

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034681**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.03.05

(21) Номер заявки
201690451

(22) Дата подачи заявки
2014.09.04

(51) Int. Cl. **C22B 11/00** (2006.01)
C22B 15/00 (2006.01)
C22B 3/12 (2006.01)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ И/ИЛИ БЛАГОРОДНОГО МЕТАЛЛА

(31) **2013903380; 2014902389**

(32) **2013.09.04; 2014.06.23**

(33) **AU**

(43) **2016.07.29**

(86) **PCT/AU2014/000877**

(87) **WO 2015/031943 2015.03.12**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**КЁРТИН ЮНИВЕРСИТИ ОФ
ТЕКНОЛОДЖИ (AU)**

(72) Изобретатель:
**Икстин Джейкобас Джоаннес, Орэби
Илсайед Абдельреди (AU)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2013023297
WO-A1-2004005556
US-A-4895597**

(57) Способ извлечения металла, представляющего собой медь и/или благородный металл, из металлосодержащего материала, включающий стадии выщелачивания металлосодержащего материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с указанным металлом, с получением металлосодержащего продукта выщелачивания и экстрагирования металла из продукта выщелачивания. Способ извлечения благородного металла из содержащего благородный металл материала, включающий стадии выщелачивания содержащего благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, и окислитель, при температуре выше температуры окружающей среды с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, и экстрагирования благородного металла из продукта выщелачивания. Дифференциальный способ выщелачивания для извлечения меди и благородного металла из содержащего медь и благородный металл материала, включающий стадии: (а) выщелачивание содержащего медь и благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, при первых условиях с получением содержащего медь продукта выщелачивания и содержащего благородный металл остатка, причем первые условия включают температуру окружающей среды; (b) выщелачивание содержащего благородный металл остатка с помощью щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, при вторых условиях с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, причем вторые условия включают температуру выше температуры окружающей среды; (с) экстрагирование меди из содержащего медь продукта выщелачивания и (d) экстрагирование благородного металла из содержащего благородный металл продукта выщелачивания. Способ извлечения металла, представляющего собой медь и/или благородный металл, из металлосодержащего материала, включающий стадии выщелачивания металлосодержащего материала с помощью водного щелочного, свободного от тиосульфата раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с указанным металлом, с получением металлосодержащего продукта выщелачивания и экстрагирования указанного металла из продукта выщелачивания.

034681 B1

034681

B1

Область техники, к которой относится изобретение

Раскрытый способ предназначен для извлечения металла, выбранного из меди и благородных металлов, из содержащих медь и/или благородный металл материалов. Способ может применяться для извлечения металлов из руд, рудных концентратов, или отходов обогащения, или из других металлосодержащих материалов, в том числе ювелирных изделий, лома электроники и других материалов на основе лома. В частности, способ может применяться в отношении выщелачивания низкосортных руд, рудных концентратов или отходов обогащения на месте залегания или в подходе кучного выщелачивания.

Применяемый в данном документе термин "благородный металл" означает золото, серебро и металлы платиновой группы: рутений, родий, палладий, осмий, иридий и платину. Однако в отношении благородных металлов способ особенно применим для извлечения золота и/или серебра, и поэтому рассмотрение будет сосредоточено на этих двух благородных металлах.

Уровень техники

Извлечение меди и/или благородных металлов обычно осуществляют с помощью гидрометаллургических способов. Для выщелачивания меди и/или благородных металлов применялись различные типы реагентов. Большинство таких реагентов обладает неблагоприятными свойствами, такими как токсичность, расход, отсутствие селективности и низкие скорости экстракции, как более подробно описано ниже.

Благородные металлы

При выщелачивании благородных металлов, таких как золото и/или серебро, выщелачивающие средства включают цианид, тиосульфат, тиоцианат, галогениды и галогены (такие как хлориды, бромиды и йодиды, а также хлор, бром и йод), и тиомочевину. Среди них цианид остается преобладающим реагентом, который применяют в промышленном масштабе в отношении содержащих золото и золото-серебро руд, хотя системы медь-тиосульфат аммония внедрялись в некоторых местах добычи золота и обработки в промышленном масштабе по состоянию на 2012 г. Галогениды (в частности, хлор и хлориды) часто применяют при конечной очистке неочищенного слитка и сплава Доре (золото-серебряного сплава). Кроме того, высоко ядовитая и опасная с экологической точки зрения металлическая ртуть все еще часто применяется многими старателями. Несмотря на это, применение сильного выщелачивающего реагента (выщелачивающего средства), цианида натрия и цианидов других щелочных металлов (таких как калий) и щелочноземельных металлов (таких как кальций), все из которых называют "цианидами", создает ряд проблем, преимущественно вследствие их токсичности, нормативных ограничений, высокого углеродного следа и низкой селективности по отношению к низкосортным рудам. Это особенно проблематично для содержащих золото руд с высоким содержанием меди и/или высоким содержанием серебра, поскольку медь часто присутствует при уровнях, превышающих приблизительно в 1000 раз концентрацию золота (серебро часто превышает в 5-50 раз концентрацию золота), приводя к избыточному расходу цианида, а также за счет удаления доступного цианида для выщелачивания золота. Также цианид представляет собой дорогостоящий реагент настолько, что его применение по отношению к металлам более низкой ценности, таким как медь (и в меньшей степени по отношению к серебру), быстро становится экономически неоправданным не только в отношении выщелачивания, но также за счет следующих последствий (например, конкуренции с золотом в ходе адсорбции на активированном угле, элюирования и утилизации отходов). В дополнение он образует слабокислотные диссоциирующие (WAD) цианиды, для которых необходимы детоксикация/разрушение цианидов или способы извлечения цианида.

