

**(12) Описание изобретения**
К ПАТЕНТУ

1

2

(21) 97000464

(22) 14.11.95

(31) 346,404

(32) 29.11.94

(33) US

(46) 06.08.2001, Бюл.№2 (22)

(86) PCT/US 94/14892, 14.11.95

(72) Симмонс Гари Л. (US)

(71)(73) Санта Фе Пасифик Голд Корпорейшн (US)

(56) 1. Минеев Г.Г. и др. Растворители золота и серебра в гидрометаллургии. - М.: Metallurgia, 1994, с. 182-187.

2. SU 217640 A, 1969.

3. US 4571264 A, 1986.

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО
МАТЕРИАЛА, СОДЕРЖАЩЕГО БЛАГОРОДНЫЙ
МЕТАЛЛ

(57) Предложен способ обработки тугоплавких руд, содержащих благородный металл, особенно золотоносных руд, уменьшающий способность органического углерода препятствовать извлечению бла-

городного металла. Руда может также содержать сульфидные вещества, с которыми благородный металл взаимодействует, и от которых его трудно отделить. Руду размельчают (104) до размера, при котором, по крайней мере, 80 весовых % руды меньше 38 микрон. Измельченная руда затем суспендируется и подвергается окислению под давлением (108) в жестких условиях обработки. Температура обработки выше 190°C. В случае присутствия сульфидных минералов практически вся сульфидная сера должна быть вначале окислена, прежде чем будет получено существенное преимущество от обработки органического углерода. Должно быть окислено больше 96% сульфидной серы. Нейтрализация (114) протекает после окислительной обработки с получением суспензии для углеродпульпового цианирования (118), из которого далее извлекают благородный металл (128).

3

303

4

Изобретение относится к области цветной металлургии, в частности, к способам обработки минерального материала, содержащего благород-

ный металл, например, золотоносных руд, которые являются тугоплавкими для обычных процессов извлечения золота вследствие присутствия орга-

нического углерода и также, возможно, сульфидных минералов.

Известны обычные способы извлечения, благородных металлов из руд, такие как цианирование. Однако отдельные содержащие благородный металл руды, как например, многие золото- и сербросодержащие руды, являются тугоплавкими материалами для таких способов извлечения.

Причиной тугоплавкости руды может быть присутствие сульфидных минералов, с которыми благородный металл связывается и из которых его трудно выделить. Поэтому, обычно тугоплавкие сульфидные руды сначала обрабатывают путем разложения сульфидных минералов с тем, чтобы высвободить благородный металл для последующего извлечения.

Известен способ обработки тугоплавких сульфидных руд с целью окисления сульфидной серы в сульфидных минералах окислением руды под давлением при повышенных температурах и давлении в кислых условиях.

Однако, способ окисления в кислой среде под давлением, который используют для сульфидных тугоплавких руд, является неприемлемым в случае присутствия органического углерода по причине достаточного снижения обогащения.

Руда может быть тугоплавким также в случае, если руда содержит значительное количество органического углерода, который может адсорбировать благородный металл, конкурируя с процессом извлечения.

Известен один из способов, который используют для обработки тугоплавких руд, содержащих органический углерод, сущность которого заключается в том, что руду перед извлечением благородного металла подвергают хлорированной обработке, используя хлорсодержащее вещество.

Однако, хлорирование может быть очень дорогостоящим и не приемлемым, когда руда, к тому же содержит сульфидные минералы.

Известен способ, который используется для обработки руд, являющихся тугоплавкими, вследствие присутствия как сульфидных минералов, так и органического углерода, суть которого заключается в окислительном обжиге руды с целью практически полного окисления и органического углерода, и сульфидных минералов.

Однако, обжиг является дорогостоящим процессом, так как руда должна быть сухоизмельченной. К тому же, когда руда содержит мышьяк, значительное количество мышьяка испаряется во время обжига и в результате возникает существенная проблема, связанная с окружающей сре-

5

303

дой. Аналогичная проблема возникает также для ртути, если она присутствует в руде. К тому же сухие остатки или продукты обжига, часто содержат значительные количества токсичных веществ, как например, мышьяка в растворенном виде, что требует существенной дополнительной обработки для его безопасного удаления.

Целью изобретения является устранение вышеуказанных недостатков и предложение относительно простых и недорогих способов обработки

руд, содержащих благородные металлы, и являющихся тугоплавкими, вследствие присутствия органического углерода и, особенно, вследствие присутствия сульфидных минералов, взаимодействующих с благородными металлами, путем уменьшения обогатительной (адсорбирующей) способности органического углерода и позволяющих, тем самым, достичь высокого извлечения благородного металла, в частности, особенно пригодных для обработки цельных золотоносных руд, и дающих возможность последующему извлечению золота.

Поставленная цель достигается применением способа обработки минерального материала, содержащего благородный металл, включающего стадию обеспечения исходной суспензии из частиц минерального материала, суспендированных в водном растворе, и стадию окислительной обработки минерального материала путем воздействия на исходную суспензию окислительной среды с получением окислительной суспензии, где минеральный материал, измельченной до очень мелкодисперсного состояния, содержит благородный металл из группы золота, серебра или их комбинаций, а также сульфидные вещества, содержащие сульфидную серу, и органический углерод, препятствующий извлечению благородного металла, в котором при воздействии на исходную суспензию окислительной среды, практически вся сульфидная сера в исходной суспензии окисляется, в результате чего благородный металл высвобождается от связывания сульфидной серой и уменьшается способность органического углерода препятствовать извлечению благородного металла.

Размельчение до очень мелкого дисперсного состояния производят так, чтобы по крайней мере, 80 весовых % частиц минерального материала в исходной (загруженной) суспензии составляли по размеру меньше 38 микрон, что облегчает окисление под давлением, уменьшая способность органического углерода препятствовать возможному извлечению благородного металла из руды. В дополнении к очень мелкодисперсной величине частиц минерального материала, процесс окисления под давлением проводят при высокой температуре, выше 190°C. В предпочтительном варианте минеральный материал размельчен до размера, где, по крайней мере, 80 весовых % частиц этого минерального материала меньше 30 микрон, и более предпочтительным является размер частиц менее 20 микрон. Предпочтительная температура окислительной обработки под давлением выше 200°C. Особенно хорошие результаты достигаются

6

при температурах обработки выше 210°C, и особенно, когда температура обработки выше 220°C до 260°C.

Высокие извлечения благородного металла могут быть достигнуты для минеральных материалов, содержащих значительное количество органического углерода, используя до извлечения благородного металла, окислительную обработку под давлением, не окисляя при этом весь органический углерод. Поэтому органический углерод,

который остается неокисленным после окисления под давлением, пассивируется во время этого процесса, снижая активность органического углерода как адсорбента благородного металла.

Применение способа дает хорошие результаты, если минеральный материал содержит более 0,3 весовых %, а еще лучше более 0,4 весовых % и особенно хорошие, если более 0,6 весовых % органического углерода. При этом окислительная обработка минерального материала производится под давлением окисляя менее 60 весовых %, а еще лучше от 10 весовых % до 40 весовых % содержащего органического углерода.

Повышенная эффективность способа отмечается при содержании минерального материала более 2 весовых %, лучшая при 4 весовых % сульфидной серы, при этом желательно в жидкости окисленной суспензии содержание более 10 г/л, а еще лучше более 15 г/л свободной кислоты и предпочтительно, чтобы свободная кислота содержала свободную серную кислоту.

Однако, при этом, по крайней мере, 96% сульфидной серы должно быть окислено для того, чтобы эффективно обработать органический углерод, и тем самым, значительно уменьшить способность органического углерода обогащаться (адсорбировать) благородным металлом во время последующих процессов его извлечения. Поэтому повышенные извлечения благородного металла, которые могут быть достигнуты в соответствии со способом настоящего изобретения, являются следствием обработки органического углерода в дополнении к той обработке, которая необходима для высвобождения практически всего благородного металла из сульфидных минералов.

После окисления под давлением окисленная суспензия должна иметь очень низкий pH, предпочтительно ниже pH 1,5, чтобы гарантировать надлежащую обработку органического углерода. Когда минеральный материал содержит достаточное количество сульфидной серы для получения требуемого уровня кислоты при окислении под давлением, тогда предварительная обработка серной кислотой до этого процесса окисления под давлением не требуется. Если обрабатывается минеральный материал, как, например, карбонатсодержащая руда, которая не содержит достаточного количества сульфидной серы для получения требуемой кислоты, тогда минеральный материал может смешиваться с другим минеральным материалом, который содержит достаточное количество сульфидной серы, чтобы получить требуемую кислоту, включая компенсацию кислоты, которая может быть израсходована на карбонатные материалы.

