

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **047430**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.07.19

(21) Номер заявки
202193107

(22) Дата подачи заявки
2020.06.03

(51) Int. Cl. **C22B 3/12** (2006.01)
B01D 11/02 (2006.01)
C22B 3/42 (2006.01)
C22B 11/00 (2006.01)

**(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДРАГОЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАСТВОРОВ
ТИОСУЛЬФАТНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

(31) **62/856,545**

(32) **2019.06.03**

(33) **US**

(43) **2022.06.29**

(86) **PCT/IB2020/000430**

(87) **WO 2020/245652 2020.12.10**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
БАРРИК ГОЛД КОРПОРЕЙШН (СА)

(72) Изобретатель:
**Моррис Аллен Роберт, Кэрролл
Тайлер Уорнок (US)**

(74) Представитель:
Кольцов И.Л. (RU)

(56) CN-A-108546827

US-B2-9051625

WO-A2-0188212

US-B1-6344068

DONG, Z. et al. "Recovery of gold from pregnant thiosulfate solutions by the resin adsorption technique." *Metals* 7.12 (2017): 555.

FLEMING, C.A. et al. "Recent advances in the development of an alternative to the cyanidation process: Thiosulfate leaching and resin in pulp." *Mining, Metallurgy & Exploration* 20.1 (2003): 1-9.

(57) Настоящее изобретение относится к способу тиосульфатного выщелачивания материала, содержащего драгоценный металл, и извлечения драгоценного металла из обогащенного раствора выщелачивания с использованием смолы в качестве экстрагирующего агента. Драгоценный металл элюируют из загруженной смолы с опциональным использованием элюента, содержащего тритионат. Различные усовершенствования способа включают поддержание тиосульфатсодержащего выщелачивающего раствора по существу свободным от тиолов и аминов, поддержание концентрации сульфида в тиосульфатном выщелачивающем растворе не более чем около 100 млн⁻¹, направление обезметалленной смолы на повторное использование без ее контакта с сульфидом, бисульфидом и полисульфидом и/или поддержание концентрации тетратионатов, тритионатов, анионов сера-кислород и/или их сочетаний в пределах около 50% от уровня концентрации одного или нескольких из тетратионатов, тритионатов, сера-кислородных анионов, их сочетаний в содержащем драгоценный металл растворе до контакта с повторно используемой обезметалленной смолой.

047430
B1

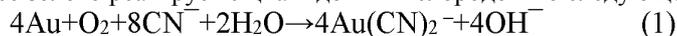
047430
B1

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к извлечению металлов посредством гидрометаллургического процесса, и, в частности, к извлечению металлов посредством процессов, содержащих стадии ионообменной адсорбции и элюирования.

Уровень техники

Обычно золото извлекают из руд с использованием известного процесса выщелачивания цианированием. В этом процессе золото реагирует с цианидом и кислородом по следующей реакции:



Затем, как правило, золото извлекают из раствора с использованием активированного угля в качестве адсорбента. Для адсорбции цианистого комплекса золота может также использоваться ионообменная смола, после чего осуществляют элюирование кислым раствором тиомочевины. Тиосульфатное выщелачивание является возможной экологически приемлемой альтернативой цианированию, и в этом процессе золото выщелачивается в виде тиосульфатного комплекса золота. Однако, этот комплекс плохо адсорбируется активированным углем, и поэтому предпочтительными могут быть анионообменные смолы. Другие металлы, такие как медь и ртуть, также адсорбируются на смолы одновременно с золотом.

Было показано, что процесс тиосульфатного выщелачивания является технически осуществимым для ряда руд различных видов. Например, Berezowsky et al., патент США № 4,070,182, раскрывает процесс выщелачивания золота из медьсодержащего сульфидного материала с использованием тиосульфата аммония. Kerley Jr., патенты США №№ 4,269,622 и 4,369,061, раскрывает использование растворов для выщелачивания тиосульфатом аммония, содержащих медь, для выщелачивания золота и серебра из руд, содержащих марганец. Perez et al., патент США № 4,654,078 раскрывают выщелачивание золота и серебра с помощью выщелачивателя, содержащего медь и тиосульфат аммония, для получения продуктивного раствора выщелачивания, из которого золото и серебро извлекаются путем осаждения меди из раствора. В этих процессах тиосульфат аммония является предпочтительным выщелачивателем, что приводит к образованию хвостов, содержащих аммиак/ионы аммония. Это вызывает озабоченность с экологической точки зрения. Поэтому предпочтительным является процесс выщелачивания с использованием несодержащих аммония источников тиосульфата, включая тиосульфат натрия и тиосульфат кальция.

После выщелачивания золото может быть загружено на смолу из пульпы или раствора, а затем золото извлекается из смолы посредством элюирования или десорбции. Золото может быть элюировано из смол с помощью элюентов, таких как тиоцианат, политионат или элюенты на основе нитратов. Однако для процесса элюирования требуются относительно концентрированные растворы. Например, в процессе нитратного элюирования предпочтительным является 2 М нитрат аммония, как раскрыто в заявке РСТ № WO 01/23626. Это относительно высокая концентрация нитрата, что приводит к очевидным финансовым последствиям для стадии элюирования и воздействию на окружающую среду при утилизации отработанных растворов нитрата аммония.

Известно, что растворами тиоцианата золото быстро извлекается (либо цианидные, либо тиосульфатные комплексы) из смолы. Однако, смолу необходимо регенерировать, прежде чем добавлять обратно в цикл смола-в-пульпе; иначе тиоцианат будет накапливаться в отработанной воде, что в конечном итоге приводит к экологическим проблемам и уменьшению загрузки золота. Кроме того, потеря тиоцианата может быть экономически неприемлемой. Регенерация в тиоцианатной системе также усложнена, так как тиоцианат удаляется с помощью сульфата железа с последующей регенерацией тиоцианата посредством добавления гидроксида натрия. Быстрое изменение pH на стадиях элюирования и регенерации вызывает осмотический шок в смоле, а это ведет к потере смолы в результате повреждения. Также необходимо множество химических реагентов на территории фабрики, которая может располагаться удаленно. Поэтому желательно, при условии соблюдения эффективности работы фабрики, сократить состав различных химических веществ, используемых при работе фабрики. Целью является использование меньше различных реагентов в меньшем количестве.

В системе с политионатным элюентом используется смесь тритионата и тетратионата. Поскольку эти соединения сильно адсорбируются на смоле, они могут использоваться для эффективного элюирования золота. Высокое сродство политионатов к смоле делает необходимой стадию регенерации. Регенерация осуществляется посредством обработки смолы сульфид-, бисульфид- или полисульфид-ионами для превращения политионатов в тиосульфат. Проблемой политионатного элюирования является стабильность тетратионатного раствора. В присутствии тиосульфата тетратионат подвергается реакции разложения с образованием тритионата и элементарной серы, а в присутствии серебра или меди разлагается с осаждением сульфидов меди или серебра. Тритионат разлагается с образованием сульфата, особенно, когда присутствует в высоких концентрациях. Такая реакция разложения приводит к потерям, которые повышают стоимость процесса.

В патентной заявке США 2011/0011216 показано, что добавление сульфит-ионов к различным элюентам позволяет проводить элюирование с низкими концентрациями реагентов. Как показано, смешанные тритионат/сульфитные системы особенно эффективны при элюировании золота из смолы.

Сущность изобретения

В настоящем изобретении предложены различные способы извлечения металлов из ионообменной смолы.

В одном из вариантов изобретения способ содержит стадии:

(а) выщелачивание содержащего драгоценный металл материала тиосульфатсодержащим выщелачивающим раствором с образованием раствора, содержащего драгоценный металл;

(b) загрузку драгоценного металла, растворенного в содержащем драгоценный металл растворе, на несодержащую драгоценный металл смолу с образованием нагруженной драгоценным металлом смолы и обезметалленного раствора;

(с) контактирование нагруженной драгоценным металлом смолы с элюентом драгоценного металла с образованием обогащенного драгоценным металлом элюента и обезметалленной смолы; и

(d) извлечение драгоценного металла из элюента драгоценного металла. В одном из вариантов способ содержит стадии:

(а) контактирование содержащего драгоценный металл тиосульфатного выщелачивающего раствора с несодержащей драгоценный металл ионообменной смолой с образованием нагруженной драгоценным металлом смолы и обезметалленного тиосульфатного выщелачивающего раствора, при этом концентрация сульфида в содержащем драгоценный металл тиосульфатном выщелачивающем растворе составляет не более чем около 100 млн^{-1} ;

(b) контактирование нагруженной драгоценным металлом смолы с несодержащим драгоценный металл элюентом с образованием обогащенного драгоценным металлом элюента и обезметалленной смолы; и

(с) извлечение драгоценного металла из обогащенного драгоценным металлом элюента с образованием несодержащего драгоценный металл элюента для его повторного использования на стадии (b).

