных сульфидных фракций, состоящих преимущественно из делафоссита, халькозита и борнита, были выше 98%. Зависимость повышения скорости и уровня извлечения от размеров частиц, не превышающих примерно 6 мм, является значимым и неожиданным результатом. Дополнительная 6-метровая колонна

использовалась для выщелачивания фракции -1,25 мм в идентичных условиях, и уровень извлечения меди из халькопирита достиг почти 80% примерно через 190 суток. Для продолжения эффективного выщелачивания отвалов для извлечения трудноизвлекаемых минералов, таких как халькопирит, для первичных медных руд размер частиц является ключевым параметром.

На основе только микропроницаемости было бы полезно дополнительно уменьшить размер частиц, причем компенсация происходит за счет макропроницаемости. На фиг. 6 иллюстрируется, как макропроницаемость снижается экспоненциально с уменьшением размеров частиц, даже для исключительно качественно отсортированных песков. Соответственно, минимальный размер частиц задается предельной величиной, обеспечивающей эффективную макропроницаемость для практического применения выщелачивания отвалов в качестве первостепенного способа получения ценных компонентов из конкретной руды, и системой выщелачивания.

Результаты гидродинамических измерений фракций, подвергнутых колонному выщелачиванию, представлены на фиг. 7, 8 и 9. В случае узких распределений размеров частиц и отсутствия значительного количества мелких частиц было отмечено минимальное уплотнение испытываемых образцов, в частности объемные плотности в сухом состоянии увеличивались от примерно $1,3 \text{ т/м}^3$ до примерно $1,4 \text{ т/м}^3$ для действующего сжатия, эквивалентного давлению в отвале высотой 40 м. Эти результаты показывают, что в то время как наиболее мелкая фракция, подвергнутая испытаниям, продемонстрировала отличную микропроницаемость и соответствующие высокие уровни извлечения, однако при этом наблюдалось значительное снижение макропроницаемости.

Более высокие степени насыщения при скоростях орошения, применимых к выщелачиванию в отвалах, могут оказаться более проблематичными для эффективной воздухопроницаемости, как показано на фиг. 8. Это может быть даже более проблематичным для случаев, когда внутри отвала формируются дополнительные осадки мелких частиц. Фракции, частицы которых немного больше мелких частиц, продемонстрировали отличную макропроницаемость с приемлемыми степенями насыщения и отличной воздухопроницаемостью при скоростях подачи, применимых для выщелачивания в отвалах, показали низкий

уровень слипания частиц и быстрое и экстенсивное падение насыщения после прекращения орошения.

В контексте выщелачивания отвалов результаты показывают, что при выборе P_{80} для размеров частиц, не превышающего 5 мм, и отношения P_{90}/P_{10} , не превышающего 20 и превышающего 3, с соответствующим регулированием распределения размеров частиц руды, можно достичь экспоненциальной микропроницаемости для быстрого выщелачивания песчаных отвалов, с поддержанием достаточной макропроницаемости для получения отвалов со свободным дренированием с отличным распределением выщелачивающего агента и воздуха.

При благоприятной минералогии или в случае достаточного времени для растворения медленно реагирующих видов минералов могут быть достигнуты уровни извлечения, превышающие 90%, из песка при выщелачивании песчаных отвалов. Совершенно неожиданно оказалось, что эти уровни извлечения выше 80-85%, обычно достигаемых с использованием флотации руды, использованной в экспериментах, так что выщелачивание песчаных отвалов в одинаковой степени привлекательно как для низкосортных, так и для высокосортных руд, и в частности особенно привлекательно для выщелачивания сильно окисленных руд. Кроме того, измельчение до размеров частиц менее 5 мм для P_{80} осуществляется гораздо легче измельчения, необходимого для флотации, выщелачивание отвалов обеспечивает непосредственное получение катодной меди, и общая степень воздействия на окружающую среду ниже.

Ссылочные материалы (их содержание вводится ссылкой в настоящую заявку)

Filmer и Alexander – WO2016/170437

Filmer и Alexander – WO2018/234880

Muller - WO2007/134343A2

Kohr – US6146444

Robertson - "Журнал Южно-Африканского института добычи руды и металлургии", том 112, № 12, Йоханнесбург, январь, 2012

Watling – "Гидрометаллургия", 140 (2013), 163-180

Miller, международный журнал "Переработка минеральных ископаемых", 72 (2003), 331– 340

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017WR020888>

Beard и Weyl, 1973, "Влияние структуры на пористость и проницаемость рыхлого песка", бюллетень Американской ассоциации геологов-нефтяников, том 57, № 2, 349-369

- 5 Guzman, 2013, "Роль гидродинамических испытаний для расчета процесса выщелачивания отвалов", Гидропроцесс, 2013, доклад конференции.

ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ подготовки и выщелачивания руды, содержащей ценные металлы, в процессе выщелачивания отвала, причем способ включает следующие шаги:
- 5 измельчение руды, содержащей ценные металлы, для получения песка, содержащего ценные металлы, с размерами частиц, для которых P_{80} меньше 5 мм и больше 1 мм;
- 10 сортировка песка для получения отсортированного песка с размерами частиц, для которых P_{10} больше 0,15 мм, и отношение P_{90}/P_{10} размеров частиц меньше 25 и больше 3;
- формирование отвала из отсортированного песка; и
- обеспечение распространения выщелачивающего агента и воздуха через отвал для выщелачивания ценных металлов из песка.
- 15
2. Способ по п. 1, в котором осуществляют измельчение руды до размеров частиц с P_{80} 3 мм.
3. Способ по п. 2, в котором осуществляют измельчение руды до размеров частиц с P_{80} , равным примерно 2 мм.
- 20
4. Способ по п. 1, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,15 мм.
- 25
5. Способ по п. 4, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,25 мм.
6. Способ по п. 5, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,3 мм.
- 30
7. Способ по п. 6, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,4 мм.
8. Способ по п. 1, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка меньше 20.