7

Способ дополнительно включает выделение благородного металла (золота) из окисленной суспензии и получение металлического продукта, содержащего благородный металл, причем выделение благородного металла из окисленной суспензии включает связывание благородного металла с цианидом с образованием комплекса благородного металла с цианидом.

Предлагаемый способ эффективен и для случая, когда органический углерод имеет сродство как адсорбент, по крайней мере, к одному благородному металлу, соли благородного металла и комплексу благородного металла с лигандом, сродство которого способно препятствовать извлечению благородного металла; и во время воздействия это сродство органического углерода уменьшается. Вслед за окислительной обработкой минерального материала благородный металл взаимодействует с лигандом с образованием комплекса этого благородного металла с лигандом, и благородный металл затем выделяют из комплекса и получают твердый металлический продукт, содержащий благородный металл.

При реализации способа окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию кислорода при повышенном давлении, причем хороший результат имеет место когда окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 200°C, общем давлении более 17,6 кг/см², и избыточном давлении кислорода более 1,8 кг/см², в особенности хороший результат когда окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 220°C, общем давлении более 26,7 кг/см², и избыточном давлении кислорода более 3,5 кг/см².

Способ реализуем когда обеспечение исходной суспензии включает размельчение грубого минерального материала с получением частиц данного минерального материала и даже когда минеральный материал включает цельную руду.

К положительным особенностям способа можно отнести, то что способ проводят практически в отсутствии добавленного хлорсодержащего вещества и что в данном способе, по существу, не используется обжиг минерального материала, а также кратковременность течения периода использования способа, так как при окислительной обработке исходная суспензия подвергается обработке окислительной среды в течение периода времени от 20 до 120 минут, и что исходная суспензия практически не содержит кислоты, добавленной до окисления под давлением.

Изобретение поясняется чертежами:

Рис. 1 представляет собой схему процесса для одного варианта настоящего изобретения

Рис. 2 представляет собой график экстракции золота в процентах в зависимости от величины измельчения для некоторых видов руд из Twin Creeks Mine.

Рис. 3 представляет собой график экстракции

8

золота в зависимости от величины измельчения для других видов руд из Twin Creeks Mine.

Рис. 4 представляет собой график окисления сульфидной серы, окисления органического углерода и экстракции золота в зависимости от величины измельчения для образца смешанной (комбинированной) руды из Twin Creeks Mine.

Рис. 5 представляет собой график окисления сульфидной серы, окисления органического углерода и экстракции золота в зависимости от температуры для образца смешанной (композитной) руды из Twin Creeks Mine.

Рис. 6 представляет собой график окисления сульфидной серы, окисления органического углерода и экстракции золота в зависимости от концентрации свободной кислоты в окисленной суспензии для смешанной (композитной) руды из Twin Creeks Mine.

Рис. 7 представляет собой диаграмму, показывающую обогатительную (адсорбирующую) способность образца руды из Twin Creeks Mine, по мере протекания окисления под давлением.

Рис. 8 представляет собой диаграмму, показывающую обогатительную (адсорбирующую) способность другого образца руды из Twin Creeks Mine, по мере протекания окисления под давлением.

Подробное описание

Настоящее изобретение предлагает способ обработки содержащего благородный металл минерального сырья, которое является тугоплавким материалом вследствие присутствия органического углерода, который может конкурировать за адсорбцию благородного металла и может, тем самым, уменьшать извлечение благородного металла во время процессов его добычи. Очень мелкозернистые частицы минерального материала, содержащего благородный металл, окисляются под давлением в жестких условиях окислительного процесса под давлением. Было найдено, что требуются как очень мелкодисперсные частицы, так и очень высокая температура при окислении под давлением, чтобы надлежащим образом обработать минеральный материал, способствуя при этом высокому извлечению благородного металла.

Благородный металл, используемый в изобретении, относится к золоту и/или серебру. Способ, описанный в настоящем изобретении, особенно предпочтителен для использования в случае золотоносных минеральных материалов.

Минеральный материал, используемый в этом изобретении, включает цельную руду, рудные концентраты, отходы обогащения и остатки от предыдущих процессов добычи и измельчения. Настоящее изобретение особенно пригодно для обработки цельных руд; так как обогатительная (адсорбирующая) способность этих руд может быть надлежащим образом уменьшена без изменения при этом затрат на получение рудного концентрата. Кроме того, было найдено, что при получении рудного концентрата с помощью флотации цельной руды, содержащей значительное количество органического углерода, очень трудно предотвратить концентрирование этого органического углерода в рудном концентрате. Кроме того, при получении рудного концентрата имеются, по крайней мере, некоторые потери благородного металла, которые не учитываются при получении данного рудного концентрата. Однако, проблемы, связанные с рудными концентратами, можно избежать при обработке цельной руды в соответ-

ствии со способом, предложенным в настоящем изобретении.

Органический углерод, который может быть обработан в соответствии с настоящим изобретением, включает любое углеродсодержащее органическое вещество, которое обладает свойством к благородному металлу, соли благородного металла, и/или комплексу благородного металла с лигандом, так, что органический углерод является активным в качестве адсорбента, который может обогащаться (адсорбировать) благородным металлом во время извлечения. Например, во время извлечения благородного металла цианированием органический углерод может действовать в качестве адсорбента для золотоцианидного комплекса и может, поэтому, конкурировать за золото с процессом извлечения, тем самым, уменьшая извлечение золота.

Минеральные материалы, которые могут быть обработаны в соответствии с настоящим изобретением, могут включать, в дополнение к органическому углероду, сульфидные минералы, с которыми благородный металл может непосредственно связываться и из которых благородный металл можно выделить с трудом. В соответствии со способом, предложенным в настоящем изобретении, было найдено, что окисление под давлением может быть с успехом использовано для высвобождения или выделения благородного металла из сульфидных минералов и также для окисления и/или пассивирования органического углерода с тем, чтобы активность органического углерода в качестве адсорбента уменьшалась бы до уровня, который способствовал бы высокому выделению благородного металла. Однако, было найдено, что практически вся присутствующая в минеральном материале сульфидная сера должна быть окислена, прежде чем будет достигнуто существенное преимущество из обработки органического углерода. Неожиданно, что, по крайней мере, 96% сульфидной серы должно быть окислено, прежде чем реализуется существенное преимущество из обработки органического углерода. Поэтому, в соответствии с настоящим изобретением, требуются жесткие условия обработки окислением под давлением.

Поразительные открытия, приведшие к способу, описанному в настоящем изобретении, были сделаны во время исследования, относящегося к возможным процессам обработки золотоносных тугоплавких руд из Twin Creeks Mine в Неваде, которыми владеет Santa Fe Pacific Gold Corporation. Twin Creeks Mine содержит несколько различных видов руд, изменяющихся минералогий. Некоторые типы руд включают очень высокие уровни органического углерода, иногда свыше 1 весового %, которые будут обогащаться, по существу, всем имеющимся золотом во время обычных процессов извлечения цианированием. Все виды руд, содержащие высокий органический углерод, также являются тугоплавкими материалами вследствие присутствия сульфидных минералов, с которыми золото взаимодействует.

Опыты проводились на тугоплавких рудах из Twirl Creesk Mine, чтобы определить возможные обработки, которые бы могли обеспечить удовлетворительное извлечение золота. Тугоплавкие руды содержат значительные количества как органического углерода, так и сульфидных минералов. Предпринимают первичную обработку, включая окисление цельной руды под давлением в необычайно жестких рабочих условиях. Руда измельчается до величины, где 80% частиц имели размер 74 микрона или меньше ($P_{80} = 74$ микрон). Руда затем окислялась под давлением в сильноокислых условиях при температуре 225°C и давлении 460 фунт/дюйм² (3172 кПа), при избыточном давлении кислорода 100 фунт/дюйм² (690 кПа) в течение двух часов в перемешиваемом автоклаве серийного производства. Практически вся сульфидная сера окислялась (97%), тем самым, гарантируя, по существу, полное высвобождение золота из сульфидных минералов. Однако, степени извлечения золота при использовании цианированной обработки вслед за окислением под давлением все еще были очень низкими, показывая, что окислительная обработка под давлением не уменьшала в достаточной степени обогатительную (адсорбирующую) способность органического углерода.

