

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 037522

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.04.07

(21) Номер заявки
201791360

(22) Дата подачи заявки
2015.12.17

(51) Int. Cl. C22B 3/06 (2006.01)
C22B 60/00 (2006.01)
C22B 15/00 (2006.01)

(54) СПОСОБ КУЧНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

(31) 2014905118; 2015901661

(32) 2014.12.17; 2015.05.08

(33) AU

(43) 2017.10.31

(86) PCT/AU2015/050806

(87) WO 2016/094956 2016.06.23

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

БИЭЙЧПИ БИЛЛИТОН ОЛИМПИК
ДЭМ КОРПОРЕЙШН РТИ ЛТД (AU)

(72) Изобретатель:

Рорк Гэри Вернон (NZ)

(74) Представитель:

Носырева Е.Л. (RU)

(56) WO-A1-2014030048
WO-A1-2014169325
WO-A1-2014040136

(57) Предложен способ извлечения одного или более из меди, урана и благородного металла из рудного материала, включающий (а) формирование кучи из рудного материала; (b) в ходе активного орошения кучи приведение в контакт кучи из рудного материала с содержащим железо кислотным раствором для выщелачивания с высоким содержанием хлорида в присутствии содержащего кислород газа и получение обогащенного раствора для выщелачивания; (с) извлечение одного или более из меди, урана и благородного металла из обогащенного раствора для выщелачивания.

B1

037522

037522

B1

Область техники

Настоящее раскрытие относится к способу кучного выщелачивания руды. В частности, настоящее раскрытие относится к способу кучного выщелачивания содержащей медь и/или уран руды, который включает применение раствора для выщелачивания с высоким содержанием хлорида. Способ можно применять для кучного выщелачивания меди из преимущественно сульфидных минералов, таких как халькоцит, ковелит, борнит и халькопирит, или минерала на основе сульфида, смешанного с оксидом меди. Способ можно дополнительно или вместо этого применять для выщелачивания урана из таких урановых минералов как уранинит, коффинит и браннерит. Способ можно вместо этого или дополнительно применять для выщелачивания благородных металлов, таких как золото и/или серебро.

Тем не менее, данные варианты применения являются только иллюстративными и неограничивающими относительно принципов раскрытого способа, который можно применять для извлечения благородных металлов, таких как никель, из минералов на основе сульфида никеля, например пентландита и миллерита, и для извлечения цинка из минералов на основе сульфида цинка. Способ описан в дальнейшем со ссылкой на применение опосредованного высоким содержанием хлорида кучного выщелачивания необогащенного материала (ROM) или материала на основе дробленой руды при высоком потенциале раствора.

Предпосылки создания изобретения

Месторождения полезных ископаемых в Стюарт Шелф, Австралия, обычно содержат три ценных металла, а именно медь, уран и благородные металлы (в основном золото и серебро). Медь главным образом находится в форме сульфидных минералов, таких как халькоцит (Cu_2S), борнит (Cu_5FeS_4) и халькопирит (CuFeS_2). Уран главным образом находится в форме таких минералов как уранинит, коффинит и браннерит. Обычные жильные минералы могут включать кварц, гематит, полевошпат, серицит, флюорит, сидерит, хлорит и пирит.

Недавно было предложено извлечение ценных металлов из рудных минералов в Стюарт Шелф посредством способа, включающего стадию кучного выщелачивания. Недостатком кучного выщелачивания является относительно низкие скорости выщелачивания рудных минералов. Кроме того, поверхности некоторых рудных минералов, в частности сульфидов меди, таких как халькопирит, могут пассивироваться в ходе стадии выщелачивания, что в последствии может снижать скорость выщелачивания и снижать общее извлечение металла.

В PCT/IB2013/001810 для BHP Chile Inc. раскрыт способ экстракции меди из минералов на основе сульфида меди, при котором руду подвергают этапу предварительной обработки с последующим циклом активного выщелачивания. В ходе этапа предварительной обработки минералы на основе сульфидов меди приводят в контакт с раствором, характеризующимся высокой концентрацией хлорида, с потенциалом раствора выше 700 мВ (SHE) и с содержанием растворенного кислорода ниже 1 мг/л. В случае операции кучного выщелачивания стадию предварительной обработки проводят в течение периода до 200 дней перед началом активного кучного орошения.

Было бы желательным обеспечить альтернативный способ кучного выщелачивания для повышения скорости выщелачивания рудных минералов, который можно осуществлять без необходимости на этапе предварительной обработки и который вместо этого можно осуществлять в ходе цикла активного выщелачивания.

Вышеприведенные ссылки на предыдущий уровень техники не являются признанием того, что уровень техники образует часть общеизвестных знаний специалиста в данной области техники. Приведенные выше ссылки также не предназначены для ограничения применения способов, раскрытых в данном документе.

Краткое описание изобретения

Настоящее раскрытие основано на обнаружении того, что добавление значительных количеств хлорида в способ выщелачивания на основе окисляющего действия серной кислоты в присутствии растворимого железа обеспечивает в результате способ выщелачивания, работающий при более высоких окислительно-восстановительных потенциалах раствора. Присутствие хлорида и в меньшей степени меди повышает скорость, с которой двухвалентное железо окисляется до трехвалентного состояния (в трехвалентное железо). Более высокая концентрация трехвалентного железа соответствует более высоким окислительно-восстановительным потенциалам раствора. Извлечение металла из рудных минералов может повышаться при повышенных окислительно-восстановительных потенциалах раствора, например при окислительно-восстановительных потенциалах, превышающих 450 мВ Ag/AgCl (прим. 660 мВ SHE). Этого можно достичь, например, путем приведения в контакт минералов в ходе активного кучного орошения с раствором кислоты, характеризующимся высоким окислительным потенциалом, возникающим вследствие высокого содержания хлорида.

Настоящее раскрытие также основано на обнаружении того, что явления "пассивирования" халькопирита в ходе выщелачивания при повышенном окислительном потенциале раствора можно избежать или его начало можно замедлить при более высоких окислительно-восстановительных потенциалах, в присутствии раствора с высоким содержанием хлорида в растворе.

Применяемый в данном документе термин "куча" включает кучу, насыпь, чан или колонну, которые

содержат руду, подлежащую обработке.

Применяемый в данном документе термин "активное кучное орошение" означает способ активного нанесения раствора на кучу, так что он двигается через кучу, вызывая выщелачивание рудных минералов внутри кучи. Раствор может содержать непосредственно раствор для выщелачивания или он может объединяться с другими компонентами в куче (такими как соль или кислота) с образованием раствора для выщелачивания *in situ*. Раствор можно наносить путем орошения кучи, например путем применения оросительной сети. Кучу также можно продувать воздухом в ходе активного кучного орошения.

Активное орошение для выщелачивания может быть непрерывным. Например, могут отсутствовать стадии "покоя", в ходе которых нанесение раствора на кучу останавливают после начала активного орошения для выщелачивания.

В одном аспекте раскрыт способ извлечения одного или более из меди, урана и благородного металла из рудного материала, включающий:

- a) формирование кучи из рудного материала;
- b) в ходе активного кучного орошения приведение в контакт кучи из рудного материала с содержащим железо кислотным раствором для выщелачивания с высоким содержанием хлорида в присутствии содержащего кислород газа и получение обогащенного раствора для выщелачивания;
- c) извлечение одного или более из меди, урана и благородного металла из обогащенного раствора для выщелачивания.

Рудный материал может представлять собой руду и/или рудный концентрат. Рудный материал может содержать продукт предыдущей операции выщелачивания, например выщелоченные остатки.

"Раствор для выщелачивания" представляет собой раствор, который контактирует с рудой. Он может быть образован отдельно и нанесен на руду. В качестве альтернативы он может быть, по меньшей мере частично, образован *in situ* из комбинации нанесенного раствора для орошения, концентрированной серной кислоты в агломерированной руде и растворения *in situ* какой-либо соли в агломерированной руде.

В одном варианте осуществления способа рудный материал содержит сульфиды меди и урановые минералы. Рудный материал может дополнительно содержать один или более благородных металлов, выбранных из золота и/или серебра.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания составляет минимум 15 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания составляет минимум 30 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания составляет минимум 45 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания предпочтительно составляет минимум 50 г/л. Предпочтительно содержание хлорида составляет по меньшей мере 70 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания составляет минимум 90 г/л. Содержание хлорида может составлять минимум 100 г/л, например минимум 105 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания составляет минимум 130 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания составляет минимум 150 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания может составлять максимум 190 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания может составлять максимум 230 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержание хлорида в растворе для выщелачивания находится в диапазоне от примерно 70 до не более 150 г/л.

Содержание хлорида может предпочтительно находиться в диапазоне от приблизительно 90 до приблизительно 110 г/л.

В одном варианте осуществления способа содержащий кислород газ представляет собой воздух. В другом варианте осуществления содержащий кислород газ представляет обогащенный кислородом воздух.

В одном варианте осуществления способа содержащий железо раствор для выщелачивания содержит ионы трехвалентного железа, которые окисляют рудный материал с растворением одного или более металлов, обеспечивая в результате восстановление до ионов двухвалентного железа. Ионы двухвалентного железа затем повторно окисляются до ионов трехвалентного железа посредством реакции с содержащим кислород газом.

В одном варианте осуществления способа содержащий железо раствор для выщелачивания также содержит ионы двухвалентной меди, которые катализируют реакцию окисления ионов двухвалентного железа до ионов трехвалентного железа. Каталитический эффект ионов двухвалентной меди может снижаться при концентрации выше примерно 1 г/л Cu.

Рудный материал также может содержать один или более содержащих железо минералов. Содержащие железо минералы могут включать жильные минералы, такие как один или более из гематита, сидерита и хлорита. Данные минералы могут частично или полностью включать источник железа в содержащем железо растворе для выщелачивания. Сульфиды меди могут частично или полностью включать источник ионов двухвалентной меди в кислотном растворе для выщелачивания.

В одном варианте осуществления способа рудный материал агломерирован перед формированием кучи. Агломерацию можно выполнять путем смешивания рудного материала с необходимым количеством кислотного раствора для агломерации с получением необходимого конечного содержания влаги в агломератах. Необходимое конечное содержание влаги может составлять не более 25 вес.%. В одном варианте осуществления конечное содержание влаги составляет менее 10 вес.%, например, менее 8 вес.%. В одном варианте осуществления конечное содержание влаги составляет минимум 3,5 вес.%. Кислотный раствор для агломерации может содержать комбинацию рабочего раствора (например, рециркулированного раствора для выщелачивания или очищенного продукта кучного выщелачивания) и концентрированной серной кислоты. Кислотный раствор для агломерации можно добавлять к рудному материалу в количестве в диапазоне от 0 до примерно 20 кг/т. В одном варианте осуществления способа добавление осуществляют в количестве в диапазоне от 6 до 12 кг/т руды.

Добавление кислоты в таком количестве может обеспечивать улучшение способа путем уменьшения содержания диоксида кремния в растворе. Солюбилизованный диоксид кремния представляет собой проблему, поскольку он преимущественно осаждается на поверхности кучи и вызывает проблемы с проницаемостью. Его можно удалять из раствора путем добавления полиэтиленгликоля (PEG) к части продукта выщелачивания из первой стадии. Тем не менее, может быть преимущественным сведение к минимуму растворимого диоксида кремния изначально. Также было показано, что повышение концентрации хлорида дополнительно уменьшает количество растворимого диоксида кремния. Осажденный диоксид кремния после добавления PEG можно отстаивать в очистительном устройстве и рециркулировать для агломерации в качестве способа удаления отходов.

