

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **029330**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2018.03.30

(21) Номер заявки
201591948

(22) Дата подачи заявки
2014.04.29

(51) Int. Cl. *C22B 11/06* (2006.01)
C22B 3/10 (2006.01)
C22B 3/26 (2006.01)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩЕГО РАСТВОРА И УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗОЛОТА И СЕРЕБРА

(31) 20135448

(32) 2013.04.30

(33) FI

(43) 2016.03.31

(86) PCT/FI2014/050309

(87) WO 2014/177765 2014.11.06

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ОУТОТЕК (ФИНЛЭНД) ОЙ (FI)

(72) Изобретатель:
**Миеггинен Вилле, Ахтиайнен Рийна,
Валкама Кари, Паатеро Ерки,
Хиегала Кари, Хаапалайнен Мика
(FI)**

(74) Представитель:
Поликарпов А.В. (RU)

(56) WO-A1-2007093666
US-A-4551213
US-A1-2007014709
WO-A1-2011154603
WO-A1-2005106052

(57) Изобретение относится к способу получения золотосодержащего раствора посредством хлоридного выщелачивания из золотосодержащих исходных материалов. В изобретении дополнительно предложен способ извлечения золота и, возможно, серебра из полученного золотосодержащего раствора. Изобретение также относится к установке для извлечения золота и, возможно, серебра.

B1

029330

029330

B1

Область техники

Данное изобретение относится к способу получения золотосодержащего раствора посредством хлоридного выщелачивания из золотосодержащего сырья. Дополнительно в изобретении предложен способ извлечения золота и, возможно, серебра из полученного золотосодержащего раствора. Данное изобретение также относится к установке для извлечения золота и, возможно, серебра.

Уровень техники

В настоящее время наилучшим способом выщелачивания золота из золотосодержащих руд и концентратов считают цианидное выщелачивание. Другим вариантом является хлоридное выщелачивание, но даже несмотря на то, что применение хлоридов для выщелачивания золота было известно в течение длительного времени, его не применяли широко в промышленной практике. Хлоридное выщелачивание считалось слишком дорогим из-за относительно высокого потребления реагента (окислителя). Извлечение золота из растворов, полученных в ходе хлоридного выщелачивания, также считалось проблематичным, а выход при извлечении был ниже, чем при цианидном выщелачивании. Кроме того, существуют проблемы, связанные с коррозией, из-за высоких концентраций хлорида в выщелачивающих растворах.

В US 4551213 описан способ извлечения золота из смесей серосодержащих руд путем выщелачивания хлоридами (хлоридом щелочного металла и/или хлоридом щелочно-земельного металла), окисляющим агентом (газообразный хлор) и хлоридом меди(II) или железа(III). Сообщают, что концентрация хлорида при выщелачивании может составлять от 12 до 47 мас.%, а концентрация хлорида меди(II) или железа(III) от 3,5 до 27 мас.%. Как указано, температура выщелачивания составляет примерно 20-106°C, предпочтительно примерно 40-80°C. В приведенных примерах выщелачивание проводят при температуре от 60 до 65°C. Серосодержащую руду, используемую в качестве исходного материала, можно получить, например, при гидрометаллургической переработке меди. Золото можно извлечь из полученного в результате выщелачивания раствора посредством электролиза или адсорбцией на углеводе.

В EP 1583848 B1 описан способ извлечения драгоценных металлов, например золота, из сульфидных материалов, посредством выщелачивания смесью, содержащей смесь галогенидов и соединений поливалентных металлов, выбранных из соединений меди, железа, кобальта, марганца и ванадия. Типичными исходными материалами для этого способа являются тугоплавкие золотосодержащие концентраты, такие как арсенопирит (возможно, с пиритом и/или углеродом). Смесь галогенидов при выщелачивании предпочтительно содержит хлорид и бромид. Поливалентным металлом в выщелачивающем растворе галогенида металла обычно является медь (Cu^{2+}). Выщелачивание можно проводить при температуре 90-105°C. Указаны значения pH при выщелачивании в диапазоне ниже 1, но выше 0,2. Драгоценный металл можно извлекать из полученного при выщелачивании раствора путем адсорбции на углеводе (активированном угле), или путем ионного обмена, экстракции растворителем и т.д. Обычно раствор подают рециклом со стадии извлечения на стадию выщелачивания.

Согласно примерам 1-3, приведенным в EP 1583848 B1, золото извлекали из тугоплавкого моноконцентрата Au посредством двухстадийного или одностадийного процесса выщелачивания, при температуре 105°C, выщелачивающим раствором, содержащим NaCl, CaCl_2 , Cu (из CuCl_2) и HCl.

В CA 2599174 описан способ выщелачивания золота из медных сульфидных руд, в котором сульфидную руду сначала подвергают выщелачиванию меди, с последующим выщелачиванием золота из остатка после выщелачивания выщелачивающим раствором, содержащим ионы хлорида и ионы железа (III) и железа (II). Сообщают также, что скорость реакции выщелачивания золота можно повысить при одновременном присутствии в выщелачивающем растворе или иона меди, или иона бромида, или обоих этих ионов. Описана температура выщелачивания 80°C или выше. Согласно примеру 6, сначала из медного сульфидного концентрата выщелачивали медь, после чего из полученного после выщелачивания остатка экстрагировали золото выщелачивающим раствором, содержащим Cu, Cl и Br, при температуре 85°C.

Другие способы извлечения золота были описаны в "The Chemistry of Gold Extraction", J. Marsden and Iain House, Society for Mining, Metallurgy and Exploration Inc., 2006, p. 275. Эти способы включают промышленный способ выщелачивания серебросодержащего материала при 75°C близким к насыщению раствором хлорида натрия с соляной кислотой (pH 0,3) и 15 г/л иона железа(III) в качестве окислителя. Другой способ включает процесс атмосферного выщелачивания из золотосодержащих руд, содержащих растворимую в цианиде медь, с использованием NaCl и NaOCl при pH 7. Еще один способ заключается в высокотемпературном (200-225°C) окислении под давлением в сульфатной среде, содержащей от 5 до 20 г/л NaCl; его особенно рекомендуют для золотосодержащих исходных материалов, включающих такие побочные продукты, как медь, никель и металлы платиновой группы.

В WO 2011/154603 A1 (15.12.2011) описан способ извлечения золота посредством экстракции растворителем из кислого хлоридсодержащего водного раствора или из суспензии, включающей золотосодержащие твердые вещества. Экстракцию растворителем проводят экстрагентом, содержащим сложный диэфир 2,2,4-триалкил-1,3-пентандиола. Полученный при экстракции золотосодержащий органический раствор обрабатывают в скруббере кислым водным раствором, после чего золото реэкстрагируют в воду, откуда его восстанавливают с получением чистого золота.

Краткое описание изобретения

Целью данного изобретения является обеспечение усовершенствованного способа получения золотосодержащего раствора посредством хлоридного выщелачивания из золотосодержащего сырья. Другой целью изобретения является обеспечение способа извлечения золота из полученного золотосодержащего раствора посредством жидкостной экстракции. Целей данного изобретения достигают посредством способа и установки, отличительные признаки которых изложены в независимых пунктах формулы изобретения. Предпочтительные воплощения данного изобретения описаны в зависимых пунктах. Дополнительной целью данного изобретения является обеспечение установки для извлечения золота и серебра.