После первой неудачи при окислении под давлением, проверялся целый ряд других способов. Проверялось хлорирование, но оно оказалось неэффективным для окисления сульфидной серы. Значительные улучшения в извлечениях золота достигались при использовании метода окислительного обжига, который оказался эффективным для окисления практически всей сульфидной серы и органического углерода. Извлечения золота цианированием вслед за окислительным обжигом составляли от 50% до 90%. Хотя обеспечивалось значительное улучшение в извлечениях золота, однако, обжиг вызывал некоторые проблемы. Вначале мышьяк и ртуть испарялись во время сушки и измельчения руды. Также отходы обжига содержали значительные количества растворенного мышьяка, что являлось неприемлемым при удалении отбросов (хвостов) и требовало существенной дополнительной обработки. В дополнении к этим существенным проблемам, связанным с окружающей средой, содержание влаги в руде было слишком высоко по причине низких затрат на сушку и измельчение руды. К тому же, для достижения приемлемых степеней извлечения золота требовалось мелкодисперсное сухое измельчение ($P_{80}=74$). Кроме того, оказалось, что сухоизмельченные руды очень трудно подавать при непрерывном режиме работы. Также было установлено, что обжиг необходимо проводить при невысоких температурах, что создавало существенные проблемы, связанные с конструированием, проектированием и безопасностью.

Из-за проблем, связанных с окислительным обжигом, проводилось дополнительное исследование по окислительной обработке под давлением, главным образом, из-за его способности давать прочные мышьяковые остатки.

Даже если предварительное размельчение до $P_{80}=74$ микрон приводило практически к полному окислению сульфидной серы и выделению золота, тем не менее, степени извлечения золота были очень низкими. Однако, неожиданно было найдено, что сочетание очень мелкодисперсного измельчения и жестких условий окисления под давлением приводит к существенному увеличению извлечений золота. Результат особенно удивителен, поскольку высокие извлечения золота достигались без окисления практически всего органического углерода в обрабатываемых рудах. Поэтому полагают, что не связанный с теорией, но содействующий пониманию настоящего изобретения способ приводит к существенной пассивации органического углерода, который остается неокисленным во время окислительной обработки. Этот результат особенно важен, так как все опыты показывают, что даже после большей части окислительных обработок под давлением, проведенных в жестких условиях, значительное количество органического углерода остается неокисленным. Поэтому в отличие от окислительного обжига в настоящем изобретении не требуется полного окисления органического углерода. Окисление органического углерода, используемое в этом изобретении, относится к химическому связыванию углерода с кислородом. Значительная часть окисленного органического углерода может быть в виде двуокси углерода.

В соответствии со способом, описанным в настоящем изобретении, минеральный материал измельчается до размера $P_{80}=40$ микрон или меньше, и предпочтительно до размера $P_{80}=30$ микрон и меньше. Несмотря на то, что имело место увеличение расходов, связанных с дополнительным размельчением, было найдено, что особенно высокие извлечения золота достигаются для частиц минерального материала размером $P_{80}=20$ микрон или меньше. Особенно предпочтительны для практического применения частицы с размером от $P_{80}=15$ микрон до $P_{80}=25$ микрон.

Частицы минерального материала подходящего размера суспендируют в водном растворе и затем подвергают окислительной обработке в автоклаве под давлением с выщелачиванием минерального материала. Как отмечалось ранее, в дополнении к чрезвычайно мелкодисперсным частицам минерального материала и действующие условия окислительной обработки должны быть жесткими. Температура обработки должна быть выше 190°C , предпочтительно выше 200°C и более предпочтительно выше 210°C . Особенно хорошие результаты достигались при температуре обработки выше 220°C . В зависимости от разновидности руды особенно предпочтительным диапазоном температур, при которых осуществляется обработка, является диапазон от 205°C до 260°C .

Окислительную обработку осуществляют в присутствии кислородсодержащего вещества, которым обычно является кислород. Применение очищенного кислорода предпочтительнее воздуха. Обычно достаточным является давление кислорода, большее, чем 25 фунт/дюйм² (172 кПа), хотя

предпочтительнее избыточное давление кислорода более, чем 50 фунт/дюйм² (345 кПа).

Полное давление, при котором происходит обработка, обычно равно давлению, оказываемому водным раствором при обработке под давлением, плюс избыточное давление кислорода. Окислительную обработку обычно следует проводить при времени выдерживания от 20 минут до 120 минут, причем времена от 30 минут до 90 минут являются предпочтительными.

Как упоминалось ранее, один особенно неожиданный результат при использовании способа, изложенного в настоящем изобретении, состоит в том, что высокие результаты по извлечению благородного металла могут быть достигнуты без окисления всего, или даже практически всего, органического углерода в обрабатываемом минеральном материале. Обычно удовлетворительные результаты по извлечению золота могут быть достигнуты при окислении менее, чем 60 весовых % органического углерода и предпочтительным является окисление от 10 весовых % до 40 весовых % органического углерода. Во многих случаях возможно получить высокие извлечения золота при окислении только 20 или менее весовых % органического углерода. Полагают, что органический углерод, оставшийся неокисленным, пассивируется в том смысле, что его активность как адсорбента, который может обогащаться благородным металлом во время процессов его извлечения, существенно уменьшается.

Хотя, как отмечалось ранее, настоящее изобретение может быть использовано для рудных концентратов и других минеральных материалов, оно особенно пригодно для обработки цельных руд. Таким образом, снимаются проблемы, связанные с обработкой рудных концентратов. Настоящее изобретение пригодно для любых руд, содержащих органический углерод, но оно особенно пригодно для тех руд, которые содержат более, чем 0,3 весовых % органического углерода, предпочтительно более 0,4 весовых % и наиболее предпочтительно более 0,6 весовых % органического углерода.

Окислительную обработку следует проводить в условиях высокой кислотности. Предпочтительно, чтобы жидкость окисленной суспензии, полученной во время окислительной обработки под давлением, имела бы pH менее 1,5. Для руд, которые содержат существенные количества сульфидной серы, во время стадии окислительной обработки могут быть получены значительные количества серной кислоты, обеспечивая требуемое низкое значение pH. В противном случае необходимо добавлять серую кислоту к исходной (загружаемой) суспензии до ее окислительной обработки.

Было найдено, неожиданно, что когда минеральный материал содержит сульфидные минералы в дополнении к органическому углероду, то тогда необходимо окислить практически всю сульфидную серу прежде, чем получают существенные преимущества из обработки органического углерода. Было найдено, что, по крайней мере, 96 % сульфидной серы должно быть окислено, чтобы

произошло заметное окисление и/или пассивация органического углерода. Это происходит потому, что адсорбирующая способность органического углерода, по-видимому, существенно не уменьшается, пока практически вся сульфидная сера не окислится. Настоящее изобретение может быть использовано для любого минерального материала, содержащего как сульфидную серу, так и органический углерод. Минеральный материал может содержать более 2 весовых % и даже больше 4 весовых % сульфидной серы. Таким образом, способ, описанный в настоящем изобретении, особенно пригоден для цельных сульфидных тугоплавких руд, которые содержат также значительные количества органического углерода.

Как упоминалось ранее, если сульфидная сера присутствует в значительном количестве, чтобы получить требуемую концентрацию серной кислоты, то тогда до окислительной обработки нет необходимости предварительно обрабатывать исходную (загружаемую) суспензию серной кислотой. Предпочтительно, чтобы жидкость в окисленной суспензии после окислительной обработки содержала бы больше 10 г/л свободной кислоты. Более предпочтительно, чтобы концентрация свободной кислоты была бы более -15 г/л. Было найдено, что когда концентрация свободной кислоты в окисленной суспензии низка, извлечение благородного металла может быть значительно уменьшено.

Когда содержание сульфидной серы в минеральном материале недостаточно, чтобы получить требуемую концентрацию серной кислоты, то тогда до окислительной обработки необходимо исходную суспензию предварительно обработать серной кислотой. Один минеральный материал, содержащий значительное количество сульфидной серы, может смешиваться с другим минеральным материалом, который имеет недостаточное количество сульфидной серы с тем, чтобы смесь имела бы достаточное количество сульфидной серы для получения требуемой концентрации свободной кислоты. Поэтому руда, имеющая высокое содержание сульфидной серы, может смешиваться с другой рудой, имеющей высокое содержание карбоната, который реагирует с кислотой, с получением смеси с достаточно высоким содержанием сульфидной серы, компенсируя то количество кислоты, которое может быть израсходовано на карбонатный материал, и получая требуемую концентрацию свободной кислоты в окисленной суспензии. В одном варианте изобретения сульфидную серу возможно обеспечить в виде рудного концентрата, из которого карбонатные вещества практически удалены в результате смешивания.