Содержание хлорида в растворе для выщелачивания может быть, по меньшей мере частично, обусловлено водой, которая естественным образом содержит соль, например водой, взятой из подземных скважин, или из моря, или соленого озера, или резервуара. В качестве альтернативы вода может представлять собой солевой раствор, полученный, например, в виде побочного продукта в ходе процесса деминерализации.

В одном варианте осуществления для достижения окончательной необходимой концентрации хлорида в растворе для выщелачивания твердую хлоридную соль можно добавлять к рудному материалу в ходе или после агломерации. Твердая хлоридная соль может представлять собой одно или более из следующего: NaCl , MgCl_2 , KCl и AlCl_3 . Соль можно добавлять непосредственно к рудному материалу (в отличие от добавления ее непосредственно к раствору, наносимому на кучу). Это обеспечивает последующее растворение соли *in situ* в ходе активного орошения, в результате чего куча выступает в качестве фильтра тонкой очистки для любых нерастворимых примесей. Тем не менее, добавление соли к рудному материалу в ходе или после агломерации не будет целесообразным во второй модификации раскрытого способа, как дополнительно обсуждается ниже.

Вместо этого соль можно добавлять к раствору для орошения перед его нанесением на кучу. Тем не менее, это может требовать емкости для смешивания соли и раствора и фильтрации для предотвращения блокирования системы кучного орошения для выщелачивания нерастворимыми компонентами в соли.

Соль можно добавлять к рудному материалу перед агломерацией во всех случаях, кроме второй модификации способа (обсуждается ниже). Тем не менее, в данном варианте осуществления соль может вступать в реакцию с кислотой в ходе последующей агломерации, и при этом высвобождаются пары HCl .

В одном варианте осуществления способа соль добавляют к рудному материалу после его агломерации. В данном варианте осуществления выделение паров HCl можно снизить или избежать. В данном варианте осуществления концентрация серной кислоты в агломерированной руде может быть разбавлена посредством реакции с жильными минералами в рудном материале. Соль можно добавлять на транспортную ленту, несущую агломерированный продукт.

В одном варианте осуществления способа раствор наносят на кучу путем орошения.

Окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания будет зависеть от содержания соли в растворе для выщелачивания и, как правило, чем больше содержание соли, тем выше окислительно-восстановительный потенциал.

В одном варианте осуществления способа окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания превышает 420 мВ Ag/AgCl , например более 425 мВ Ag/AgCl при отсутствии биовыщелачивающих микроорганизмов.

В одном варианте осуществления способа окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания превышает 430 мВ Ag/AgCl , например более 440 мВ Ag/AgCl при отсутствии биовыщелачивающих микроорганизмов.

В одном варианте осуществления способа окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания превышает 450 мВ Ag/AgCl (прим. 660 мВ SHE) при отсутствии биовыщелачиваю-

щих микроорганизмов.

В одном варианте осуществления способа окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания превышает 460 мВ Ag/AgCl при отсутствии биовыщелачивающих микроорганизмов.

В одном варианте осуществления способа окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания превышает 470 мВ Ag/AgCl, например около 480 мВ Ag/AgCl, при отсутствии биовыщелачивающих микроорганизмов.

В одном варианте осуществления способа общая концентрация железа в растворе для выщелачивания составляет более 0,1 г/л. Общая концентрация железа может составлять по меньшей мере 5 г/л. В одном варианте осуществления общая концентрация железа составляет по меньшей мере 20 г/л, например по меньшей мере 25 г/л. Общая концентрация железа может составлять максимум 50 г/л. В другом варианте осуществления общая концентрация железа составляет максимум 80 г/л.

pH раствора для выщелачивания в ходе цикла активного выщелачивания зависит от того, добавляют серную кислоту непосредственно к руде в ходе предыдущего процесса агломерации, или добавляют серную кислоту к раствору, который контактирует с рудой в ходе орошения, или применяют обе методики.

В ходе способа кучного выщелачивания значение pH раствора для выщелачивания может изменяться, поскольку он вступает в реакцию с рудой и жильными минералами. Тем не менее, кислотность является такой, что pH раствора, контактирующего с рудой, может не превышать значение pH 3,5. В другом варианте осуществления значение pH составляет менее pH 3. В другом варианте осуществления значение pH может составлять менее 1. В другом варианте осуществления значение pH может составлять менее -0,3.

В одном варианте осуществления способа содержание растворенного кислорода в растворе для выщелачивания, контактирующем с рудой, может значительно изменяться от крайне низких значений почти до насыщения в ходе кучного выщелачивания. Соответственно DO может составлять более 0 мг/л (0 ppm). Максимальным количеством растворенного кислорода может быть значение при насыщении. Количество растворенного кислорода может составлять по меньшей мере 3 ppm. В одном варианте осуществления оно составляет менее 10 ppm. В другом варианте осуществления оно составляет по меньшей мере 5 ppm. В любой точке процесса DO будет находиться в равновесии, установленном между скоростью переноса от поставляемого газа и скоростью потребления реакцией в растворе. Содержание растворенного кислорода в растворе для выщелачивания, контактирующем с рудой, можно поддерживать путем принудительной аэрации.

Способ может включать стадию обеспечения оросительной сети, с помощью которой раствор для орошения наносят на кучу. Оросительная сеть может быть расположена на поверхности кучи или внутри кучи, или можно применять комбинацию двух расположений. Оросительную сеть можно применять по отношению к непосредственно установленной куче или в комбинации с методикой агломерации.

Оросительную сеть может представлять собой сеть любого подходящего вида, и настоящее изобретение в этом отношении не ограничено. В качестве примера оросительная сеть может включать решетчатую сеть труб, распылительных устройств и т.п., расположенных на поверхности кучи, или внутри кучи, или в обоих расположениях.

Способ кучного выщелачивания можно осуществлять в условиях окружающей среды, т.е. в условиях температуры и атмосферного давления, преобладающих в куче.

Способ выщелачивания можно осуществлять в течение периода, составляющего по меньшей мере 50 дней, например по меньшей мере 100 дней. В одном варианте осуществления способ выщелачивания можно осуществлять в течение периода, составляющего по меньшей мере 450 дней. В другом варианте осуществления способ выщелачивания можно осуществлять в течение периода, составляющего не более 600 дней. Длительность способа выщелачивания определяют, исходя из нескольких факторов, таких как время до полного окисления минерала.

В ходе цикла активного выщелачивания руду в куче можно орошать раствором. Выщелоченные впоследствии металлы, например медь, и/или уран, и/или золото, затем можно извлекать с использованием любого подходящего способа, например способа экстракции растворителем.

Необязательно к раствору для выщелачивания можно добавлять хлористоводородную кислоту. Хлористоводородную кислоту можно применять в качестве очищающего средства для оросительных капельных систем.

Раствор для выщелачивания может содержать медь, железо и другие виды анионов и катионов, которые могут происходить из рециркулированной технической воды, поступающей из кучи, или которые были растворены из руды, которая подлежит обработке.

В одном варианте осуществления способа обогащенный раствор для выщелачивания содержит медь и уран. В другом варианте осуществления обогащенный раствор для выщелачивания также может содержать благородные металлы.

Обогащенный раствор для выщелачивания можно предварительно обрабатывать с регулированием химического состава раствора перед экстракцией из него целевого металла/металлов.

Предварительная обработка обогащенного раствора для выщелачивания может включать снижение окислительно-восстановительного потенциала раствора. Снижение потенциала раствора может быть преимущественным для последующей экстракции урана (например, путем экстракции растворителем).

Снижения окислительно-восстановительного потенциала раствора можно достигнуть путем снижения концентрации ионов трехвалентного железа в растворе. Снижения количества ионов трехвалентного железа можно легко достичь путем приведения в контакт обогащенного раствора для выщелачивания с поглощающим трехвалентное железо материалом, например рудными минералами, такими как сульфиды металлов. Приведение в контакт с поглощающим трехвалентное железо материалом можно осуществлять в отсутствие окислителя. Например, обогащенный раствор для выщелачивания можно приводить в контакт с сульфиды металлов в отсутствие окисляющего газа. В куче могут быть представлены сульфиды металлов, которые не находятся под воздействием принудительной аэрации.

Предварительная обработка может альтернативно или дополнительно включать поглощение, по меньшей мере, некоторого количества кислоты. Поглощение кислоты (нейтрализация) может быть полезным для последующей экстракции меди (например, путем экстракции растворителем). Нейтрализации можно достичь путем приведения в контакт обогащенного раствора для выщелачивания с поглощающими кислоту материалами, такими как поглощающие кислоту руды и пустые породы. Также кислота может быть поглощена в описанной выше реакции ионов трехвалентного железа с сульфиды металлов. Соответственно нейтрализация может происходить одновременно со снижением потенциала раствора.

Предварительно обработанный обогащенный раствор для выщелачивания затем можно подвергать экстракции растворителем с извлечением одного или более целевых металлов.

В другом аспекте раскрыт способ извлечения одного или более из неблагородного металла, урана и благородного металла из руды, где руду подвергают циклу активного выщелачивания, причем руду приводят в контакт с содержащим железо кислотным раствором для выщелачивания с высоким содержанием хлорида в присутствии содержащего кислород газа, при этом

- a) необязательно руда является агломерированной;
- b) потенциал раствора для раствора для выщелачивания превышает 450 мВ Ag/AgCl при отсутствии микроорганизмов;
- c) общая концентрация железа в растворе для выщелачивания, контактирующем с рудой, составляет более 0,1 г/л;
- d) конечное содержание влаги в руде необязательно находится в диапазоне от 2 до 25 вес.%;
- e) pH раствора для выщелачивания не превышает значение pH 3,5 и
- f) концентрация иона Cl⁻ в растворе для выщелачивания, контактирующем с рудой, составляет от 20 до 230 г/л.

В дополнительном аспекте раскрыт способ экстракции одного или более из неблагородного металла, урана и благородного металла из рудного материала, которая повышается при потенциалах раствора, превышающих 450 мВ Ag/AgCl, при отсутствии каких-либо микроорганизмов путем приведения в контакт рудного материала в цикле активного выщелачивания с использованием раствора кислоты с высоким содержанием хлорида, содержащего растворенное железо.

Было обнаружено, что на осуществление способа экстракции урана растворителем (USX) могут негативно воздействовать высокие концентрации хлорида и/или ионов трехвалентного железа. Соответственно в модификации настоящего раскрытия способ может включать стадию предварительной обработки, в которой рудный материал обрабатывают раствором либо с более низкой концентрацией хлорида, либо с более низким потенциалом раствора, или и с тем, и другим, по сравнению с кислотным раствором для выщелачивания с высоким содержанием хлорида, обсуждаемым выше. Раствор, применяемый на стадии предварительной обработки, далее в данном документе будет называться раствором для "предварительного выщелачивания", хотя нужно учитывать, что выщелачивание рудного материала все еще происходит в ходе стадии предварительной обработки. Было обнаружено, что в ходе стадии предварительной обработки могут быть выщелочены значительное количество урана и, по меньшей мере, некоторое количество неблагородного металла.