Данное изобретение основано на выборе подходящего выщелачивающего раствора на основе хлорида и подходящих условий выщелачивания для растворения золота из золотосодержащего сырья с хорошим выходом. Более конкретно, данное изобретение основано на применении определенного выщелачивающего раствора на основе хлорида и оптимизированных условий выщелачивания для растворения золота из золотосодержащего сырья с хорошим выходом. Способ по изобретению можно объединять с эффективной рециркуляцией выщелачивающего раствора на основе хлорида. Затем золото можно соответствующим образом извлекать из золотосодержащего выщелачивающего раствора различными способами, например, жидкостной экстракцией.

Способ по изобретению обеспечивает экономичный и эффективный путь извлечения золота с помощью выщелачивания на основе хлорида из разнообразного золотосодержащего сырья, такого как золотосодержащие руды и концентраты, вопреки существующим в настоящее время в данной области предубеждениям в отношении применения способов на основе хлоридов для выщелачивания золота. Кроме золота, в том же способе можно соответствующим образом извлечь серебро.

Данный способ и установка применимы для разнообразных исходных материалов. Этого достигают путем проведения стадии выпаривания и стадии циркуляции, и таким образом нет необходимости добавлять в процесс дополнительные ионы меди. Это дополнительно позволяет очень экологически рационально использовать разнообразные исходные материалы, так как не вводят дополнительное количество меди (или необходимо, чтобы она присутствовала в исходном материале) и, таким образом, не образуются медьсодержащие стоки, поступающие в окружающую среду. Кроме того, максимизирована циркуляция химических реагентов в процессе, что приводит к экономии затрат, а также к малому потреблению химических реагентов.

Краткое описание чертежей

Далее изобретение описано более подробно посредством предпочтительных воплощений, со ссылкой на приложенные чертежи, где:

фиг. 1 представляет собой блок-схему одного из воплощений данного изобретения, показывающую также извлечение серебра;

на фиг. 2 показано влияние концентрации меди на концентрацию золота в выщелачивающем растворе теста 3 примера 1;

на фиг. 3 показано влияние концентрации бромидов на концентрацию золота в выщелачивающем растворе теста 4 примера 1;

на фиг. 4 показано влияние времени выщелачивания на концентрацию золота в выщелачивающем растворе теста 1 примера 2;

на фиг. 5 показано влияние концентрации меди на концентрацию золота в выщелачивающем растворе теста 3 Примера 2;

на фиг. 6 показано влияние концентрации бромидов на концентрацию золота в выщелачивающем растворе теста 4 примера 2;

на фиг. 7 показано влияние концентрации хлорида на концентрацию золота в выщелачивающем растворе теста 5 примера 2;

на фиг. 8 показана зависимость концентрации золота в выщелачивающем растворе от времени выщелачивания в сравнительном тесте с цианидом примера 3;

на фиг. 9 показано влияние времени выщелачивания на концентрацию золота в выщелачивающем растворе тестов 1 и 2 примера 3;

на фиг. 10 представлено воплощение установки.

Подробное описание изобретения

Данное изобретение относится к способу получения золотосодержащего раствора из золотосодержащего сырья, включающему:

(a) стадию выщелачивания золота, на которой золотосодержащее сырье подвергают окислительному хлоридному выщелачиванию в водном выщелачивающем растворе, при следующих условиях:

(i) водный выщелачивающий раствор содержит растворенные ионы двухвалентной меди (Cu^{2+}), хлорида (Cl) и бромидов (Br);

(ii) pH находится в диапазоне, в котором ион двухвалентной меди не выпадает в осадок;

(iii) окислительный потенциал составляет по меньшей мере 450 мВ Pt относительно Ag/AgCl, с получением золотосодержащего раствора, возможно дополнительно содержащего серебро;

(b) стадию разделения на жидкую и твердую фазы, на которой золотосодержащий раствор отделяют

от нерастворенного твердого материала;

(с) стадию выделения золота, на которой золото извлекают из золотосодержащего раствора со стадии (b) с получением золотосодержащего органического раствора и обедненного по золоту выщелачивающего раствора, содержащего Cu^{2+} , Cl^- и Br^- ;

(с') стадию выпаривания, на которой обедненный по золоту выщелачивающий раствор со стадии (с), содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , выпаривают для удаления избыточной воды;

(d) стадию рециркуляции, на которой обедненный по золоту выщелачивающий раствор, полученный со стадии выпаривания, содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , рециркулируют на стадию (a) выщелачивания.

Исходные материалы.

Золотосодержащее сырье для способа по изобретению можно выбрать из руд, концентратов, лома, вторичного сырья, остатков после выщелачивания, отходов, таких как отходы флотации, и тугоплавких золотосодержащих материалов, подвергнутых предварительной обработке окислением под давлением, обжигом и/или бактериальным выщелачиванием. Золотосодержащее сырье, используемое в качестве исходного материала в данном изобретении, может также содержать серебро.

Обычно исходные материалы для способа по изобретению можно выбирать из легкообогащаемых золотосодержащих руд/концентратов и предварительно обработанных тугоплавких золотосодержащих концентратов.

Легкообогащаемые золотосодержащие руды/концентраты относятся к материалам, из которых золото можно извлечь с использованием цианидного выщелачивания или физических методов разделения. Легкообогащаемые материалы могут представлять собой сульфидные или оксидные руды. Основными минералами сульфидных руд являются пирит и пирротит. Оксидные руды содержат в основном силикаты и оксиды железа(III)/железа(II).

Термин "тугоплавкие золотосодержащие концентраты" относится к материалам, в которых извлечение золота в обычном процессе цианидного выщелачивания составляет менее 80%. В большинстве тугоплавких золотосодержащих концентратов золото связано с сульфидными минералами в виде очень мелких включений, или в виде скрытого золота в кристаллической решетке минерала. Для высвобождения золота необходимо разложение золотосодержащих минералов. Примерами тугоплавких золотосодержащих концентратов являются руды на основе арсенопирита, пирита и/или силиката.

Предварительную обработку тугоплавких золотосодержащих концентратов, используемых в качестве исходного материала, можно осуществить способом, выбранным из окисления под давлением, биологического выщелачивания и обжига, предпочтительным является окисление под давлением.

В одном из воплощений изобретения золотосодержащее сырье, используемое в качестве исходного материала, выбирают из тугоплавких золотосодержащих концентратов, предварительно обработанных окислением под давлением.

Способ.

На стадии (a) выщелачивания золота золотосодержащее сырье подвергают окислительному хлоридному выщелачиванию в водном выщелачивающем растворе при следующих условиях:

(i) водный выщелачивающий раствор содержит растворенные ионы двухвалентной меди (Cu^{2+}), хлорида (Cl^-) и бромиды (Br^-);

(ii) pH находится в диапазоне, в котором ион двухвалентной меди не выпадает в осадок;

(iii) окислительный потенциал составляет по меньшей мере 450 мВ Pt относительно Ag/AgCl , с получением золотосодержащего раствора.

При выщелачивании также можно выщелачивать серебро и, таким образом, золотосодержащий раствор может дополнительно содержать серебро.