9. Способ по п. 8, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка меньше 18.

5 10. Способ по п. 9, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка меньше 15.

11. Способ по п. 1, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка больше 5.

10 12. Способ по п. 11, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка больше 8.

15 13. Способ по п. 1, в котором отсортированный песок и сформированный из него отвал имеют водопроницаемость, величина которой больше 10^{-5} м/с.

14. Способ по п. 7, в котором отсортированный песок и сформированный из него отвал имеют водопроницаемость, величина которой больше 5×10^{-4} м/с.

20 15. Способ по п. 1, в котором выщелачивание песчаного отвала является основным способом извлечения ценных металлов из руды, и более 50% руды обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала.

25 16. Способ по п. 15, в котором выщелачивание песчаного отвала является основным способом извлечения ценных металлов из руды, и более 60% руды обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала.

30 17. Способ по п. 16, в котором выщелачивание песчаного отвала является основным способом извлечения ценных металлов из руды, и более 70% руды обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала.

18. Способ по п. 1, в котором выщелачивание песчаного отвала осуществляют в стационарном или в динамическом отвале с временем пребывания менее 2 лет.

5 19. Способ по п. 18, в котором время пребывания не превышает 6 месяцев.

20. Способ по п. 19, в котором время пребывания не превышает 3 месяцев.

10 21. Способ по п. 1, в котором после прекращения орошения уровень содержания воды менее 15% достигается в течение 2 недель, предпочтительно в течение 1 недели и даже более предпочтительно примерно за 3 суток.

15 22. Способ по п. 1, в котором отвал подвергают более чем одному циклу орошения и дренирования для последовательного улучшения аэрации и выщелачивания.

20 23. Способ по п. 1, в котором последовательно используется несколько выщелачивающих агентов для удаления жильной породы и последующего извлечения ценных компонентов из песчаного отвала.

25 24. Способ по п. 23, в котором руду, содержащую как медь, так и золото, выщелачивают в отвале сначала для извлечения меди, после чего промывают водой и затем выщелачивают с использованием другого реагента для извлечения золота.

25 25. Способ по п. 1, в котором отсортированный песок укладывают в отвал путем выбрасывания из выходного отверстия с помощью гидравлического или механического устройства.

30 26. Способ по п. 1, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 5 метров.

27. Способ по п. 26, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 10 метров.

5 28. Способ по п. 27, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 20 метров.

29. Способ по п. 28, в котором песок укладывают подъемом на высоту до 40 метров.

10 30. Способ по п. 1, в котором песок выщелачивают в динамическом отвале, который затем удаляют с динамической платформы с помощью гидравлической горной техники.

15 31. Способ по п. 30, в котором отвал формируют с головками подачи воздуха для управления окислительно-восстановительным потенциалом и температурой различных зон отвала.

20 32. Способ по п. 1, в котором ценные металлы выбирают из золота, меди, никеля, цинка и урана, и руды, содержащие эти металлы, выбирают из золотосодержащей руды, медной руды, никелевой руды, цинковой руды и урановой руды.

25 33. Песчаный отвал для выщелачивания отвала, содержащий песок, приготовленный из руды, содержащей ценные металлы, причем песок содержит частицы с размерами, для которых R_{80} меньше 5 мм, R_{10} больше 0,15 мм, и отношение R_{90}/R_{10} размеров частиц меньше 25 и больше 3.

30 34. Песчаный отвал по п. 33, в котором R_{10} для размеров частиц песка превышает 0,15 мм.

35. Песчаный отвал по п. 34, в котором R_{10} для размеров частиц песка превышает 0,25 мм.

36. Песчаный отвал по п. 35, в котором P_{10} для размеров частиц песка превышает 0,3 мм.

5 37. Песчаный отвал по п. 36, в котором P_{10} для размеров частиц песка превышает 0,4 мм.

38. Песчаный отвал по п. 33, в котором песок содержит частицы с отношением P_{90}/P_{10} меньше 20 и больше 5.

10 39. Песчаный отвал по п. 38, в котором песок содержит частицы с отношением P_{90}/P_{10} меньше 15 и больше 8.

40. Песчаный отвал по п. 33, в котором водопроницаемость отвала превышает 10^{-5} м/с.

15

41. Песчаный отвал по п. 40, в котором водопроницаемость отвала превышает 5×10^{-4} м/с.

20 42. Песчаный отвал по п. 33, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 5 метров.

43. Песчаный отвал по п. 42, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 10 метров.

25 44. Песчаный отвал по п. 43, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 20 метров и не превышающую 40 метров.

30 45. Песчаный отвал по п. 33, в котором ценные металлы выбирают из золота, меди, никеля, цинка и урана, и руды, содержащие эти металлы, выбирают из золотосодержащей руды, медной руды, никелевой руды, цинковой руды и урановой руды.

46. Песчаный отвал по п. 33, по существу как он определен в настоящей заявке.