В предпочтительном варианте, когда в минеральном материале присутствуют как сульфидная сера, так и органический углерод, температура обработки должна быть выше 190°C, общее давление выше 190 фунт/дюйм² (1309 кПа), избыточное давление кислорода должно поддерживаться на уровне выше 25 фунт/дюйм² (172 кПа) и жидкость в окисленной суспензии должна содержать более 10 г/л серной кислоты. Более предпочтительно,

чтобы температура обработки была бы выше 200°C, общее давление больше 250 фунт/дюйм² и избыточное давление кислорода поддерживалось бы на уровне 25 фунт/дюйм² (172 кПа). Самое предпочтительное, когда температура обработки выше 220°C, общее давление выше 380 фунт/дюйм² (2620 кПа) и избыточное давление кислорода поддерживается выше 50 фунт/дюйм² (345 кПа).

Вслед за окислением под давлением благородный металл из окисленной суспензии может быть извлечен любым подходящим способом. Один способ извлечения состоит в нейтрализации окисленной суспензии и затем во взаимодействии этой окисленной суспензии с цианидом, например, с цианидом натрия, при pH больших 10 с тем, чтобы благородный металл в окисленной суспензии мог бы образовывать цианидный комплекс. Цианидный комплекс, содержащий благородный металл, может затем выделяться из окисленной суспензии путем адсорбции комплекса на гранулах активированного угля. Благородный металл затем может быть выделен с активированного угля и, таким образом, может быть получен очищенный металлический продукт, содержащий благородный металл.

Один вариант настоящего изобретения описывается с помощью рис. 1. Обеспечивается подача тугоплавкой цельной руды 102, содержащей 0,2 унции золота на тонну, которое связано, преимущественно, с сульфидными минералами. Руда 102 содержит от 2 % до 3 % сульфидной серы и от 0,6 до 1 весового % органического углерода. Руда 102 подвергается измельчению 104, например, дроблению, с получением частиц руды с размером P80=20-22 микрон.

Исходная (загружаемая) суспензия 106, состоящая из частиц измельченной руды, суспендированных в водном растворе, затем подвергается окислительной обработке 108 в присутствии кислорода 110. Окислительная обработка осуществляется в автоклаве при температуре 225°C, общем давлении 460 фунт/дюйм² (3172 кПа), избыточном давлении кислорода 100 фунт/дюйм² (690 кПа) и времени выдерживания 60 минут. Во время окислительной обработки 108 более 96 % сульфидной серы в исходной суспензии 106 окисляется. Также окисляется часть, но не весь, органический углерод и обогатительная способность органического углерода, оставшегося неокисленным, значительно понижается относительно руды в исходной суспензии 106. Окисленная суспензия 112 после окислительной обработки содержит твердый остаток руды 102, и жидкость окисленной суспензии имеет pH менее 1,5.

Окисленная суспензия 112 подвергается нейтрализации 114, где pH окисленной суспензии 112 увеличивается более, чем до pH 10. Нейтрализованная суспензия 116 затем подвергается "углеродно-пульповому" цианированию 118 путем обработки нейтрализованной суспензии 116 цианидом натрия 120 с образованием золотоцианидного комплекса, который может адсорбироваться на гранулах активированного угля 122. Отходы 124

от углерод-пульпового цианирования 118 удаляются соответствующими средствами, и гранулы активированного угля, насыщенные золотом 126, отделяются и отправляются на извлечение золота 128, где золотоцианидный комплекс десорбируется с насыщенных гранул активированного угля и очищенный продукт золота 130 получают, например, с помощью электролитического выделения и очистки. Гранулы активированного угля 122, которые теперь обеднены золотоцианидным комплексом, возвращаются в углерод-пульповое цианирование 118.

Способ, предложенный в настоящем изобретении, далее описывается следующими примерами, которыми не ограничивается объем настоящего изобретения в отношении описанного способа.

Пример 1.

Этот пример показывает влияние величины измельчения на извлечение золота для нескольких видов руд из Twin Creeks Mine.

Химический состав пяти индивидуальных видов руд (MC, SWS, US, HGO и DZ-руды) и одной смешанной (композитной) руды (RC#1) приведен в таблице 1. Содержание сульфидной серы в индивидуальных рудах варьируется от минимум 1,12 весовых % для DZ-руды до 8,34 весовых % для SWS-руды. Органический углерод в индивидуальных рудах варьируется от минимальной величины 0,36 весовых % в DZ-руде до максимальной величины, соответствующей 1,36 весовым % в MC-руде. Композит RC#1 содержит 2,6 весовых % сульфидной серы и 1 весовой % органического углерода.

Серию образцов, имеющих различную величину размельчения, готовят для каждого вида руды и для смешанной руды (рудного композита). Каждый образец суспендируют в воде и помещают в перемешиваемый автоклав серийного производства. В открытом автоклаве суспендированный образец обрабатывают серной кислотой, поддерживая pH 2. Автоклав закрывают и суспензию перемешивают и нагревают до требуемой температуры для окисления под давлением. В автоклав вводят кислород и окисление под давлением проводят в течение 90-120 минут. Затем автоклав быстро охлаждают орошением водой, и окисленную суспензию нейтрализуют в две стадии до pH 10,15, используя известь. Суспензию затем подвергают "углерод-выщелачиваемому" цианированию, помещая оставшиеся твердые вещества в широкогорлый сосуд, содержащий 15-20 г/л активированного древесного угля, и добавляя 1 г цианида натрия на 1 л суспензии при плотности суспензии 30 % твердого вещества и pH раствора 10,5. Суспензию перемешивают в течение 24 часов и затем отдельно анализируют твердые вещества и активированный древесный уголь для определения уровня экстракции золота.

Результаты исследований для индивидуальных руд сведены в таблицу 2 и показаны графически на рис. 2 и рис. 3. Как видно из таблицы 2, рис. 2 и рис. 3, для индивидуальных руд извлечение золота значительно увеличивается с уменьшением величины измельчения.

Таблица 1
Химические составы индивидуальной руды и
смешанной руды (рудного композита)

	MC	SWS	US	HGO	DZ	RC#1 ⁽²⁾
Au (унция/ст.т.) ⁽¹⁾	0,159	0,212	0,421	0,186	0,169	0,212
Ag (унция/ст.т.) ⁽¹⁾	0,07	0,06	0,06	0,06	0,01	0,06
As (вес. %)	0,718	0,631	0,671	0,256	0,248	0,648
Сульфидная сера (вес. %)	2,96	8,34	4,28	2,33	1,12	2,6
Fe (вес. %)	2,37	2,86	4,6	2,83	3,14	2,79
Sb (вес. %)	0,065	0,264	0,014	0,2	0,035	0,06
Hg (вес.милл. доля)	60,6	91,1	26,7	46,6	87,0	54,7
SiO ₂ (вес. %)	71,4	52,3	67,0	64,8	80,5	72,3
CO ₂ (вес. %)	5,42	10,8	4,2	9,05	0,5	5,48
Органический углерод (вес. %)	1,36	0,54	0,87	0,74	0,36	1,0

⁽¹⁾ Унция на стандартную тонну

⁽²⁾ Смешанная руда (рудный композит), полученная из 65,0 вес. % MC, 19,6 вес. % US, 12,5 вес.% HGO и 2,9 вес. % DZ

Таблица 2
Различные измельчения для
индивидуальных руд ⁽¹⁾

Образец руды	Измельчение (P80, мкн) ⁽²⁾	Экстракция золота (%)	Расход NaCN (фунт/ст.т.) ⁽³⁾
MC	75	63,2	13,6
MC	26	79,1	1,9
MC	12,5	81,3	3,1
SWS	75	73,1	9,2
SWS	24	85,7	2,1
SWS	11	88,1	2,8
US	75	62,9	3,4
US	19	93,2	1,9
US	9	95,3	2,5
HGO	75	87,0	1,3
HGO	22	86,3	2,6
HGO	11	93,2	1,1
DZ	75	86,0	1,4
DZ	22	93,4	2,5
DZ	13	94,6	2,7