Способ дополнительно включает:

(b) стадию разделения на жидкую и твердую фазы, на которой золотосодержащий раствор отделяют от нерастворенного твердого материала;

(с) стадию извлечения золота, на которой золото извлекают из золотосодержащего раствора со стадии (b), чтобы получить золотосодержащий органический раствор и обедненный по золоту выщелачивающий раствор, содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- ;

(с') стадию выпаривания, на которой обедненный по золоту выщелачивающий раствор со стадии (с), содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , выпаривают для удаления избыточной воды;

(d) стадию рециркуляции, на которой обедненный по золоту раствор, полученный со стадии выпаривания и содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , рециркулируют на стадию (a) выщелачивания.

Окислительное хлоридное выщелачивание обычно проводят при атмосферном давлении. Кроме того, окислительное хлоридное выщелачивание обычно проводят при температуре по меньшей мере 50°C, более типично при температуре 88-100°C.

При окислительном хлоридном выщелачивании значение pH, т.е. диапазон, в котором ион двухвалентной меди не выпадает в осадок, составляет менее 2,6, обычно менее 2,2.

Окислительное хлоридное выщелачивание обычно проводят путем подачи источника окисления в хлоридный выщелачивающий раствор. Обычно источником окисления является подаваемый в раствор кислород, обогащенный кислородом воздух или воздух. Назначением источника окисления является

обеспечение возможности сохранения меди в растворе в форме иона $2+$.

Окислительный потенциал обычно составляет 450-800 мВ Pt относительно Ag/AgCl, обычно 450-700 мВ Pt относительно Ag/AgCl.

На стадии выщелачивания золотосодержащую руду/концентрат вводят в выщелачивающий раствор, который содержит Cu^{2+} , Cl⁻ и Br⁻, обычно при следующих концентрациях: 10-110 г/л Cu^{2+} , 50-300 г/л Cl⁻ и 1-100 г/л Br⁻ (в расчете на NaBr). Обычно выщелачивающий раствор является водным. Кроме того, выщелачивающий раствор, как правило, содержит кислоту, обычно при концентрации 5-20 г/л HCl. Обычно в выщелачивающий раствор подают кислород. Медь (Cu^{2+}) необходима для обеспечения высокой окислительной способности, чтобы, при одновременной подаче кислорода, можно было окислить золото. Хлорид и бромид (Cl⁻ и Br⁻) образуют аквакомплексы с золотом, так что золото растворяется в выщелачивающем растворе. Присутствие Br⁻ в выщелачивающем растворе дает возможность поддерживать золото в растворе в стабильной форме, другими словами, присутствие Br⁻ обеспечивает возможность образования более стабильного комплекса золота по сравнению со случаем, когда присутствует только Cl⁻. pH выщелачивающего раствора поддерживают на уровне, при котором ион двухвалентной меди не осаждается. Обычно pH выщелачивающего раствора составляет менее 2,6, более типично менее 2,2. В одном из воплощений изобретения pH составляет менее 2,2, но выше 1,5. Было обнаружено, что для растворения золота, например, из легкообогащаемых материалов на основе оксидов и из тугоплавких концентратов, предварительно обработанных окислением под давлением, может быть достаточно всего лишь примерно 0,5 ч.

В типичном воплощении изобретения выщелачивающий раствор, содержащий Cu^{2+} , Cl⁻ и Br⁻, представляет собой рециркулируемый обедненный по золоту и, возможно, обедненный по серебру выщелачивающий раствор, полученный со стадий способа, следующих за извлечением золота и возможным извлечением серебра. Перед подачей рециркулируемого выщелачивающего раствора на стадию выщелачивания этот раствор, как правило, подвергают выпариванию, для удаления избыточной воды. Возможно также подавать на стадию выпаривания только часть раствора. Другой возможностью является подача всего раствора на стадию выпаривания. Доля выпариваемого раствора может изменяться в широких пределах, в зависимости от типа сырья, влажности и требований природоохранного законодательства. В типичном воплощении изобретения 5-99%, предпочтительно 20-70%, более предпочтительно 40-60% выщелачивающего раствора подают на стадию выпаривания после стадии извлечения золота. Теплоту для выпаривания обычно обеспечивают посредством пара, при этом конденсат, получаемый из острого пара, обычно возвращается при 90-100°C. Степень выпаривания зависит от химического и минералогического состава сырья. В одном применении было необходимо выпарить 200 т/ч, чтобы уравновесить 300 т/ч легкообогащаемой руды, подаваемой в процесс (рассчитано с использованием программного обеспечения HSC Sim 7.1). Подвергнутый выпариванию выщелачивающий раствор можно подавать на стадию выщелачивания как таковой или, если это необходимо, после возможной регенерации. При регенерации рециркулируемый выщелачивающий раствор восполняют свежими выщелачивающими химическими веществами (подпиточными химическими веществами), содержащими Cu^{2+} , Cl⁻ и Br⁻. Добавление подпиточных химических веществ подходящим образом выполняют в связи с выщелачиванием.

Данный способ и установка пригодны для разнообразных исходных материалов. При проведении стадии (с') выпаривания, на которой часть обедненного по золоту выщелачивающего раствора со стадии (с) или весь раствор, содержащий Cu^{2+} , Cl⁻ и Br⁻, выпаривают для удаления избыточной воды, и стадии (d) рециркуляции, на которой обедненный по золоту выщелачивающий раствор, полученный со стадии выпаривания и содержащий Cu^{2+} , Cl⁻ и Br⁻, рециркулируют на стадию (a) выщелачивания, нет необходимости добавлять в процесс дополнительные ионы меди. Это дополнительно дает возможность применения широкого разнообразия исходных материалов чрезвычайно экологически рациональным образом, поскольку не добавляют дополнительного количества меди (или необходимо, чтобы она присутствовала в исходном материале), и таким образом, не образуются медьсодержащие стоки, поступающие в окружающую среду. Кроме того, рециркуляцию химических веществ в процессе максимизируют, что приводит к экономии затрат, а также к малому потреблению химических веществ. Для обеспечения возможности извлечения и рециркуляции хлорида/бромидов, следует удалять воду, чтобы сохранять баланс по воде. Стоки с высокой концентрацией хлорида невозможно экологически безопасным образом сбрасывать в окружающую среду, и даже если это было бы возможно, стоимость добавления подпиточного хлорида сделала бы процесс неэкономичным.

Выщелачивание приводит к образованию золотосодержащего раствора с выходом по золоту более 70%, предпочтительно более 85%, еще более предпочтительно более 95%, и даже более 98%, и вплоть до 99,7%, в пересчете на твердое вещество. Помимо золота, выщелачивающий раствор, как правило, содержит серебро и другие компоненты, например, мышьяк, алюминий, железо, кобальт, никель и магний.

На стадии (b) разделения на жидкую и твердую фазы золотосодержащий раствор отделяют от твердого материала. Разделение на жидкую и твердую фазы можно проводить, например, путем фильтрации, отстаивания твердого вещества в жидкости, выпаривания или центрифугирования.

Золотосодержащий раствор подают на стадию (с) извлечения золота, возможно после промывки.