5 47. Способ подготовки и выщелачивания руды, содержащей ценные металлы, в процессе выщелачивания отвалов, по существу как он определен в настоящей заявке.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

измененная на международной стадии по ст. 34 РСТ

1. Способ подготовки и выщелачивания руды, содержащей ценные металлы, в процессе выщелачивания отвала, причем способ включает следующие шаги:
- измельчение руды, содержащей ценные металлы, для получения песка, содержащего ценные металлы, с размерами частиц, для которых P_{80} меньше 5 мм и больше 1 мм;
- сортировка песка для получения отсортированного песка с размерами частиц, для которых P_{10} больше 0,15 мм, и отношение P_{90}/P_{10} размеров частиц меньше 25 и больше 3;
- формирование отвала из отсортированного песка; и
- обеспечение распространения выщелачивающего агента и воздуха через отвал для выщелачивания ценных металлов из песка,
- причем песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 5 метров.
2. Способ по п. 1, в котором осуществляют измельчение руды до размеров частиц с P_{80} 3 мм.
3. Способ по п. 2, в котором осуществляют измельчение руды до размеров частиц с P_{80} , равным примерно 2 мм.
4. Способ по п. 1, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,15 мм.
5. Способ по п. 4, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,25 мм.
6. Способ по п. 5, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,3 мм.
7. Способ по п. 6, в котором P_{10} для отсортированного песка больше 0,4 мм.

8. Способ по п. 1, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка меньше 20.

5 9. Способ по п. 8, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка меньше 18.

10 10. Способ по п. 9, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка меньше 15.

11. Способ по п. 1, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка больше 5.

12. Способ по п. 11, в котором отношение P_{90}/P_{10} для отсортированного песка больше 8.

15 13. Способ по п. 1, в котором отсортированный песок и сформированный из него отвал имеют водопроницаемость, величина которой больше 10^{-5} м/с.

20 14. Способ по п. 7, в котором отсортированный песок и сформированный из него отвал имеют водопроницаемость, величина которой больше 5×10^{-4} м/с.

25 15. Способ по п. 1, в котором выщелачивание песчаного отвала является основным способом извлечения ценных металлов из руды, и более 50% руды обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала.

16. Способ по п. 15, в котором выщелачивание песчаного отвала является основным способом извлечения ценных металлов из руды, и более 60% руды обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала.

30 17. Способ по п. 16, в котором выщелачивание песчаного отвала является основным способом извлечения ценных металлов из руды, и более 70% руды обрабатывают с использованием выщелачивания песчаного отвала.

18. Способ по п. 1, в котором выщелачивание песчаного отвала осуществляют в стационарном или в динамическом отвале с временем пребывания менее 2 лет.

5 19. Способ по п. 18, в котором время пребывания менее 6 месяцев.

20. Способ по п. 19, в котором время пребывания менее 3 месяцев.

10 21. Способ по п. 1, в котором после прекращения орошения уровень содержания воды менее 15% достигается в течение 2 недель, предпочтительно в течение 1 недели и даже более предпочтительно примерно за 3 суток.

15 22. Способ по п. 1, в котором отвал подвергают более чем одному циклу орошения и дренирования для последовательного улучшения аэрации и выщелачивания.

20 23. Способ по п. 1, в котором последовательно используется несколько выщелачивающих агентов для удаления жильной породы и последующего извлечения ценных компонентов из песчаного отвала.

25 24. Способ по п. 23, в котором руду, содержащую как медь, так и золото, выщелачивают в отвале сначала для извлечения меди, после чего промывают водой и затем выщелачивают с использованием другого реагента для извлечения золота.

25 25. Способ по п. 1, в котором отсортированный песок укладывают в отвал путем выбрасывания из выходного отверстия с помощью гидравлического или механического устройства.

30 26. Способ по п. 25, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 10 метров.

27. Способ по п. 26, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 20 метров.

5 28. Способ по п. 27, в котором песок укладывают подъемом на высоту до 40 метров.

10 29. Способ по п. 1, в котором песок выщелачивают в динамическом отвале, который затем удаляют с динамической платформы с помощью гидравлической горной техники.

30. Способ по п. 29, в котором отвал формируют с головками подачи воздуха для управления окислительно-восстановительным потенциалом и температурой различных зон отвала.

15 31. Способ по п. 1, в котором ценные металлы выбирают из золота, меди, никеля, цинка и урана, и руды, содержащие эти металлы, выбирают из золотосодержащей руды, медной руды, никелевой руды, цинковой руды и урановой руды.

20 32. Песчаный отвал для выщелачивания отвала, содержащий песок, приготовленный из руды, содержащей ценные металлы, причем песок содержит частицы с размерами, для которых R_{80} меньше 5 мм, R_{10} больше 0,15 мм, и отношение R_{90}/R_{10} размеров частиц меньше 25 и больше 3, причем песок уложен на высоту, превышающую 5 метров.

25 33. Песчаный отвал по п. 32, в котором R_{10} для размеров частиц песка превышает 0,15 мм.

30 34. Песчаный отвал по п. 33, в котором R_{10} для размеров частиц песка превышает 0,25 мм.

35. Песчаный отвал по п. 34, в котором R_{10} для размеров частиц песка превышает 0,3 мм.

36. Песчаный отвал по п. 35, в котором P_{10} для размеров частиц песка превышает 0,4 мм.

5 37. Песчаный отвал по п. 32, в котором песок содержит частицы с отношением P_{90}/P_{10} меньше 20 и больше 5.

38. Песчаный отвал по п. 37, в котором песок содержит частицы с отношением P_{90}/P_{10} меньше 15 и больше 8.

10

39. Песчаный отвал по п. 32, в котором водопроницаемость отвала превышает 10^{-5} м/с.

15 40. Песчаный отвал по п. 39, в котором водопроницаемость отвала превышает 5×10^{-4} м/с.