⁽¹⁾ Условия окисления под давлением: 200-225°C, избыточное давление кислорода 50-100 фунт/дюйм² (345-690 кПа), время выдерживания 90-120 минут, 30-40% твердого вещества в суспензии

⁽²⁾ 80 вес.% образца имеет размер частиц в микронах меньший, чем показано в Таблице

⁽³⁾ Фунт на стандартную тонну руды

Результаты исследований для смешанной руды (рудного композита) RC#1 сведены в таблицу 3 и показаны графически на рис. 4. Снова экстракция золота в целом увеличивается с уменьшением величины измельчения. Однако кроме того, результаты, полученные для смешанной руды (рудного композита) RC#1, показывают, что увеличенная экстракция золота при более мелкодисперсном измельчении не может быть объяснена только выделением дополнительного золота, так как экстракция золота продолжает значительно увеличи-

ваться даже после того, как окисление сульфидной серы достигает 95 весовых %. Экстракция золота выше 80 % не достигается, пока окисление сульфидной серы не составит 96 %. Также высокие экстракции золота, достигаемые при более, чем 96%-ном окислении сульфидной серы, по-видимому, не являются следствием только увеличенного окисления органического углерода. Скорее всего это связано с тем, что оставшийся неокисленным органический углерод каким-то образом пассивируется, уменьшая активность органического углерода как адсорбента золота, следовательно, уменьшая его обогатительную способность.

Таблица 3
Различные измельчения смешанной
руды (композита) RC#1

Измельчение (P80, мкн) ⁽²⁾	Окисление сульфидной серы (%)	Окисление органического углерода (%)	Экстракция золота (%)
105	84,5	11,1	48,9
74	95,3	13,9	65,5
38	96,0	21,2	83,8
19	96,7	39,4	84,3
19	97,7	41,4	87,6
7	98,4	39,4	90,7
4	97,7	42,4	86,6
4	98,9	46,5	88,5
4	97,9	38,4	86,8
2,5	97,6	53,5	91,5
1,5	93,5	48,5	91,8

⁽¹⁾ Условия окисления под давлением: 225°C, избыточное давление кислорода 50-100 фунт/дюйм² (345-690 кПа), время выдерживания 120 минут, 30% твердого вещества в суспензии

⁽²⁾ 80 вес.% образца имеет размер частиц в микронах меньший, чем показано в Таблице

Пример 2

Этот пример показывает влияние температуры окислительного процесса под давлением на извлечение золота.

Опыты проводят на образцах смешанной руды (композита) RC#1 при различных температурах при величине измельчения P80=10 микрон. Методика проведения опыта аналогичная, использованной в примере 1. Результаты представлены в виде таблицы 4, а также показаны графически на рис. 5. Результаты показывают, что более высокие температуры, как правило, приводят к более высоким извлечениям золота. Также, увеличенные извлечения золота не являются следствием выделения дополнительного золота при окислении дополнительной сульфидной серы, поскольку окисление сульфидной серы во всех опытах является практически полным. Скорее всего, увеличенное извлечение золота, кажется, обусловлено преимуществами, полученными при обработке органического углерода с окислением и/или пассивированием его вслед за практически полным окислением сульфидной серы.

Таблица 4
Температура в автоклаве

композит (смесь руд) ⁽¹⁾ RC#1

Температура (°C)	Окисление сульфидной серы %	Окисление органического углерода (%)	Экстракция золота (%)
190	98,1	24,0	71,1
210	96,1	13,5	85,8
225	98,4	36,5	90,7
225	98,8	44,8	91,6

- (1) Условия окисления под давлением: размер частиц при P80=10 мкн, избыточное давление кислорода 100 фунт/дюйм² (690 кПа), время выдерживания 120 минут, 40-50% твердого вещества в суспензии

Пример 3

Этот пример показывает влияние концентрации свободной кислоты в окисленной суспензии на извлечение золота.

Проведено несколько опытов с использованием образцов смешанной руды (рудного композита) RC#1. Опыты проводят по аналогичной, описанной в примере 1, методике, за исключением того, что к исходной суспензии в открытом автоклаве добавляют различные количества серной кислоты, тем самым, получая различные содержания свободной кислоты в сливе автоклава, после окисления под давлением. Результаты опытов сведены в таблицу 5 и показаны графически на рис. 6. Извлечения золота, в целом, увеличиваются с увеличением концентрации свободной кислоты в сливе автоклава. Также было достигнуто увеличенное извлечение золота даже после практически полного окисления сульфидной серы, демонстрируя преимущество обработки окисления / пассивирования органического углерода, после практически полного окисления сульфидной серы.

Таблица 5

Концентрация свободной кислоты в сливе автоклава смесь руд (композит) ⁽¹⁾ RC#1

H ₂ SO ₄ , добавленная к исходной суспензии (фунт/ст.т) ⁽²⁾	Свободная H ₂ SO ₄ в сливе автоклава (г/л) ⁽³⁾	Окисление сульфидной серы (%)	Окисление органического углерода (%)	Экстракция золота (%)
317	33,3	99,3	64,6	90,6
255	29,1	98,9	50,5	89,7
241	34,3	98,9	50,5	89,8
160	27,2	97,4	28,3	87,8
80	12,5	97,9	26,3	79,2
40	6,4	88,3	32,3	69,9
0	0,2	84,8	39,4	72,4

- (1) Условия окисления под давлением: размер ча-

19

303

стиц при P80=10 мкн, 225°C, избыточное давление кислорода 100 фунт/дюйм² (690 кПа), время выдерживания 120 минут

- (2) Фунт на стандартную тонну руды

- (3) Грамм свободной кислоты в литре жидкости в выгруженной из автоклава окисленной суспензии

Пример 4.

Этот пример демонстрирует уменьшение обогатительной способности органического углерода.

Проверяют две руды - руду MC и руду US. Образцы руды размельчают до величины P80 от 20 до 22 микрон и подвергают окислению под давлением при 225°C и избыточном давлении кислорода 100 фунт/дюйм² (690 кПа). Окисление под давлением протекает в непрерывном четырехстадийном перемешиваемом автоклаве с отбором образцов твердого вещества при загрузке автоклава, для каждой из стадий 1-4 и при выгрузке автоклава.

Раствор щелока готовят, используя 10 кг деионизированной воды, 10 г гидроокиси натрия и 2,5 г цианида натрия. Стандартный раствор золота готовят при смешивании 750 мл деионизированной воды с 0,25 г гидроокиси натрия, 0,25 г цианида натрия и 100 г раствора, содержащего 1004 весовых миллионных долей хлорида золота. Далее добавляют деионизированную воду, чтобы довести общий объем стандартного раствора золота до 1 литра. К 10 г образца твердого вещества добавляют 100 г раствора щелока и тщательно перемешивают на встряхивателе в течение 24 часов. 10 мл раствора далее извлекают пипеткой и анализируют на содержание золота, используя атомное поглощение. 10 мл стандартного раствора золота затем добавляют к суспензии, получая выброс золота, и суспензию далее перемешивают на встряхивателе в течение 10 минут. Суспензии затем дают возможность отстояться и 10 мл раствора образца извлекают пипеткой и анализируют на содержание золота, используя атомную адсорбцию. Таким образом, определяют способность образца твердого вещества обогащаться золотом и рассчитывают эту величину, как количество унций золота, адсорбируемое при выбросе золота, отнесенное к стандартной тонне руды.

Результаты опытов сведены в таблицу 6. Результаты для руды MC показаны графически на рис. 7 и для руды US - на рис. 8. Как видно из таблицы 6, рис. 7 и рис. 8, обогатительная способность образцов каждой руды, в целом, уменьшается по мере продолжения окислительной обработки под давлением, показывая значительные преимущества от окисления и/или пассивирования органического углерода в рудах.