Стадию (с) извлечения золота можно осуществлять путем жидкостной экстракции (известной также

как экстракция растворителем). Жидкостную экстракцию проводят с использованием экстрагента, который является селективным для золота. Обычно экстрагент содержит сложный диэфир 2,2,4-триалкил-1,3-пентандиола или 2-этилгексанол, или оба эти соединения. В одном воплощении изобретения жидкостную экстракцию проводят с использованием в качестве экстрагента сложного диэфира 2,2,4-триалкил-1,3-пентандиола. В другом воплощении изобретения жидкостную экстракцию проводили с использованием в качестве экстрагента сложного диэфира 2,2,4-триалкил-1,3-пентандиола, смешанного с 2-этилгексанолом. Экстракцию можно проводить с использованием способа, описанного в WO 2011/154603 A1. Было обнаружено, что достигали степени извлечения золота вплоть до 99,9%.

Золото можно реэкстрагировать из золотосодержащего органического раствора, полученного на стадии (с), с получением водного золотосодержащего раствора. В качестве реэкстрагента можно использовать воду или водный раствор соли.

Кроме того, способ может включать дополнительную стадию извлечения золота, на которой золото извлекают из водного золотосодержащего раствора, полученного выше, или даже непосредственно из органического золотосодержащего раствора, полученного на стадии (с). Дополнительную стадию извлечения золота можно проводить способом, выбранным из восстановления щавелевой кислотой, аскорбиновой кислотой или глюкозой; адсорбции на активированном угле; цементации и прямого сжигания золотосодержащего органического реагента. В одном воплощении изобретения восстановление золота проводят щавелевой кислотой.

На стадии (d) рециркуляции обедненный по золоту выщелачивающий раствор со стадии (с), содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , рециркулируют на стадию (а) выщелачивания после возможной регенерации и/или после выпаривания для удаления избыточной воды. Благодаря эффективной циркуляции и возможной регенерации обедненного по золоту выщелачивающего раствора избегают накопления примесей, препятствующих растворению золота. Обычно раствор рециркулируют полностью.

В одном воплощении изобретения способ дополнительно включает стадию извлечения серебра, где серебро извлекают по меньшей мере из части обедненного по золоту выщелачивающего раствора, полученного со стадии (с) извлечения золота. Естественно, стадия извлечения серебра не требуется, если серебро не присутствует в исходном материале. Извлечение серебра можно проводить способом, выбранным из жидкостной экстракции и осаждения. В одном воплощении изобретения извлечение серебра включает жидкостную экстракцию с использованием Суапех 471Х (промышленный реагент для проведения жидкостной экстракции, в котором активным компонентом является триизобутилфосфинсульфид), реэкстракцию водным раствором тиосульфатной соли, например, раствором тиосульфата натрия, и цементацию металлическим порошком, например, медным порошком. Для жидкостной экстракции Суапех 471Х обычно используют в виде 0,1-0,7 моль/л раствора в углеводородном растворителе. Раствор также может содержать модификатор. Извлечение серебра можно также проводить путем сульфидного осаждения. Серебро обычно извлекают с выходом более 70%.

В одном воплощении изобретения обедненный по золоту выщелачивающий раствор со стадии (с) рециркулируют на стадию (а) выщелачивания после стадии извлечения серебра.

Далее изобретение проиллюстрировано со ссылкой на фиг. 1, где показано воплощение изобретения, в котором выщелачивание золота объединено с извлечением золота и дополнительно с извлечением серебра. Представленное воплощение никоим образом не ограничивает изобретение. Естественно, если серебро не присутствует в исходном материале, стадия извлечения серебра не требуется. Следует также отметить, что можно подвергать выпариванию лишь часть раствора. Концентрат золота (Au концентрат 5) подают на выщелачивание 10, совместно с подаваемым кислородом 7 и выщелачивающим раствором, содержащим медь (Cu^{2+}), Cl^- и Br^- . При выщелачивании 10 золото переходит в раствор, образуя золотосодержащий раствор. За выщелачиванием следует разделение на жидкую и твердую фазы (Ж/Тв разделение 20), где золотосодержащий раствор отделяют от нерастворенного твердого материала (остаток 105 после выщелачивания). Золотосодержащий раствор, полученный при выщелачивании, подают на стадию экстракции золота (Au экстракция 30), на которой получают золотосодержащий органический раствор и обедненный по золоту выщелачивающий раствор, содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- .

Золотосодержащий органический раствор затем подают на стадию реэкстракции золота (Au реэкстракция 40), где золото реэкстрагируют из золотосодержащего органического раствора водой, с получением водного золотосодержащего раствора. Наконец, золото извлекают из водного золотосодержащего раствора в виде элементарного золота, путем восстановления оксалатом натрия (Na оксалат 45), путем подачи водного золотосодержащего раствора на стадию восстановления (Au восстановление 50). Продукт восстановления подвергают разделению на жидкую и твердую фазы (Ж/Тв разделение 60), при котором получают золото в виде твердого продукта (Au продукт 65). Жидкий продукт со стадии разделения на жидкую и твердую фазы содержит некоторое количество примесей, таких как железо и медь. Примеси удаляют из раствора (обработка 70 стока) путем осаждения гидроксидом. Суспензию, полученную при обработке стока, подают на стадию разделения на жидкую и твердую фазы (Ж/Тв разделение 80), откуда получают осадок 85 гидроксида и сточный раствор 90.

Обедненный по золоту раствор из Au экстракции 30, содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , подают на стадию извлечения серебра, которая включает экстракцию серебра (Ag экстракция 100), реэкстракцию серебра

(Ag реэкстракция 110), цементацию медным порошком 125 (Ag цементация 120) и разделение на жидкую и твердую фазы (Ж/Тв разделение 130), где получают продукт - твердое серебро (Ag продукт 135). Жидкий продукт со стадии 130 разделения на жидкую и твердую фазы подают на обработку 70 стоков (совместно с жидким продуктом, полученным после извлечения золота).

Часть выщелачивающего раствора, содержащего Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , с экстракции 100 серебра, подают на выпаривание 160 для удаления избыточной воды в виде пара 165. После выпаривания до соответствующей консистенции, оставшийся раствор 170, содержащий Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , рециркулируют на стадию 10 выщелачивания.

Небольшую часть раствора с экстракции серебра подают на обработку 140 стоков, где некоторые примеси металлов, таких как цинк и свинец, удаляют путем осаждения гидроксидом. За обработкой стоков следует разделение на жидкую и твердую фазы (Ж/Тв разделение 150). Жидкий продукт после разделения на жидкую и твердую фазы подают на выпаривание 160. Твердый продукт после разделения на жидкую и твердую фазы извлекают в виде осадка 155 Cu-Zn.

Данное изобретение относится также к установке для извлечения золота и, возможно, серебра из золотосодержащего сырья, включающей:

(а) блок выщелачивания золота, предназначенный для проведения окислительного хлоридного выщелачивания золотосодержащего сырья в выщелачивающем растворе, содержащем ионы двухвалентной меди (Cu^{2+}), хлорида (Cl^-) и бромидов (Br^-), для растворения золота и, возможно, серебра;

(б) блок разделения на жидкую и твердую фазы, предназначенный для отделения раствора, содержащего золото и, возможно, серебро, от нерастворенного твердого материала;

(с1) блок извлечения золота, предназначенный для извлечения золота из раствора, содержащего золото и, возможно, серебро, поступающего из блока (б), с получением золотосодержащего органического раствора и обедненного по золоту выщелачивающего раствора;

(с2) возможно, блок экстракции серебра, предназначенный для извлечения серебра из обедненного по золоту выщелачивающего раствора;

(с3) блок выпаривания, предназначенный для выпаривания избыточной воды и, возможно, блок обработки стоков, для обработки жидкости, полученной из блока экстракции серебра; и

(d) блок рециркуляции, предназначенный для рециркуляции обедненного по золоту выщелачивающего раствора, содержащего Cu^{2+} , Cl^- и Br^- , в блок (а) выщелачивания.