41. Песчаный отвал по п. 32, в котором песок уложен подъемом на высоту, превышающую 10 метров.

20 42. Песчаный отвал по п. 41, в котором песок укладывают подъемом на высоту, превышающую 20 метров и не превышающую 40 метров.

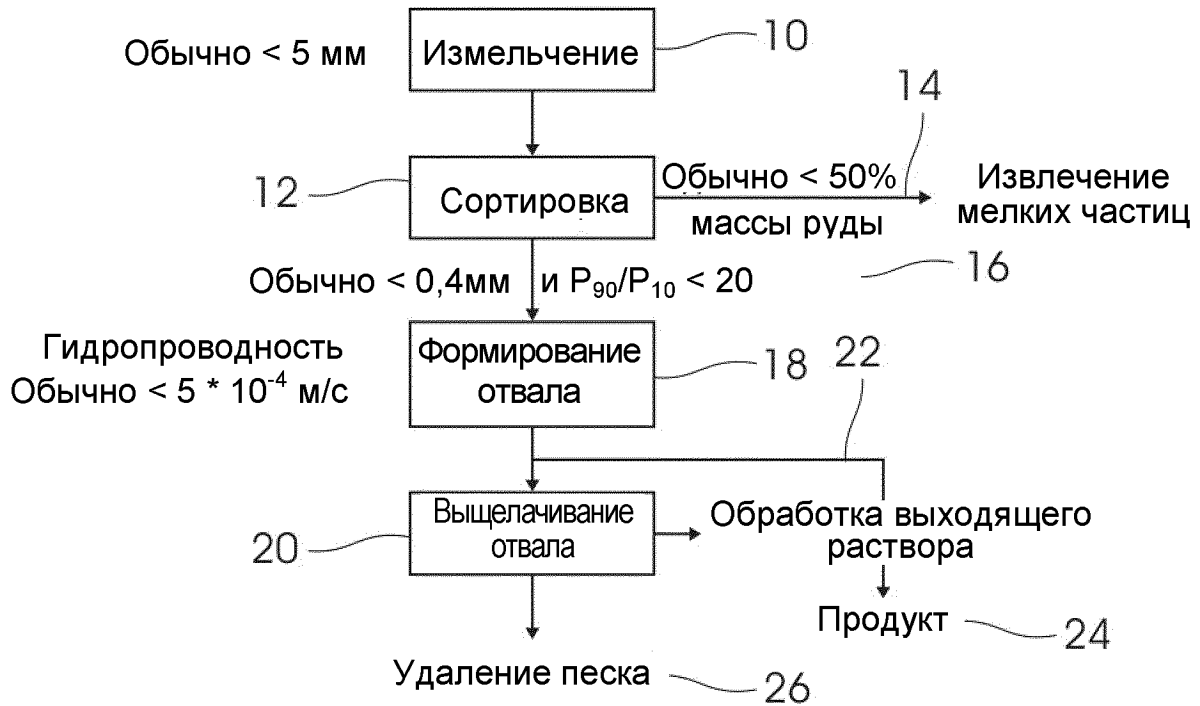
25 43. Песчаный отвал по п. 32, в котором ценные металлы выбирают из золота, меди, никеля, цинка и урана, и руды, содержащие эти металлы, выбирают из золотосодержащей руды, медной руды, никелевой руды, цинковой руды и урановой руды.

44. Песчаный отвал по п. 32, по существу как он определен в настоящей заявке.

30

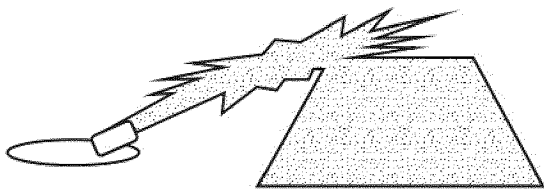
45. Способ подготовки и выщелачивания руды, содержащей ценные металлы, в процессе выщелачивания отвалов, по существу как он определен в настоящей заявке.

Блок-схема получения песка, формирования отвала и выщелачивания песчаного отвала

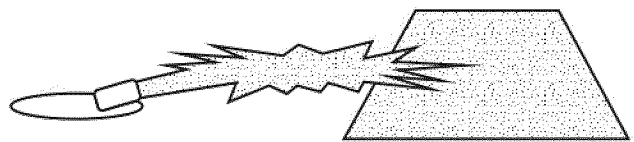


Фиг. 1

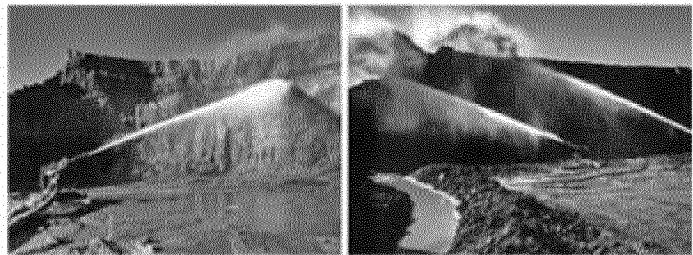
Формирование песчаного отвала с использованием гидравлической укладки