В одном из вариантов способ содержит стадии:

(а) выщелачивание содержащего драгоценный металл материала тиосульфатсодержащим выщелачивающим раствором с образованием содержащего драгоценный металл раствора;

(b) загрузку драгоценного металла, растворенного в содержащем драгоценный металл растворе, на несодержащую драгоценный металл смолу с образованием нагруженной драгоценным металлом смолы и обезметалленного раствора, причем содержащий драгоценный металл раствор дополнительно содержит медь, которую загружают вместе с драгоценным металлом на нагружаемую драгоценным металлом смолу;

(с) контактирование нагруженной драгоценным металлом смолы с элюентом драгоценного металла с образованием обогащенного драгоценным металлом элюента и обезметалленной смолы, причем непосредственно перед стадией контактирования по меньшей мере около 5 мол.% металлов 11 группы (IUPAC), загруженных на нагруженную драгоценным металлом смолу, составляет медь, и более чем около 50 мол.% металлов 11 группы, загруженных на смолу, составляет золото; и

(d) извлечение драгоценного металла из элюента драгоценного металла. В одном из вариантов способ содержит стадии:

(а) выщелачивание содержащего драгоценный металл материала тиосульфатсодержащим выщелачивающим раствором с образованием содержащего драгоценный металл раствора, причем тиосульфатсодержащий выщелачивающий раствор по существу не содержит тиолов и аминов;

(b) загрузка драгоценного металла, растворенного в содержащем драгоценный металл растворе, на несодержащую драгоценный металл смолу с образованием нагруженной драгоценным металлом смолы и обезметалленного раствора;

(с) контактирование нагруженной драгоценным металлом смолы с элюентом драгоценного металла с образованием обогащенного драгоценным металлом элюента и обезметалленной смолы; и

(d) извлечение драгоценного металла из элюента драгоценного металла, причем обезметалленную смолу направляют для повторного использования на стадию загрузки, а концентрацию одного или нескольких из тетрационатов, тритионатов и/или анионов сера-кислород в содержащем драгоценный металл выщелачивающем растворе после контакта с повторно используемой обезметалленной смолой поддерживают в пределах около 50% от уровня концентрации одного или нескольких из тетрационатов, тритионатов и/или анионов сера-кислород в содержащем драгоценный металл растворе до контакта с повторно используемой обезметалленной смолой.

Содержащий драгоценный металл загружаемый материал может содержать по меньшей мере около 0,5 вес.% углеродного материала с природной сорбционной активностью и не более чем около 0,35 унций золота/т.

Несодержащий драгоценный металл элюент может содержать тритионат.

Элюирование золота из смолы может осуществляться без предварительного элюирования меди с поверхности смолы.

Несодержащий драгоценный металл элюент может содержать сульфит-ионы, которые могут присутствовать в концентрации по меньшей мере около 0,01 М. рН несодержащего драгоценный металл элюента может поддерживаться в пределах от около рН 4,5 до около рН 14. Концентрация тритионата в несодержащем драгоценный металл элюенте может быть по меньшей мере около 0,01 М.

Содержащий драгоценный металл тиосульфат может не содержать или по существу не содержать

жидкую или твердую фазу, возвращаемую для повторного использования из хвостов, полученных на стадии (а).

Способ может осуществляться без осаждения гипса из хвостов.

Обезметалленная смола может быть возвращена на стадию загрузки без контакта с сульфидом, бисульфидом и полисульфидом (или сульфид-анионом) и может содержать тетраионат в количестве по меньшей мере около 0,1 моль/л.

Концентрация тиосульфида в содержащем драгоценный металл тиосульфатном выщелачивающем растворе может быть не более чем около 10000 млн⁻¹. Содержащий драгоценный металл тиосульфатный выщелачивающий раствор может по существу не содержать добавленной меди.

Для выбранного объема обезметалленной смолы количество циклов загрузки-элюирования в пределах 24-часового периода может быть от около 1 до около 5.

Хотя способ описан в связи с выщелачиванием, он может также использоваться для ионного обмена с целью извлечения металла после других гидрометаллургических процессов.

Настоящее изобретение может обеспечить ряд преимуществ в зависимости от конкретной конфигурации. В частности, способ может использоваться для элюирования золота (и других драгоценных металлов). Он может применяться в качестве дополнения к любому процессу выщелачивания или к другим гидрометаллургическим процессам для извлечения таких металлов и включать процессы смола-в-пульпе или другие операции с использованием установок ионного обмена и/или другие выщелачиватели, отличные от тиосульфата или в дополнение к нему. Способ может особенно успешно применяться для извлечения выщелоченного металла после процесса тиосульфатного выщелачивания. Процесс извлечения металлов посредством ионного обмена может обеспечить высокую эффективность элюирования, но при этом не образуются отработанные растворы или смолы, содержащие нежелательные соединения, которые либо вызывают проблемы с их утилизацией, либо возвращаются обратно в процесс.

Эти и другие преимущества будут очевидны из описания аспектов, вариантов и конфигураций настоящего изобретения.

Выражения "по меньшей мере один", "один или несколько" и "и/или" являются неограниченными выражениями, которые при использовании являются как конъюнктивными, так и дизъюнктивными. Например, каждое из выражений "по меньшей мере один из А, В и С", "по меньшей мере один из А, В или С", "один или несколько из А, В и С", "один или несколько из А, В или С" и "А, В и/или С" означают только А, только В, только С, А и В вместе, А и С вместе, В и С вместе, или А, В и С вместе. Если каждый из А, В и С в вышеуказанных выражениях относится к элементу, такому как X, Y и Z, или классу элементов, такому как X₁-X_n, Y₁-Y_m и Z₁-Z_o, выражение будет относиться к единичному элементу, выбранному из X, Y и Z, комбинации элементов, выбранных из одного класса (например, X₁ и X₂), а также к комбинации элементов, выбранных из двух или более классов (например, Y₁ и Z_o).

Английские артикли "а" или "an" перед объектом относятся к одному или нескольким таким объектам. В связи с этим, артикли "а" (или "an") и термины "один или несколько" и "по меньшей мере один" могут в настоящей описании использоваться взаимозаменяемо. Также нужно отметить, что термины "содержащий", "включающий" и "имеющий" могут использоваться взаимозаменяемо.

"Адсорбция" представляет собой адгезию атомов, ионов, биомолекул или молекул газа, жидкости или растворенных твердых веществ к поверхности. Точная природа связи зависит от особенностей участвующих соединений, однако процесс адсорбции обычно классифицируется как физическая сорбция (характерная для слабых ван-дер-ваальсовых сил) или хемосорбция (характерная для ковалентной связи). Она также может происходить в результате электростатического притяжения.

"Ионообменная смола" означает смолу, которая способна при выбранных рабочих условиях обменивать ионы между двумя электролитами или между раствором электролита и комплексом.

"Пероксид" означает соединение, содержащее кислород-кислородную одиночную связь или пероксидный анион [O-O]²⁻. Группу O-O называют пероксидной группой или пероксогруппой.

"Сорбировать" означает поглощать жидкость или газ посредством сорбции.

"Десорбция" имеет значение, противоположное адсорбции.

Термин "средство", используемый в настоящем описании, должен иметь максимально широкое толкование в соответствии с разделом 35 Кодекса США, раздел 112(f) и/или раздел 112, параграф 6. Соответственно, пункт формулы изобретения, включающий термин "средство", охватывает все структуры, материалы или действия, изложенные в настоящем описании, и все их эквиваленты. Кроме того, структуры, материалы или действия и их эквиваленты включают все те, которые описаны в разделе сущность изобретения, перечне чертежей, подробном описании изобретения, реферате и формуле изобретения.

Если не указано иное, все уровни компонентов или составов относятся к активной части этого компонента или состава и не включают примеси, например, остаточные растворители или побочные продукты, которые могут присутствовать в коммерчески доступных источниках таких компонентов или составов.

Все процентные содержания и соотношения рассчитаны на общий вес состава, если не указано иное.