Модификация с низким окислительно-восстановительным потенциалом

В первой модификации способа стадия предварительной обработки включает обработку рудного материала раствором для предварительного выщелачивания, характеризующимся относительно низким окислительно-восстановительным потенциалом раствора. Данную модификацию можно осуществлять путем обработки по меньшей мере части рудного материала кислотным раствором для выщелачивания при отсутствии или в присутствии сниженного количества окислителя. Например, предварительную обработку можно осуществлять при отсутствии или при пониженной аэрации раствора для выщелачивания. Раствор для предварительного выщелачивания может характеризоваться высоким содержанием хлорида. Максимальное содержание хлорида может составлять 100 г/л, в частности, если экстракцию растворителем применяют для извлечения растворенного урана из обогащенного раствора для выщелачивания. Поскольку предварительная обработка происходит практически в начале цикла выщелачивания, рудный материал содержит значительное количество не прореагировавших сульфидных минералов. Данные сульфидные минералы вступают в реакцию с ионами трехвалентного железа в растворе для выщелачивания с превращением их в ионы двухвалентного железа. Тем не менее, недостаток окислителя (например, аэрации) означает, что отсутствует последующее превращение ионов двухвалентного железа обратно в ионы трехвалентного железа. В зависимости от потребности рудного материала в кислоте данный

вариант осуществления может обеспечивать в результате высокую концентрацию растворенных солей из реакций кислоты с пустой породой, что в свою очередь может обеспечивать в результате перенасыщение данными солями и осадками с накоплением в куче. Это может приводить к низкой проницаемости, в некоторых случаях вплоть до сбоя процесса. Солевые осадки преимущественно содержат сульфаты натрия и железа, такие как метасидеронатрит ($\text{Na}_4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$). Осадки также могут содержать гипс и другие второстепенные соли.

Для решения проблемы осаждения в куче в первом варианте осуществления модифицированного способа дополнительное количество соли можно добавлять в рабочие растворы для ускорения осаждения пересыщенных солей, таких как метасидеронатрит, перед их применением в качестве раствора для предварительного выщелачивания. Кроме того, может потребоваться удаление рабочих растворов для поддержания общего содержания соли в рабочих растворах в допустимых пределах. Следовательно, в первом варианте осуществления может быть необходима установка для добавления соли и осаждения метасидеронатрита, которая, вероятно, будет крупногабаритной и затратной. Другой потенциальный недостаток заключается в том, что стадия предварительной обработки, которая преднамеренно не содержит кислород, не является эффективной частью выщелачивания меди. Поскольку длительность стадии предварительной обработки может составлять значительный период времени, например до 150 дней, это может обеспечивать в результате значительную задержку перед началом основного извлечения меди.

Модификация с низким содержанием хлорида

Во второй модификации способа стадия предварительной обработки включает обработку рудного материала раствором для предварительного выщелачивания, характеризующимся относительно низким содержанием хлорида по сравнению с кислотным раствором для выщелачивания с высоким содержанием хлорида. Соответственно в данном варианте осуществления не целесообразно добавление соли к рудному материалу в ходе или после агломерации.

Данную модификацию можно осуществлять путем обработки по меньшей мере части рудного материала кислотным раствором для выщелачивания с низким содержанием хлорида (или без хлорида) в присутствии окислителя. Содержание хлорида будет зависеть от источника/источников применяемых рабочих растворов. Содержание хлорида может составлять не более 80 г/л, например до не более 70 г/л. В одном варианте осуществления содержание хлорида может составлять не более 50 г/л. В одном варианте осуществления содержание хлорида может составлять не более 45 г/л. В другом варианте осуществления содержание хлорида может составлять не более 35 г/л. Среднее содержание хлорида может составлять от 5 до 45 г/л, например от 25 до 35 г/л.

Раствор для предварительного выщелачивания можно аэрировать в ходе стадии предварительной обработки.

Окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания может составлять менее 450 мВ Ag/AgCl. В одном варианте осуществления окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания может составлять менее 440 мВ Ag/AgCl. В одном варианте осуществления окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания может составлять менее 430 мВ Ag/AgCl. В одном варианте осуществления окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания может составлять менее 420 мВ Ag/AgCl. Окислительно-восстановительный потенциал раствора может составлять более 390 мВ Ag/AgCl. В одном варианте осуществления окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания может составлять более 400 мВ Ag/AgCl. В одном варианте осуществления окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания может составлять от 390 до 420 мВ Ag/AgCl. Предварительную обработку можно осуществлять в течение периода времени, достаточного для того, чтобы по меньшей мере основная часть урана была выщелочена в ходе данной стадии. Более того, основная часть пустой породы в рудном материале вступает в реакцию с кислотой в растворе для предварительного выщелачивания с получением в результате выщелоченных остатков, которые обеднены в отношении таких вредных элементов как железо, алюминий и кальций. Также будет происходить частичное выщелачивание неблагородных металлов, например меди, в ходе стадии предварительной обработки. Выщелоченные остатки из стадии предварительной обработки затем подвергают выщелачиванию при высоком содержании хлорида, в ходе которого концентрация хлорида в растворе для выщелачивания повышается. Обеднение в отношении пустой породы в выщелоченных остатках предварительной обработки означает, что присутствует меньшее количество соединений двухвалентного железа, доступных для образования солевых осадков, таких как метасидеронатрит, и, следовательно, снижается риск блокирования кучи. Рабочий раствор из стадии предварительной обработки можно удалить из системы и таким образом снизить насыщение растворенными твердыми веществами в последующей части гиперминерализации. Это может снижать образование осадка и обеспечивать повышение проницаемости, которую можно поддерживать в части гиперминерализации. Жидкость, проходящую, при необходимости, от предварительного выщелачивания к гиперминерализации можно подвергать осаждению и удалению вредных солей перед переносом на стадию выщелачивания при высоком содержании хлорида. Выщелачивание при высоком содержании хлорида изначально направлено на вы-

щелачивание и извлечение меди, при этом ограничения относительно содержания соли при экстракции урана растворителем не рассматриваются, и, следовательно, содержание соли раствора для выщелачивания можно повышать по мере необходимости для приведения в соответствие с минералогическим составом руды. Существует два других преимущества данного варианта осуществления.

В первом варианте осуществления, в котором стадию предварительной обработки проводят при высоком содержании соли, может быть необходимо удаление для поддержания проницаемости к жидкости. Это удаление может сдерживать высокие концентрации хлорида. Это приведет к потребности в повышенном добавлении источника хлорида, такого как NaCl, для компенсации потерь. Это не относится ко второму варианту осуществления, где любая удаленная жидкость будет иметь относительно низкую концентрацию хлорида.

Экстракция урана растворителем является более эффективной при более низких концентрациях хлорида. Это приводит к применению установки для экстракции урана растворителем меньшего размера и, следовательно, к более низким капитальным и текущим расходам.

Краткое описание графических материалов

Способ дополнительно описан в качестве примера со ссылкой на прилагаемые графические материалы.

На фиг. 1 в форме блок-схемы проиллюстрирован первый вариант осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды.

На фиг. 2 в форме блок-схемы проиллюстрирован второй вариант осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды.

На фиг. 3 представлен график концентрации растворенного диоксида кремния (мг/л) относительно времени выщелачивания (дни) для различных количеств концентрированной серной кислоты, добавленной в ходе агломерации руды (звездочки=без кислоты; квадраты=8 кг/т кислоты; треугольники=12 кг/т кислоты; крестики=25 кг/т кислоты).

На фиг. 4 представлен график, демонстрирующий растворение Cu (т.е. отношение масса растворенной Cu/масса Cu в образце, выраженное в процентах) относительно времени (дни) для различных концентраций хлорида в растворе для выщелачивания (круг=без хлорида; квадрат=15 г/л хлорида; ромб=30 г/л хлорида; треугольник=45 г/л хлорида).

На фиг. 5 продемонстрирован окислительно-восстановительный потенциал отработанной жидкости, например обогащенного раствора для выщелачивания или промежуточного раствора для выщелачивания (мВ (Ag/AgCl)), относительно времени для тех же концентраций хлорида (круг=без хлорида; квадрат=15 г/л хлорида; ромб=30 г/л хлорида; треугольник=45 г/л хлорида).

На фиг. 6 представлен график окислительно-восстановительного потенциала отработанной жидкости (мВ (Ag/AgCl)) относительно времени (дни) для трех различных концентраций хлорида в растворе (треугольники=1-3 г/л, ромбы=15 г/л и квадраты=150 г/л).

На фиг. 7 представлен график содержания растворенного кислорода (DO - ppm) в отработанной жидкости относительно времени для тех же концентраций хлорида, что и на фиг. 6 (треугольники=1-3 г/л, ромбы=15 г/л и квадраты=150 г/л).

На фиг. 8 представлен график, демонстрирующий растворение Cu (т.е. отношение масса растворенной Cu/масса Cu в образце, выраженное в процентах), в основном халькопиритовой руды, относительно времени (дни) для трех различных концентраций хлорида (треугольники=1-3 г/л, ромбы=15 г/л и квадраты=150 г/л).

На фиг. 9 представлен график, демонстрирующий растворение Cu (т.е. отношение масса растворенной Cu/масса Cu в образце, выраженное в процентах) борнитовой/халькоцитовой руды относительно времени (дни) для трех различных концентраций хлорида (крестики=1-3 г/л, ромбы=15 г/л и квадраты=150 г/л).

На фиг. 10 представлен график, демонстрирующий растворение уранинита (т.е. отношение масса растворенного U/масса U в образце, выраженное в процентах) относительно времени (дни) для концентраций хлорида 1-3 г/л (треугольники) и 15 г/л (ромбы).

На фиг. 11 в форме блок-схемы проиллюстрирован третий вариант осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды.

На фиг. 12 представлен график, демонстрирующий концентрацию U_3O_8 (мг/л), экстрагированного в растворитель из обогащенного раствора для выщелачивания при двух окислительно-восстановительных потенциалах раствора: 475 мВ (квадраты) и 410 мВ (ромбы).

На фиг. 13 представлен график, демонстрирующий % растворения урана (в виде U_3O_8) относительно времени (дни) для хлоридного выщелачивания урановой руды.

На фиг. 14 представлен график, демонстрирующий % растворения меди относительно времени (дни) для хлоридного выщелачивания медной руды.

На фиг. 15 представлен график, демонстрирующий экстракцию урана в фазу растворителя при низком ORP раствора для ряда концентраций хлорида.

На фиг. 16 представлен график, демонстрирующий экстракцию урана в фазу растворителя при высоком ORP раствора для ряда концентраций хлорида.

На фиг. 17 в форме блок-схемы проиллюстрирован четвертый вариант осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды.

На фиг. 18 в форме блок-схемы проиллюстрирован пятый вариант осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды.

Описание предпочтительных вариантов осуществления

В данном документе описан способ со ссылкой на применение опосредованного высоким содержанием хлорида цикла кучного выщелачивания при высоком потенциале раствора для дробленой или необогащенной (ROM) руды (или рудного концентрата).

Преимуществом раскрытого способа является значительное повышение скорости окисления сульфидных минералов или смешанных сульфидных и оксидных минералов в ходе активного орошения кучи, и таким образом улучшение извлечения металла в более коротком цикле выщелачивания и, дополнительно, снижение, по меньшей мере, до некоторой степени производственных затрат кучного выщелачивания.

Со ссылкой на фиг. 1 и 2 проиллюстрированы два варианта 10, 110 осуществления технологической схемы раскрытого способа. В каждом варианте осуществления руду, содержащую следующие ценные минералы:

сульфиды меди, преимущественно в форме халькопирита, борнита и халькоцита, но может включать другие виды сульфида меди;

уран в форме уранинита, коффинита и браннерита и

золото,

дробили до распределения размеров в диапазоне P80 от 6 до 25 мм. Оптимально распределение размеров составляло от 8 до 12 мм.

Дробленую руду агломерировали 12, 112 с помощью комбинации рабочего раствора (очищенного раствора кучного выщелачивания) и концентрированной серной кислоты. Концентрированную серную кислоту добавляли в концентрации в диапазоне от 0 до примерно 20 кг/т руды. Оптимальное добавление составляло от 6 до 12 кг/т руды. Добавляли очищенный раствор (при необходимости) с получением конечного содержания влаги около 3,5% (что было предпочтительным для образования агломерата).

