

(19) **KG** (11) **325** (13) **C2**

ГОСУДАРСТВЕННОЕ АГЕНТСТВО ПО НАУКЕ И (51)⁷ **C22B 11/00**
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ (КЫРГЫЗПАТЕНТ)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

к патенту Кыргызской Республики

(21) 970176.1

(22) 14.11.1997

(31) 423839

(32) 18.04.1995

(33) US

(86) PCT/US 96/03885 (22.03.1996)

(46) 01.03.2001, Бюл. №2

(71)(73) Ньюмонт Голд Компани (US)

(72) Симмонс Гари Л., Гатье Джон К. (US)

(56) Патент US №5245110, 1993

(54) Способ переработки золотосодержащего минерального материала (варианты)

(57) Способ переработки золотосодержащего минерального материала, который включает сохранение руды в среде, по существу, не содержащей кислорода, предпочтительно, в течение периода, который начинается от начала измельчения руды и заканчивается получением посредством флотации желательного конечного концентратса, обогащенного сульфидными минералами. Для предотвращения, по существу, во время измельчения руды и во время операций флотации контакта между рудой и воздухом применяют азотный газ, а также газы, выделенные из кислородной установки, причем поток кислородного газа используют, например, для окисления под давлением сульфидных минеральных материалов, а поток азотного газа используют на операциях измельчения и/или флотации, что позволяет использовать поток побочного азотного газа, который ранее выпускали в атмосферу как отход. 2 с., 27 з.п. ф-лы, 8 пр., 4 табл., 9 ил.

Изобретение включает способ переработки золотосодержащих сульфидных руд для облегчения извлечения из сульфидной руды золота. В частности, изобретение включает флотационную переработку золотосодержащих сульфидных руд таким способом, который уменьшает проблемы, связанные с осуществлением традиционной флотации, направленной на получение рудного концентратса. Изобретение также включает флотационную переработку в сочетании с окислительной обработкой, например, с окислением под давлением, и применение побочного газового продукта из кислородной установки, применяемой для подачи кислородного газа для окислительной обработки.

В сульфидных рудах обнаружены значительные количества золота, при этом золото в них связано с сульфидными минералами. Золото трудно извлекается из таких сульфидных руд, вследствие того, что оно обычно связано в зернах сульфидного минерала таким образом, что руда становится неподатливой многим традиционным методикам извлечения золота, например, прямому цианированию руды. Поэтому для химического изменения сульфидного минерала и обеспечения растворения золота во время последующих операций извлечения сульфидные руды

подвергают обработке.

Одна из методик обработки золотосодержащей руды с целью ее подготовки для извлечения золота состоит в осуществлении окислительной обработки руды для окисления сульфидной серы в сульфидных минералах, вследствие чего золото становится более легко извлекаемым. Одним из способов окислительной обработки сульфидной руды является окисление под давлением, при котором на пульпу руды воздействуют кислородом в автоклаве при повышенной температуре и давлении для разложения сульфидного минерала и высвобождения золота для последующего извлечения. Другие способы окислительной обработки включают обжиг и биоокисление руды в присутствии воздуха или кислорода (патент US №5013359, 1991. - Фаир и др.; патент US №3834896, 1974. - Айзел и др.; патент US №4797202, 1989. -Климпел и др.; патент US №4605439, 1986. - Уийр; патент US № 4571263, 1986. - Уийр и др.; патент US №4571264, 1986. - Уийр и др.).

Обработка всей руды посредством окисления под давлением или посредством окислительного обжига является дорогостоящей. Часть расходов связана с энергией, потребляемой для нагрева бедной золотом пустой породы, находящейся в руде и, главным образом, с энергией, необходимой для нагрева воды, в которой распушивают пустую породу в случае окисления под давлением. Кроме того, при обработке всей руды технологическое оборудование должно быть сортировано таким образом, чтобы оно было приспособлено и к обработке пустой породы и обладало пропускной способностью для золотосодержащих сульфидных минералов, вследствие чего значительно возрастают расходы на технологическое оборудование. Более того, могут происходить побочные реакции, включающие пустую породу, которые могут неблагоприятно воздействовать на окислительную обработку или в результате которых могут получаться вредные вещества, которые требуют специальных условий в обращении с ними.

Один из способов уменьшения затрат, связанных с высоким расходом энергии и затрат на технологическое оборудование, связанных с окислительной обработкой всей руды, а также потенциальных проблем, связанных с побочными реакциями, состоит в удалении из руды до окислительной обработки пустой породы. Так, например, одним из способов, который применяют для удаления пустой породы из золотосодержащей сульфидной руды, является флотация. При осуществлении флотации через пульпу частиц руды, которые обрабатывали реагентами, барботируют воздух, и частицы руды, которые являются менее гидрофильными, имеют склонность подниматься вместе с пузырьками воздуха, вследствие чего происходит разделение руды на две фракции. Флотацию используют для получения концентратов золотосодержащих сульфидных минералов, которые обогащены сульфидными минералами и соответственно не содержат пустую породу. Проблема, связанная с флотацией золотосодержащих сульфидных руд, заключается в том, что значительное количество золотосодержащего сульфидного минерала часто попадает в другую флотационную фракцию, что приводит к значительным потерям золота (патент US №5245110, 1993. - Вен Д. и др.- прототип).

Поэтому существует большая необходимость в усовершенствованном способе переработки многих золотосодержащих сульфидных руд, при применении которого можно избежать больших расходов, связанных с окислительной обработкой всей руды, без значительных потерь золота, связанных с обогащением сульфидных руд посредством флотации.

Изобретение включает в себя способ переработки золотосодержащих сульфидных руд для облегчения извлечения золота без обременительного окисления под давлением или обжига всей руды и без существенных потерь золота, связанных с получением рудного концентрата посредством обычной флотации. Было найдено, что воздух, который применяют в качестве флотационного газа при обычной флотации, неблагоприятно влияет на флотационное отделение золотосодержащих сульфидных минералов, и что значительно усиленная флотационная способность может быть получена путем сохранения сульфидной руды в среде, по существу не содержащей воздуха, до тех пор, пока будет получен желательный конечный флотационный концентрат.

Полагают, что кислород, присутствующий в воздухе, имеет склонность к окислению поверхности определенных частиц золотосодержащего сульфидного минерала, при этом флотация таких частиц сульфидного минерала уменьшается, что приводит к значительному количеству сульфидного минерала, которое не флотируется во время флотации и, следовательно, остается в пустой породе.

При применении флотационного газа, который в сравнении с воздухом лишен кислорода, проблемы, связанные с применением воздуха, могут быть уменьшены. В результате происходит

более высокое извлечение сульфидных материалов в концентрат и соответственно увеличение извлечения в концентрат золота.

В одном варианте золотосодержащие сульфидные минералы в сульфидной руде сохраняют в среде, которая, по существу, не содержит кислорода, в течение периода, который начинается с измельчения руды и заканчивается извлечением желательного конечного концентрата сульфидного минерала. Газ, не содержащий кислорода, может быть введен до измельчения или во время измельчения для того, чтобы заменить воздух, который может присутствовать в загрузке руды, и воспрепятствовать попаданию воздуха во время измельчения. Следует препятствовать тому, чтобы кислород воздуха, который может все же присутствовать во время измельчения, не окислил вновь созданные во время измельчения поверхности сульфидного минерала.

В соответствии с одним аспектом изобретение включает использование при переработке золотосодержащих сульфидных руд газов, которые могут быть выделены из воздуха. В одном варианте операцию флотации, проводимую, по существу, в отсутствие кислородного газа, объединяют с окислительной обработкой для разложения сульфидных минералов, высвобождающих золото для возможного последующего растворения с применением выщелачивающего реагента для золота, например, цианида. Предпочтительной окислительной обработкой является окисление под давлением, хотя вместо него может быть применена другая окислительная обработка, например, окислительный обжиг. Такая окислительная обработка требует источника очищенного кислородного газа, который часто получают путем выделения из воздуха на кислородной установке. Побочный газовый продукт с такой кислородной установкой лишен кислородного газа и обогащен азотом. Поэтому побочный газовый продукт является идеальным источником газа для применения во время измельчения и/или флотации золотосодержащей сульфидной руды. Этот побочный газовый продукт обычно выпускают в атмосферу в общепринятых операциях переработки золотосодержащих руд и, следовательно, выбрасывают.