Следует понимать, что каждое максимальное количественное ограничение, указанное в настоящем изобретении, считается включающим каждое меньшее количественное ограничение в качестве альтерна-

тивы, как если бы такие меньшие количественные ограничения были явно указаны в настоящем изобретении. Полагается, что каждое минимальное количественное ограничение, указанное в настоящем изобретении, включает каждое большее количественное ограничение в качестве альтернативы, как если бы такие большие количественные ограничения были явно указаны в настоящем изобретении. Полагается, что каждый числовой диапазон, указанный в настоящем изобретении, включает каждый более узкий числовой диапазон, который находится в пределах такого более широкого числового диапазона, как если бы такие более узкие числовые диапазоны были все явно указаны в настоящем изобретении. В качестве примера, фраза "от около 2 до около 4" включает целое число и/или диапазоны целых чисел от около 2 до около 3, от около 3 до около 4, и каждый возможный диапазон, основанный на действительных (например, иррациональных и/или рациональных) числах, например, от около 2,1 до около 4,9, от около 2,1 до около 3,4 и так далее.

Вышеизложенное представляет собой упрощенное изложение сущности изобретения для обеспечения возможности понимания некоторых аспектов изобретения. Данное изложение сущности изобретения не является ни всесторонним, ни исчерпывающим обзором изобретения и его различных аспектов, вариантов и конфигураций. Оно предназначено не для определения ключевых или критических элементов изобретения и не для определения объема изобретения, а для представления отдельных концепций изобретения в упрощенной форме в качестве введения к более подробному описанию, представленному ниже. Следует иметь в виду, что возможны другие аспекты, варианты и конфигурации изобретения с использованием, отдельно или в сочетании, одного или нескольких признаков, изложенных выше или подробно описанных ниже.

Перечень чертежей

Приложенные чертежи включены в описание и являются его частью, чтобы проиллюстрировать некоторые примеры настоящего изобретения. Эти чертежи вместе с описанием объясняют принципы изобретения. Чертежи только иллюстрируют предпочтительные и альтернативные примеры того, как изобретение может быть реализовано и использовано, и не должны истолковываться как ограничивающие изобретение только проиллюстрированными и описанными примерами. Дополнительные признаки и преимущества станут очевидными из следующего более подробного описания различных аспектов, вариантов и конфигураций изобретения, как показано на чертежах, указанных ниже.

Фиг. 1 - схема тиосульфатного процесса смола-в-пульпе.

Фиг. 2 - график зависимости содержания золота в твердой фазе (унций/т) (вертикальная ось) от даты (горизонтальная ось) для эксперимента с использованием щелочной твердой фазы 1В.

Фиг. 3 - график зависимости содержания золота в твердой фазе (унций/т) (вертикальная ось) от даты (горизонтальная ось) для эксперимента с использованием кислой твердой фазы 1В.

Фиг. 4 - график зависимости содержания золота в твердой фазе (унций/т) (вертикальная ось) от даты (горизонтальная ось) для эксперимента с использованием кислой твердой фазы 0А.

Фиг. 5 - диаграмма, на которой показано содержание золота в хвостах (унций/т) (вертикальная ось) для сравнения экспериментальных, фабричных и лабораторных хвостов (горизонтальная ось).

Фиг. 6 - зависимость содержания три/тетратионатов на смоле (%) (вертикальная ось) от даты (горизонтальная ось) для эксперимента с использованием смолы 1В.

Фиг. 7 - зависимость содержания три/тетратионатов на смоле (%) (вертикальная ось) от даты (горизонтальная ось) для эксперимента с использованием смолы 0А.

Фиг. 8 - зависимость содержания три/тетратионатов на смоле (%) (вертикальная ось) от даты (горизонтальная ось) для эксперимента с использованием смолы 0А.

Фиг. 9 - кривая предварительного элюирования меди из анионообменной смолы посредством 0,5 М тиосульфата натрия с добавлением или без добавления пероксида водорода.

Фиг. 10 - кривая элюирования золота из анионообменной смолы посредством 0,2 М тритионата в смеси с 0,2 М сульфита натрия после предварительного элюирования меди посредством 0,5 М тиосульфата натрия с добавлением или без добавления пероксида водорода.

Подробное описание изобретения

Настоящее изобретение относится к тиосульфатному выщелачиванию материалов, содержащих драгоценный металл. Эти материалы могут быть любыми упорными или дважды упорными материалами, содержащими драгоценный металл, с природной сорбционной активностью. Материалы, содержащие драгоценный металл, включают руду, концентраты, хвосты, переработанные промышленные материалы, грунт, отходы и их смеси. Способ по настоящему изобретению особенно эффективен для извлечения драгоценных металлов, в частности золота, из упорных углистых материалов. Упорный или дважды упорный щелочной или кислый (например, сульфидный) материал, содержащий драгоценный металл (например, золото и/или серебро), обычно подвергается окислению под давлением, например в автоклаве, с образованием на выходе окисленной пульпы, которая содержит остаток, содержащий драгоценный металл. Было также показано, что тиосульфат эффективен для извлечения драгоценных металлов из таких предварительно обработанных упорных углистых руд с природной сорбционной активностью и сульфидных руд. В настоящем изобретении "материал с природной сорбционной активностью" является любым материалом, который взаимодействует (например, адсорбирует или связывает) с драгоценными

металлами после растворения с помощью выщелачивателя, влияя таким образом на извлечение металла, а "углистый материал" является любым материалом, который содержит одно или несколько углеродсодержащих веществ, таких как гуминовая кислота, графит, битумы и асфальтовые вещества. Драгоценные металлы могут сочетаться с недрагоценными металлами, такими как цветные металлы, например, медь, никель и кобальт.

В одном из вариантов исходный материал содержит по меньшей мере около 0,5 вес.%, чаще по меньшей мере около 1 вес.%, еще чаще по меньшей мере около 1,5 вес.%, но обычно не более чем около 7,5 вес.% и чаще не более чем около 5 вес.% всего углеродного материала.

В одном из вариантов содержание золота в исходном материале составляет по меньшей мере около 0,01 унций/т, и чаще по меньшей мере около 0,05 унций/т.

В предпочтительном варианте изобретения золото и другие драгоценные металлы в исходном материале извлекаются в раствор на оборудовании для извлечения металлов с помощью процесса тиосульфатного выщелачивания 100 с последующим ионным обменом для извлечения золото-тиосульфатного комплекса, присутствующего в обогащенном растворе выщелачивания или в содержащем драгоценный металл растворе со стадии выщелачивания, посредством процессов смола-в-пульпе (RIP) или смола-в-выщелачивании (RIL), как схематически показано на фиг. 1. Выщелачивание 100 обычно осуществляется способами кучного выщелачивания или выщелачивания в чанах. Хвосты 112 отправляются в резервуар 116 для хвостов, затем при необходимости в сгуститель 120 хвостов, а затем в хвостохранилище 124.

В одной конфигурации схемы выщелачивания золотосодержащий раствор на стадии выщелачивания 100 содержит тиосульфат в качестве выщелачивающего агента. Концентрация тиосульфата в растворе обычно находится в интервале от около 0,005 до около 5 М, чаще от около 0,01 до около 2,5 М, еще чаще от около 0,02 до около 2 М. В некоторых вариантах было обнаружено, что в выщелачивателе могут использоваться относительно низкие уровни концентрации тиосульфата без ущерба для извлечения золота. Концентрация тиосульфата в выщелачивателе обычно составляет не более чем около 10000 млн⁻¹, чаще не более чем около 8500 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 7500 млн⁻¹, еще чаще менее чем около 5000 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 3500 млн⁻¹, и даже еще чаще не более чем около 2500 млн⁻¹.

Следует иметь в виду, что в основанных на тиосульфате системах выщелачивания золота, как считается, медь каталитически окисляет золото. Во многих вариантах золотосодержащий раствор на стадии выщелачивания 100 поддерживается при концентрации меди в растворе выщелачивания в интервале от около 0,1 до около 100 млн⁻¹, чаще в интервале от около 0,1 до около 50 млн⁻¹, еще чаще в интервале от около 0,1 до около 25 млн⁻¹, еще чаще в интервале от около 0,1 до около 15 млн⁻¹, и еще чаще в интервале от около 0,1 до около 5 млн⁻¹. В некоторых вариантах было обнаружено, что нет необходимости добавлять медь на стадии выщелачивания 100, и, соответственно, что на стадии выщелачивания 100 добавленная медь может по существу или полностью отсутствовать. Медь, представленная в исходном материале, обычно присутствует на достаточно высоком уровне, чтобы обеспечить высокое извлечение золота при сохранении приемлемого уровня конверсии тиосульфата в политионаты.