Твердую соль, выбранную из одного или более из следующего: NaCl, MgCl₂, KCl и AlCl₃, добавляли к руде в ходе или после агломерации, при необходимости с регулированием окончательной концентрации хлорида в растворе для выщелачивания. Предпочтительным было добавление соли к руде в отличие от добавления ее непосредственно к раствору, орошающему кучу, поскольку тогда соль растворялась in situ и куча выступала в качестве фильтра тонкой очистки для любых нерастворимых примесей.

Соль добавляли на транспортную ленту с агломератом.

Агломерированную руду собирали в кучи, 14a, b, c и 114a, b, c, либо на одноразовую подложку для многослойного нанесения, либо на многоразовую подложку (не показано). Несмотря на то, что схематически каждая куча показана в виде отдельной установки a, b, и c, на практике данные установки обычно укомплектованы непрерывно. Выщелоченные остатки можно удалять после кучного выщелачивания и переносить к отвалу для выщелоченных осадков для хранения и возможного извлечения дополнительного количества Cu из долгосрочного сбора пермеата.

Каждую кучную установку 14a, b, c и 114a, b, c орошают со скоростью потока 5-20 л/м²/ч, при этом оптимальное значение составляет от 8 до 15 л/м²/ч.

Концентрированную серную кислоту добавляют к раствору, орошающему каждую кучную установку, с получением необходимой концентрации кислоты в отработанном растворе. Она обычно является минимальной для сведения к минимуму общего потребления кислоты в способе.

Кислота вступает в реакцию с жильными материалами в каждой кучной установке с получением ионов двухвалентного железа из минералов, таких как сидерит и хлорит. Некоторые ионы трехвалентного железа могут быть получены из реакции кислоты с гематитом.

Ионы двухвалентного железа превращаются в ионы трехвалентного железа посредством окисления кислородом. Кислород подают в кучу путем продувания воздуха в кучу.

Кислота и ионы трехвалентного железа вступают в реакцию с минералами на основе сульфида меди в руде с высвобождением сульфата меди в раствор, при этом ионы трехвалентного железа последовательно восстанавливаются до ионов двухвалентного железа. Эквивалентная реакция происходит между кислотой, ионами трехвалентного железа и урановыми минералами с высвобождением урана в раствор. При некоторых условиях эквивалентная реакция происходит с высвобождением благородного металла, особенно золота, в раствор. В каждом случае образованные ионы двухвалентного железа повторно окисляются кислородом до ионов трехвалентного железа.

На каждой из фиг. 1 и 2 промежуточный раствор для выщелачивания (ILS), образованный кучными установками 14a и 114a, поступает в емкость 16, 116 для ILS. Затем его наносят на кучные установки 14b и 114b соответственно с получением конечного обогащенного раствора 15, 115 для выщелачивания (PLS), который поступает в емкости 18, 118 для PLS соответственно.

Медь и уран извлекают из PLS 15, 115 посредством независимых процессов экстракции меди (CuSX) и урана (USX) растворителем, 20, 120 и 22, 122 соответственно.

На фиг. 1 очищенный раствор из процесса USX поступает в установку 14с кучного выщелачивания в виде рабочего раствора. Продукт выщелачивания, выходящий из установки 14с кучного выщелачивания, поступает в установку 14а кучного выщелачивания в виде рабочего раствора. Минерализованную воду добавляют к ILS в емкости 16 для ILS.

На фиг. 2 как очищенный раствор из процесса USX, так и продукт выщелачивания, выходящий из установки 114с кучного выщелачивания, поступают в емкость 124 для очищенного раствора. Очищенный раствор 126 из емкости 124 для очищенного раствора затем поступает в установку 114а кучного выщелачивания в виде рабочего раствора. В установку 114с кучного выщелачивания добавляют минерализованную воду.

На фиг. 1 выщелоченные осадки 28 не вымывают для какого-либо другого применения. На фиг. 2 выщелоченные осадки промывают при подготовке к размолу и плавлению остаточного сульфида, а также золота. Способ на фиг. 2 соответственно может требовать большего удаления очищенного раствора для контроля ионов, таких как Fe, Al и SO_4^{2-} , вследствие стадии промывки.

Поскольку фиг. 1 и 2 иллюстрируют два варианта осуществления технологической схемы, следует понимать, что может существовать множество конфигураций тех же единичных операций, которые могут рассматриваться.

Теперь, ссылаясь на фиг. 3, количество растворимого диоксида кремния в виде функции от времени выщелачивания показано для различных добавлений концентрированной серной кислоты в ходе агломерации. Поскольку не было показано, что повышенное добавление кислоты улучшает способ относительно степени растворения урана или меди, существуют улучшения способа, которые обеспечивают сниженные значения содержания диоксида кремния в растворе. Солюбилизированный диоксид кремния представляет собой проблему, поскольку он преимущественно осаждается на поверхности кучи и может вызывать проблемы с проницаемостью. Его удаляют из раствора путем добавления полиэтиленгликоля (PEG) к части продукта выщелачивания из первой стадии. Преимущественным является изначальное сведение его к минимуму. Осажденный диоксид кремния после добавления PEG отстаивают в очистительном устройстве и рециркулируют для агломерации в качестве способа удаления отходов.

На фиг. 4 представлен график, демонстрирующий % растворения Cu относительно времени (дни) для различных концентраций хлорида в растворе для выщелачивания. На фиг. 5 продемонстрирован окислительно-восстановительный потенциал отработанной жидкости (мВ (Ag/AgCl)) относительно времени для тех же концентраций хлорида. На фиг. 4 и 5 показано, что выщелачивание халькопирита пассивируется в отсутствие хлорида выше 420 мВ (Ag/AgCl). Тем не менее, дело обстоит не так, если хлорид присутствует в растворе при концентрации 15 г/л или выше. Это указывает на то, что точка пассивации включает более широкий диапазон в присутствии хлорида.

На фиг. 6 представлен график окислительно-восстановительного потенциала отработанной жидкости (мВ (Ag/AgCl)) относительно времени (дни) для трех различных концентраций хлорида в растворе: 1-3 г/л, 15 г/л и 150 г/л. На фиг. 7 представлен график DO (ppm) в отработанной жидкости относительно времени для тех же концентраций хлорида. На фиг. 6 показано, что скорость окисления воздухом ионов двухвалентного железа до ионов трехвалентного железа повышается в присутствии хлорида, и, таким образом, общий процесс достигает равновесия при более высоких окислительно-восстановительных потенциалах. Это также является очевидным при снижении содержания растворенного кислорода в отработанной жидкости, вызванном повышенной скоростью окисления ионов трехвалентного железа (фиг. 7).

На фиг. 8 представлен график, демонстрирующий растворение Cu (в весовых процентах), в основном халькопиритовой руды, относительно времени (дни) для трех различных концентраций хлорида: 1-3 г/л, 15 г/л и 150 г/л. На фиг. 9 представлен подобный график, демонстрирующий растворение Cu для борнитовой/халькоцитовой руды. Можно видеть, что скорости растворения минералов на основе сульфида меди повышаются в виде функции с повышением окислительно-восстановительного потенциала.

На фиг. 10 представлен график, демонстрирующий растворение уранинита % относительно времени (дни) для концентраций хлорида 1-3 г/л и 15 г/л. Можно видеть, что степени выщелачивания уранового минерала также могут повышаться с увеличением концентрации хлорида, обеспечивая в результате повышенный окислительно-восстановительный потенциал раствора.

На фиг. 13 показан % растворения урана относительно времени (дни) для выщелачивания урановых руд при различных концентрациях хлорида, начиная от 3-5 г/л с повышением до 15-20 г/л, затем снова с повышением до 100 г/л. Было обнаружено, что сразу после повышения содержания соли до выше 15-20 г/л наблюдался незначительный эффект на количество растворенного урана. Данные демонстрируют, что для большинства условий выщелачивания, независимо от содержания соли в растворе для выщелачивания, выщелачивание, по сути, полностью завершается через примерно 100-150 дней. В отличие от этого, на фиг. 14 показано, что скорость растворения меди является значительно более низкой и что требуется минимум 200 дней для достижения максимального растворения. Повышение скорости, наблюдаемое для многих колонн, связано с добавлением соли для повышения содержания соли в растворе для выщелачивания от 25 г/л (солевой раствор) до 100 г/л (гиперминерализованный раствор). Очевидно, что повышение содержания соли обеспечивает повышение скорости растворения меди.

На фиг. 15 и 16 проиллюстрированы эффекты окислительно-восстановительного потенциала рас-

твора и содержания соли на экстракцию урана в фазу растворителя в ходе экстракции растворителем. При относительно низких окислительно-восстановительных потенциалах (примерно 2-5 г/л ионов трехвалентного железа), на фиг. 15 показано, что экстракция урана является преимущественной при относительно низких концентрациях хлорида и неуклонно ухудшается при повышении концентрации хлорида. На фиг. 16 показано, что при относительно высоких окислительно-восстановительных условиях в растворе (прим. 10-18 г/л ионов трехвалентного железа) экстракция урана растворителем была незначительной для всех растворов, кроме с самым низким содержанием соли (25 г/л). Следовательно, данные графики демонстрируют, что высокое содержание соли и/или высокий окислительно-восстановительный потенциал раствора негативно влияют на экстракцию урана растворителем. В следующих вариантах осуществления выщелачивание урана осуществляют в условиях сниженного окислительно-восстановительного потенциала раствора или сниженного содержания соли.

На фиг. 11 в форме блок-схемы проиллюстрирован третий вариант 210 осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды, который представляет собой первую модификацию раскрытого способа, включающую стадию предварительной обработки при низком окислительно-восстановительном потенциале. Данный вариант осуществления отличается от предыдущих вариантов осуществления прежде всего тем, что промежуточный раствор, 216, для выщелачивания (ILS) выходящий из аэрированной кучи для выщелачивания, поступает в кучу, 214b, для "предварительного выщелачивания", содержащую кислоту и поглощающие трехвалентное железо материалы в отсутствие принудительной аэрации. Минералогический состав кучи для предварительного выщелачивания подобен минералогическому составу другой (аэрированной) кучи/куч, 214a, и преимущественно содержит сульфиды металлов и минералы урановой руды. ILS приводят в контакт с сульфидными металлами и поглощающими кислоту материалами в куче для предварительного выщелачивания со снижением концентрации ионов трехвалентного железа и кислоты в растворе. Было обнаружено, что снижение окислительно-восстановительного потенциала раствора является преимущественным для последующей экстракции урана путем экстракции растворителем. Было обнаружено, что поглощение кислоты (нейтрализация) является полезным для последующей экстракции меди путем экстракции растворителем.

Предварительно обработанный обогащенный раствор для выщелачивания затем можно подвергать экстракции растворителем с извлечением одного или более целевых металлов.

На фиг. 12 представлен график, демонстрирующий концентрацию U_3O_8 (мг/л), экстрагированного в растворитель из обогащенного раствора для выщелачивания, при двух окислительно-восстановительных потенциалах раствора: 475 мВ (квадраты) и 410 мВ (ромбы). Данный график иллюстрирует преимущество снижения окислительно-восстановительного потенциала перед подверганием обогащенного раствора для выщелачивания на экстракцию урана растворителем. Как можно видеть, количество урана, которое поступает в органическую фазу при 410 мВ, более чем в 3 раза превышает количество урана, которое поступает при 475 мВ. Считается, что значительное отличие связано со значительно более низким содержанием ионов трехвалентного железа, присутствующих в PLS при более низком окислительно-восстановительном потенциале, поскольку уран и ион трехвалентного железа склонны к совместному поступлению в органическую фазу, при этом чем меньше ионов трехвалентного железа в растворе, тем больше урана может поступать. Практическим следствием более высокого поступления урана в органическую фазу для приведенной концентрации урана в PLS является то, что объем необходимой органической фазы и, следовательно, размер необходимой установки для экстракции растворителем может быть соответственно меньшим, что является сбережением капитальных затрат.