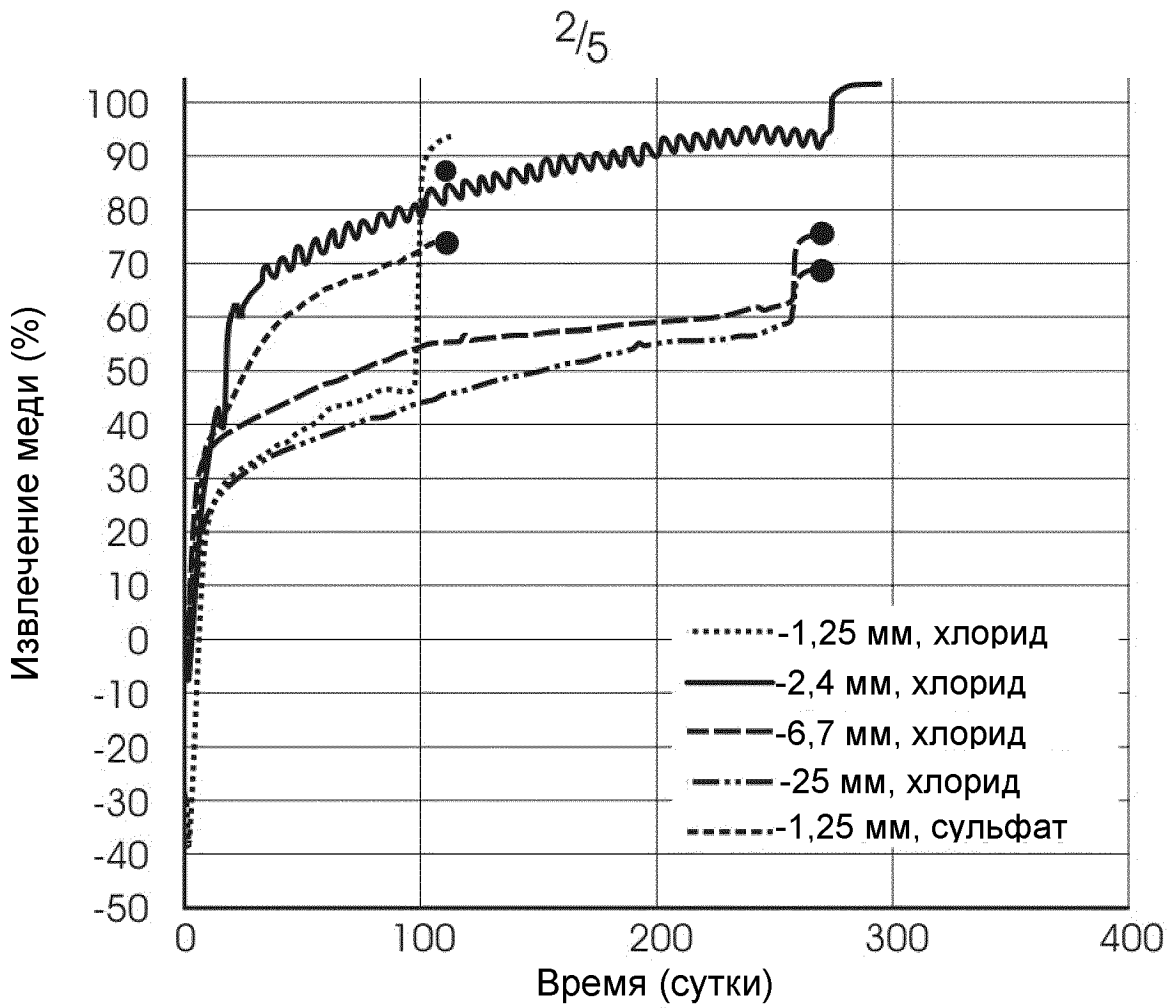
Отвал может быть сформирован с помощью мобильного пескомета



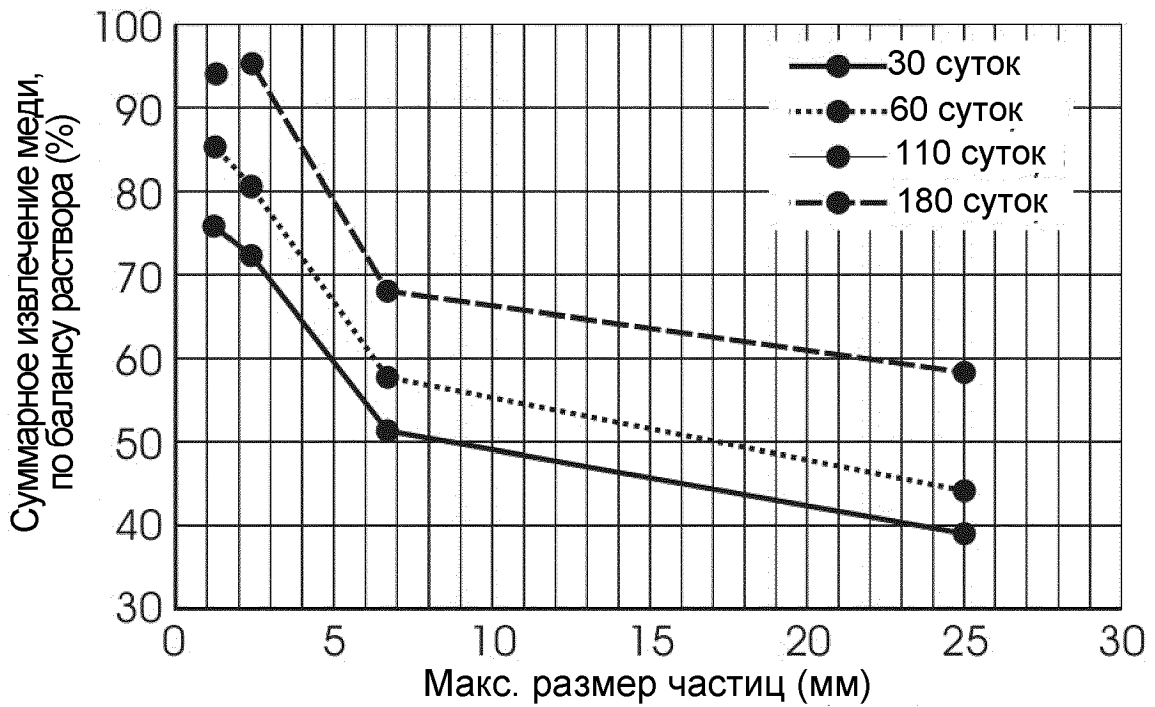
Затем он может быть удален средствами гидравлической горной техники