В блоке выпаривания можно обрабатывать только часть раствора или весь раствор.

Блок разделения на жидкую и твердую фазы можно выбрать, например, из фильтра, отстойника для отделения твердого вещества от жидкости, испарителя или центрифуги.

Примеры

Нижеследующие примеры иллюстрируют данное изобретение, никоим образом его не ограничивая.

В нижеследующих примерах 1-3 были проведены тесты на выщелачивание с различными золотосодержащими концентратами, чтобы увидеть, возможно ли получить при хлоридном выщелачивании столь же высокую степень извлечения золота, как и при цианидном выщелачивании.

Пример 1.

Извлечение золота из сульфидного золотосодержащего концентрата.

Сульфидный золотосодержащий концентрат, используемый в качестве исходного материала, представлял собой легкообогащаемый концентрат. В этом концентрате большая часть золота присутствует в виде чистого металла, и его можно растворить цианидом непосредственно. Количество высвобождаемого золота в материале составляет 80,85%. Материал содержит также замкнутое в породе золото.

Химический состав сульфидного концентрата представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав сульфидного концентрата

	Сульфидный концентрат
Ag, млн. ч.	35,90
Au, млн. ч.	114,60
Cu, %	0,94
Fe, %	41,70
S, %	46,60
SiO ₂ , %	7,84

Условия проведения теста на хлоридно-бромидное выщелачивание представлены в табл. 2. Окислительно-восстановительный потенциал изменялся от 550 до 676 мВ Pt относительно Ag/AgCl.

Таблица 2

Условия проведения тестов на хлоридно-бромидное выщелачивание

	Конц. тв. в-ва г/л	T, °C	[Cl] _{ақ} , г/л	[NaBr] _{ақ} , г/л	[Cu] _{ақ} , г/л	pH	Конц. кислоты, г/л
Тест 1	400	98	225	100	100	1,7	-
Тест 2	200	98	225	100	100	-	10
Тест 3	200	98	225	100	50-100	-	10
Тест 4	200	98	225	10-100	100	-	10

Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Извлечение золота и серебра

	Au, %	Ag, %
Тест 1	76,4	87,1
Тест 2	83,9	97,4
Тест 3	78,4	96,5
Тест 4	74,4	94,0

Кроме того, в тесте 3 было исследовано влияние концентрации меди на растворение золота. В ходе теста концентрацию меди увеличивали ступенчато. Используемые концентрации меди составляли 50, 67, 83 и 100 г/л. Добавление меди проводили каждые 2 ч.

Концентрация меди влияла на растворение золота. Раствор с содержанием меди 50 г/л растворял часть золота через полчаса (фиг. 2). Более высокие концентрации меди увеличивали растворение золота.

Кроме того, в тесте 4 было исследовано влияние концентрации бромидов на растворение золота. Концентрацию бромидов натрия изменяли каждые два часа. Концентрация бромидов натрия влияла на растворение золота (фиг. 3). Кинетика растворения золота была быстрее при более высоких концентрациях бромидов.

Относительно хорошее извлечение золота (83,9%) было получено при хлоридно-бромидном выщелачивании. Кинетика была быстрой.

Пример 2.

Извлечение золота из золотосодержащей руды на основе силикатов.

Золотосодержащая руда на основе силикатов, используемая в качестве исходного материала, также была легкообогатимой рудой. Химический анализ руды представлен в табл. 4.

Таблица 4

Химический анализ используемой золотой руды

	Руда на основе силиката
Al, %	5,61
Au, %	5,054
Cu, %	0,025
Fe, %	0,851
SiO ₂ , %	51,3

Условия проведения теста с хлоридно-бромидным выщелачиванием представлены в табл. 5. Окислительно-восстановительный потенциал изменялся от 450 до 682 мВ Pt относительно Ag/AgCl.

Таблица 5

Условия проведения теста с хлоридно-бромидным выщелачиванием

	Конц. тв. в-ва г/л	T, °C	[Cl] _{ақ} , г/л	[NaBr] _{ақ} , г/л	[Cu] _{ақ} , г/л	pH	Конц. кислоты, г/л
Тест 1	200	98	225	100	100	1,7	-
Тест 2	400	98	225	100	100	1,7	-
Тест 3	400	98	133-197	100	0-75	1,7	-
Тест 4	400	98	225	1-60	100	1,7	-
Тест 5	400	98	26-125	15	50	1,7	-
Тест 6	400	90	150	8	15	-	10

Проведенный с целью сравнения тест с цианидным выщелачиванием выполняли в следующих условиях: концентрация твердого вещества 33 мас.%, pH 11, подача воздуха 500 мл/мин, концентрация NaCN 3 г/л и время выщелачивания 24 ч.

Результаты всех тестов представлены в табл. 6.

Таблица 6

Извлечение золота в тестах с хлоридно-бромидным выщелачиванием и в тесте с цианидным выщелачиванием

	Au, %
Тест 1	98,6
Тест 2	98,4
Тест 3	91,0
Тест 4	97,0
Тест 5	100,0
Тест 6	95,1
Цианид	98,0

Кроме того, на фиг. 4 представлена зависимость концентрации золота в растворе от времени выщелачивания.

В тесте 3 было также исследовано влияние концентрации меди. В ходе выщелачивания концентрация меди должна была быть столь высокой, чтобы окислительно-восстановительный потенциал составлял свыше 450 мВ Pt относительно Ag/AgCl. Во время проведения теста концентрацию меди увеличивали ступенчато, от 0 до 75 г/л. Используемые концентрации составляли 0, 1, 10, 30, 60 и 75 г/л. По видимому, 10 г/л меди было достаточно высокой концентрацией для растворения золота (фиг. 5). Необходимая концентрация меди зависит от минералогии сырья материала.

Кроме того, в тесте 4 (фиг. 6) было исследовано влияние концентрации бромида натрия на растворение золота. Используемые концентрации бромида натрия составляли 0, 1, 5, 10, 40 и 60 г/л.

Кроме того, было исследовано влияние концентрации хлорида на растворение золота (фиг. 7). При концентрации хлорида 100 г/л увеличивалось растворение золота. При концентрации хлорида 25 г/л растворялось некоторое количество золота, но большая часть золота оставалась в твердом состоянии. Выщелачивание золота требует достаточно высоких концентраций хлорида. Согласно тесту 5, подходящая концентрация хлорида для этого материала составляет по меньшей мере 125 г/л. Степень извлечения золота составляла 99,98%.

Результаты теста с цианидным выщелачиванием представлены на фиг. 8. Степень извлечения золота для используемой золотосодержащей руды на основе силиката составляла 98,0%.

В ходе проведения тестов по выщелачиванию было обнаружено, что минеральный состав материала, а также концентрации меди, бромида, хлорида и кислоты влияют на выщелачивание золота. Относительно хорошее извлечение золота (свыше 95%, табл. 6) было получено при хлоридно-бромидном выщелачивании. Кинетика при хлоридно-бромидном выщелачивании была быстрой. При цианидном выщелачивании время выдержки составляло 24 ч. Через 25 ч степень извлечения золота составляла 98%.