На фиг. 17 представлен четвертый вариант 310 осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды. Подобно третьему варианту осуществления, в четвертом варианте осуществления часть кучного выщелачивания осуществляют при более низком окислительно-восстановительном потенциале раствора. Промежуточный раствор (316) для выщелачивания, выходящий из стадии 314a аэрированного кучного выщелачивания, поступает в ряд других стадий кучного выщелачивания, в том числе на стадию 314b предварительной обработки. Стадия предварительной обработки 314b включает обработку рудного материала с помощью ILS, в ходе которой кучу не подвергают принудительной аэрации. Соответственно предварительную обработку проводят при пониженном окислительно-восстановительном потенциале раствора по сравнению с последующими стадиями выщелачивания. Поскольку стадия предварительной обработки происходит практически вначале цикла выщелачивания, существует значительное количество непрореагировавших сульфидных материалов, которые вступают в реакцию с ионами трехвалентного железа в ILS, превращая их в ионы двухвалентного железа. Недостаток аэрации образует кислородное ограничение и, следовательно, существует сниженное последующее преобразование ионов двухвалентного железа обратно в ионы трехвалентного железа. PLS 318, полученный в ходе стадии предварительной обработки 314b, в основном содержит растворенный уран и некоторое количество меди. PLS подвергают USX и CuSX 320, 322.

Вследствие умеренно высокой потребности в кислоте (40-80 кг/т) рудных месторождений в Стюарт Шелф, Австралия, это приводит к высокой концентрации растворенных солей из реакций кислоты с пустой породой. Настоящий вариант осуществления может обеспечивать в результате перенасыщение растворенными солями (например, сульфатами натрия и железа, например метасидеронатритом

($\text{Na}_4\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) в рабочих растворах, образованных в реакциях кислоты с пустой породой, что в свою очередь может обеспечивать в результате накопление осадков в куче и низкую проницаемость. Для решения данной проблемы в рабочий раствор/растворы можно добавлять дополнительное количество соли 340 для ускорения осаждения пересыщенных солей, 342, которые затем можно удалять. Кроме того, может потребоваться удаление рабочих растворов для поддержания общего содержания соли в рабочих растворах в допустимых пределах.

На фиг. 18 проиллюстрирован пятый вариант 410 осуществления технологической схемы для кучного выщелачивания медной и урановой руды. Пятый вариант осуществления относится ко второй модификации раскрытого способа, которая включает стадию предварительной обработки при низком содержании соли. Выщелачивание включает стадию предварительной обработки 414b, включающую обработку рудного материала раствором для предварительного выщелачивания, характеризующимся относительно низким содержанием хлорида, по сравнению с кислотным раствором для выщелачивания с высоким содержанием хлорида в присутствии окислителя (т.е. воздуха). Содержание хлорида может составлять не более 35 г/л. Предварительную обработку можно осуществлять в течение периода времени, достаточного для того, чтобы, по меньшей мере, основная часть урана была выщелочена в ходе данной стадии. Например, стадию предварительной обработки 414b можно проводить в течение примерно 150 дней общего кучного выщелачивания. Более того, основная часть пустой породы рудного материала вступает в реакцию с кислотой в растворе для предварительного выщелачивания с получением в результате выщелоченных остатков, которые обеднены в отношении таких элементов как железо и кальций. Также возможно частичное выщелачивание неблагородных металлов, например меди, в ходе стадии предварительной обработки. Выщелоченные остатки из стадии предварительной обработки затем подвергают одной или более стадиям выщелачивания 414a при высоком содержании хлорида, в ходе которого концентрация хлорида в растворе для выщелачивания повышается. Стадию/стадии выщелачивания при высоком содержании хлорида можно осуществлять в течение достаточного периода времени (например, примерно 300 дней) с выщелачиванием, по меньшей мере, основной части меди в ходе данных стадий. В ходе данных стадий осуществляют аэрацию. Обоеднение в отношении пустой породы в выщелоченных остатках предварительной обработки означает, что присутствует меньшее количество соединений двухвалентного железа, доступных для образования солевых осадков, таких как метасидеронатрит, и, следовательно, снижается риск блокирования кучи. PLS 418 из стадии предварительной обработки 414b подвергают CuSX и USX , 420, 422. Очищенный раствор 424 обрабатывают дополнительным количеством соли, 440, при необходимости с иницированием осаждения и удаления вредных солей 442 перед переносом на стадию/стадии выщелачивания 414a при высоком содержании хлорида данного способа. Несмотря на то, что на фиг. 18 показаны стадии предварительной обработки и выщелачивания при высоком содержании хлорида в виде отдельных стадий, между двумя стадиями необязательно существует физическое перераспределение выщелоченных остатков.

Хотя был описан ряд конкретных вариантов осуществления, следует понимать, что способ и установка могут быть осуществлены во многих других формах.

Ссылки на предыдущий уровень техники в данном документе не являются признанием того, что уровень техники образует часть общеизвестных знаний среднего специалиста в данной области техники. Вышеприведенные ссылки также не предназначены для ограничения применения способа, раскрытого в данном документе.

В следующей формуле изобретения и предшествующем описании, за исключением случаев, когда контекст требует иного в силу явно выраженных формулировок или необходимого включения, слово "содержать" и его формы, такие как "содержит" или "содержащий", употребляются во включающем смысле, то есть для определения наличия установленных признаков, но не для исключения наличия или добавления дополнительных признаков в различных вариантах осуществления способа и установки, раскрытых в данном документе.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения по меньшей мере одного металла, выбранного из меди, урана и благородного металла, из рудного материала, включающий:

- (a) формирование кучи из рудного материала;
 - (b) в ходе активного кучного орошения приведение в контакт кучи из рудного материала с кислотным раствором для выщелачивания, содержащим ионы трехвалентного железа, с содержанием хлорида минимум 15 г/л в присутствии содержащего кислород газа, и получение обогащенного раствора для выщелачивания, причем ионы трехвалентного железа в кислотном растворе для выщелачивания окисляют рудный материал и восстанавливаются до ионов двухвалентного железа, которые затем повторно окисляются до ионов трехвалентного железа посредством реакции с содержащим кислород газом;
 - (c) извлечение по меньшей мере одного металла, выбранного из меди, урана и благородного металла, из обогащенного раствора для выщелачивания;
- причем перед приведением в контакт руды с кислотным раствором для выщелачивания на стадии

(b) способ включает стадии:

i) осуществление обработки руды раствором для предварительного выщелачивания, в котором содержание хлорида составляет до 50 г/л и является относительно низким по сравнению с кислотным раствором для выщелачивания на стадии (b), с растворением, по меньшей мере, некоторого количества урана и жильных минералов в руде и с получением продукта выщелачивания, а также обеднением в отношении вредных элементов в руде, доступных для образования солевых осадков;

ii) осуществление обработки продукта выщелачивания с извлечением урана и удалением вредных элементов.

2. Способ по п.1, где рудный материал содержит сульфиды меди и/или урановые минералы и может дополнительно содержать один или более благородных металлов, выбранных из золота и/или серебра.

3. Способ по п.1, где содержание хлорида в растворе для выщелачивания на стадии (b) составляет минимум 30 г/л, предпочтительно минимум 100 г/л, например минимум 150 г/л.

4. Способ по п.1, где содержащий железо раствор для выщелачивания дополнительно содержит ионы двухвалентной меди, которые катализируют реакцию окисления ионов двухвалентного железа до ионов трехвалентного железа.

5. Способ по п.1, где окислительно-восстановительный потенциал раствора для выщелачивания превышает 420 мВ Ag/AgCl, предпочтительно превышает 450 мВ Ag/AgCl, при отсутствии биовыщелачивающих микроорганизмов.

6. Способ по п.1, где содержащий железо кислотный раствор для выщелачивания характеризуется общей концентрацией железа, составляющей более 0,1 г/л, предпочтительно по меньшей мере 5 г/л, более предпочтительно по меньшей мере 20 г/л, например по меньшей мере 25 г/л.

7. Способ по п.1, где кислотность раствора для выщелачивания является такой, что pH раствора, контактирующего с рудой, не превышает значение pH 3,5, при этом дополнительно способ предпочтительно осуществляют в условиях температуры окружающей среды и атмосферного давления.

8. Способ по п.1, где обогащенный раствор для выщелачивания предварительно обрабатывают с регулированием химического состава раствора перед извлечением из него одного или более из меди, урана и благородного металла, при этом дополнительно предварительная обработка обогащенного раствора для выщелачивания, образованного на стадии (a), предпочтительно включает снижение окислительно-восстановительного потенциала раствора и/или поглощение, по меньшей мере, некоторого количества кислоты.

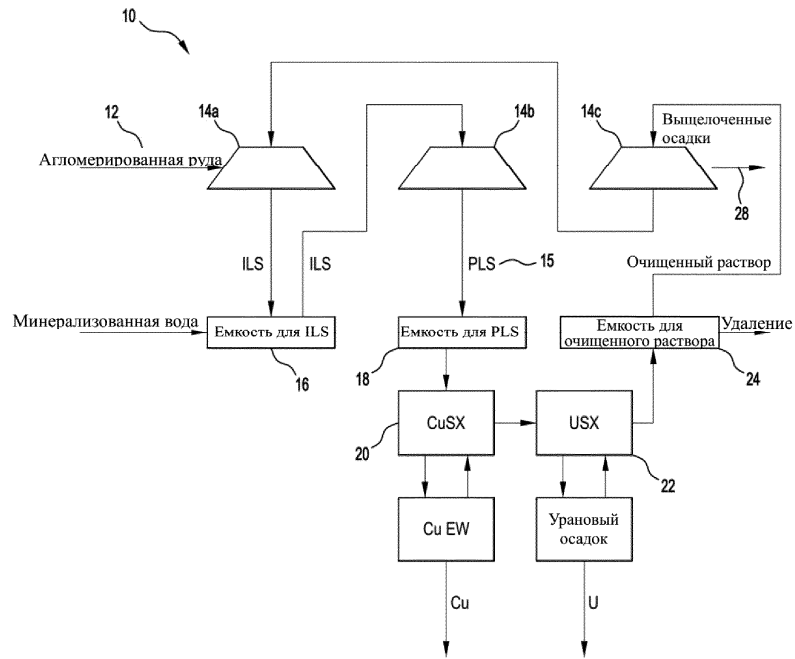
9. Способ по п.1, где перед формированием кучи на стадии (a) рудный материал формируют в агломераты путем смешивания рудного материала с кислотным раствором для агломерации с получением агломератов с необходимым конечным содержанием влаги, составляющим не более 25 вес.%, предпочтительно менее 10 вес.%, например менее 8 вес.%, при этом дополнительно необходимое конечное содержание влаги предпочтительно составляет минимум 3,5 вес.%.

10. Способ по любому из предыдущих пунктов, где содержание хлорида в растворе для предварительного выщелачивания составляет до 35 г/л, при этом дополнительно стадию (i) предпочтительно осуществляют в присутствии окислителя, такого как воздух.