Во многих вариантах золотосодержащий раствор или выщелачиватель на стадии выщелачивания 100 поддерживается при концентрации меди в растворе выщелачивания обычно не более чем около 100 млн⁻¹, чаще не более чем около 75 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 50 млн⁻¹, и еще чаще не более чем около 25 млн⁻¹, и обычно по меньшей мере около 0,1 млн⁻¹ и чаще по меньшей мере около 5 млн⁻¹, и имеет концентрацию золота обычно не более чем около 0,010 унций/тонна (унций/т), чаще не более чем около 0,0075 унций/т, еще чаще не более чем около 0,0050 унций/т, еще чаще не более чем около 0,0025 унций/т, и еще чаще не более чем около 0,001 унций/т.

На стадии ионного обмена (который, как правило, осуществляется на стадии выщелачивания 100) используется сильноосновная ионообменная смола 104 для адсорбции золото-тиосульфатного комплекса из золотосодержащего раствора с образованием нагруженной золотом смолы 108. Имеется множество коммерчески доступных сильноосновных ионообменных смол, которые имеют сродство к золоту и которые могут использоваться для процесса ионного обмена. Функциональной группой большинства сильноосновных смол является четвертичный аммоний R₄N⁺. Такой смолой в виде сульфата или хлорида является смола Purolite A500™, которая поставляется компанией The Purolite Company of Bala Cynwyd, Pennsylvania, и используется в предпочтительном варианте изобретения. Однако может использоваться любая другая анионообменная смола. Обычная емкость сильноосновных смол составляет от около 1 до около 1,3 экв/л, и с целью демонстрации некоторых аспектов способа ниже обсуждаются результаты, полученные при использовании смолы, имеющей емкость около 1,2 экв/л. Обычная концентрация смолы находится в интервале от около 5 до около 250 мл/л, чаще от около 10 до около 150 мл/л, еще чаще от около 15 до около 100 мл/л, и даже более часто от около 15 до около 75 мл/л. Следует иметь в виду, что такие смолы могут загружать из обогащенного раствора выщелачивания не только золото, но также медь. Обычно по меньшей мере около 2,5 мол.%, чаще по меньшей мере около 5 мол.%, еще чаще по меньшей мере около 10 мол.%, и даже еще чаще от около 15 до около 45 мол.% металлов группы IB (CAS) (или группы 11 (IUPAC)) Периодической таблицы элементов, загруженных на нагруженную смолу, составляет медь, а остальная часть в основном представляет собой золото, хотя небольшое количество может быть серебром.

После загрузки или адсорбции тиосульфатного комплекса на смолу 104 золото извлекают из нагруженной смолы 108 посредством элюирования, то есть десорбции. Упрощенная схема процесса элюирования показана на фиг. 1. В эту схему для простоты не включены какие-либо стадии промывки или осушения, поскольку они существенно не изменяют сущность системы элюирования.

Необязательная первая стадия представляет собой предварительное элюирование меди (стадия 128 на фиг. 1), которая осуществляется с использованием раствора 133 элюента меди, содержащего тиосульфат и опционально тритионат для предварительной подготовки смолы 140 (фиг. 1) для элюирования драгоценного металла. Основной целью этой стадии является удаление меди из смолы перед элюированием, и, следовательно, уменьшение количества меди, которая поступает в золотой продукт. Удивительно и неожиданно то, что во многих случаях предварительное элюирование меди было необязательным и не требовалось для получения приемлемых уровней извлечения золота. В других конфигурациях процесса это может быть осуществлено, чтобы избежать осложнений, вызванных присутствием меди в извлеченном золотом продукте.

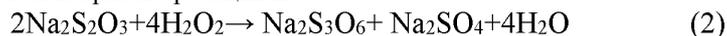
При осуществлении элюирования меди тиосульфат в растворе элюента меди может происходить из любого источника тиосульфата, такого как тиосульфат щелочного металла (например, тиосульфат натрия или калия), тиосульфат щелочноземельного металла (например, тиосульфат кальция) или тиосульфат аммония. Последний вариант не является предпочтительным, кроме случаев, когда в процессе выщелачивания также используется тиосульфат аммония. Концентрация тиосульфата в элюенте для предварительного элюирования меди и продукте 15 обычно находится в интервале от около 30 до около 200 г/л, а концентрация десорбированной меди в насыщенном медью элюенте находится в интервале от около 100 до около 1500 мг/л¹.

Концентрация тритионата, если он присутствует, в растворе 133 элюента меди обычно находится в интервале от около 0,01 до около 0,1 М. Тритионат может образовываться при контакте окислителя, обычно пероксида, с раствором 133 элюента меди, при этом тиосульфат преобразуется в тритионат в соответствии с уравнением (2) ниже. Продукт 136 предварительного элюирования меди может использоваться в качестве исходного потока тиосульфата для выщелачивания и, следовательно, может использоваться повторно. В одной из конфигураций процесса обезметалленный раствор 300 со стадии электрохимического выделения контактирует со смолой 140 для элюирования тиосульфата, который затем может быть повторно использован на стадии выщелачивания 100.

Как отмечено, в некоторых конфигурациях процесса предварительное элюирование меди не осуществляется. Было обнаружено, что медь, накопленная на поверхности насыщенной золотом смолы, не нужно удалять на стадии 128 элюирования меди до элюирования золота. Другими словами, медь может присутствовать на поверхности насыщенной золотом смолы на уровнях, превышающих уровни после стадии 128 элюирования меди. В таких вариантах обычно по меньшей мере около 2,5 мол.%, чаще по меньшей мере около 5 мол.%, еще чаще по меньшей мере около 10 мол.%, и даже еще чаще от около 15 до около 45 мол.% металлов группы IV (CAS) (или группы 11 (IUPAC)) Периодической таблицы элементов, загруженных на нагруженную смолу, составляет медь, а остальная часть (обычно более чем около 50 мол.% и чаще по меньшей мере около 60 мол.%) составляет золото, хотя небольшое количество (например, обычно меньше чем около 25 мол.%) может быть серебром.

Затем проводят элюирование драгоценного металла из смолы 144 с использованием смеси из тритионата и сульфит-иона в качестве элюента 148. Обычно концентрация тритионата в элюенте 148 драгоценного металла составляет по меньшей мере около 0,01 М, чаще по меньшей мере около 0,05 М, еще чаще находится в интервале от около 0,1 до около 5М, и даже еще чаще находится в интервале от около 0,2 до около 2 М. Концентрация сульфит-иона в элюенте 148 драгоценного металла обычно составляет по меньшей мере около 0,01 М, чаще по меньшей мере около 0,1 М, и даже еще чаще находится в интервале от около 0,1 до около 2 М. Концентрация растворенного золота в насыщенном золотом элюенте 152 обычно находится в интервале от около 100 до около 500 мг/л¹. pH элюента 148 драгоценного металла обычно поддерживается в интервале от около pH 4,5 до около pH 14.

Указанная смесь для элюирования образуется посредством смешивания пероксида в тритионатном реакторе с тиосульфатом натрия по реакции 2:



В этой реакции также выделяется тепло, поэтому в предпочтительном варианте технологической схемы для отвода тепла используют охлаждаемый реактор. Температура реакции предпочтительно находится в интервале от около 10°C до около 60°C. При более высоких температурах реакции становится заметной некоторая потеря тритионата. Для реакции с тиосульфатом, содержащимся в отработанном регенерируемом растворе 156 (реакция 2), пероксид добавляют в количестве между около 75% и около 110% от стехиометрического количества.

Одним из способов получения дополнительного тритионата является добавление дополнительного тиосульфата на стадии синтеза тритионата. При работе системы выщелачивания на основе тиосульфата аммония добавление тиосульфата аммония для синтеза тритионата является идеальным вариантом. Однако, если образование сульфата аммония в процессе является нежелательным, требуется другой подход.

Может использоваться тиосульфат натрия, но он является дорогим реагентом. В качестве альтернативы, тиосульфат натрия может быть получен из более дешевого исходного материала, содержащего тиосульфата кальция, посредством осаждения кальция. Осаждение кальция может осуществляться с использованием источника сульфата натрия и/или карбоната натрия.