Хлоридное выщелачивание было возможным при низких концентрациях меди и бромида натрия. Необходимо, чтобы температура составляла по меньшей мере 90°C.

Пример 3 Извлечение золота из предварительно обработанного тугоплавкого золотосодержащего концентрата.

Химический состав используемого тугоплавкого золотосодержащего концентрата перед предварительной обработкой представлен в табл. 7. Золото в основном замкнуто в пирите.

Таблица 7

Химический состав используемого тугоплавкого концентрата	
	Испытываемый материал
Ag, млн. ч.	19,6
Au, млн. ч.	29,4
As, %	6,9
Cu, %	0,062
Fe, %	31,3
S, %	32,7
SiO ₂ , %	12,7

Условия проведения тестов по хлоридно-бромидному выщелачиванию представлены в табл. 8. Окислительно-восстановительный потенциал изменялся от 568 до 681 мВ Pt относительно Ag/AgCl. В тестах 1-2 материал предварительно обрабатывали окислением под давлением (ОКД). Обработку ОКД проводили в следующих условиях: концентрация твердого вещества составляла 150-300 г/л, температура составляла 210°C и избыточное давление кислорода составляло 0,6 МПа (6 бар) (общее давление составляло примерно 2,6 МПа (примерно 26 бар)). После обработки ОКД была проведена обработка термоотверждением. Температуру снижали до 90°C и сбрасывали избыточное давление (до атмосферного давления).

Таблица 8

Условия проведения тестов по хлоридно-бромидному выщелачиванию

	Конц. тв. в-ва г/л	T, °C	[Cl] _{aq} , г/л	[NaBr] _{aq} , г/л	[Cu] _{aq} , г/л	pH	Конц. кислоты, г/л
Тест 1	50	98	225	100	100	1,7	-
Тест 2	315	98	150	8-100	20	-	10

Результаты хлоридно-бромидного выщелачивания представлены в табл. 9.

Таблица 9

Извлечение золота и серебра при хлоридно-бромидном выщелачивании

	Au(тв), %	Ag(тв), %
Тест 1	99,5	-
Тест 2	99,7	97,3

При хлоридно-бромидном выщелачивании обработанного ОКД материала было получено относительно хорошее извлечение золота (свыше 99%) и серебра (примерно 97%). В тесте 2 (фиг. 9) также исследовали влияние концентрации бромида натрия. Концентрация бромида натрия не влияла на извлечение золота в диапазоне концентраций бромида натрия, используемом в данном случае. На фиг. 9 концентрация золота в растворе изменялась в широких пределах, в зависимости от концентрации твердого вещества и количества твердого вещества.

Пример 4.

Выщелачивание золота было промоделировано с использованием программного обеспечения HSC SIM 7.1 для легкообогащаемой руды, при подаче на хлоридно-бромидное выщелачивание 300 т/ч. Применяли параметры процесса, сходные с приведенными в данном описании примерами по изобретению.

Отличительной особенностью процессов извлечения золота, основанных на использовании хлорида, является то, что концентрацию хлорида/бромида поддерживают на высоком уровне. Это необходимо для того, чтобы поддерживать золото в растворе в стабильном состоянии.

Следовательно, чтобы извлечь и подать рециклом хлорид/бромид, следует удалять воду, для поддержания водного баланса. Высокую концентрацию хлоридов часто невозможно экологически безопасно сбрасывать в окружающую среду, но даже если это и было бы возможно, стоимость добавления подпиточного хлорида сделала бы этот процесс неэкономичным.

По этой причине выпаривание и водный баланс является существенной инновационной особенностью данного способа, что делает этот способ экономически эффективным и безопасным для окружающей среды.

Было замечено, что при загрузке 300 т/ч рудного сырья, в процессе, например, не имеющем стадии выпаривания, скапливалось 203 т/ч воды, и > 200 м³/ч раствора с высокими концентрациями хлорида и бромида следовало выводить из процесса в виде стоков. Это неприемлемо с точки зрения охраны окружающей среды. Стадия выпаривания (выпаривание 203 т/ч воды) позволяет рециркулировать и повторно использовать в процессе такие химические вещества, как Cl, Br, а также Cu. Тогда выделяется только чистая вода (пар), и ее можно использовать в процессе, если это необходимо.

Для специалиста очевидно, что по мере развития технологии изобретательский замысел можно дополнять различным образом. Изобретение и его воплощения не ограничены вышеописанными примерами, но могут изменяться в пределах объема формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения золотосодержащего раствора из золотосодержащего сырья, включающий:

(а) стадию выщелачивания золота, на которой золотосодержащее сырье подвергают окислительно-му хлоридному выщелачиванию в водном выщелачивающем растворе, в следующих условиях:

(i) водный выщелачивающий раствор содержит растворенные ионы двухвалентной меди (Cu²⁺), хлорида (Cl⁻) и бромида (Br⁻);

(ii) pH находится в диапазоне, в котором ион двухвалентной меди не выпадает в осадок;

(iii) окислительный потенциал составляет по меньшей мере 450 мВ Pt относительно Ag/AgCl, с получением золотосодержащего раствора;

(б) стадию разделения на жидкую и твердую фазы, на которой золотосодержащий раствор отделяют от нерастворенного твердого материала;

(в) стадию извлечения золота, на которой золото извлекают из золотосодержащего раствора со стадии (б) с получением золотосодержащего раствора и обедненного по золоту выщелачивающего раствора, содержащего Cu²⁺, Cl⁻ и Br⁻;

(в') стадию выпаривания, на которой обедненный по золоту раствор со стадии (в), содержащий Cu²⁺, Cl⁻ и Br⁻, выпаривают для удаления избыточной воды;

(д) стадию рециркуляции, на которой обедненный по золоту раствор, полученный со стадии выпаривания, содержащий Cu²⁺, Cl⁻ и Br⁻, возвращают на стадию (а) выщелачивания.

2. Способ по п.1, в котором золотосодержащее сырье выбирают из руд, концентратов, лома, вто-

ричного сырья, остатков после выщелачивания, отходов, таких как отходы флотации, и тугоплавких золотосодержащих материалов, подвергнутых предварительной обработке окислением под давлением, обжигом и/или бактериальным выщелачиванием.

3. Способ по п.1 или 2, в котором легкообогащаемые золотосодержащие руды/концентраты и предварительно обработанные тугоплавкие золотосодержащие концентраты используют в качестве сырья и их выбирают из сульфидных или оксидных материалов.

4. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором золотосодержащее сырье выбирают из тугоплавких золотосодержащих концентратов, которые предварительно обрабатывают способом, выбираемым из окисления под давлением, биологического выщелачивания и обжига, причем предпочтительным является окисление под давлением.

5. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором золотосодержащее сырье выбирают из тугоплавких золотосодержащих концентратов, обработанных окислением под давлением.

6. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором окислительное хлоридное выщелачивание проводят при атмосферном давлении.

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором окислительное хлоридное выщелачивание проводят при температуре по меньшей мере 50°C, обычно при температуре 88-100°C.

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором значение pH, при которой ион двухвалентной меди не выпадает в осадок, составляет менее 2,6, предпочтительно менее 2,2.

9. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором окислительное хлоридное выщелачивание проводят путем подачи источника окисления.