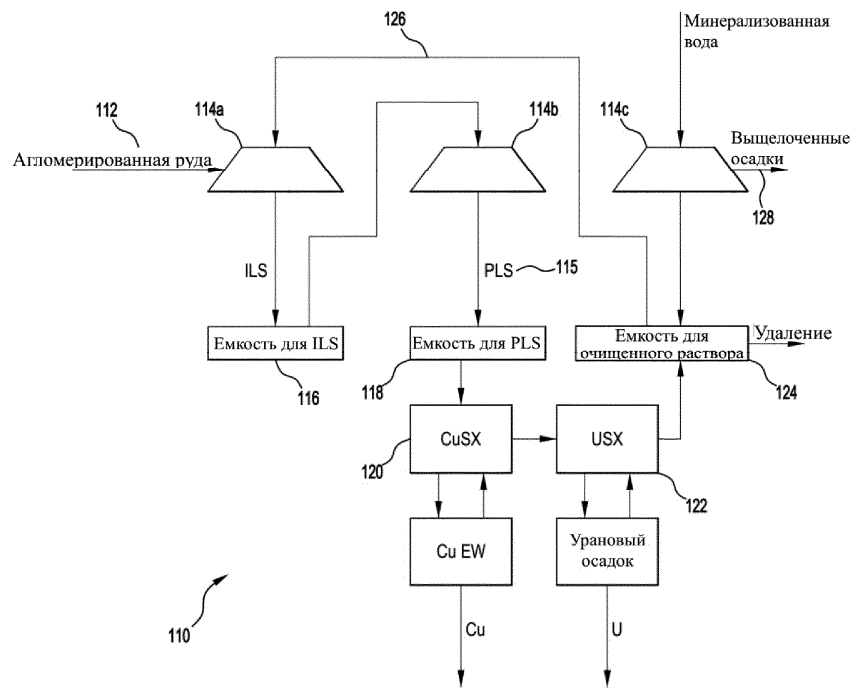
11. Способ по любому из предыдущих пунктов, где окислительно-восстановительный потенциал раствора для раствора для предварительного выщелачивания составляет менее 450 мВ Ag/AgCl и предпочтительно находится в диапазоне от 390 до 420 мВ Ag/AgCl.

12. Способ по п.1, где:

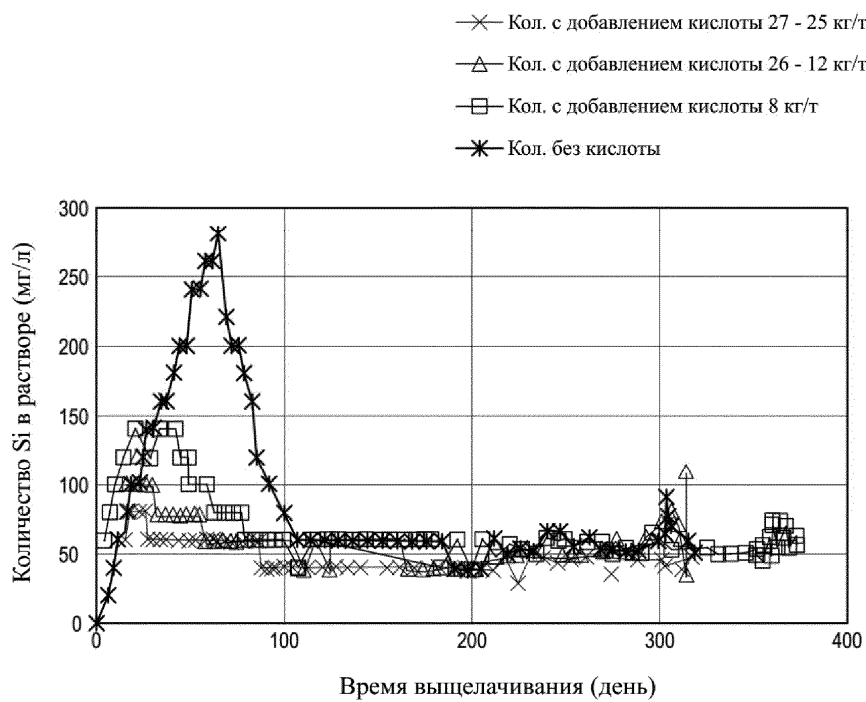
- a) необязательно руда является агломерированной перед стадией (a);
- b) потенциал раствора для раствора для выщелачивания превышает 450 мВ Ag/AgCl при отсутствии микроорганизмов;
- c) общая концентрация железа в растворе для выщелачивания составляет более 0,1 г/л;
- d) конечное содержание влаги в руде необязательно находится в диапазоне от 2 до 25 вес.%;
- e) pH раствора для выщелачивания не превышает значение pH 3,0 и
- f) концентрация ионов Cl⁻ в растворе для выщелачивания составляет от 20 до 230 г/л.



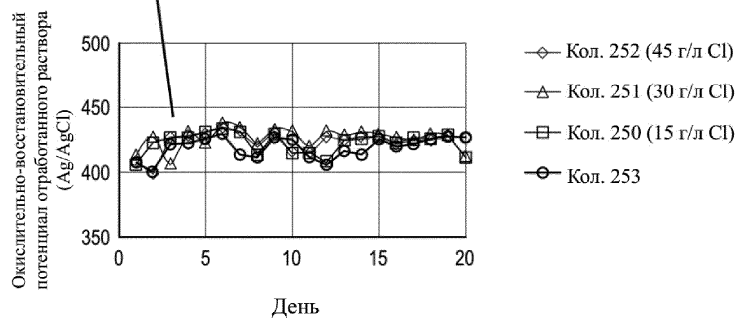
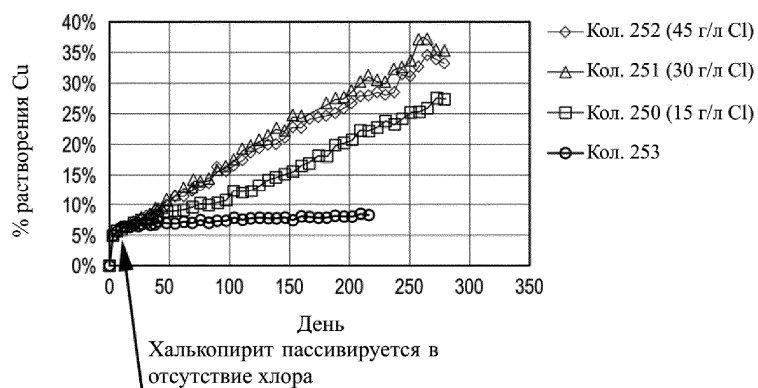
Фиг. 1



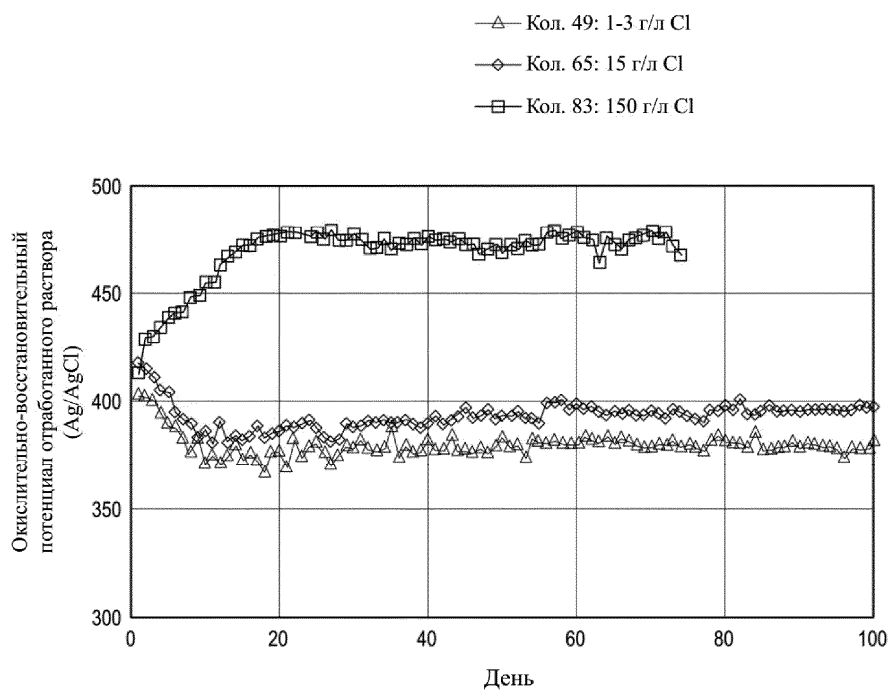
Фиг. 2



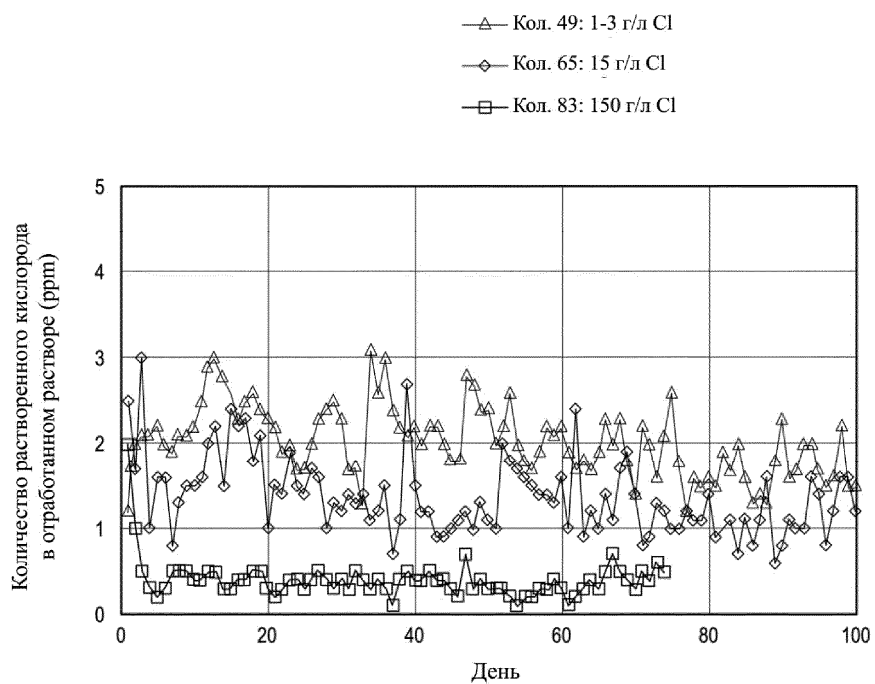
Суммарное растворение Cu для образца руды, содержащего халькопирит