После элюирования смола 104 почти полностью нагружена тритионатом. Из уровня техники опытному специалисту понятно, что тритионат снижает равновесную загрузку золота в цикле адсорбции, поэтому повторное использование смолы без регенерации (и, следовательно, полностью загруженной тритионатом) будет проблематичным. Неожиданно было обнаружено, что регенерацию смолы можно пропустить без ущерба для извлечения золота, так что смола, нагруженная тритионатом, может быть возвращена на стадию выщелачивания 100. Химическое равновесие на стадиях выщелачивания и элюирования позволяет загружать на смолу золото, а не тритионат на стадии выщелачивания 100 и (выгружать золото и) загружать тритионат, а не золото на стадии элюирования золота. Хотя стадии выщелачивания и элюирования золота обычно имеют одинаковые уровни pH, понятно, что равновесие зависит от концентрации тритионата. При более высоких уровнях тритионата (например, по меньшей мере около 25000 млн⁻¹ и чаще около 50000 млн⁻¹ тритионата) на стадии элюирования золота на смолу предпочтительно загружается тритионат, а не растворенное золото, а при более низких уровнях тритионата (не более чем около 5000 млн⁻¹, чаще не более чем около 2500 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 1000 млн⁻¹, и еще чаще не более чем около 500 млн⁻¹ тритионата) на стадии выщелачивания 100 на смолу предпочтительно загружается растворенное золото, а не тритионат.

Количество тритионата, загруженного на обезметалленную смолу, может меняться в зависимости от варианта. Для емкости смолы 1,2 экв/л максимальная загрузка тритионата, который имеет заряд 2⁻, составляет 0,6 моль/л смолы. После элюирования смолы, как правило, близка к насыщению тритионатом, что является условием, которое обычно требуется для обеспечения оптимального элюирования золота, то есть в таких вариантах требуется загрузка 0,6 моль тритионата на литр смолы. В большинстве вариантов обезметалленная смола после элюирования содержит обычно по меньшей мере около 0,1 моль/л тритионата, чаще по меньшей мере около 0,25 моль/л тритионата, и даже еще чаще от около 0,3 до около 0,6 моль/л тритионата.

Вне связи с какой-либо теорией считается, что извлечение золота на стадии выщелачивания 100 уменьшается из-за сульфид-ионов, переносимых шариками смолы 104, которая была возвращена на стадию выщелачивания 100. Рециркулируемые сульфид-ионы могут быть причиной осаждения растворенного золота в виде сульфида золота во время стадии выщелачивания 100, препятствуя таким образом его загрузке на поверхность смолы. Во избежание этих нежелательных последствий повторно используемая смола 104 и тиосульфатный выщелачиватель на стадии выщелачивания 100 обычно содержат сульфид-ионы в количестве не более чем около 100 млн. д., чаще не более чем около 75 млн. д., еще чаще не более чем около 50 млн. д., еще чаще не более чем около 25 млн. д., еще чаще не более чем около 10 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 5 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 1 млн⁻¹, еще чаще не более чем около 25 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 10 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 5 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 1 млрд⁻¹, и даже еще чаще не содержат сульфид-ионы.

Кроме того, было обнаружено, что количество выполненных циклов элюирования и регенерации часто обратно пропорционально извлечению золота, и что извлечение золота обратно пропорционально содержанию золота в исходном материале. Без связи с какой-либо теорией эти эффекты приводят к необходимости насколько возможно снизить частоту возвращения шариков смолы на стадию выщелачивания 100 со стадии элюирования золота. Дело в том, что считается, что поддержание оптимального извлечения золота требует поддержания постоянного термодинамического состояния среды на стадии выщелачивания 100. Возвращение шариков смолы на стадию выщелачивания 100 может нарушать или изменять термодинамическое состояние, уменьшая таким образом извлечение золота из-за присутствия на стадии выщелачивания абсорбируемых сильноосновными смолами нежелательных химических соединений, (таких как тетратионат, тритионат, анионы сера-кислород и тиосульфатные комплексы металлов, например, свинца, меди и цинка), образующихся на стадии элюирования золота или иным образом рециркулируемых с этой стадии. Эти соединения могут конкурировать с золотом за центры абсорбции на смоле. Количество циклов элюирования в течение 24-часового периода обычно находится в интервале приблизительно от 1 до 5, при этом предпочтительно меньшее количество циклов элюирования. Это может поддержать концентрацию нежелательных химических соединений на достаточно низких уровнях, чтобы они не сильно конкурировали с золотом за центры абсорбции на смоле. Иными словами, уровни концентрации каждого из нежелательных химических соединений на стадии выщелачивания 100 обычно поддерживаются в пределах около 50%, чаще в пределах около 25%, еще чаще в пределах около 20%, еще чаще в пределах около 15%, еще чаще в пределах около 10% и даже еще чаще в пределах около 5% от уровня концентрации, имеющегося до контакта повторно используемой смолы с раствором для выщелачивания. Поддержание по существу постоянного термодинамического состояния на стадии выщелачивания может позволить снизить время пребывания исходного материала на стадии выщелачивания без ущерба для извлечения золота. Обычно время пребывания исходного материала на стадии выщелачивания составляет не более чем около 15 ч, и чаще не более чем около 10 ч.

Золото может быть извлечено из полученного тритионатного раствора 152 несколькими способами, включая, помимо прочего, электрохимическое выделение 168, цементацию металлами, такими как медь или цинк, и осаждение сульфидсодержащими растворами. Каждый из этих способов продемонстрировал успешное извлечение золота до очень низких концентраций (извлечение золота >99%). В предпочтительном варианте использовались обычные электролитические ванны, а объединенная схема процессов элюирования/электрохимического выделения показана на фиг. 1. Обезметалленный раствор 300 со стадии электрохимического выделения может быть возвращен обратно на стадию 164 синтеза тритионата и/или добавлен после необязательной стадии предварительного элюирования меди. При добавлении обезметалленного раствора 300 со стадии электрохимического выделения к синтезу тритионата возвращается часть дополнительного тиосульфата, который удаляется из смолы во время элюирования золота. Альтернативно, при добавлении обезметалленного раствора 300 со стадии электрохимического выделения на стадию после предварительного элюирования, сульфит, присутствующий в этом потоке, реагирует с каким-либо адсорбированным на смоле тетратионатом, что является эффективной стадией обработки для обеспечения оптимальной эффективности элюирования золота. Такой же эффект достигается при возвращении обезметалленного раствора со стадии электрохимического выделения либо на стадию перед предварительным элюированием меди, либо при смешивании обезметалленного раствора со стадии электрохимического выделения с элюатом предварительного элюирования меди. Во всех этих вариантах тритионат возвращается назад в систему элюирования, а для поддержания водного баланса имеется дополнительный объем элюата предварительного элюирования меди, который в основном содержит медь, сульфат и тиосульфат, так как этот продукт образуется до проникновения тритионата и золота, как описано ниже.

Сходный принцип применяется для извлечения золота с использованием цементации и осаждения, при этом обезметалленный раствор возвращается назад в систему элюирования для извлечения тритионата.

Как можно видеть из фиг. 1, супернатант хвостохранилища 124 не возвращается в резервуар 182 для регенерации, так как неожиданно и с удивлением было обнаружено, что обработка супернатанта, например, с помощью обратного осмоса 172 и/или повторное использование полученного пермеата или жидкой фазы из резервуара 182 для регенерации может негативно повлиять на извлечение золота. Другими словами, резервуар для регенерации по существу не содержит (например, обычно содержит не более чем около 10 об.% и чаще содержит не более чем около 5 об.%) супернатанта из хвостохранилища 124.

Кроме того, ни пермеат, ни концентрат обратного осмоса 172 не возвращают для повторного использования при получении тиосульфатного выщелачивателя 176. Было обнаружено, что рециркуляция одного или обоих этих потоков может снизить извлечение золота на стадии выщелачивания 100. Без связи с какой-либо теорией считается, что тиолы и/или амины в рециркулированном(ых) потоке(ах) действуют как хелатирующие агенты золота или иным образом связывают растворенное золото, что препятствует улавливанию растворенного золота шариками смолы (особенно когда шарики смолы содержат четвертичный аммоний). По этой причине содержащий тиосульфат поток 180 обычно по существу не содержит (например, обычно содержит не более чем около 10 об.%, и чаще не более чем около 5 об.%) или совсем не содержит жидкую и/или растворенную твердую фазу из резервуара 182 для регенерации.

Для достижения более высокого извлечения золота тиосульфатный выщелачиватель 176 на стадии выщелачивания 100 обычно содержит аминов не более чем около 100 млн⁻¹, чаще не более чем около 180 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 100 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 75 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 50 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 25 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 10 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 5 млрд⁻¹, еще чаще не более чем около 1 млрд⁻¹, и даже еще чаще не содержит аминов (например, соединения или функциональной группы, которая содержит основной атом азота с неподеленной парой; амины обычно являются производными аммиака, в которых один или несколько атомов водорода заменены заместителем, таким как алкильная или арильная группа) и/или тиолов (например, органического соединения, содержащего группу -SH, т.е. серосодержащего аналога спирта).