На фиг. 1 представлена схема технологического процесса, показывающая один вариант изобретения; на фиг. 2 -схема технологического процесса, показывающая другой вариант изобретения; на фиг. 3 - схема технологического процесса, показывающая еще один вариант изобретения; на фиг. 4 - графическая зависимость содержания ценного компонента в концентрате, извлеченном в результате флотации, от крупности помола в примерах 1-6; на фиг. 5 - графическая зависимость содержания ценного компонента в хвостах от крупности помола в примерах 1-6; на фиг. 6 - графическая зависимость извлечения в концентрат в весовых процентах от крупности помола в примерах 1-6; на фиг. 7 -графическая зависимость извлечения золота в концентрат в результате флотации от крупности помола в примерах 1-6; на фиг. 8 - схема технологического процесса для одного варианта изобретения, относящаяся к опытной установке примера 7; и на фиг. 9 - графическая зависимость извлечения золота в концентрате в результате флотации от крупности помола в примерах 8-15.

Изобретение предусматривает способ переработки золотосодержащего минерального материала, например, золотосодержащей сульфидной руды с целью облегчения извлечения из минерального материала золота.

Проблемы, связанные с обогащением золотосодержащей сульфидной руды путем обычной флотации, могут быть значительно уменьшены путем применения флотационного газа, который содержит пониженную объемную долю кислородного газа, который присутствует в окружающем воздухе. Флотационный газ, по существу, не содержит кислородный газ. Когда в качестве флотационного газа применяют воздух, кислородный газ, присутствующий в воздухе, оказывает неблагоприятное воздействие на флотируемость сульфидных минералов. Это происходит вследствие окисления поверхности частиц сульфидного минерала, вызванного присутствием кислородного газа. Окисление поверхности приводит к депрессии частиц сульфидного минерала во время флотации. Кроме того, неблагоприятное воздействие кислородного газа может быть снижено путем сохранения руды в среде, которая, по существу, не будет содержать кислородного газа во время измельчения, смешивания, перекачивания насосом и всех других стадий обработки до тех пор, пока будет получен конечный флотационный концентрат. Так, например, когда используют многократные стадии флотации, желательно сохранять руду в среде, которая, по существу, не содержит кислородного газа между стадиями флотации.

При уменьшении явно неблагоприятных воздействий кислородного газа можно извлечь большое количество сульфидного минерала во флотационный концентрат. Поэтому изобретение способствует извлечению золота из сульфидного минерального материала, который раньше мог

быть выброшен в виде отхода или с пустой породой в хвостах флотации или в виде низкосортной руды, извлечение из которой золота, как полагают, является неэкономичным.

Один вариант в соответствии с изобретением показан на фиг. 1. Как следует из фиг. 1, для переработки предусмотрена загрузка золотосодержащего минерального материала 102. Загрузка минерального материала 102 может быть любым золотосодержащим материалом, содержащим один или несколько сульфидных материалов, с которыми, предпочтительно, связано золото, и из которых золото трудно извлечь. Сульфидный материал может включать один или несколько минералов, включающих пирит, марказит, арсенопирит, мышьяковистый пирит и пирротит. Загрузка минерального материала 102 обычно представляет собой цельную руду, но может быть также остатком от другой переработки или ранее выброшенными хвостами.

Загрузку минерального материала 102 подвергают измельчению 104 для получения зернистого минерального материала 106, имеющего минеральные частицы размера подходящего для флотации. Зернистый минеральный материал 106, предпочтительно, разделяют по крупности с тем, чтобы, по меньшей мере, 80 % частиц в зернистом минеральном материале были меньше, чем около 100 меш, более предпочтительно, меньше, чем около 150 меш, и, наиболее предпочтительно, меньше, чем около 200 меш. Крупность, при которой через сито проходит 80 % материала, часто относят к крупности 380. Для измельчения 104 может быть использована любая подходящая операция мелкого дробления и/или измельчения. Обычно предпочтительными являются операции мокрого дробления и/или измельчения, вследствие их относительной легкости выполнения и низкой стоимости по сравнению с сухими операциями.

Измельчение 104 проводят в присутствии защитного газа 108, который получают из источника газа 110. Во время измельчения или до измельчения 104 загрузку минерального материала 102 смешивают с защитным газом 108, который содержит кислородный газ, если он вообще его содержит, при более низкой объемной доле по сравнению с кислородным газом, который присутствует в окружающем воздухе, чтобы уменьшить проблемы, которые могут быть вызваны присутствием воздуха во время измельчения 104. Во время измельчения 104, предпочтительно, поддерживать избыточное давление защитного газа 108, поступающего в устройство мелкого дробления и/или измельчения, чтобы способствовать смешиванию загрузки минерального материала 102 с защитным газом 108 и вытеснить воздух, который может присутствовать в загрузке минерального материала 102.

После измельчения 104 зернистый материал 106 подвергают флотации 112 для отделения сульфидных минералов, с которыми связано золото, от несульфидной пустой породы. Во время флотации пульпу зернистого минерального материала 106 аэрируют флотационным газом 114 от источника 110. Для флотации 112 может быть использовано любое подходящее флотационное устройство, например, одна или несколько обычных флотационных камер или флотационных колонн. Однако, предпочтительно, флотационное устройство должно быть таким, чтобы в нем для предотвращения поступления в него воздуха можно было поддерживать избыточное давление флотационного газа 114. Флотационный газ 114 содержит кислородный газ, если он вообще его содержит, при пониженной объемной доле по сравнению с объемной долей кислородного газа в окружающем воздухе, чтобы уменьшить проблемы, связанные с применением в качестве флотационного газа воздуха.

Хотя в этом нет необходимости, флотационный газ 114 будет обычно иметь, по существу, тот же самый состав, что и защитный газ 108, используемый при измельчении 104. Дополнительно во время флотации или перед флотацией 112 для способствования флотационному разделению могут быть добавлены обычные реагенты. Такие реагенты могут включать пенообразователи, активаторы, коллекторы, депрессанты, модификаторы и диспергаторы. Флотацию 112, предпочтительно, проводят при окружающей температуре и при естественном значении pH, создаваемым минеральным материалом. Рабочие условия, например, pH, могут быть, однако, по желанию, отрегулированы для оптимизации флотационного разделения конкретного минерального материала. Материал, выходящий со стадии флотации 112, представляет собой флотационный концентрат 116, который извлекают из пенного продукта и обогащен сульфидными минералами и, следовательно, также обогащен золотом. Кроме того, со стадии флотации 112 также поступает материал, который представляет собой хвосты флотации 1.18, которые обогащены несульфидной пустой породой и, следовательно, содержат низкие доли золота. Флотационный концентрат 116, по желанию, может быть далее переработан для извлечения золота с помощью любого подходящего метода. Альтернативно, флотационный концентрат 116 может быть продан как ценный товар для переработки его покупателями с целью извлечения

золота.

Как отмечалось ранее, как флотационный газ 114, так и защитный газ 108 содержат кислородный газ, если они вообще его содержат, при объемной доле, которая меньше обычной доли кислородного газа в окружающем воздухе. Однако, предпочтительно, чтобы количество кислородного газа во флотационном газе 114 и/или защитном газе 108 было меньше, чем около 15 об. % и, более предпочтительно, меньше, чем около 5 об. %. Наиболее предпочтительно, чтобы флотационный газ 114 и защитный газ 108, по существу, не содержали кислородного газа.

Предполагается, что кислородный газ, если он присутствует в заметном количестве, обладает склонностью к окислению поверхности частиц определенных золотосодержащих сульфидных минералов, что может оказывать депрессивное воздействие на флотацию частиц золотосодержащего сульфидного минерала во время флотации 112. Полагают, что при уменьшении количества кислородного газа, который вступает в контакт с минеральным материалом, влияние окисления поверхности уменьшается, что приводит к усилению флотации частиц сульфидного минерала и соответствующему увеличению количества сульфидного минерала и, следовательно, золота, извлеченного во флотационный концентрат 116. Следовательно, предпочтительно, чтобы флотационный газ 114 и защитный газ 108 состояли, по существу, из компонентов, которые не могут окислять поверхность частиц золотосодержащего сульфидного минерала.

Желательно, чтобы флотационный газ 114 и защитный газ 108, предпочтительно, содержали один или несколько газов иных, чем кислородный газ, такие как, азот, гелий, аргон и диоксид углерода. Предпочтительно, чтобы один или несколько из этих газов содержали более, чем около 95 об. % флотационного газа 114 и защитного газа 108 и, более предпочтительно, более, чем 98 об. %. Азотный газ является в особенности предпочтительным вследствие его относительно низкой стоимости. Диоксид углерода является менее предпочтительным, потому что при растворении в воде он образует кислоту, которая может разъедать технологическое оборудование или создавать такие условия, которые являются менее подходящими для осуществления оптимальной флотации.

Защитный газ 108 и/или флотационный газ 114 могут быть введены в технологическое оборудование любым подходящим способом. Такие газы могут быть поданы под избыточным давлением или их можно побудить к поступлению в устройство путем создания подсоса, который втягивает газ. Однако, предпочтительно, чтобы устройство было сконструировано таким образом, чтобы, по существу, предотвращалось поступление воздуха в устройство для измельчения и флотации.