Таблица 6

Активность органического углерода ⁽¹⁾

20

Руда MC	Средство частиц твердого вещества к золоту (унция/ст.т) ⁽²⁾
Загрузка автоклава	0,32
Стадия 1	0,08
Стадия 2	0,16
Стадия 3	0,11
Стадия 4	0,11
Выгрузка автоклава	0,08

Руда US	Средство частиц твердого вещества к золоту (унция/ст.т) ⁽²⁾
Загрузка автоклава	0,47
Стадия 1	0,13
Стадия 2	0,18
Стадия 3	0,11
Стадия 4	0,08
Выгрузка автоклава	0,00

⁽¹⁾ Условия окисления под давлением: размер частиц при P80 от 20 до 22 мкн, 225°C, избыточное давление кислорода 100 фунт/дюйм² (690 кПа), время выдерживания 103 минуты для ру-

ды MC и 70 минут для руды US, 40% твердого вещества в суспензии

⁽²⁾ Унция золота в стандартной тонне руды

Подробно описаны различные варианты настоящего изобретения. Понятно, что любые элементы любых из этих описанных вариантов могут сочетаться в любой комбинации с элементами любого другого варианта. Кроме того, модификации и видоизменения вариантов изобретения будут ясны специалистам. Ясно, что такие модификации и видоизменения находятся в пределах объема данного изобретения, который определен формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обработки минерального материала, содержащего благородный металл, сульфидные вещества и органический углерод, включающий его измельчение до размера частиц по меньшей мере меньше 38 микрон в количестве 80 вес.%, суспендирование в воде и окислительную обработку суспензии, **отличающийся** тем, что при воздействии на исходную суспензию окислительной среды, по крайней мере, 960/0 сульфидной серы в исходной суспензии окисляется, в результате чего благородный металл высвобождается от связывания с сульфидной серой и уменьшается способность органического углерода препятствовать извлечению благородного металла.

2. Способ по п.1, **отличающийся** тем, что при окислительной обработке минерального материала, по крайней мере часть, но не весь органический углерод, окисляется и органический углерод, оставшийся неокисленным, пассивируется, уменьшая способность этого неокисленного органического углерода препятствовать извлечению благородного металла.

3. Способ по п.1 или 2, **отличающийся** тем, что при окислительной обработке минерального материала окисляется менее 60 вес.% органического углерода.

4. Способ по любому из пп.1-3, **отличающийся** тем, что при окислительной обработке минерального материала окисляется от 10 вес.% до 40 вес.% органического углерода.

5. Способ по любому из пп.1-4, **отличающийся** тем, что минеральный материал содержит более 2 вес.% сульфидной серы.

21

6. Способ по любому из пп.1-5, **отличающийся** тем, что минеральный материал содержит более 4 вес.% сульфидной серы.

7. Способ по любому из пп.1-6, **отличающийся** тем, что минеральный материал содержит более 0,4 вес.% органического углерода.

8. Способ по любому из пп.1-7, **отличающийся** тем, что жидкость окисленной суспензии

содержит более 10 г свободной кислоты на литр жидкости.

9. Способ по п.8, отличающийся тем, что свободная кислота содержит свободную серную кислоту.

10. Способ по п.9, **отличающийся** тем, что минеральный материал включает смесь первого материала, содержащего карбонатный материал и, по крайней мере, одного другого материала, содержащего сульфидную серу, в результате чего минеральный материал содержит достаточное количество сульфидной серы для получения достаточного количества кислоты при окислении под давлением, чтобы обеспечить этой свободной кислотой окисленную суспензию.

11. Способ по любому из пп.1-10, **отличающийся** тем, что жидкость окисленной суспензии содержит более 15 г свободной кислоты на литр жидкости.

12. Способ по любому из пп.1-11, **отличающийся** тем, что размер, по крайней мере 80 вес.% частиц минерального материала в исходной суспензии менее 30 микрон.

13. Способ по любому из пп.1-12, **отличающийся** тем, что размер, по крайней мере 80 вес.% частиц минерального материала в исходной суспензии менее 20 микрон.

14. Способ по любому из пп.1-13, **отличающийся** тем, что окислительная обработка исходной суспензии включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 190°C.

15. Способ по любому из пп.1-14, **отличаю-**

22

щийся тем, что окислительная обработка исходной суспензии включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 200°C.

16. Способ по любому из пп.1-15, **отличающийся** тем, что окислительная обработка исходной суспензии включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 210°C.

303

17. Способ по любому из пп.1-16, **отличающийся** тем, что окислительная обработка исходной суспензии включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 220°C.

18. Способ по любому из пп.1-17, **отличающийся** тем, что способ дополнительно включает выделение благородного металла из окисленной суспензии и получение металлического продукта, содержащего благородный металл.

19. Способ по п.17, **отличающийся** тем, что выделение благородного металла из окисленной суспензии включает связывание благородного металла с цианидом с образованием комплекса благородного металла с цианидом.

20. Способ по любому из пп.1-19, **отличающийся** тем, что органический углерод имеет свойство как адсорбент, по крайней мере, к одному благородному металлу, соли благородного металла и комплексу благородного металла с лигандом, свойство которого способно препятствовать извлечению благородного металла; и во время воздействия это свойство органического углерода уменьшается.

21. Способ по любому из пп.1-20, **отличающийся** тем, что минеральный материал содержит более 0,3 вес.% органического углерода.

22. Способ по любому из пп.1-21, **отличающийся** тем, что минеральный материал содержит более 0,6 вес.% органического углерода.

23. Способ по любому из пп.1-22, **отличающийся** тем, что жидкость окисленной суспензии имеет pH менее 1,5.

24. Способ по любому из пп.1-23, **отличающийся** тем, что окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре от 205°C до 260°C.

25. Способ по любому из пп.1-24, **отличающийся** тем, что окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию кислорода при повышенном давлении.

26. Способ по любому из пп.1-25, **отличающийся** тем, что вслед за окислительной обработ-

кой минерального материала благородный металл взаимодействует с лигандом с образованием комплекса этого благородного металла с лигандом, и благородный металл затем выделяют из комплекса и получают твердый металлический продукт, содержащий благородный металл.

27. Способ по любому из пп.1-26, **отличающийся** тем, что обеспечение исходной суспензии включает размельчение грубого минерального материала с получением частиц данного минерального материала.

28. Способ по любому из пп.1-27, **отличающийся** тем, что минеральный материал включает цельную руду.

29. Способ по любому из пп.1-28, **отличающийся** тем, что данный способ проводят практически в отсутствие добавленного хлорсодержащего вещества.

30. Способ по любому из пп.1-29, **отличающийся** тем, что в данном способе, по существу, не используется обжиг минерального материала.

31. Способ по любому из пп.1-30, **отличающийся** тем, что при окислительной обработке исходная суспензия подвергается обработке окислительной среды в течение периода времени от 20 до 120 минут.

32. Способ по любому из пп.1-31, **отличающийся** тем, что исходная суспензия практически не содержит кислоты, добавленной до окисления под давлением.

33. Способ по любому из пп.1-32, **отличающийся** тем, что окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 200°C, общем давлении более 17,6 кГ/см² и избыточном давлении кислорода более 1,8 кГ/см².

34. Способ по любому из пп.1-33, **отличающийся** тем, что окислительная обработка минерального материала включает воздействие на исходную суспензию окислительной среды при температуре выше 220°C, общем давлении более 26,7 кГ/см² и избыточном давлении кислорода более 3,5 кГ/см².