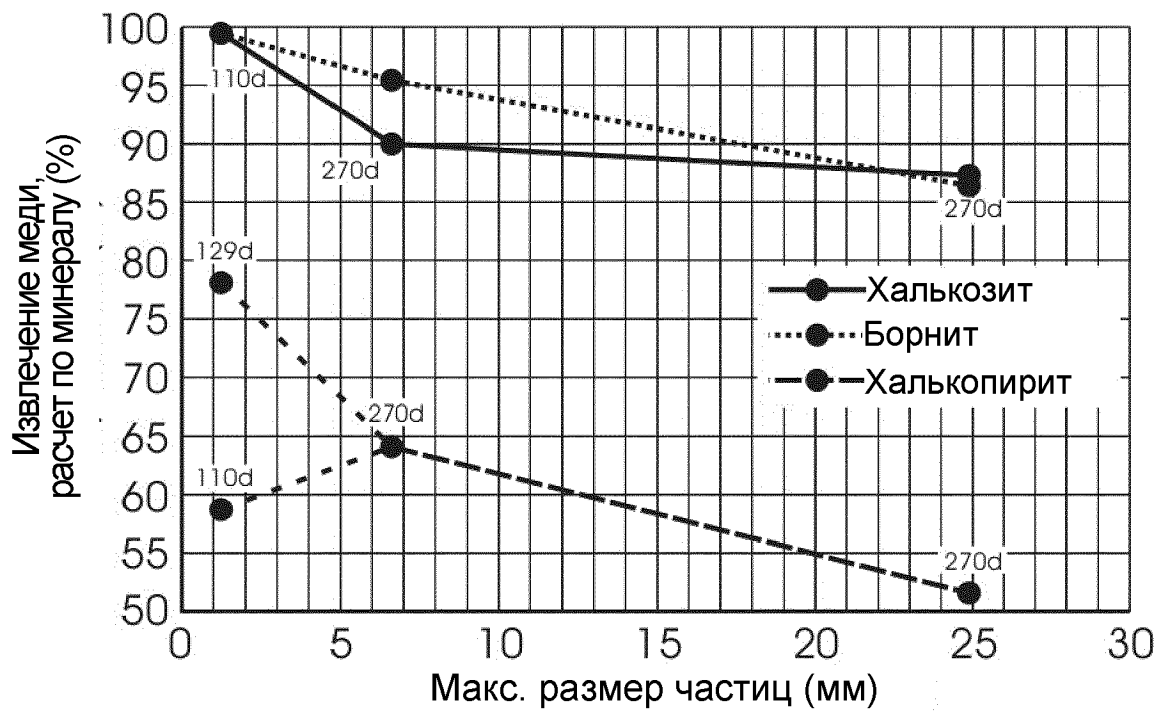
Фиг. 2



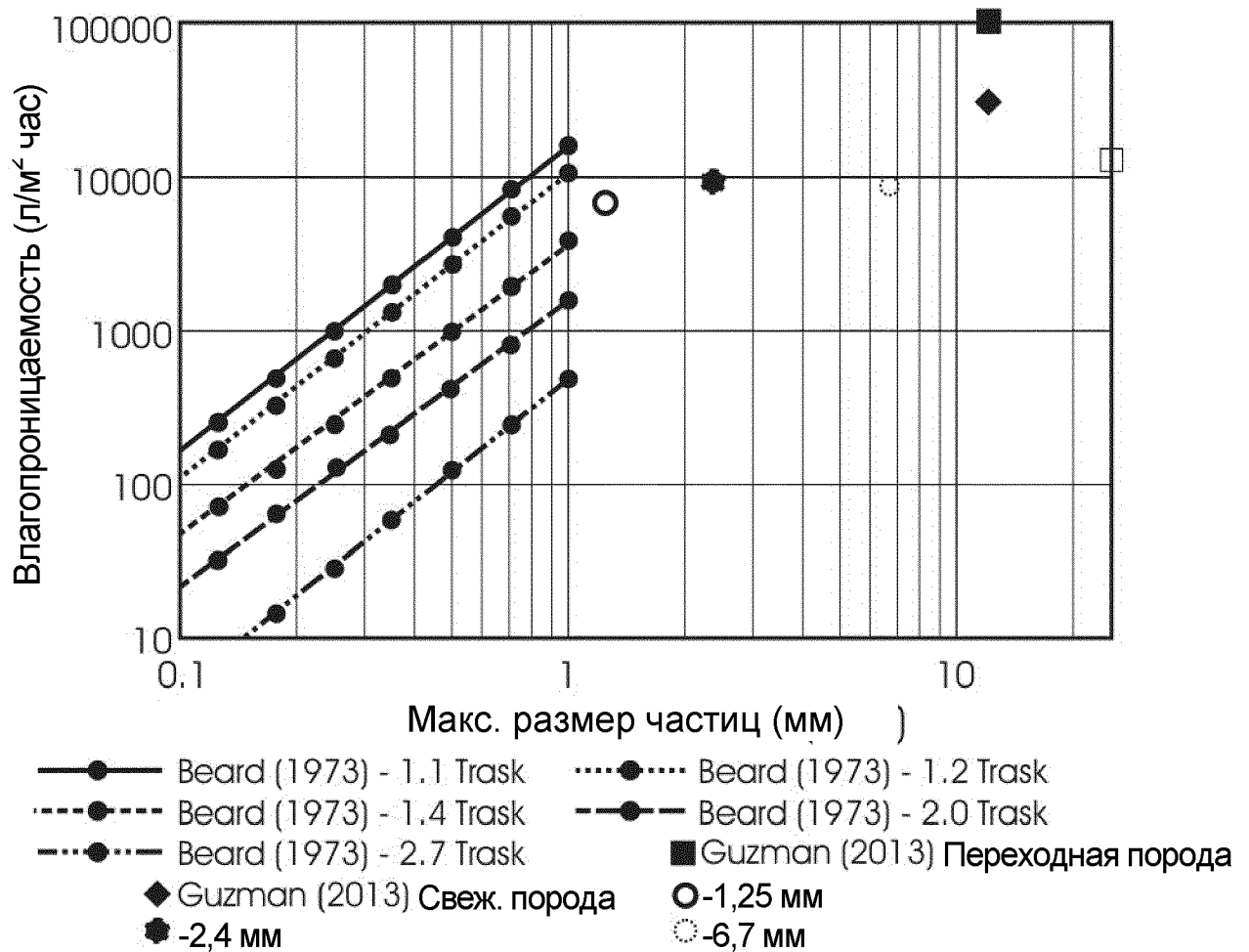
Фиг. 3