Возможному неблагоприятному воздействию, заключающемуся в окислении поверхности частиц сульфидного материала, которое может иметь место в загрузке минерального материала, можно воспрепятствовать путем добавления сульфидизатора для, по меньшей мере, 13 частичной замены окисленного слоя сульфидным слоем. Может быть использовано любое вещество, способное к химическому взаимодействию с образованием желательного сульфидного слоя минеральных частиц. Подходящие сульфидизаторы включают сульфиды и бисульфиды щелочного металла, например, Na_2S , NaHS и т.д. Такие сульфидизаторы могут быть добавлены до стадии флотации 112 или во время этой стадии.

С помощью изобретения из зернистого минерального материала 106 во флотационный концентрат 116 может быть извлечено более, чем примерно 80 вес. % сульфидных минералов и, предпочтительно, более, чем около 90 вес. % таких сульфидных минералов.

Главное преимущество способа изобретения состоит в том, что кроме высокой степени извлечения золотосодержащих сульфидных минералов во флотационный концентрат 116, он обеспечивает высокую степень отбраковки пустой породы в хвосты флотации 118. Что касается применения в качестве флотационного газа воздуха, то изобретение обеспечивает получение такой же степени извлечения золота в концентрат меньшей массы. Источник газа 110 представляет собой установку, в которой из воздуха выделяют азотный газ, при этом отделенный азотный газ применяют в качестве защитного газа 108 и флотационного газа 114. Для выделения азота из воздуха известно несколько методов, включая криогенное разделение и мембранные разделения.

На фиг. 2 показан один вариант изобретения, в котором для переработки золотосодержащего сульфидного минерального материала применяют как поток кислородного газового продукта, так и поток побочного азотного газового продукта. Как следует из фиг. 2, для получения флотационного концентрата 116 и хвостов флотации 118 зернистый минеральный материал 110 подвергают флотации 112. Флотационный газ 114 представляет собой поток

побочного продукта из кислородной установки 130, обогащенный азотом, в которой воздух 132 разделяют на газовый поток, обогащенный кислородом и газовый поток, обогащенный азотом.

Флотационный концентрат 116, который обогащен золотосодержащими сульфидными минералами, подвергают окислению под давлением 124 для разложения сульфидных минералов, при этом получают окисленный материал 126, из которого путем растворения с использованием подходящего для золота выщелачивающего агента, например цианида, может быть извлечено золото. Окисление под давлением 124 включает обработку пульпы флотационного концентрата 116 в автоклаве при температуре выше чем около 150°C и при повышенном давлении в присутствии избыточного давления очищенного газа, который обогащен кислородом. Следует отметить, что вместо окисления под давлением 124 могут быть применены стадии другой окислительной обработки. Для получения окисленного материала 126 можно использовать, например, окислительный обжиг или биоокисление с применением очищенного газа 128.

Дополнительный вариант в соответствии с изобретением показан на фиг. 3. В этом варианте для переработки золотосодержащего сульфидного минерального материала, предусмотренного в двух различных потоках поступающего материала, применяют потоки газа из кислородной установки. Как следует из фиг. 3, для получения ранее описанных флотационного концентрата 116 и хвостов флотации 118 флотации 112 подвергают первую загрузку зернистого минерального материала 138. Флотационный газ 114 представляет собой поток газа, обогащенный азотом, поступающий из кислородной установки 130. С флотационным концентратом 116 на стадии смешивания соединяют вторую загрузку зернистого минерального материала 140. Смешанный поток 144 для получения окисленного материала 126, из которого можно извлечь золото, подвергают окислению под давлением 124.

Преимущество варианта, показанного на фиг. 3, состоит в том, что он обеспечивает переработку многочисленных руд, имеющих различные свойства. Так, например, первая загрузка минерального материала 138 может содержать более низкосортную золотосодержащую сульфидную руду, чем вторая загрузка минерального материала, которая может содержать более высокосортную золотосодержащую сульфидную руду. Высокосортная руда может быть подходящей для окисления под давлением в форме цельной руды, в то время как низкосортную руду следует сначала обогатить до формы концентрата, подходящего для окисления под давлением.

Альтернативно, вторая загрузка минерального материала может содержать золотосодержащую сульфидную руду, которая имеет значительное количество карбонатного материала, который будет потреблять кислоту, полученную во время процесса окисления под давлением 124, и который, поэтому, будет оказывать неблагоприятное воздействие на операцию окисления под давлением 124. Высокое содержание сульфидной серы во флотационном концентрате 116 способствует во время окисления под давлением получению дополнительной кислоты для, по меньшей мере, частичной компенсации потребления кислоты карбонатным материалом, находящимся во второй загрузке минерального материала. Почти весь карбонатный материал, который может присутствовать в первой загрузке минерального материала, во время флотации 112 обычно удаляют.

Изобретение далее будет описано посредством следующих примеров, которые служат только для иллюстрации, и ими, ни в коей мере, не ограничивают объем изобретения.

Примеры 1-6 наглядно показывают применение во время флотации золотосодержащей сульфидной руды для получения сульфидного обогащенного концентрата, который может быть далее, по желанию, переработан для извлечения золота, в качестве флотационного газа азотного газа.

Образцы руды для каждого из примеров 1-6 брали с месторождения Santa Fe Pacific Gold Corporation's Lone Tree Mine (Санта Фе Пасифик Гоулд Корпорейшн'з Лоун Три Майн) в Неваде. Образцы руды представляли собой низкосортную сульфидную руду, которая была неподходящей для экономичного окисления под давлением в форме цельной руды. Анализ типичной головной фракции образца руды показан в таблице 1.

Таблица 1

| Низкосортная сульфидная руда месторождения Lone Tree. | | |
|---|--------------------------------|----------------|
| Анализ типичной головной фракции | | |
| Золото | 0.063 унц./к.т. ⁽¹⁾ | (0.0694 унц/т) |
| Серебро | 0.05 унц./ к.т. ⁽¹⁾ | (0.0551 унц/т) |
| Общее содержание серы | 1.75 вес. % | |

| | | |
|-----------------|-------------------------------|--|
| Сульфидная сера | 1.66 вес. % | |
| Мышьяк | 1440 част. на миллион по весу | |

⁽¹⁾ унции на короткую тонну руды.

Для каждого примера образец руды измельчили до желательного размера. Первую порцию образца руды подвергли флотации во флотационной камере лабораторного масштаба с применением в качестве флотационного газа воздуха. Вторую порцию образца руды подвергли флотации при тех же самых условиях, за исключением того, что использовали флотационный газ, который, по существу, состоял из азотного газа. Во время каждого флотационного испытания с верхней части флотационной камеры для извлечения флотационного концентратата, который обогащен сульфидными минералами и который, следовательно, обогащен золотом, собрали пенный продукт флотации. Хвосты флотации представляют такой материал, который не присутствует в пенном продукте. Для каждого флотационного испытания условия флотации были, по существу, следующими: естественный pH и добавки амилксантата калия и меркаптобензотиазола в качестве коллекторов, сульфата меди для активации сульфидов и МИВС в качестве пенообразователя. Время флотации составляло от 20 до 30 минут.

Результаты примеров 1-6 показаны в таблице 2 и графически на фиг. 1-7, и они показывают значительный прирост количества извлеченного золота в концентрат при применении в качестве флотационного газа азотного газа, в особенности при малой крупности помола.

Таблица 2
Испытания загрузок низкосортной руды с
месторождения Lone Tree

| Пример | Крупн. помола Р80 меш ⁽¹⁾ | Содер. ценных комп. в концент., унц. з./к.т. ⁽²⁾ (унц. з./т) | | Содер. ценных комп. в хвостах, унц. з./к.т. ⁽³⁾ (унц. з./т) | | Извлечение концентратата, вес. % ⁽⁴⁾ | | Извлечение золота в концент., % ⁽⁵⁾ | |
|--------|--|---|------------------|--|------------------|---|------|--|------|
| | | возд. | азот | возд. | азот | возд. | азот | возд. | азот |
| 1 | 100 | 0.31 (0.3417) | 0.35 (0.3858) | 0.19 (0.2094) | 0.20 (0.2205) | 15 | 15 | 75 | 75 |
| 2 | 150 | 0.28 (0.3087) | 0.31 (0.3417) | 0.21 (0.2375) | 0.16 (0.1764) | 15 | 16 | 71 | 79 |
| 3 | 200 | 0.33 (0.3638) | 0.29 (0.3197) | 0.21 (0.2375) | 0.16 (0.1764) | 15 | 19 | 74 | 81 |
| 4 | 270 | 0.22 (0.2425) | 0.25 (0.2756) | 0.22 (0.2425) | 0.16 (0.1323) | 20 | 25 | 73 | 81 |
| 5 | 325 | 0.23 (0.2535) | 0.20 (0.2205) | 0.22 (0.2425) | 0.16 (0.1764) | 20 | 25 | 73 | 81 |
| 6 | 400 | 0.14 (0.1543) | 0.14 (0.1543) | 0.29 (0.3197) | 0.12 (0.1323) | 29 | 33 | 67 | 85 |

⁽¹⁾ 80 вес. % материала имели указанную крупность;

⁽²⁾ унции золота на короткую тонну концентратата;

⁽³⁾ унции золота на короткую тонну хвостов;

⁽⁴⁾ весовой процент загрузки образца руды, переведенной в концентрат;

⁽⁵⁾ % золота в загрузке образца руды, переведенной в концентрат.