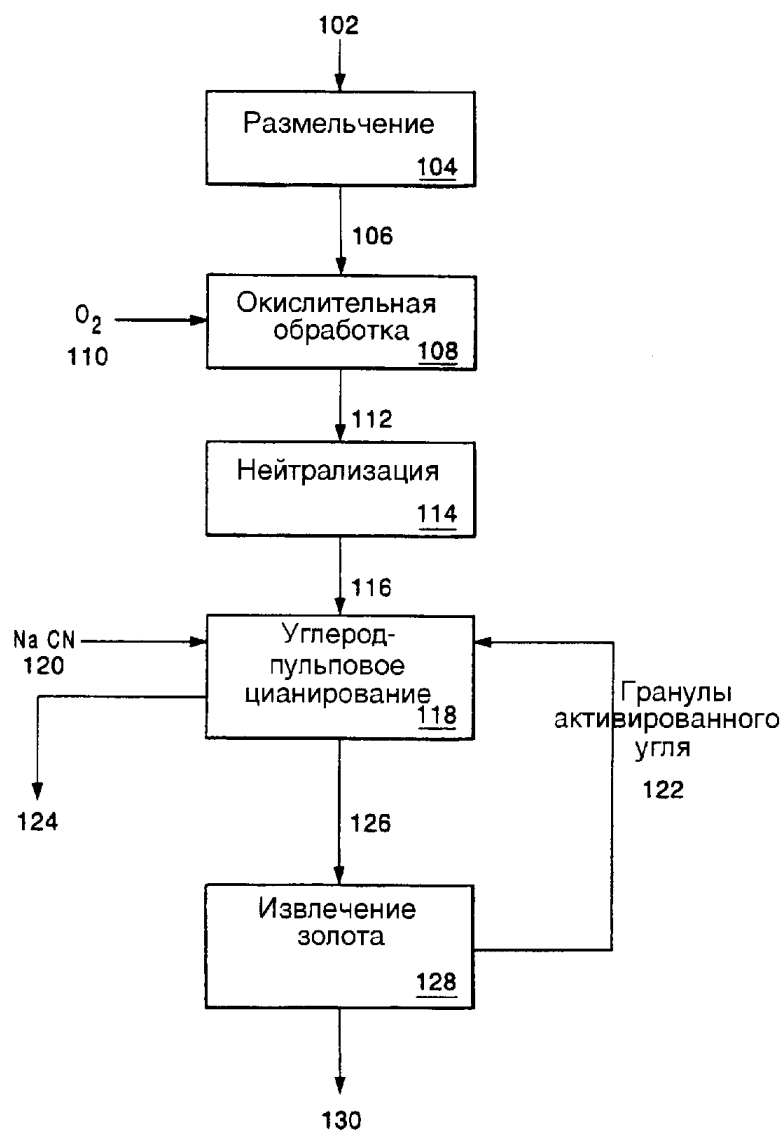


Рис. 1
303

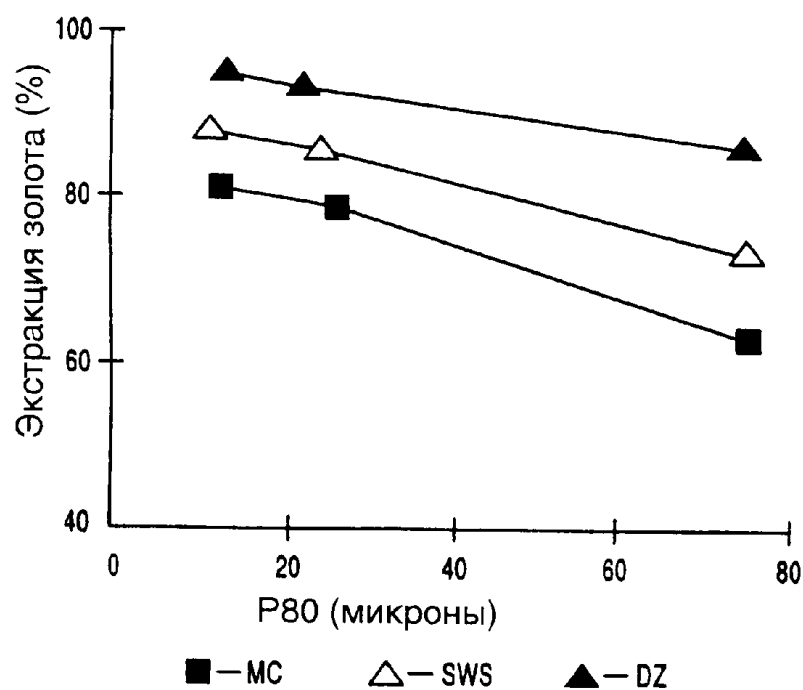


Рис. 2

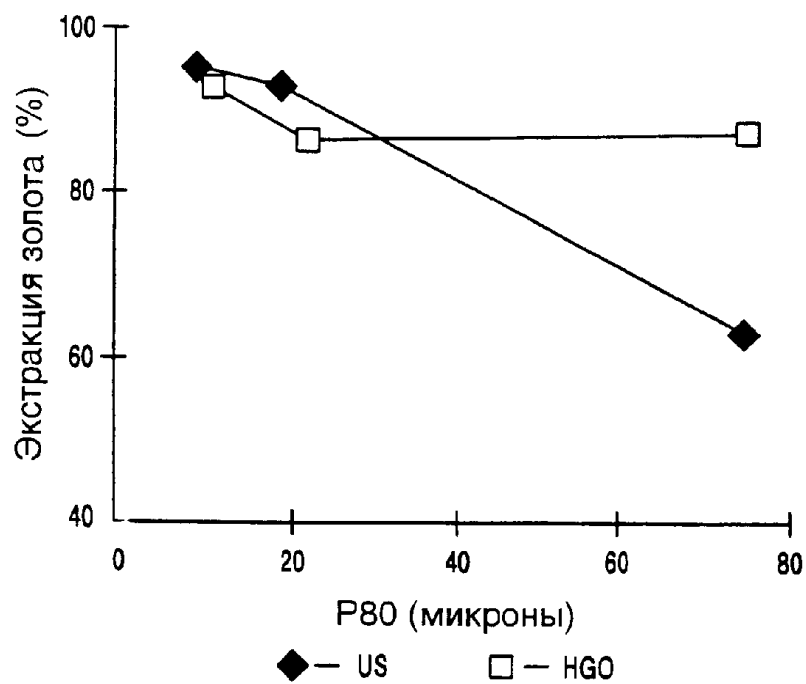


Рис. 3

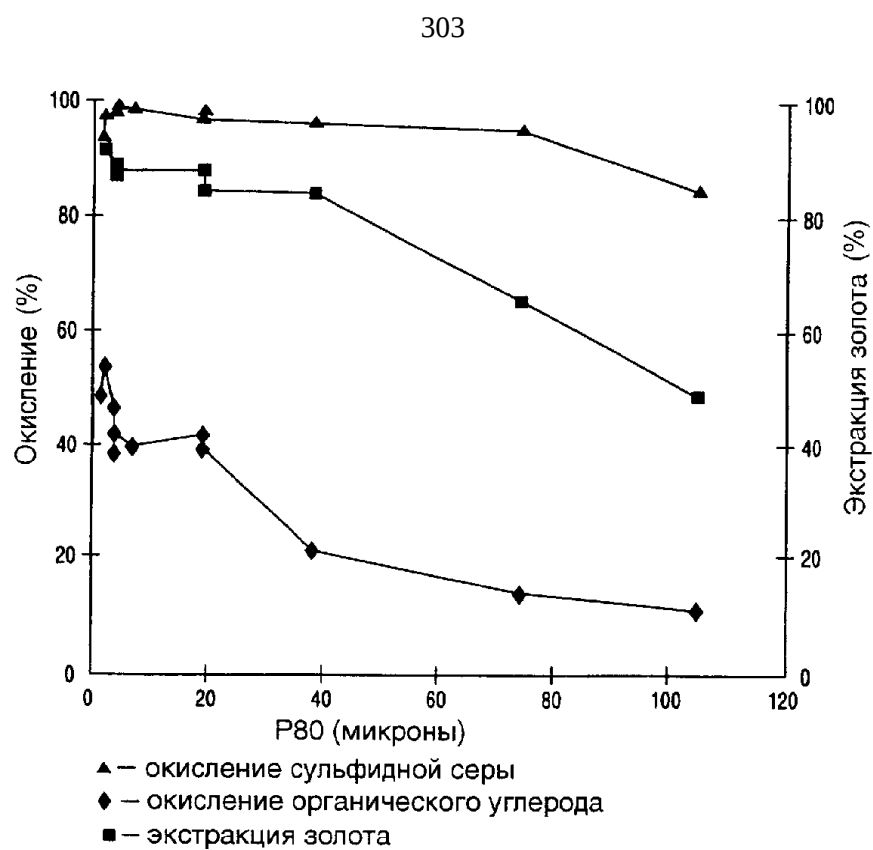


Рис. 4