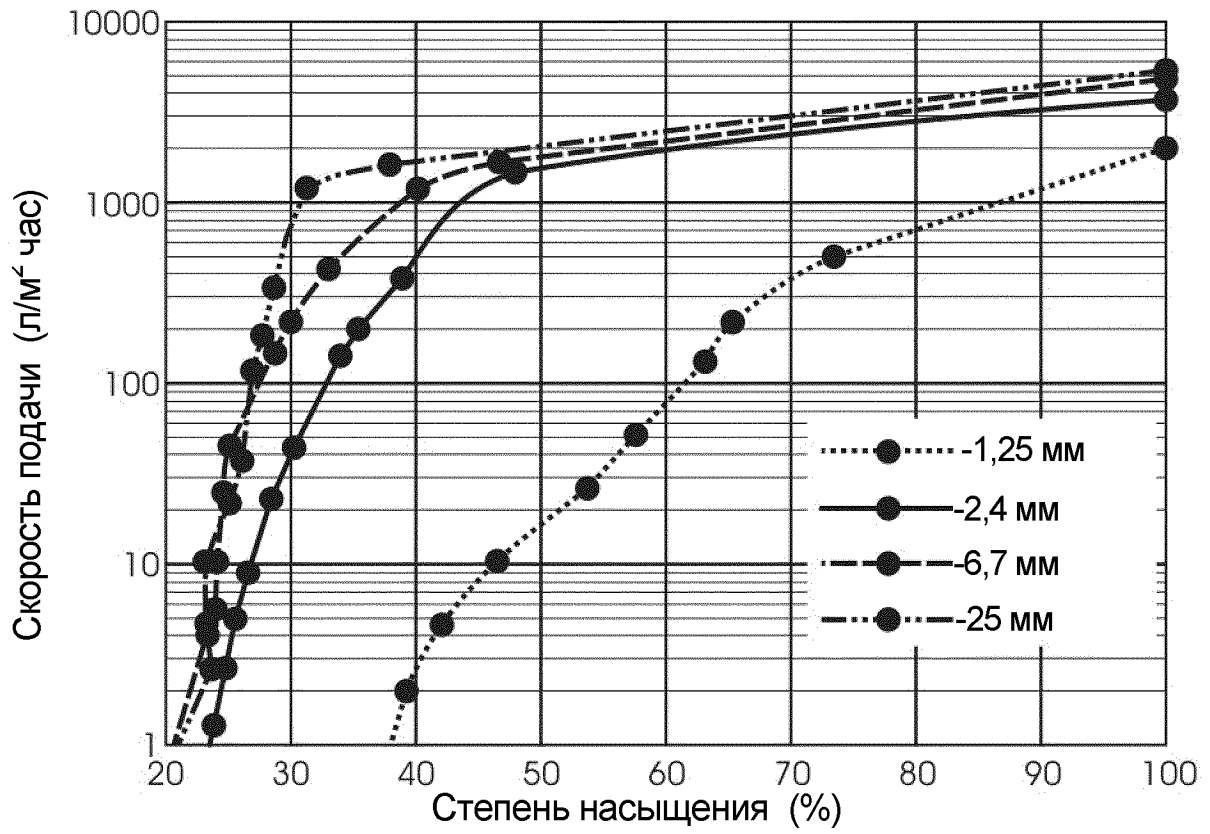
Фиг. 4



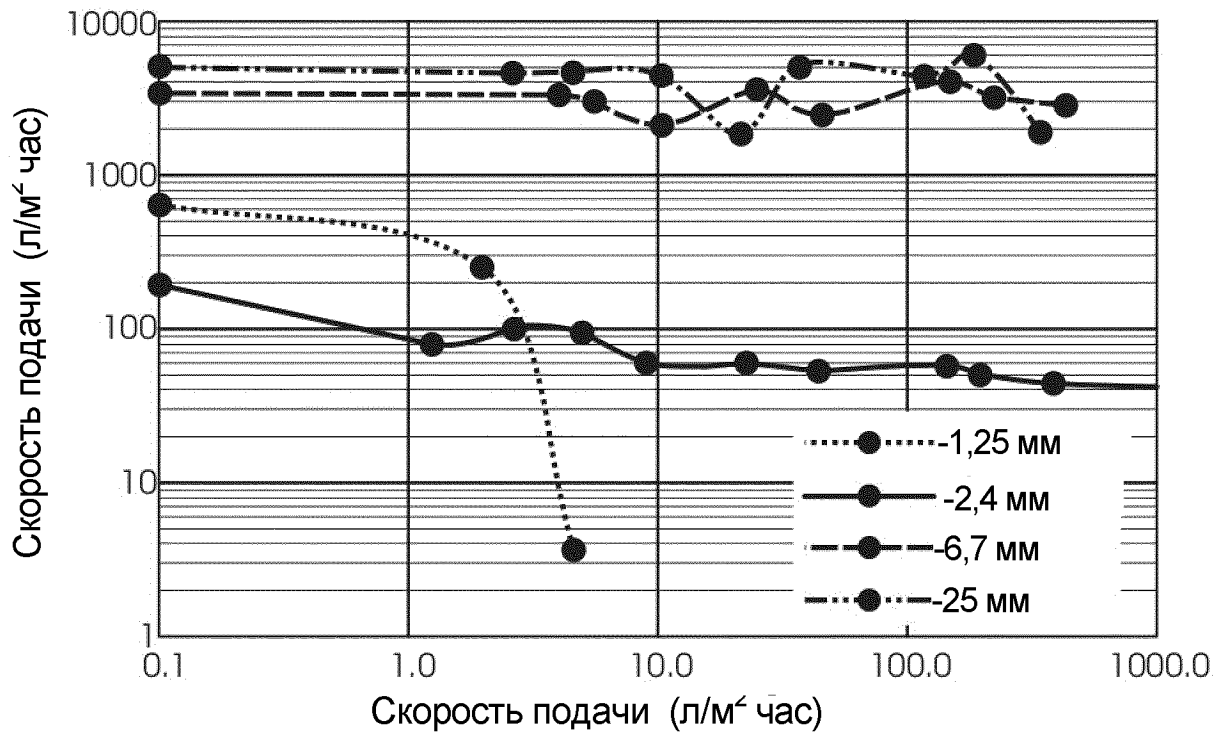
Фиг. 5