На фиг. 4 графически изображено содержание ценного компонента во флотационном концентрате (измеренное в унциях золота на короткую тонну концентратата) в виде функции крупности помола. Как следует из фиг. 4, разница в воздействии на содержание ценного компонента в концентрате при применении азотного газа и при применении воздуха при флотации не является заметной. Однако, как следует из фиг. 5, хвосты флотации при малой крупности помола содержат значительно меньшее количество золота при применении в качестве флотационного газа азотного газа по сравнению с применением воздуха. Следовательно, при применении азотного газа в концентрат извлекается большее количество золотосодержащих сульфидных минералов, при этом не оказывается неблагоприятное воздействие на содержание ценного компонента в извлеченном концентрате. На фиг. 6 показано, что количество материала,

•извлеченного в концентрат, может быть значительно выше при использовании в качестве флотационного газа азотного газа, чем при использовании воздуха» особенно при малых крупностях помола. На фиг. 7 показано, что извлечение золота в концентрат может быть увеличено почти на 15 %, при крупности Р 80 270 меш и когда в качестве флотационного газа используют азотный газ, а не воздух, при этом также не оказывается неблагоприятного воздействия на содержание ценного компонента в извлеченном концентрате.

Следует отметить, что при крупности Р 80 - 100 меш, не существует значительной разницы в эффективности флотации при применении в качестве флотационного газа азотного газа по сравнению с применением в качестве такового воздуха. Поэтому явились неожиданным, что эффективность так заметно возросла при применении азотного газа по сравнению с воздухом при малых крупностях помола. Как правило, эффективность флотации возрастает с уменьшением крупности помола вследствие более полного высвобождения сульфидных минералов из несульфидной пустой породы. Однако, как следует из фиг. 7, извлечение золота в концентрат при применении в качестве флотационного газа воздуха в лучшем случае может быть представлено в виде прямой линии. Когда в качестве флотационного газа применяют воздух, pH пульпы во флотационной камере быстро уменьшается в течение нескольких минут, иногда он снижается на 0.5-2 единицы pH. Поэтому предполагается, что кислород воздуха может окислять поверхность частиц сульфидного минерала, что приведет к получению серной кислоты и снижению pH пульпы. Такое окисление поверхности частиц сульфидного минерала может сделать их менее чувствительными к флотации. Когда крупность помола становится меньше, поверхность, доступная для окисления, значительно увеличивается, и поэтому благоприятное воздействие от более полного высвобождения сульфидного минерала, благодаря малой крупности помола, компенсируется увеличенным окислением поверхности, что в дальнейшем приводит к депрессии флотации частиц сульфидного минерала.

Пример 7.

Этот пример дополнительно иллюстрирует применение азотного газа при флотации золотосодержащих сульфидных руд и использование схемы грубой, перечистной, очистной флотации для повышения извлечения концентрата.

При работе флотационной экспериментальной установки использовали низкосортную сульфидную руду с месторождения Lone Tree, которая ранее была описана в примерах 1-6. Схема экспериментальной флотационной установки показана на фиг.8.

Как следует из фиг.8, проба руды 166 подвергается измельчению 168 в шаровой мельнице до крупности Р 80 270 меш. Измельченная руда в виде пульпы 170 поступает на стадию грубой флотации 172. На стадии грубой флотации 172 осуществляют первоначальное флотационное разделение, при этом грубый предварительный концентрат 174 собирают с пенным продуктом флотации, а хвосты грубой флотации 176 направляют на стадию перечистной флотации 178, причем материал, собранный в пенном продукте флотации стадии перечистной флотации 178 повторно распульповывают и вводят в виде пульпы 179 на стадию очистной флотации 180, где для получения очищенного от пены концентрата 182 и очищенных хвостов 184 осуществляют окончательное флотационное разделение. Очищенные хвосты 184 соединяют с хвостами 186, полученными со стадии перечистной флотации 178, при этом получают конечные хвосты 188. Грубый концентрат 174 и очищенный концентрат 182 смешивают, при этом получают конечный концентрат 190. В этом примере стадию грубой флотации 172 осуществляют в одной флотационной камере, состоящей из двух отделений, стадию перечистной флотации 178 осуществляют последовательно в трех флотационных камерах, состоящих из двух отделений, и стадию очистной флотации 180 осуществляют последовательно в трех флотационных камерах, состоящих из двух отделений. Как показано на фиг. 8, азотный газ 192 подают из газгольдера 194 и затем его направляют на стадию измельчения 168, стадию грубой флотации 172 и стадию очистной флотации 180. Азотный газ 192 на каждой стадии флотации используют в качестве флотационного газа и в качестве защитного газа для препятствования окислению частиц руды воздухом во время измельчения. Азотный газ используют также для защиты остального технологического оборудования, которое не показано, например, насосов и смесителей. Поэтому золотосодержащие сульфидные минералы в образце руды 166 сохраняются в, по существу, не содержащей воздуха среде в течение всего времени пребывания в опытной установке до тех пор, пока золотосодержащие сульфидные минералы будут извлечены в желательный концентрат.

Результаты работы опытной установки показаны в таблице 3, из которой следует, что конечный концентрат 190 с опытной установки представляет собой концентрат более высокого

качества, чем концентрат, полученный в примерах 1-6. Добавление стадии перечистной флотации 178 и стадии очистной флотации 180 при работе опытной установки значительно повышает содержание ценного компонента в извлеченном концентрате без ощутимых потерь в извлечении золота.

Таблица 3

| Опытная установка для руды с месторождением Lone Tree | | | | | |
|---|---|--|---|--|---|
| Пример | Крупн. помола P80 меш ⁽¹⁾ | Содер. ценного комп. в концент., унц. з./к.т. ⁽²⁾ (унц. з./т) | Содер. ценного комп. в хвостах, унц. з./к.т. ⁽³⁾ (унц. з./т) | Извлечение конечного концентратата, вес. % ⁽⁴⁾ | Извлечение золота в кон.конц., % извл. золота ⁽⁵⁾ |
| 7 | 270 | 0.57 (0.6284) | 0.0095 (0.0104) | 9.4 | 86.4 |

⁽¹⁾ 80 вес. % материала имели указанную крупность;

⁽²⁾ унции золота на короткую тонну соответствующего концентрата;

⁽³⁾ унции золота на короткую тонну конечных хвостов;

⁽⁴⁾ весовой процент загрузки образца руды, перешедшей в соответствующий концентрат;

⁽⁵⁾ % золота в концентрате относительно загрузки на соответствующую стадию флотации.

Пример 8

Осуществили лабораторные испытания образцов низкосортной золотосодержащей сульфидной руды с месторождения Санта Фе Пасифик Гоулд Корпорейшн'з Твин Крикс Майн в Неваде. Типичный анализ образца руды показан в таблице 4. Для каждого испытания образец измельчили до соответствующего размера и затем порцию каждого образца подвергли флотации с применением в качестве флотационного газа воздуха, а другую порцию подвергли флотации с применением в качестве флотационного газа азота. Использовали, по существу, те же самые условия флотации, которые описаны для примеров 1-6.

Таблица 4

| Низкосортная сульфидная руда месторождения Твин Крикс | | |
|---|--------------------------------|----------------|
| Анализ типичной головной фракции | | |
| Золото | 0.085 унц./к.т. ⁽¹⁾ | (0.0937 унц/т) |
| Серебро | 0.28 унц./к.т. ⁽¹⁾ | (0.3087 унц/т) |
| Общее содержание серы | 6.45 вес. % | |
| Сульфидная сера | 6.27 вес. % | |
| Мышьяк | 1630 част. на миллион по весу | |

⁽¹⁾ унции на короткую тонну руды.

Результаты примера 8 графически изображены на фиг. 9, на которой представлена графическая зависимость извлечения золота в концентрат в виде функции крупности помола. Как следует из фиг. 9, применение азотного газа обычно приводит к значительно более высокому извлечению золота в концентрат по сравнению с применением в качестве флотационного газа воздуха.