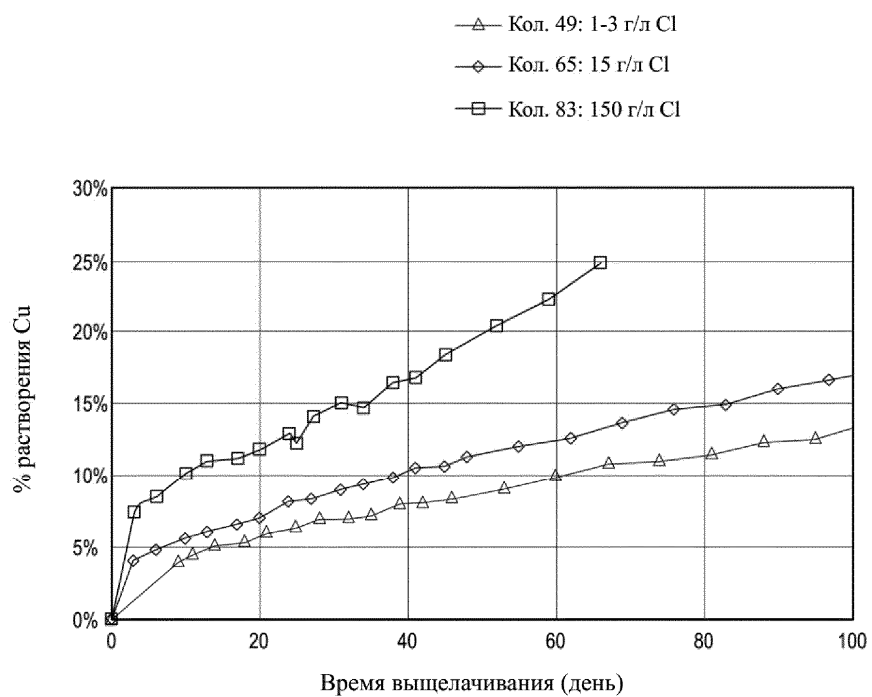
Фиг. 4-5



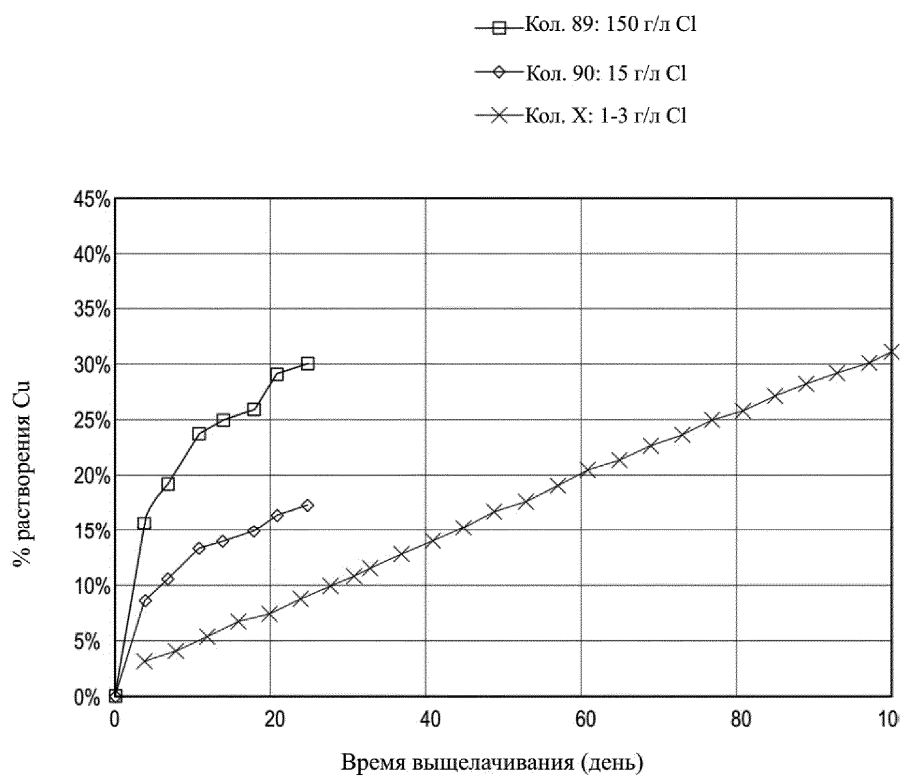
Фиг. 6



Фиг. 7

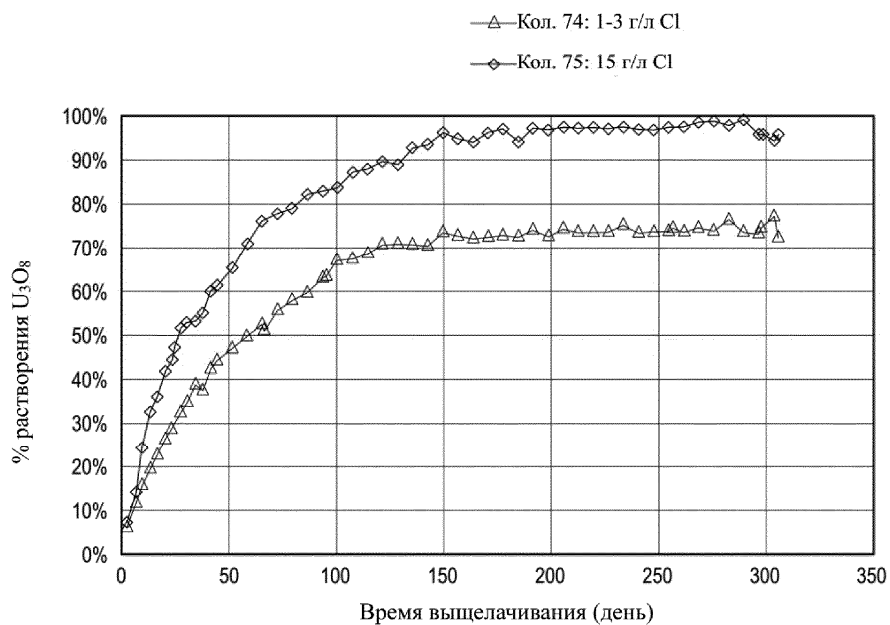


Фиг. 8

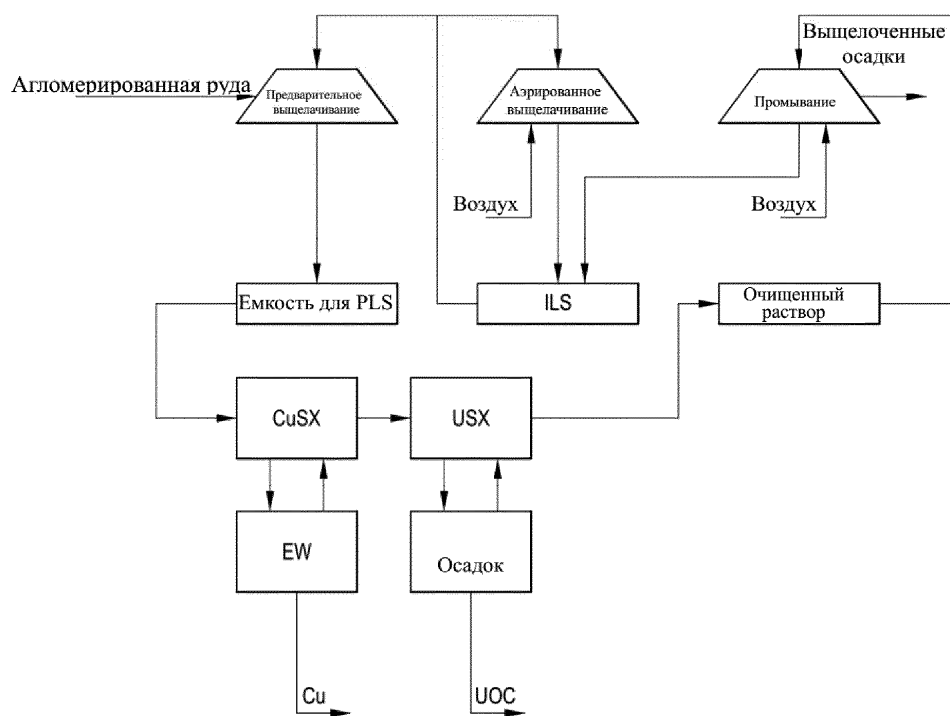


Фиг. 9

Суммарное растворение урана - хлоридное выщелачивание U_3O_8 , 462 ppm

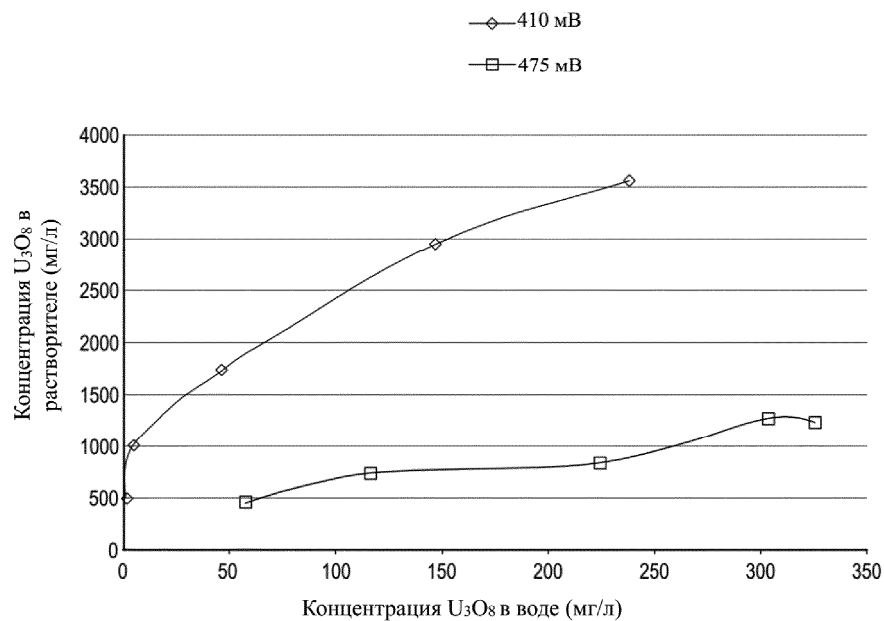


ФИГ. 10

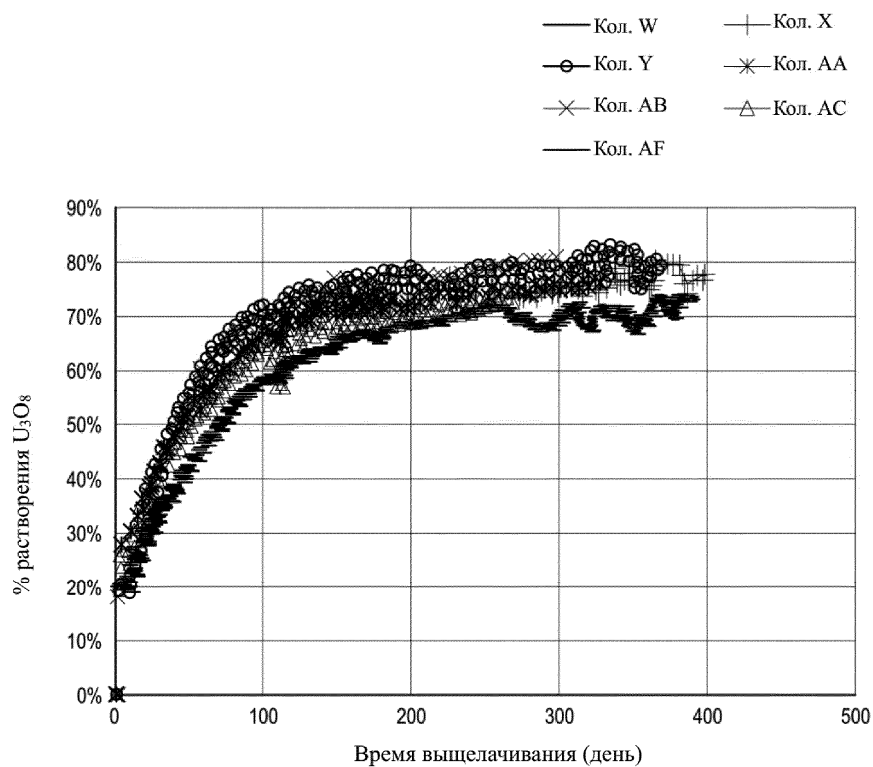


ФИГ. 11

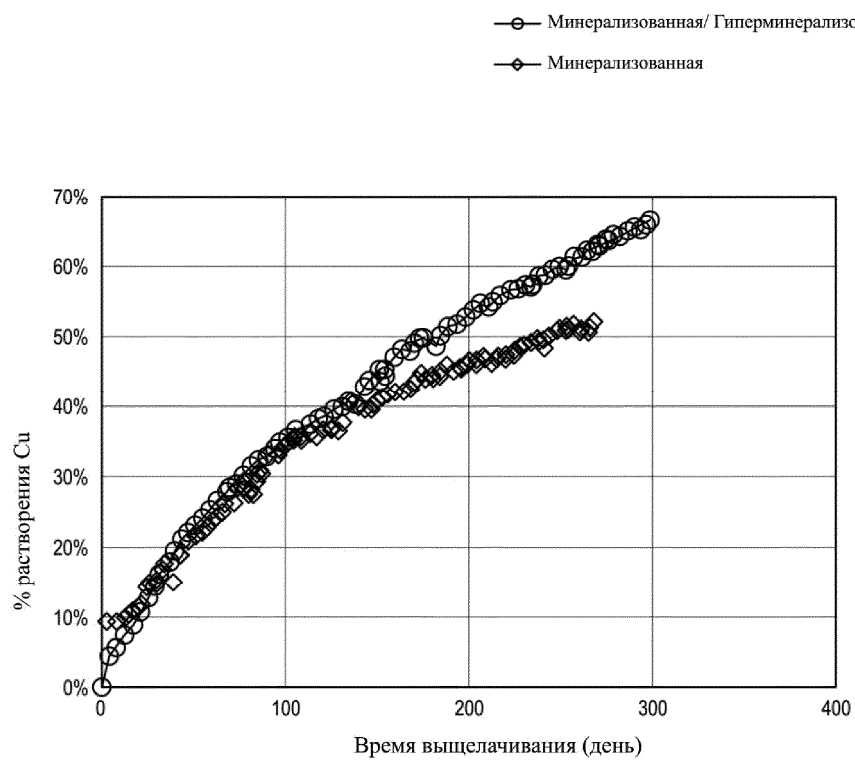
150 г/л Cl экстракция U_3O_8 0,2 М Суапех 923, 50% ароматическим разбавителем