Поскольку никакой жидкий или твердый компонент концентрата и опционально пермеата не возвращается для получения тиосульфатного выщелачивателя или не присутствует на стадии выщелачивания 100, то нет необходимости осажать гипс, и осаждение гипса не осуществляется. Другими словами, тиосульфатный выщелачиватель, используемый на стадии выщелачивания 100, не содержит жидких и твердых компонентов концентрата 174.

Экспериментальная часть

Следующие примеры представлены для иллюстрации некоторых аспектов, вариантов и конфигураций изобретения и не должны толковаться как ограничения изобретения, изложенного в приложенной формуле изобретения. Все доли и процентные соотношения указаны по весу, если не указано иное.

Пример 1.

Между фабричным и лабораторным извлечением, основанным на процессе по патенту США 9,051,625 наблюдалось расхождение 10-20%. Чтобы понять причину расхождения, были проведены тесты на выщелачивание различных образцов с использованием смолы-в-выщелачивании согласно способу по патенту США 9,051,625. Параметры тестов представлены в таблице ниже. Во всех тестах добавлялась

медь, концентрация которой составляла 20 млн^{-1} . Добавлялось приблизительно 30 м^3 смолы.

№ теста	Дата	Чан	Руда	Разбавление	Смола
1	29.11-09.12	1В	Щелочная	Пермеат	Обезметалленная/свежая
2	15.12-28.12	1В	Кислая	TS-слив	Обезметалленная
3	16.12-29.12	0А	Кислая	Пермеат	Обезметалленная

Суточный профиль твердой фазы и раствора для выщелачивания для каждого теста показан на чертежах. Во всех трех тестах кинетика выщелачивания была замедленной, и потребовалось больше недели, прежде чем профиль твердой фазы выровнялся. Нужно отметить, что температуры чанов снижались со скоростью $5^\circ\text{F}/\text{день}$ в результате охлаждения чанов. Кроме того, образцы раствора показывают отсутствие меди в растворе, несмотря на добавление меди в количестве, достаточном для достижения 20 млн^{-1} . В щелочном тесте 1В было добавлено еще 80 млн^{-1} меди, однако медь в растворе по-прежнему не была обнаружена.

Результаты тестов показаны на фиг. 2-4. Как показано на фиг. 2, растворимое золото в щелочном образце 1В оставалось низким ($<0,002$ унций/т), что можно объяснить использованием смеси из половины обезметалленной и половины свежей смолы. Как показано на фиг. 3-4, в других двух тестах содержание золота в растворе оставалось низким в начале теста, но возрастало, когда твердая фаза начинала существенно выщелачиваться. Золото в растворе оставалось на уровне $\sim 0,0008$ унций/т до конца теста, что согласуется с данными HARIL с использованием обезметалленной смолы.

Как показано на фиг. 5, извлечения при выщелачивании образцов сравнивались с соответствующими фабричными и лабораторными извлечениями, как показано ниже. Во всех тестах выщелачивание образцов значительно превосходит фабричное, однако все еще существует расхождение 5-10% извлечения по сравнению с лабораторным. Необходимо отметить, что в лабораторном тесте использовалась свежая смола. Однако данные образцов ликвидируют большую часть разрыва между фабричными и лабораторными данными.

Неожиданно полиитонат (например, тритионаты и тетратионаты) оставался относительно стабильным во время теста, как показано на фиг. 6-8. Концентрации полиитоната на смоле и в растворе в основном оставались без изменений, что контрастирует с данными прошлых лет, когда образование полиитоната было неконтролируемым сразу после перевода чана на автономный режим. Однако нет уверенности в том, что стабильности полиитонатов способствовало отсутствие солиобилизированной меди. Предполагается, что низкие концентрации полиитонатов способствовали низким потерям золота в растворе.

Во время тестирования образцов были сделаны дополнительные интересные наблюдения. В-первых, разница в извлечении между тестами на кислое выщелачивание 0А и 1В составила $\sim 7\%$, при этом единственным различием в рабочих параметрах было то, что для разбавления 0А использовался пермеат, а для разбавления 1В использовался слив тиосульфата и регенерированный тиосульфат. Это свидетельствует о том, что слив тиосульфата и/или регенерированный тиосульфат могут оказывать негативное влияние на извлечение.

Во-вторых, тест на выщелачивание кислого образца 0А проводился при 400 млн^{-1} тиосульфата. Небольшое количество слива тиосульфата и/или регенерированного тиосульфата было непреднамеренно введено в 0А. Тиосульфат кальция не был добавлен в 0А в результате перекрытия трубопроводов. Достигнутое извлечение $67,4\%$ указывает на то, что низкие концентрации тиосульфата все еще обеспечивают достаточное выщелачивание. Кроме того, при такой низкой концентрации устойчивость полиитоната осталась по существу неизменной.

Пример 2.

Альтернативный способ получения дополнительного тритионата заключается в использовании некоторого количества тиосульфата в исходном материале для необязательной стадии предварительного элюирования меди. Добавляя пероксид в этот поток, можно получить больший объем (например, 5 объемов слоя) тритионата более низкой концентрации. Это является преимуществом, так как тепло реакции поглощается большим объемом раствора, и, следовательно, не требуются дополнительные системы охлаждения или производительность охлаждения.

На фиг. 9 показана кривая предварительного элюирования меди для $0,5 \text{ М}$ раствора тиосульфата натрия в сравнении с раствором, в котором смешаны тиосульфат натрия и пероксид с образованием состава, содержащего $0,5 \text{ М}$ тиосульфат натрия + $0,05 \text{ М}$ тритионат натрия, в соответствии с реакцией 2. Присутствие тритионата в тиосульфатном элюенте для предварительного элюирования приводит к тому, что большее количество меди десорбируется со смолы во время предварительного элюирования меди. Это полезно для процесса элюирования золота, поскольку увеличение десорбции меди во время предварительного элюирования имеет результатом меньшее количество меди в конечном золотом продукте. Другим значительным преимуществом добавления пероксида в поток для предварительного элюирования меди является улучшение эффективности элюирования золота исходя из требуемого объема проскока. На фиг. 10 показана кривая элюирования золота, полученная для смеси $0,2 \text{ М}$ тритионат + $0,2 \text{ М}$ сульфит.

Смола, которая подвергалась предварительному элюированию в присутствии тритионата, элюируется раньше, чем другой образец смолы, при этом пик элюирования золота находится после 1,3 объема слоя раствора по сравнению с 2,6 объемами слоя раствора, соответственно. Кроме того, максимальная концентрация золота выше для смолы, которая подвергалась предварительному элюированию в присутствии тритионата. Это также является преимуществом, так как может быть получен более концентрированный продукт электрохимического выделения золота. В процессах, показанных на фиг. 9 и 10, загрузка на смолу всех веществ, включая медь и золото, была одинаковой.

Без связи с какой-либо теорией очевидно, что целью добавления пероксида на стадии предварительного элюирования является получения тритионата низкой концентрации, который не удаляет золото во время стадии предварительного элюирования меди, а кондиционирует смолу посредством адсорбции тритионата до стадии элюирования золота. Результатом является значительно большая эффективность во время стадии элюирования. Предпочтительно, добавка пероксида на стадии предварительного элюирования меди должна быть между около 0,1 и 0,2 молей пероксида водорода на литр смолы, подвергающейся элюированию, чтобы получить концентрацию тритионата в процессе предварительного элюирования, находящуюся в интервале от около 0,025 до около 0,5 моль/л смолы. Также были проведены тесты с использованием 5 объемов слоя элюента для предварительного элюирования меди, содержащего 0,025 М тритионата (то есть 0,5 моль пероксида на литр смолы), и также получены хорошие результаты. Должно быть ясно, что когда загруженная смола содержит полиитионаты в высокой концентрации, предпочтительной может быть меньшая степень кондиционирования, т.е. 0,1 моль пероксида на литр смолы. Однако если концентрация полиитионатов в нагруженной смоле очень низкая, может потребоваться большая степень кондиционирования. Таким образом, это надежный процесс, с помощью которого можно обрабатывать широкий диапазон используемых смол.

Для предварительного выщелачивания можно использовать различные источники тиосульфата, а поскольку продукт перерабатывается для повторного использования в выщелачивании, соль тиосульфата должна быть совместима с системой выщелачивания. При выборе выщелачивания тиосульфатом аммония предпочтительным реагентом для элюирования будет тиосульфат аммония. Однако для систем выщелачивания, не использующих аммоний, можно использовать альтернативные реагенты, такие как тиосульфат кальция. Однако, как обсуждалось выше, может потребоваться стадия удаления кальция. Например, в данном случае также может использоваться система, описанная в примере 2, в которой концентрат обратного осмоса объединяется с тиосульфатом кальция, после чего удаляется гипс. Предпочтительно, пероксид добавляют до удаления гипса, так как в результате реакции 2 образуется сульфат.