Изобретение было описано со ссылкой на конкретные варианты изобретения. Однако, в соответствии с изобретением любой из признаков, показанных в любом варианте, может быть признаком любого другого варианта. Так, например, любой признак, показанный на любой одной из фиг. 1-3 и 8 может быть объединен с любым другим признаком, показанным на любой из этих фигур. Кроме того, хотя различные варианты изобретения были описаны подробно, для специалистов в данной области являются очевидными различные модификации и переделки. Понятно, что такие модификации и переделки входят в сущность изобретения, изложенную в формуле изобретения.

Формула изобретения

1. Способ переработки золотосодержащего минерального материала, включающего, по меньшей мере, один из сульфидов пирита, марказита, арсенопирита, мышьяковистого пирита и пирротита, с которыми связано золото, и несульфидный материал в виде пустой породы, при котором образуют минеральный материал в форме частиц и подвергают его флотации,

отличающийся тем, что флотацию осуществляют с помощью флотационного газа, содержащего не более 15 об. % кислорода, для разделения минерального материала, по меньшей мере, на две фракции, при этом одна фракция представляет собой флотационный концентрат, собранный из пенного продукта флотации, обогащенный золотом и, по меньшей мере, одним из сульфидов пирита, марказита, арсенопирита, мышьяковистого пирита и пирротита, и другая фракция представляет собой хвосты, обогащенные несульфидным материалом и обедненные золотом.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что флотационный концентрат содержит более чем 80 вес. % упомянутого сульфида в минеральном материале.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что флотационный концентрат содержит более чем 90 вес. % упомянутого сульфида в минеральном материале.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что флотационный газ содержит менее чем 5 об. % кислорода.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что флотационный газ, по существу, не содержит кислорода.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что флотационный газ содержит более чем 85 об. % азота.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что флотационный газ содержит более чем 95 об. % азота.

8. Способ по п. 1, отличающийся тем, что флотационный газ, по существу, не содержит компонентов, которые способны к окислению сульфидной серы в сульфидном минерале во время флотации.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что флотационный газ содержит более чем 95 об. % газа, выбранного из группы, состоящей из азота, гелия, аргона, диоксида углерода и их комбинаций.

10. Способ по любому из пп. 1-9, отличающемуся тем, что образование минерального материала в форме частиц включает измельчение крупнодисперсного золотосодержащего минерального материала в присутствии защитного газа, содержащего не более чем 15 об. % кислорода.

11. Способ по любому из пп. 1-9, отличающемуся тем, что образование минерального материала в форме частиц включает измельчение крупнодисперсного золотосодержащего минерального материала в среде, которая, по существу, не содержит кислорода.

12. Способ по п. 11, отличающийся тем, что сульфидный минеральный материал сохраняют в среде, которая, по существу, не содержит кислорода в период времени между измельчением и флотацией, и во время измельчения и флотации.

13. Способ по любому из пп.1-12, отличающемуся тем, что после флотации, по меньшей мере, часть флотационного концентрата подвергают окислительной обработке в присутствии очищенного газа, который обогащен относительно окружающего воздуха кислородом, для окисления, по меньшей мере, части сульфидной серы и высвобождения, по меньшей мере, части золота для облегчения последующего возможного извлечения золота.

14. Способ по п. 13, отличающийся тем, что дополнительно разделяют в кислородной установке компоненты воздуха на, по меньшей мере, два газовых потока, причем первый газовый поток обогащен кислородом, а второй газовый поток обеднен кислородом, флотационный газ включает упомянутый второй газовый поток, и очищенный газ на стадии окислительной обработки содержит, по меньшей мере, часть первого газового потока.

15. Способ по п. 13, отличающийся тем, что окислительная обработка включает окисление под давлением пульпы, по меньшей мере, части флотационного концентрата при повышенной температуре и при повышенном давлении в присутствии очищенного газа.

16. Способ по пп. 13 или 14, отличающийся тем, что окислительная обработка включает биоокисление сульфидного материала.

17. Способ по п. 13, отличающийся тем, что окислительная обработка включает обжиг, по меньшей мере, части флотационного концентрата при повышенной температуре в присутствии очищенного газа.

18. Способ по любому из пп. 13-17, отличающемуся тем, что после флотации, по меньшей мере, часть флотационного концентрата смешивают с цельной золотосодержащей рудой, содержащей, по меньшей мере, один из сульфидов для получения смеси, и упомянутую смесь подвергают окислительной обработке.

19. Способ по п. 18, отличающийся тем, что окислительная обработка включает окисление под давлением пульпы, по меньшей мере, части флотационного концентрата при повышенной температуре и повышенном давлении в присутствии очищенного газа, цельная руда содержит карбонатный материал, который потребляет во время окисления под давлением кислоту, и флотационный концентрат обогащают сульфидной серой, которая во время окисления под давлением способствует получению серной кислоты, которая, по меньшей мере, частично компенсирует потребление кислоты карбонатным материалом, содержащимся в руде.

20. Способ по п. 13, отличающийся тем, что после окислительной обработки извлекают золото путем растворения в выщелачивающем растворе, содержащем выщелачивающий агент для золота.

21. Способ переработки золотосодержащего минерального материала, включающего, по меньшей мере, один из сульфидов пирита, марказита, арсенопирита, мышьяковистого пирита и пирротита, с которым связано золото, и несульфидный материал в виде пустой породы, при котором образуют минеральный материал в форме частиц и подвергают его флотации, отличающийся тем, что при измельчении минеральный материал смешивают с защитным газом, содержащим не более 15 об. % кислорода, а флотацию осуществляют в присутствии флотационного газа для разделения минерального материала, по меньшей мере, на две фракции, при этом одна фракция представляет собой флотационный концентрат, собранный из пенного продукта флотации, обогащенный золотом и, по меньшей мере, одним из сульфидов пирита, марказита, арсенопирита, мышьяковистого пирита и пирротита, и другая фракция представляет собой хвосты, обогащенные несульфидным материалом и обедненные золотом.

22. Способ по п. 21, отличающийся тем, что во время смешивания защитным газом вытесняют воздух из крупнодисперсного минерального материала.

23. Способ по пп. 21 или 22, отличающийся тем, что защитный газ содержит менее чем 5 об. % кислорода.

24. Способ по любому из пп. 21-23, отличающийся тем, что защитный газ содержит более чем 95 об. % азота.

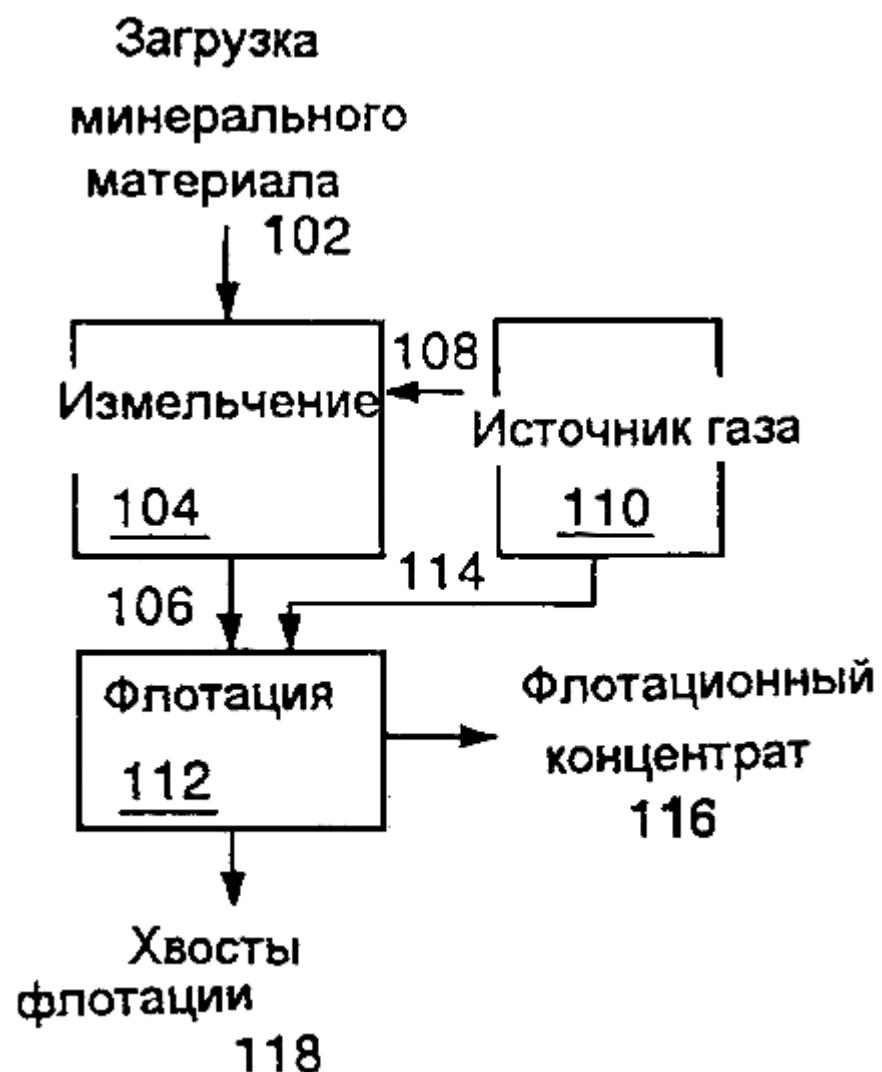
25. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что минеральный материал включает пирит, с которым связано золото.

26. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что минеральный материал включает марказит, с которым связано золото.

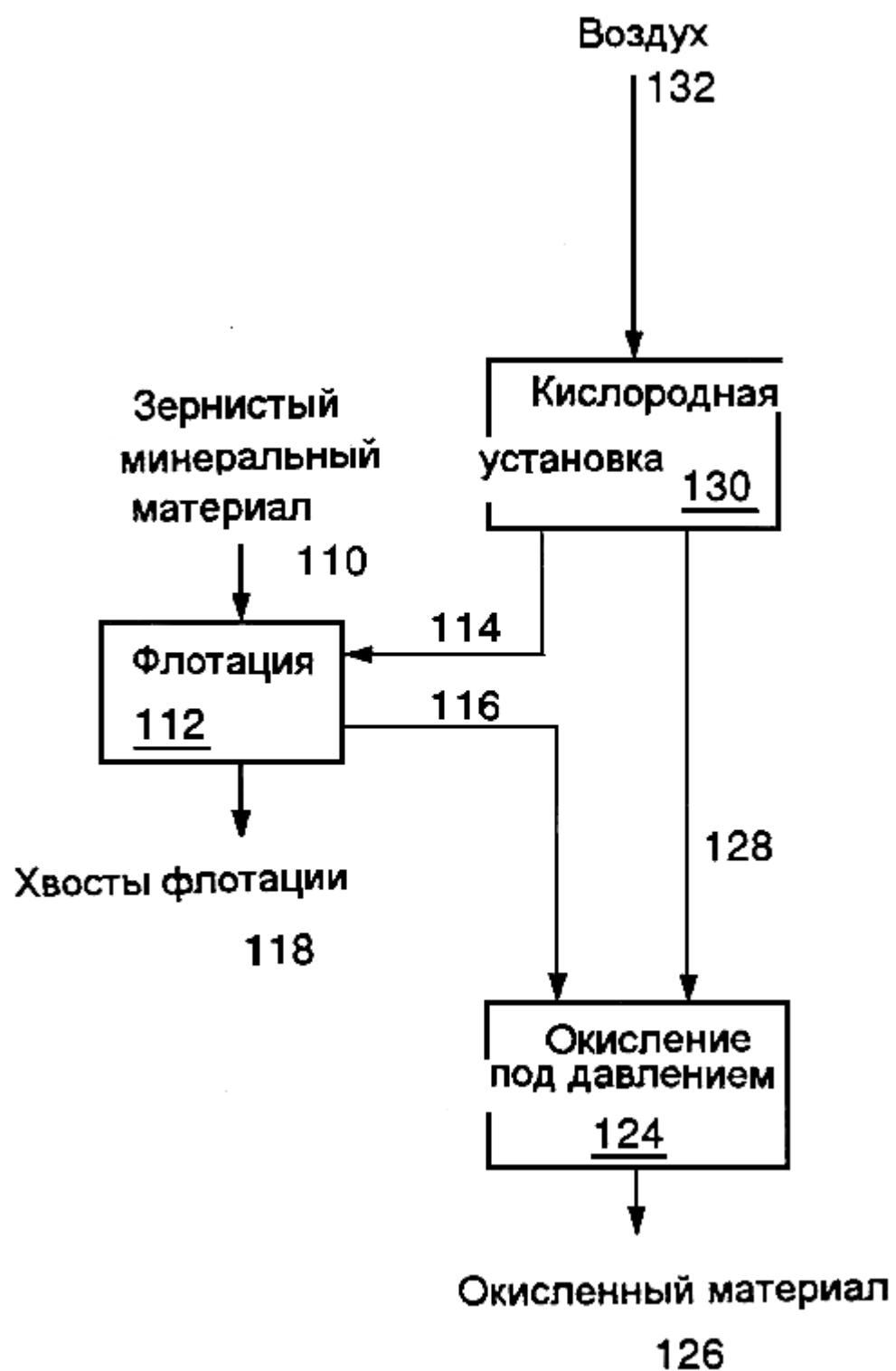
27. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что минеральный материал включает арсенопирит, с которым связано золото.

28. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что минеральный материал включает мышьяковистый пирит, с которым связано золото.

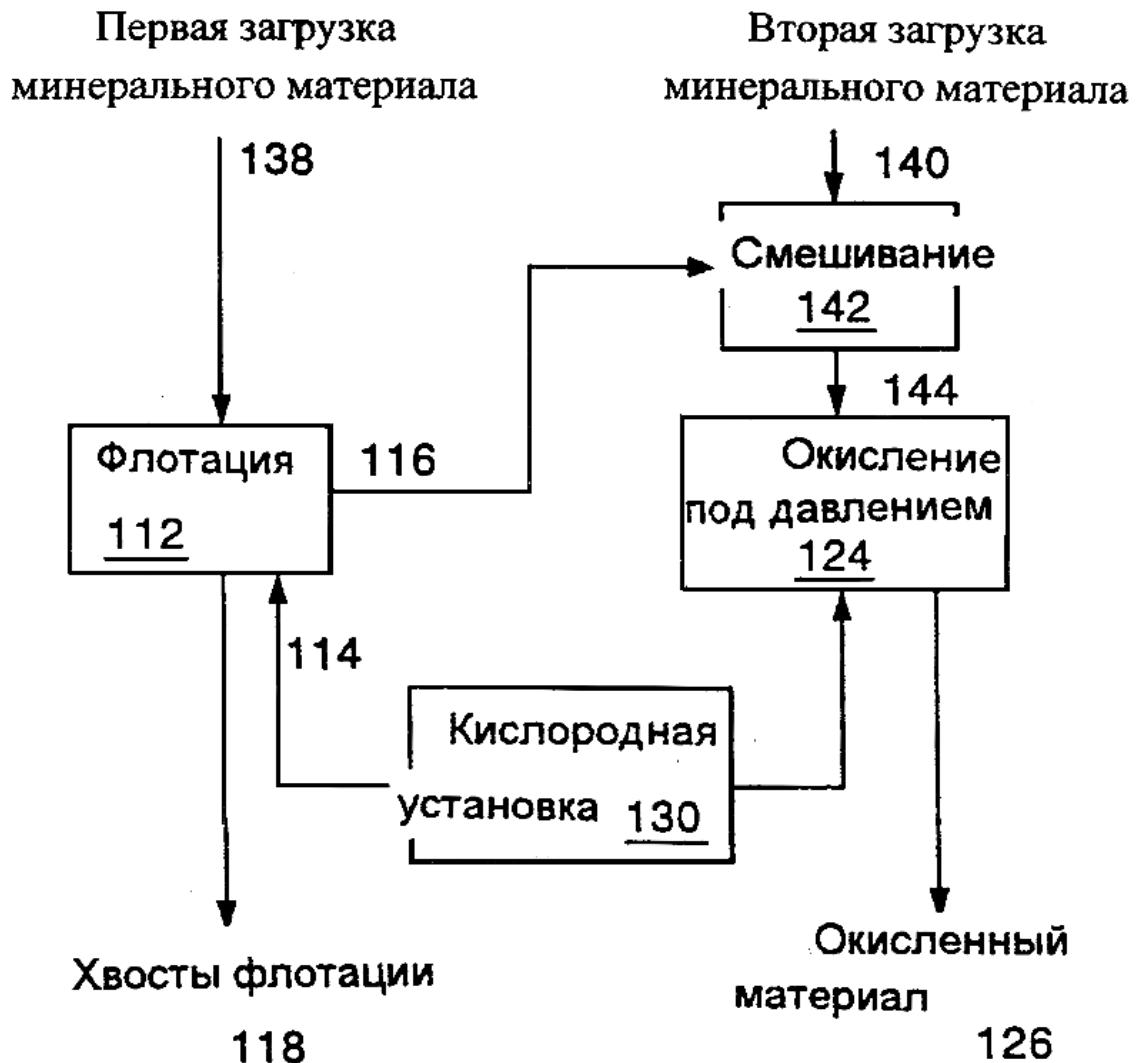
29. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что минеральный материал включает пирротит, с которым связано золото.