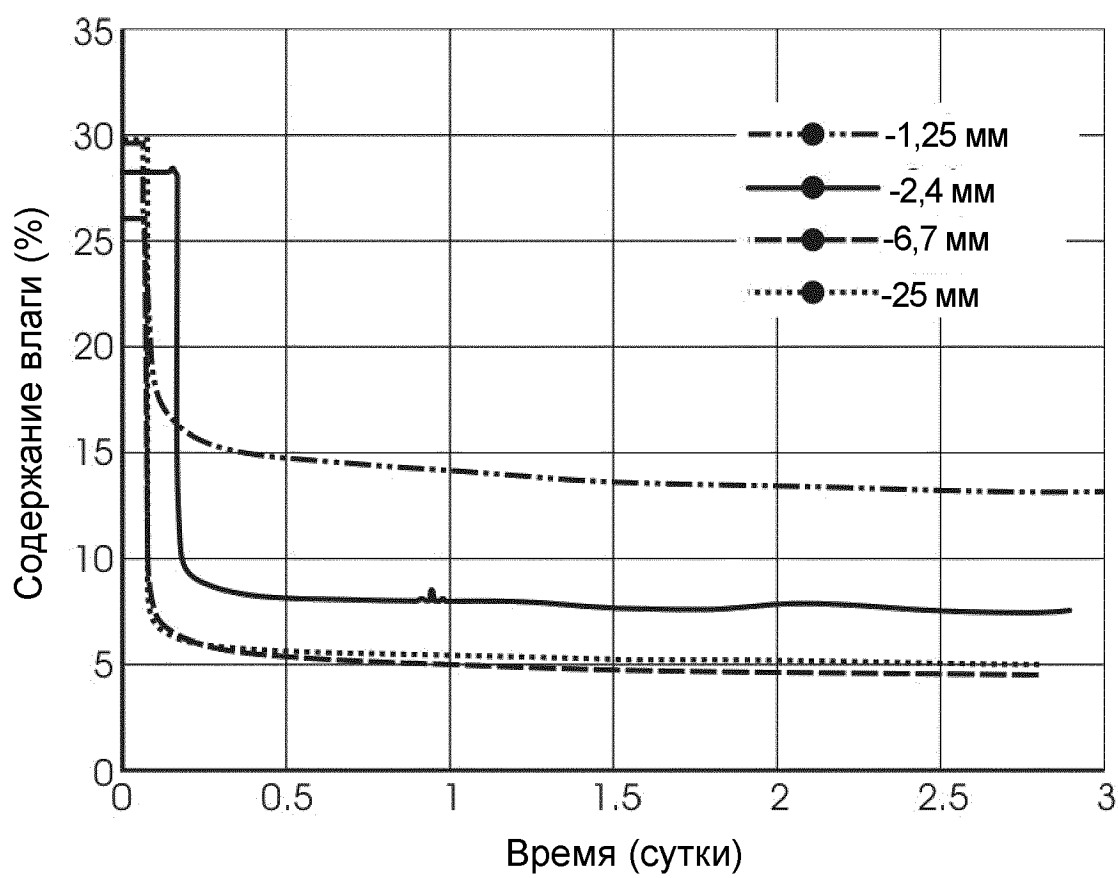
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9