Может использоваться множество вариантов и модификаций изобретения. Можно осуществлять некоторые признаки изобретения, не осуществляя другие.

Настоящее изобретение в различных аспектах, вариантах и конфигурациях включает компоненты, способы, процессы, системы и/или устройства, в основном изображенные и описанные в настоящем описании, включая различные аспекты, варианты, конфигурации, субкомбинации и подгруппы настоящего изобретения. После ознакомления с настоящим изобретением специалисты в данной области поймут, как осуществить и использовать различные аспекты, варианты и конфигурации. Настоящее изобретение в различных аспектах, вариантах и конфигурациях включает обеспечение устройств и процессов, в которых отсутствуют элементы, не изображенные и/или не описанные в настоящем изобретении или в его различных аспектах, вариантах и конфигурациях, включая отсутствие таких элементов, которые могли быть использованы в предыдущих устройствах или процессах, например, для улучшения производительности, достижения простоты и/или снижения стоимости реализации.

Вышеизложенное обсуждение изобретения представлено с целью иллюстрации и описания. Вышеизложенное не ограничивает изобретение раскрытым в настоящем описании вариантом или вариантами. В вышеизложенном подробном описании, например, различные признаки изобретения сгруппированы вместе в одном или нескольких аспектах, вариантах и конфигурациях, чтобы упростить раскрытие изобретения. Признаки аспектов, вариантов и конфигураций изобретения могут быть скомбинированы в альтернативные аспекты, варианты и конфигурации, отличающиеся от рассмотренных выше. Данный способ раскрытия не следует рассматривать как отражение идеи о том, что заявленное изобретение требует больше признаков, чем прямо указано в каждом пункте формулы. Скорее, как отражено в нижеследующей формуле изобретения, изобретательские аспекты включают меньшее количество признаков, чем все признаки одного из раскрытых выше аспектов, вариантов и конфигураций. Соответственно, нижеизложенная формула изобретения включена в настоящее подробное описание, при этом каждый пункт формулы изобретения является самостоятельным предпочтительным вариантом изобретения.

Кроме того, хотя в описание изобретения включено описание одного или более аспектов, вариантов или конфигураций и некоторых вариаций и модификаций, другие вариации, комбинации и модификации находятся в пределах объема изобретения, например, как может быть понятно специалистам после ознакомления с настоящим изобретением. Предполагается получить права, которые включают альтернативные аспекты, варианты и конфигурации, в разрешенном объеме, включая альтернативные, взаимозаменяемые и/или эквивалентные заявленным структурам, функции, диапазоны или стадии, независимо от того, раскрыты ли такие альтернативные, взаимозаменяемые и/или эквивалентные структуры, функции,

диапазоны или стадии в настоящем описании, и без намерения публично раскрыть какой-либо патентоспособный объект изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения драгоценного металла из содержащего драгоценный металл материала, содержащий

(a) выщелачивание содержащего драгоценный металл материала тиосульфатсодержащим выщелачивающим раствором с образованием содержащего драгоценный металл тиосульфатсодержащего выщелачивающего раствора и хвостов, причем концентрация аминов в содержащем драгоценный металл тиосульфатном выщелачивающем растворе составляет не более чем около 100 млрд^{-1} ,

(b) контактирование содержащего драгоценный металл тиосульфатного выщелачивающего раствора с несодержащей драгоценный металл ионообменной смолой, содержащей соединение четвертичного аммония, с образованием нагруженной драгоценным металлом смолы и обезметалленного тиосульфатного выщелачивающего раствора;

(c) контактирование нагруженной драгоценным металлом смолы с несодержащим драгоценный металл элюентом, содержащим тритионат и сульфит-ион, с образованием обогащенного драгоценным металлом элюента и обезметалленной смолы;

(d) извлечение драгоценного металла из обогащенного драгоценным металлом элюента;

(e) выделение жидкой фракции из твердой фракции хвостов; и

(f) фильтрация жидкой фракции с получением пермеата и концентрата, содержащего амин, причем выщелачивание (a) осуществляют по существу без концентрата.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что драгоценный металл является золотом, концентрация сульфит-иона в несодержащем драгоценный металл элюенте составляет по меньшей мере около $0,01 \text{ M}$, pH несодержащего драгоценного металла элюента поддерживают в интервале от около pH 4,5 до около pH 14, а концентрация тритионата в несодержащем драгоценный металл элюенте составляет по меньшей мере около $0,01 \text{ M}$.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что тиосульфатсодержащий выщелачивающий раствор по существу не содержит тиолов, что содержащий драгоценный металл тиосульфатный выщелачивающий раствор не содержит жидкую или твердую фазу в хвостах, полученных на стадии контактирования (b).

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ не содержит осаждение гипса из хвостов.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что обезметалленную смолу направляют для повторного использования на стадию контактирования (b), не подвергая ее контакту с сульфидом, бисульфидом и полисульфидом.

6. Способ по п.5, отличающийся тем, что используемый повторно на стадии загрузки раствор обезметалленной смолы содержит по меньшей мере около $0,1 \text{ M}$ тетрагидрата.

7. Способ по п.5, отличающийся тем, что концентрацию одного или нескольких из тетрагидратов, тритионатов, анионов сера-кислород и их сочетаний в содержащем драгоценный металл растворе после контакта с повторно используемой обезметалленной смолой поддерживают в пределах около 50% от концентрации одного или нескольких из тетрагидратов, тритионатов, анионов сера-кислород и их сочетаний в содержащем драгоценный металл растворе до контакта с повторно используемой обезметалленной смолой.

8. Способ по п.5, отличающийся тем, что для выбранного объема обезметалленной смолы количество циклов загрузки и элюирования в пределах 24-часового периода составляет от около 1 до около 5.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что концентрация тиосульфата в содержащем драгоценный металл тиосульфатном выщелачивающем растворе составляет не более чем около 10000 млн^{-1} , драгоценный металл является золотом, содержащий драгоценный металл тиосульфатный выщелачивающий раствор получают в результате тиосульфатного выщелачивания содержащего драгоценный металл исходного материала, который содержит по меньшей мере около 0,5 вес.% углеродных материалов с природной сорбционной активностью и не более чем около 0,35 унций золота/т.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что содержащий драгоценный металл тиосульфатный выщелачивающий раствор содержит добавленную медь в концентрации не более чем 100 млн^{-1} .

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что содержащий драгоценный металл раствор дополнительно содержит медь, которую загружают вместе с драгоценным металлом на нагружаемую драгоценным металлом смолу, по меньшей мере около 5 мол.% металлов 11 группы (IUPAC), загруженных на смолу, составляет медь и более чем около 50 мол.% металлов 11 группы, загруженных на смолу, составляет золото.

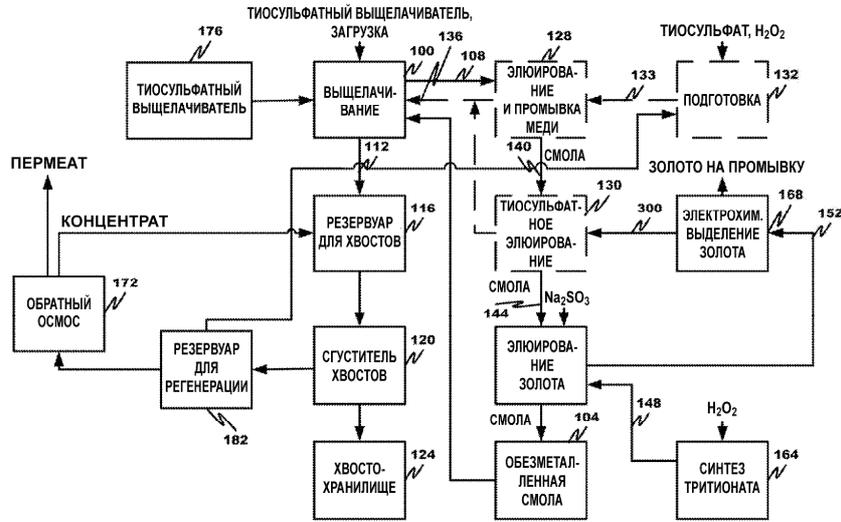
12. Способ по п.1, отличающийся тем, что на стадии (c) нагруженную драгоценным металлом смолу не подвергают предварительному элюированию.