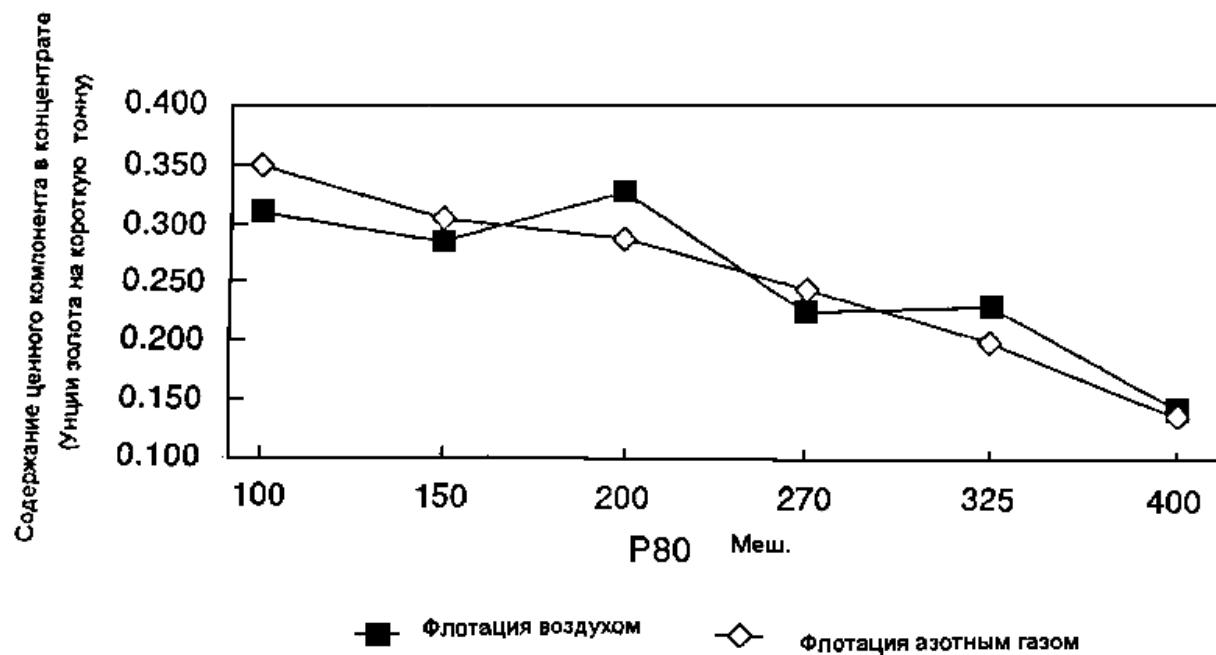
Фиг. 1



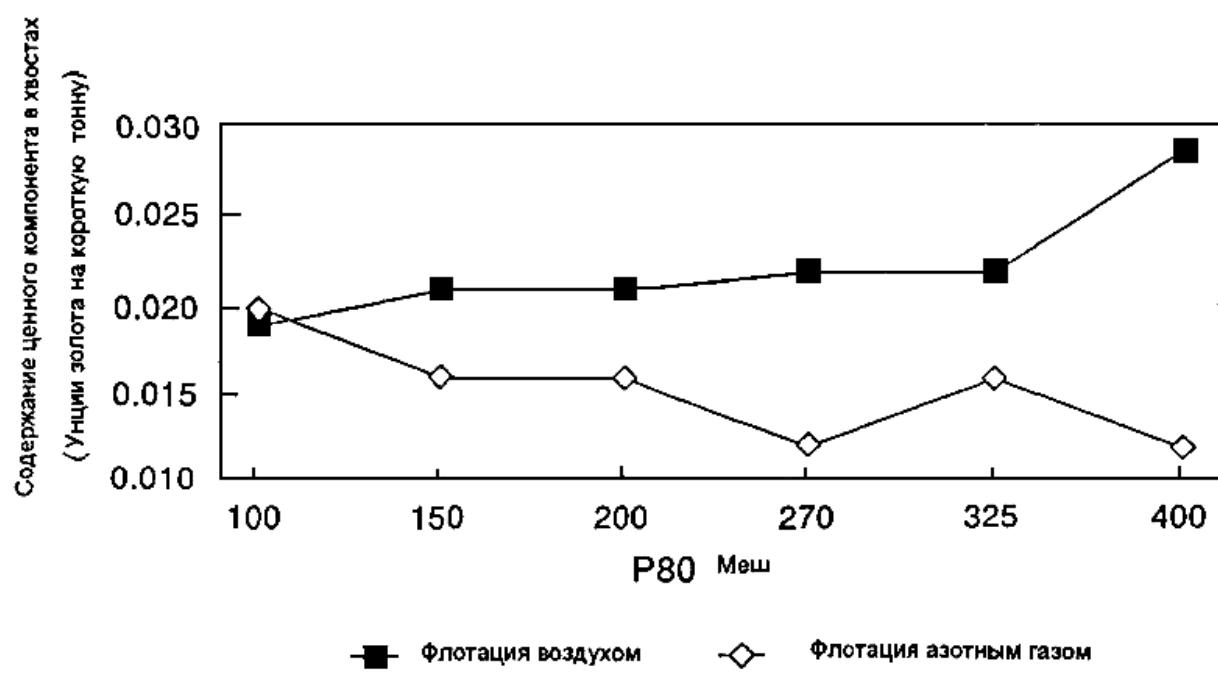
Фиг. 2



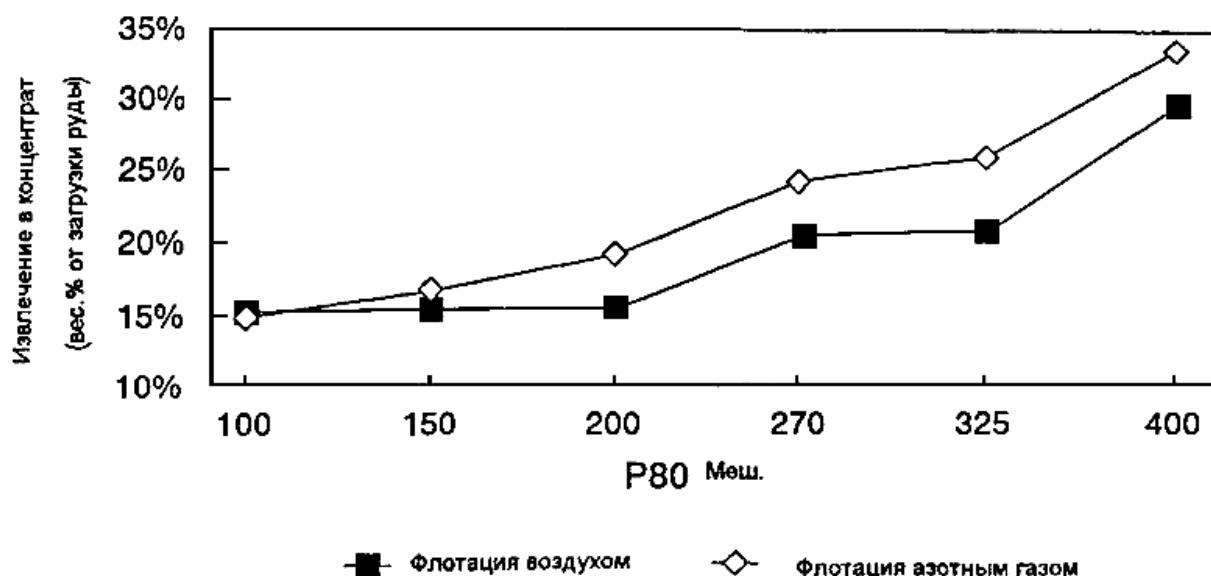
Фиг. 3



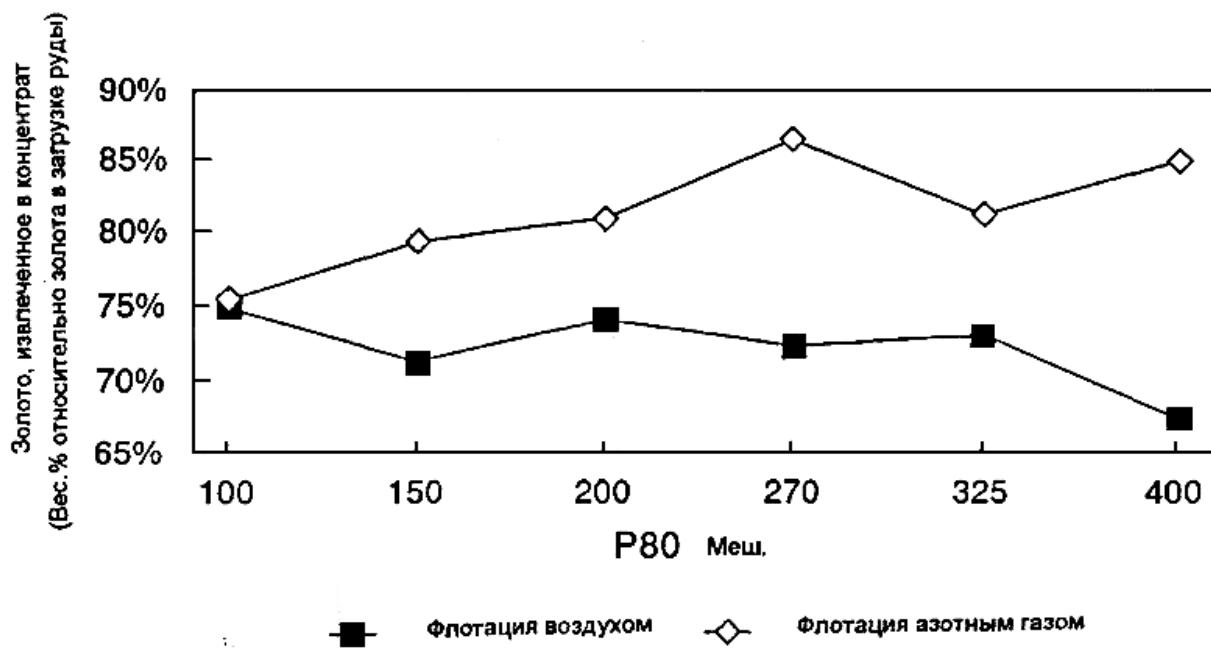
Фиг. 4