10. Способ по п.9, в котором источником окисления является подаваемый в раствор кислород, обогащенный кислородом воздух или воздух.

11. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором окислительный потенциал составляет 450-800 мВ Pt относительно Ag/AgCl, предпочтительно 450-700 мВ Pt относительно Ag/AgCl.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором концентрации Cu^{2+} , Cl^- и Br^- в выщелачивающем растворе составляют 10-110 г/л Cu^{2+} , 50-300 г/л Cl^- и 1-100 г/л Br^- (в расчете на NaBr).

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором выщелачивающий раствор дополнительно содержит кислоту, и концентрация кислоты в выщелачивающем растворе составляет 5-20 г/л HCl.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором стадию (с) извлечения золота проводят посредством жидкостной экстракции.

15. Способ по п.14, в котором экстрагент содержит сложный диэфир 2,2,4-триалкил-1,3-пентандиола, или 2-этилгексанол, или оба эти соединения.

16. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий стадию реэкстракции золота, на которой золото реэкстрагируют из золотосодержащего раствора, полученного на стадии (с), с получением водного золотосодержащего раствора.

17. Способ по любому из предшествующих пунктов, включающий дополнительную стадию извлечения золота, на которой золото извлекают из золотосодержащего раствора, полученного на стадии (с) п.1, или из водного золотосодержащего раствора по п.16.

18. Способ по п.17, в котором указанную дополнительную стадию извлечения золота осуществляют способом, выбираемым из восстановления шавелевой кислотой, аскорбиновой кислотой или глюкозой; адсорбции на активированном угле; цементации или прямого сжигания золотосодержащего органического реагента.

19. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором часть выщелачивающего раствора подают на стадию выпаривания или весь выщелачивающий раствор подают на стадию выпаривания.

20. Способ по п.19, в котором 5-99%, предпочтительно 20-70%, более предпочтительно 40-60% выщелачивающего раствора после стадии извлечения золота подают на стадию выпаривания.

21. Способ по любому из предшествующих пунктов, в котором золотосодержащий раствор дополнительно содержит серебро, и способ дополнительно включает стадию извлечения серебра, на которой серебро извлекают по меньшей мере из части обедненного по золоту выщелачивающего раствора, полученного со стадии (с) извлечения золота.

22. Способ по п.21, в котором стадия извлечения серебра включает способ, выбранный из жидкостной экстракции и осаждения.

23. Способ по п.22, в котором стадия извлечения серебра включает жидкостную экстракцию с использованием Суапех 471X (триизобутилфосфинсульфид), реэкстракцию водным раствором тиосульфатной соли и цементацию серебра из тиосульфатного раствора металлическим порошком.

24. Способ по п.22, в котором стадия извлечения серебра включает сульфидное осаждение.

25. Способ по п.21, в котором обедненный по золоту выщелачивающий раствор со стадии (с) после извлечения серебра возвращают на стадию (а) выщелачивания.

26. Установка для получения золотосодержащего раствора из золотосодержащего сырья для осуществления способов по пп.1-25, включающая:

(а) блок выщелачивания золота, предназначенный для проведения окислительного хлоридного выщелачивания золотосодержащего сырья в выщелачивающем растворе для растворения золота и серебра;

(b) блок разделения на жидкую и твердую фазы, предназначенный для отделения раствора, содержащего золото и серебро, от нерастворенного твердого материала;

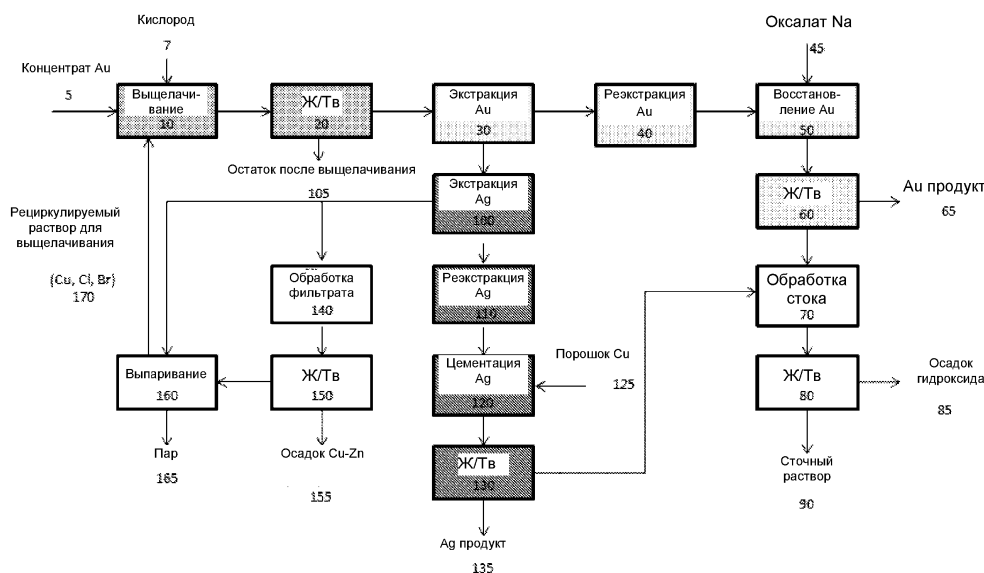
(с1) блок извлечения золота, предназначенный для извлечения золота из раствора, содержащего золото и серебро, поступающего из блока (b), с получением золотосодержащего органического раствора и обедненного по золоту выщелачивающего раствора;

(с2) блок выпаривания, предназначенный для выпаривания избыточной воды из всего раствора или его части.

27. Установка по п.26, дополнительно содержащая

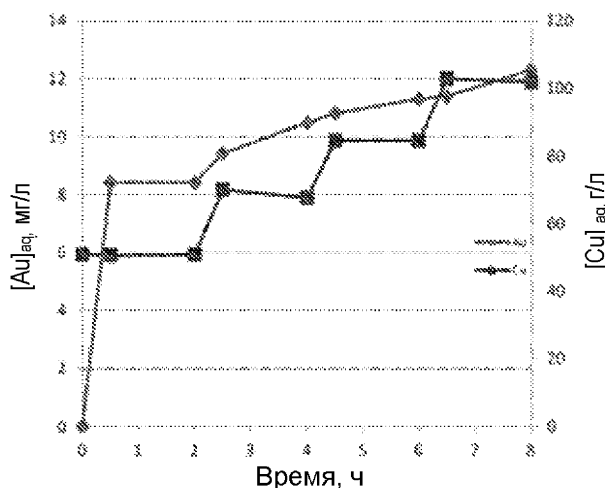
блок экстракции серебра, предназначенный для извлечения серебра из обедненного по золоту выщелачивающего раствора;

блок обработки стоков для обработки жидкости, полученной из блока экстракции серебра.