Фиг. 12

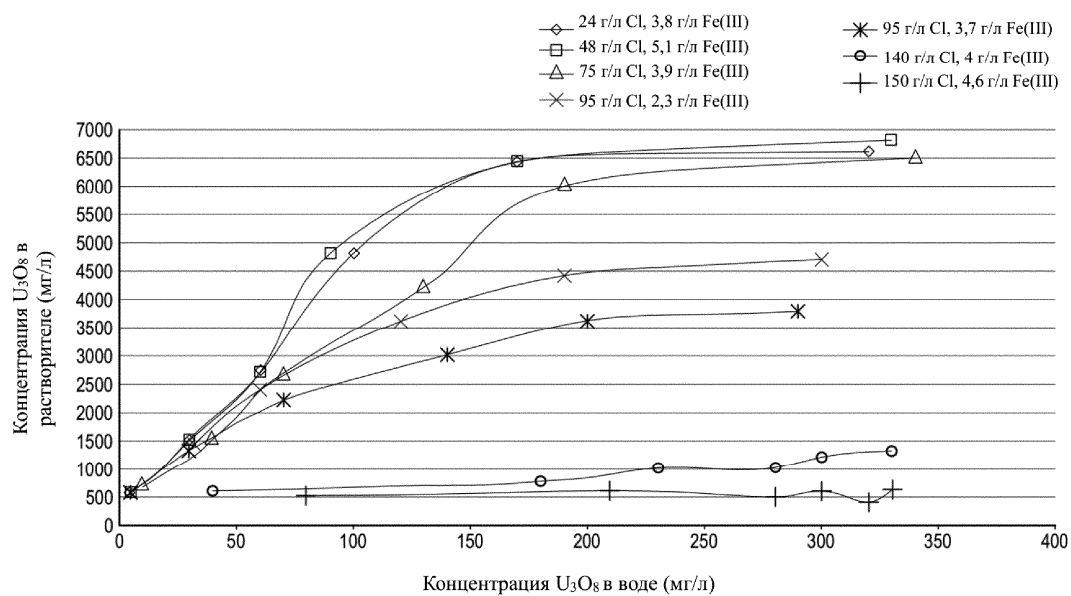


Фиг. 13



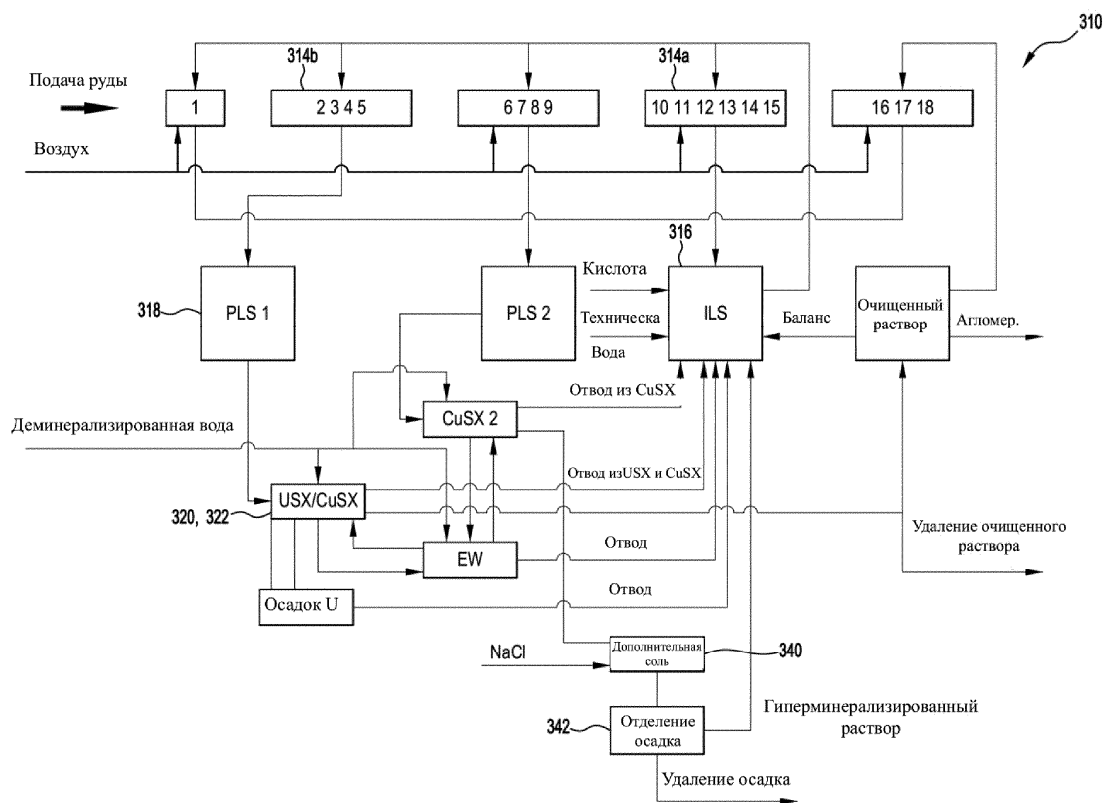
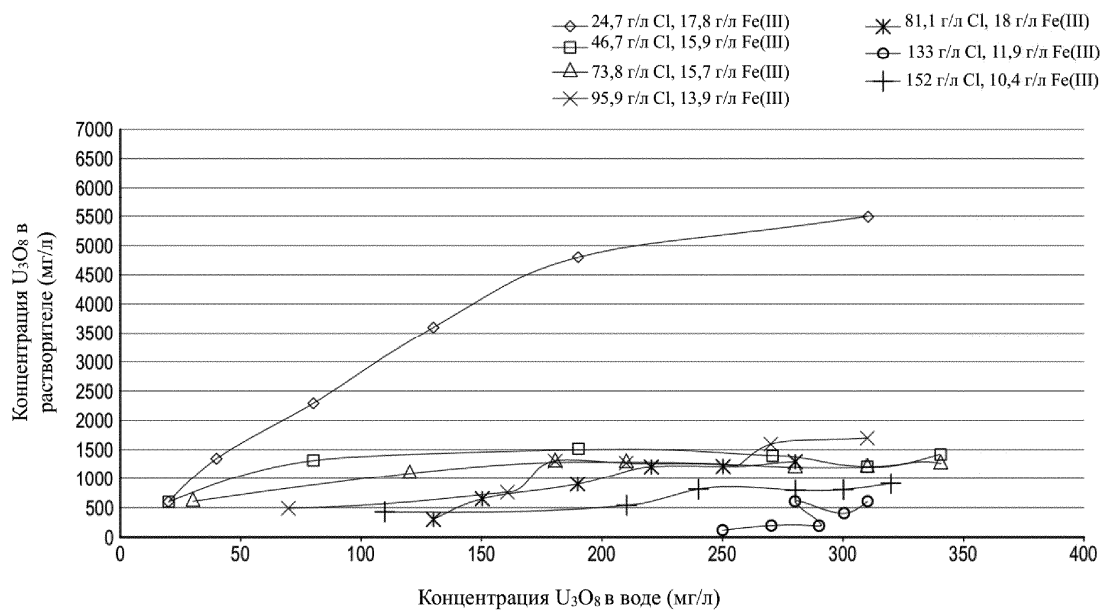
Фиг. 14

0,2 М 923 CuSX очищенный раствор, повышение количества Cl при низком ORP

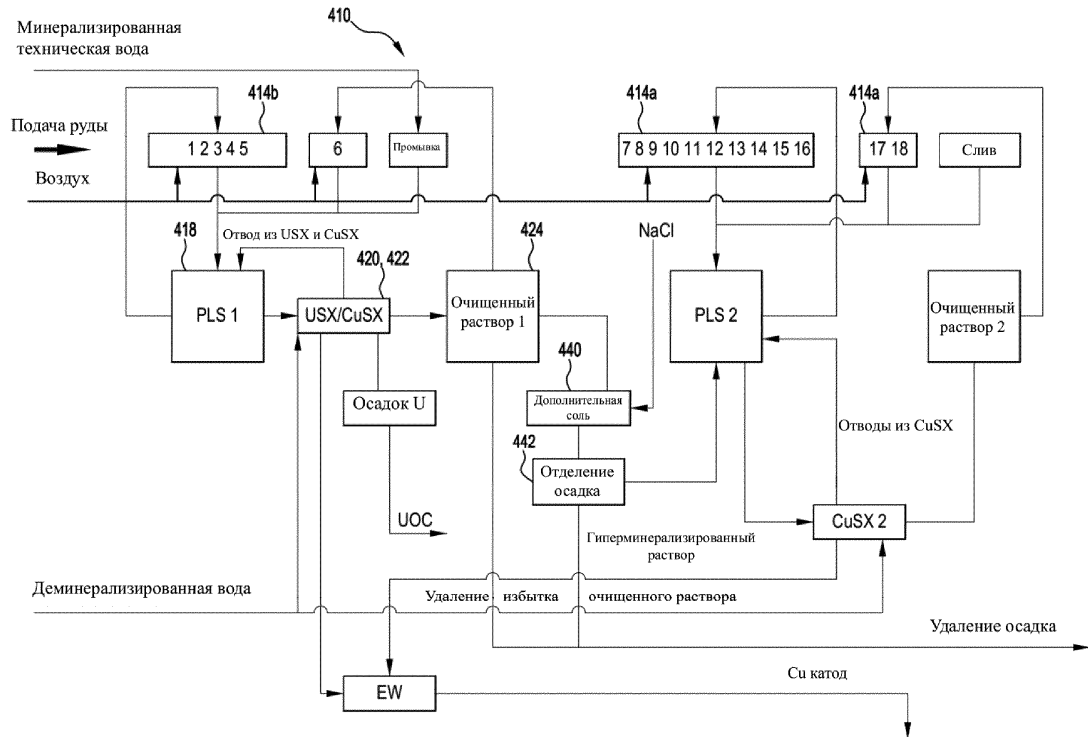


Фиг. 15

0,2 М 923 CuSX очищенный раствор, повышение количества Cl при высоком ORP



Фиг. 17



Фиг. 18