13. Способ по п.1, отличающийся тем, что тиосульфатсодержащий выщелачивающий раствор по существу не содержит тиолов, полученных из тионатов, и содержит неаммонийные источники тиосульфата.

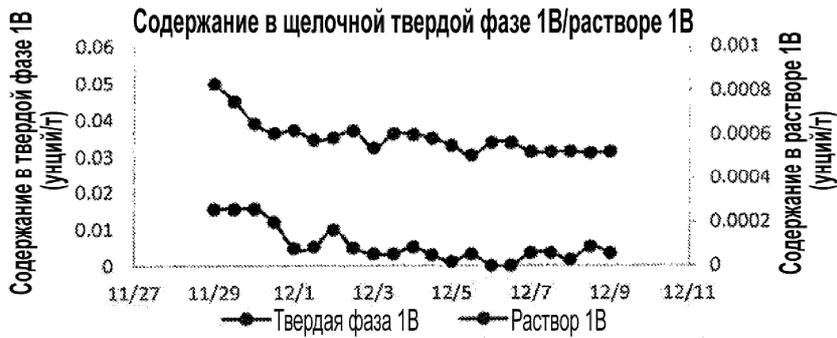
14. Способ по п.1, отличающийся тем, что концентрация сульфида в содержащем драгоценный ме-

талл тиосульфатном выщелачивающем растворе составляет не более чем около 100 млн^{-1} .

15. Способ по п.1, отличающийся тем, что по меньшей мере часть тиосульфатсодержащего выщелачивающего раствора направляют на повторное использование.



Фиг. 1



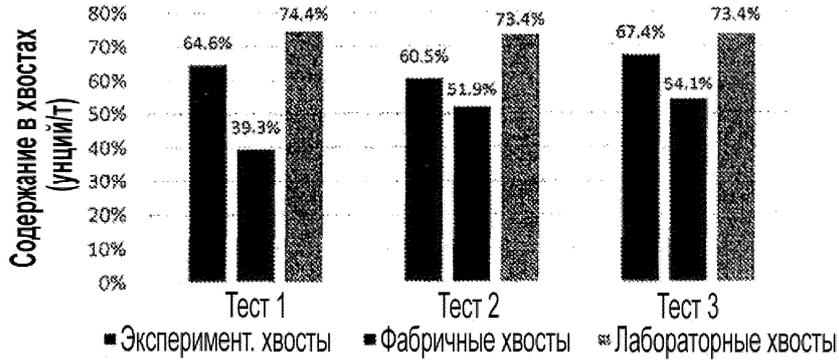
Фиг. 2



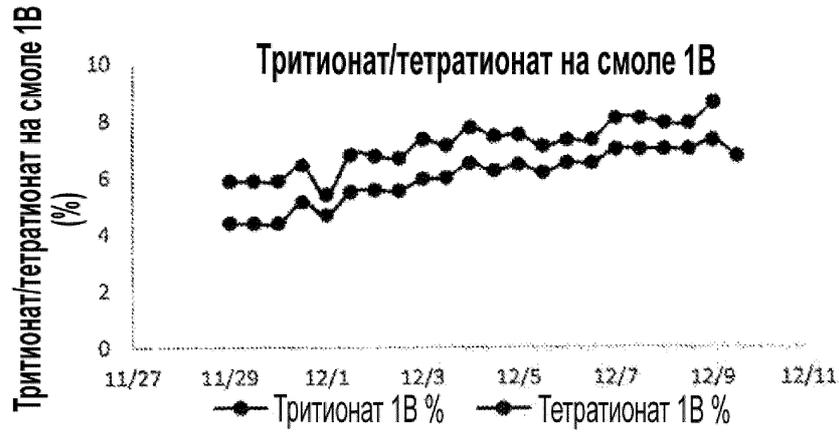
Фиг. 3



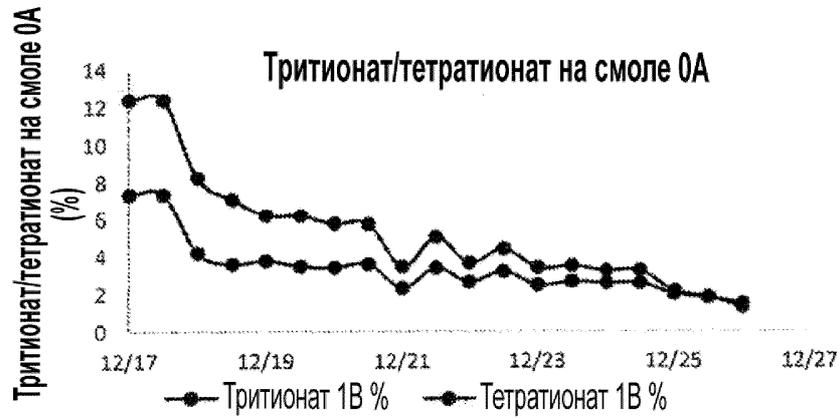
Фиг. 4



Фиг. 5



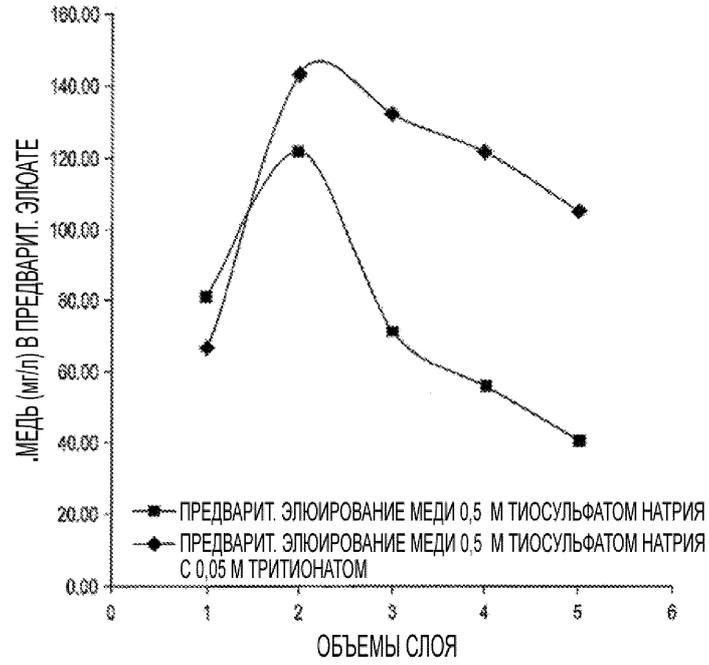
Фиг. 6



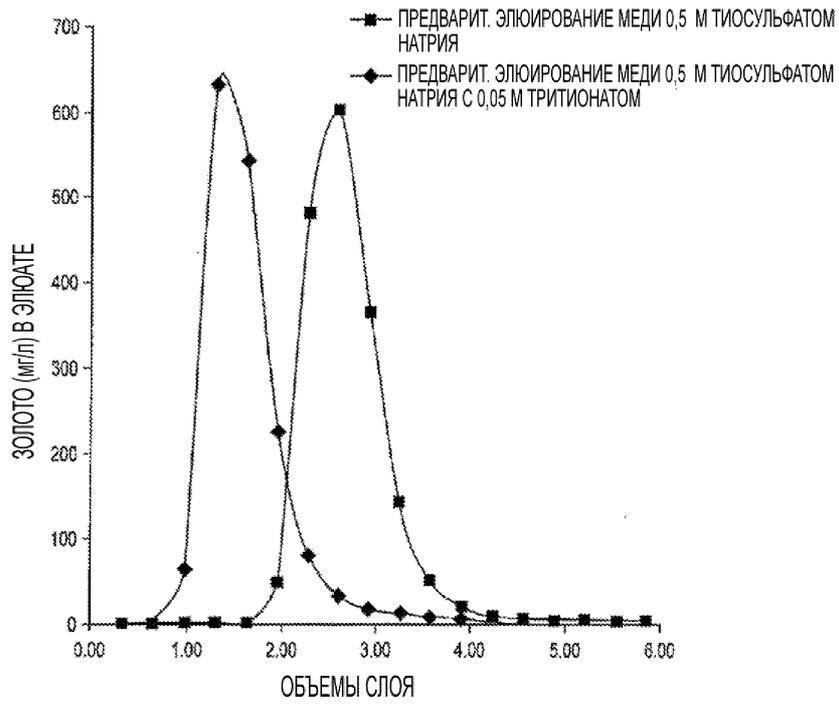
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