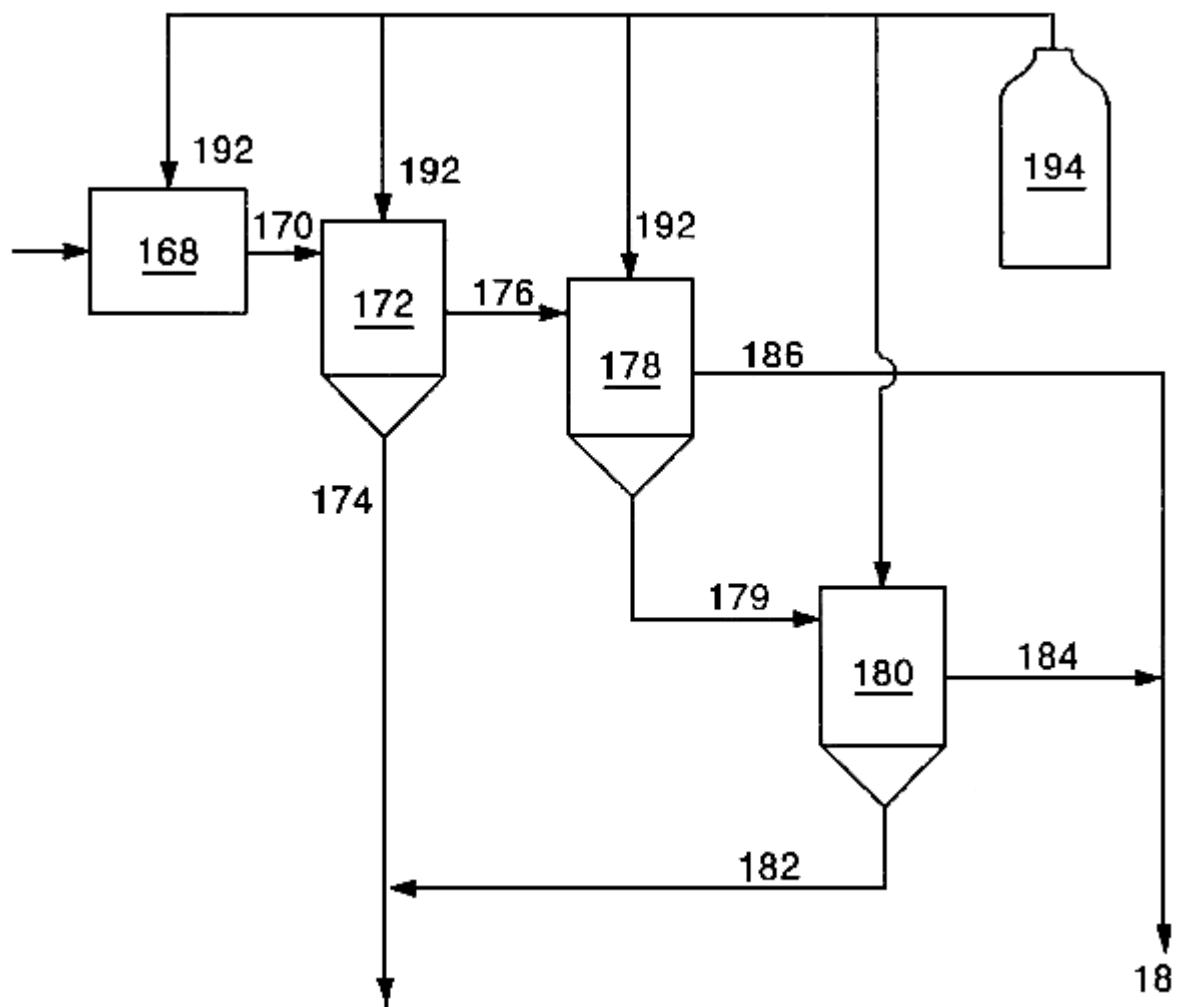
Фиг. 5



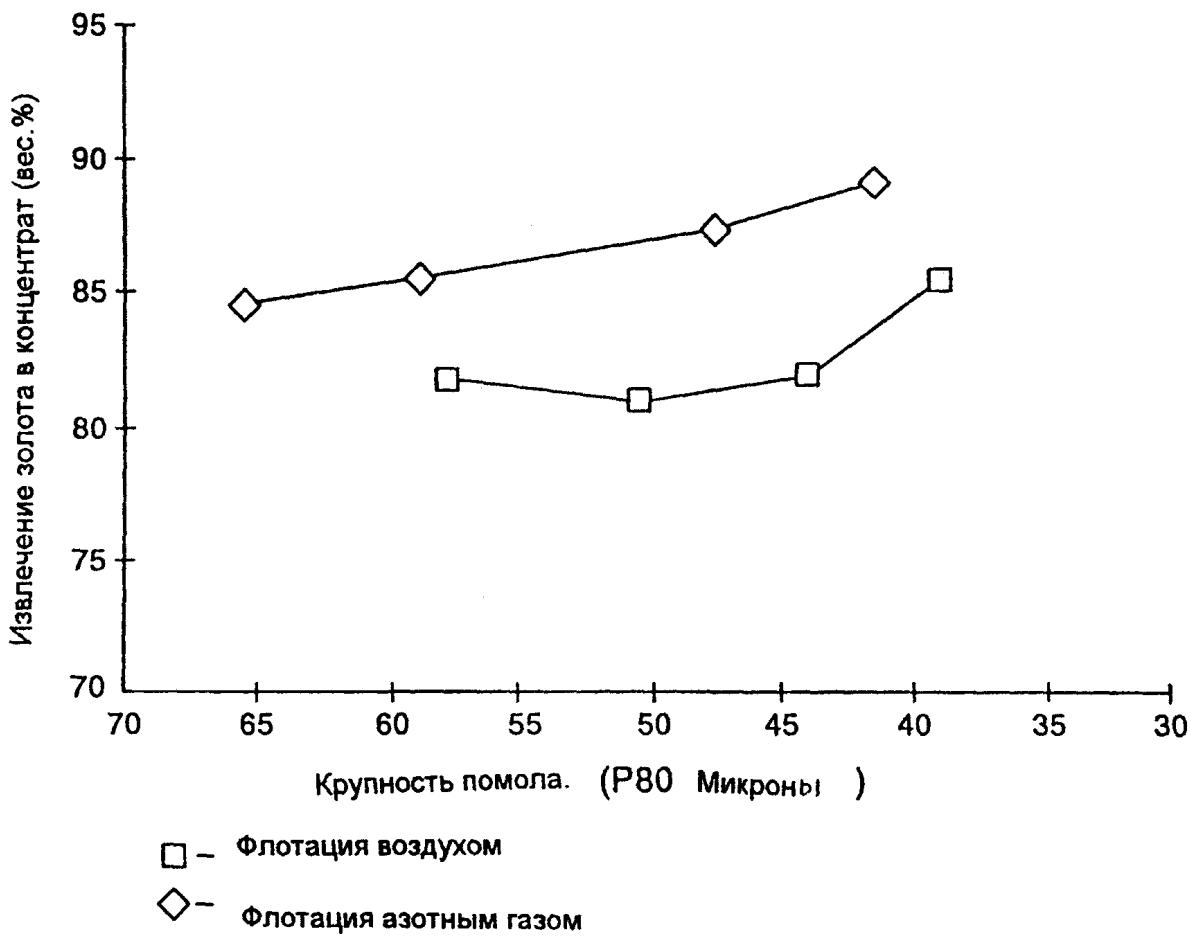
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

Составитель описания
Ответственный за выпуск

Никифорова М.Д.
Арипов С.К.