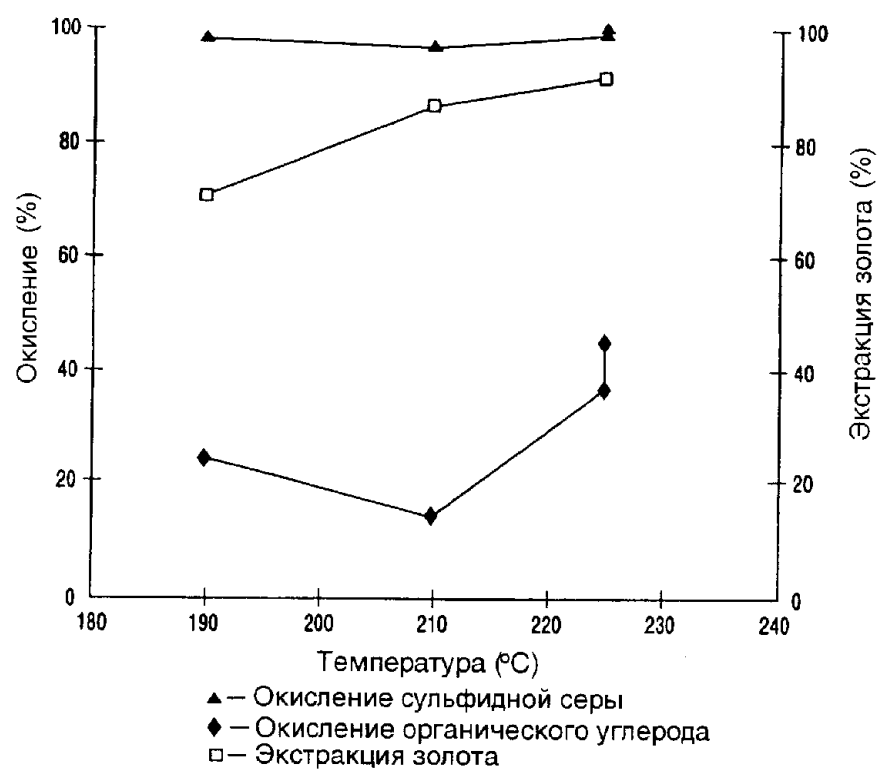


Рис. 5

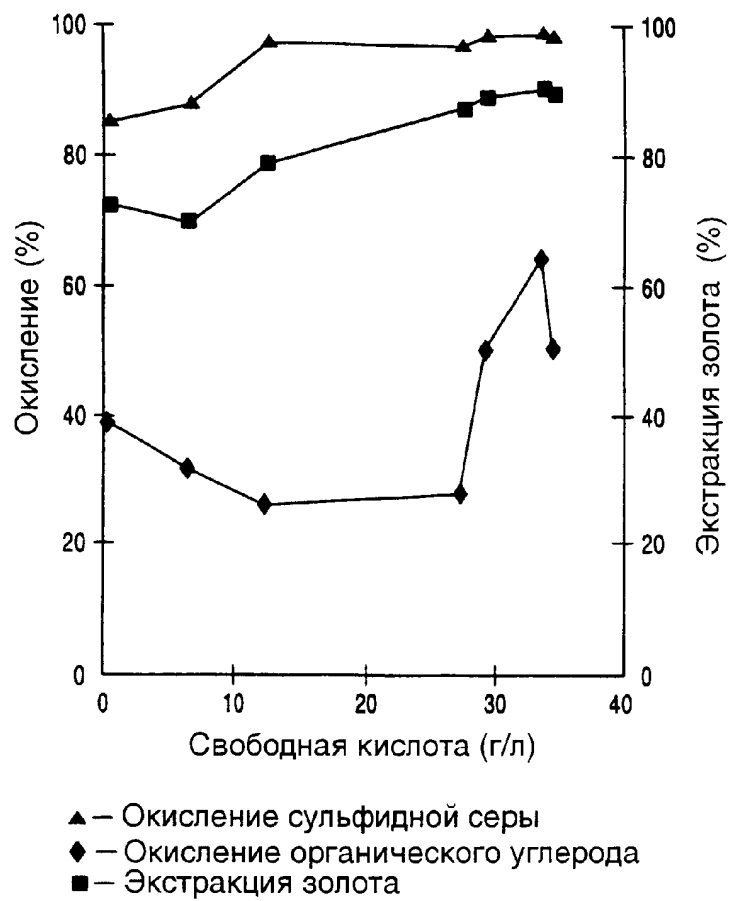


Рис. 6

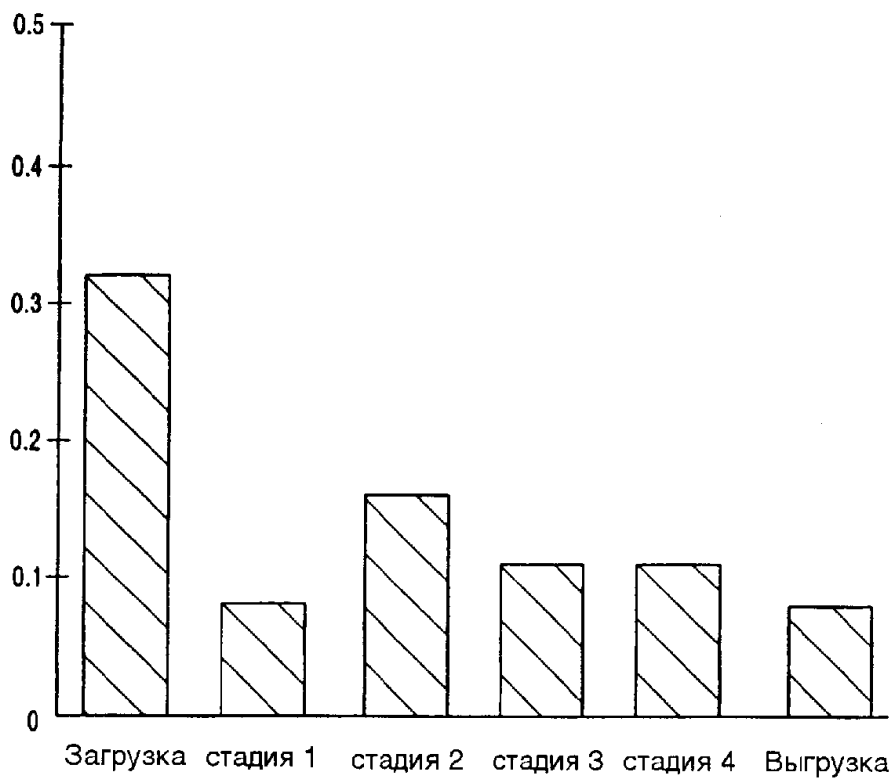


Рис. 7

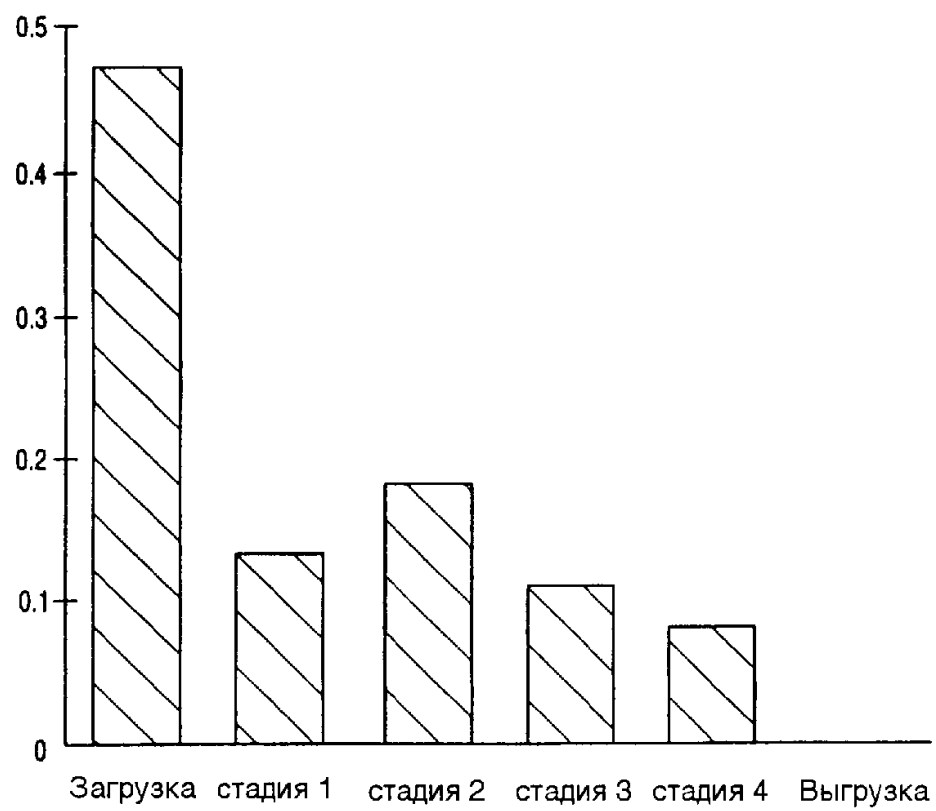


Рис. 8