Фиг. 1

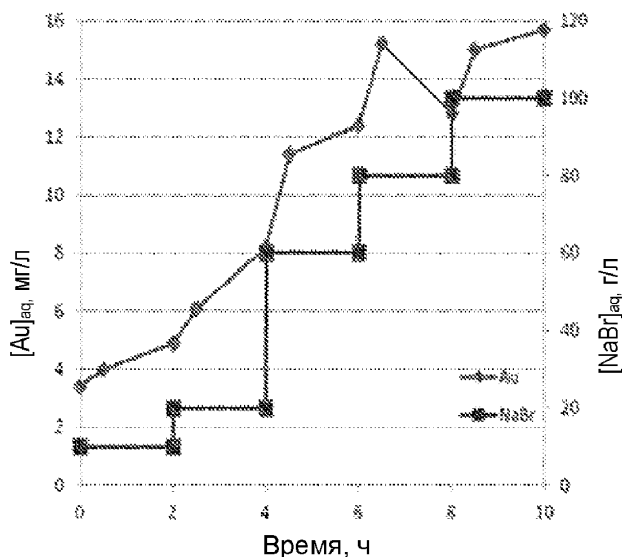
Зависимость концентрации золота в растворе от концентрации меди в тесте 3 примера 1



Фиг. 2

$[Cu]_{aq}=50-100$ г/л, $[NaBr]_{aq,0}=100$ г/л, $[CaCl_2]_{aq,0}=177$ г/л, концентрация кислоты >10 г/л (HCl), $T=98^{\circ}C$, подача кислорода 500-2000 мл/мин и концентрация твердого вещества 200 г/л

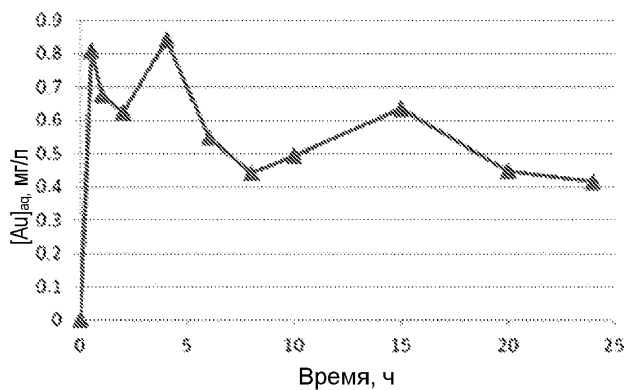
Зависимость концентрации золота в растворе от концентрации бромидов в тесте 4 примера 1



Фиг. 3

$[Cu]_{aq,0}=100$ г/л, $[NaBr]_{aq}=10-100$ г/л, $[CaCl_2]_{aq,0}=177$ г/л, концентрация кислоты >10 г/л (HCl), $T=98^{\circ}C$, подача кислорода 220 мл/мин и концентрация твердого вещества 200 г/л

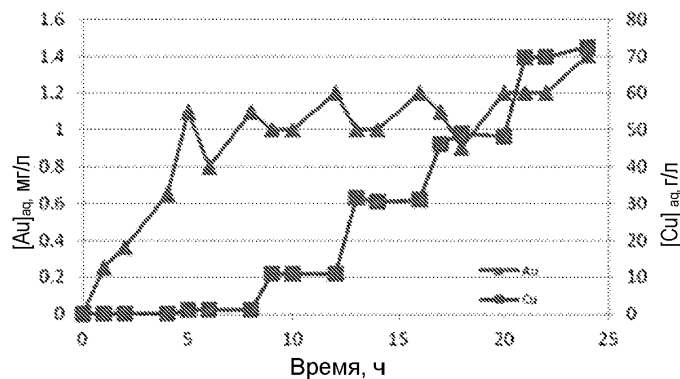
Зависимость концентрации золота в растворе от времени выщелачивания в тесте 1 примера 2



Фиг. 4

$[Cu]_{aq,0}=100$ г/л, $[NaBr]_{aq}=10-100$ г/л, $[CaCl_2]_{aq,0}=177$ г/л, pH 1,7, $T=98^{\circ}C$, подача кислорода 2 л/мин и концентрация твердого вещества 200 г/л

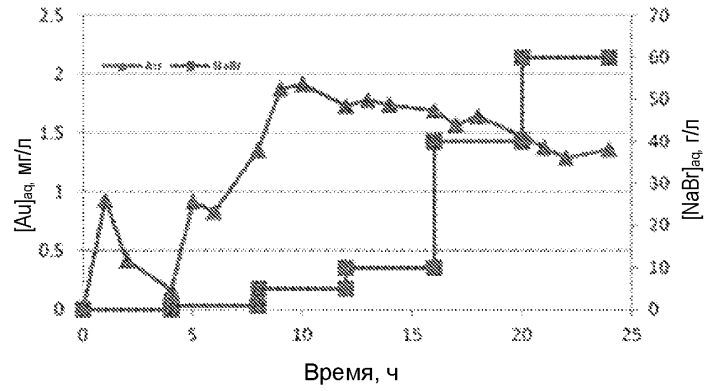
Зависимость концентрации золота в растворе от концентрации меди в тесте 3 примера 2



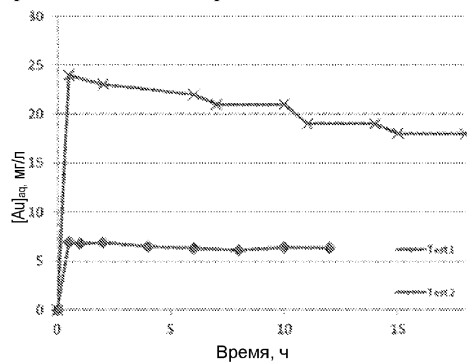
Фиг. 5

$[Cu]_{aq,0}=0-75$ г/л, $[NaBr]_{aq}=100$ г/л, $[CaCl_2]_{aq,0}=177$ г/л, pH 1,7, $T=98^{\circ}C$, подача кислорода 2 л/мин и концентрация твердого вещества 400 г/л

Зависимость концентрации золота в растворе от концентрации бромидов в тесте 4 примера 2

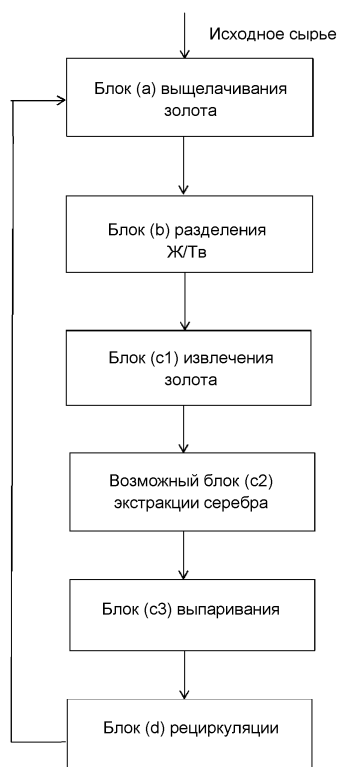


Зависимость концентрации золота от времени выщелачивания в тестах 1 и 2 примера 3



Фиг. 9

Тест 1: $[Cu^{2+}]_{aq,0}=100$ г/л, $[NaBr]_{aq,0}=00$ г/л, $[Cl^-]_{aq,0}=225$ г/л, $[твердое\ вещество]_0=50$ г/л, pH 1,7, $T=98^\circ C$, подача кислорода 1,5 л/мин, и материал после окисления под давлением по тесту 1. Тест 2: $[Cu^{2+}]_{aq,0}=20$ г/л, $[NaBr]_{aq,0}=8-100$ г/л, $[Cl^-]_{aq,0}=150$ г/л, $[твердое\ вещество]_0=315$ г/л, $[кислота]_{на}=10$ г/л, $T=98^\circ C$, подача кислорода 2 л/мин, и материал после окисления под давлением по тесту 1



Фиг. 10