Современные альтернативные цианиду выщелачивающие средства также создают много проблем. Несмотря на это, тиосульфат натрия является главным претендентом в качестве выщелачивающего средства для золота, при этом он является дорогостоящим, для него необходимы дополнительное количество меди (в форме Cu^{2+}) в качестве окислителя (если уже не присутствует в содержащей золото руде), а также летучий и вредный аммиак для стабилизации системы выщелачивания. Он является применимым только для ограниченного числа содержащих золото руд. Более того, его нельзя экономично получать на месте, при этом для него необходимо сложное последующее отделение, и он не является биологически разлагаемым.

Ключевые проблемы альтернативных неорганических выщелачивающих средств изложены ниже.

Выщелачивающее средство	Критики
Тиоцианат натрия в кислой среде	Недостаточная растворимость серебра, часто ассоциированного с золотом. Коррозия вследствие кислой среды. Токсичность. Является очень устойчивым (недостаточно биологически разлагаем). Невозможно получить на месте.
Тиомочевина	Канцерогенна и токсична. Является дорогостоящей. Опасна для окружающей среды. Невозможно получить на месте.
Галогениды (хлорид-бромид-йодид)	Ограничены в отношении золота во флотоконцентрате, а не в отношении низкосортной руды. Коррозия и высокие капитальные затраты. Недостаточная селективность (мобилизация большей части металлов). Недостаточная растворимость других благородных металлов, таких как серебро. Не являются биологически разлагаемыми. Причиняют вред окружающей среде.

Медь

В настоящее время более 20% мирового производства меди получают посредством применения гидрометаллургических способов, в частности, с помощью способов кислотного кучного выщелачивания (или кучного биологического выщелачивания)-экстракции растворителем-электрохимического извлечения для низкосортных руд.

Известно, что присутствие минералов, содержащих медь, с золотом приводит к множеству проблем во время цианирования содержащих золото руд, таким как высокий расход цианида при низкой экстракции золота и нежелательные воздействия на извлечение золота во время осуществления последующих способов. Один существовавший ранее способ обработки таких руд был направлен на селективное выщелачивание золота из содержащих медь-золото руд аммиаком-цианидом. Однако успешность данного способа является чувствительной к типу руды. Несмотря на то, что данный способ может быть эффективным для обработки окисленных руд, было обнаружено, что обработка переходных или сульфидных руд приводит к недостаточному извлечению золота, и для нее необходимы высокие концентрации реагента. Для минералов, содержащих медь, расходуют приблизительно 30 кг/т NaCN на каждый 1% присутствующей реакционно-способной меди, делая традиционное цианирование содержащих медь-золото руд или концентратов экономически неоправданным. Более того, как цианид, так и аммиак характеризуются неблагоприятными воздействиями на окружающую среду.

Из минералов на основе сернистой меди халькопирит является наиболее устойчивым к выщелачиванию в кислой среде (серной кислоте самой по себе или вместе с хлористоводородной или азотной кислотами или связанной с биологическим выщелачиванием), которое является традиционным гидрометаллургическим способом экстракции меди, и при этом недостаточное извлечение меди является нормальным при повышенных температурах, необходимых для приемлемой экстракции меди. Было отмечено образование различных пассивирующих слоев в зависимости от условий выщелачивания, которые значительно замедляют реакцию выщелачивания или препятствуют протеканию реакции в зависимости от природы поверхности халькопирита и определенных применяемых химических условий выщелачивания. В содержащей золото-медь руде медленное выщелачивание халькопирита способствует расходу цианида и в некоторых случаях окклюзии золотом.

В Австралии и Азиатско-Тихоокеанском регионе находится ряд больших месторождений меди-золота. На таких заводах получают содержащие медь-золото концентраты и транспортируют их для плавления меди и извлечения золота из анодных шламов (например, Telfer, Mt Carlton, Boddington и Cadia Valley и т.д.). Однако повышение содержания золотосодержащего пирита и золотосодержащего мышьяковистого пирита в содержащих медь рудах приводит в результате к получению низкосортного медного концентрата. Кроме того, присутствие мышьяка ограничивает выход флотации из богатых халькопиритом концентратов так, что значительная часть золота подлежит извлечению под действием силы тяжести и посредством выщелачивания флотационных хвостов. Международное транспортирование низкосортного концентрата часто является экономически неоправданным. Поэтому может быть полезен альтернативный способ для извлечения меди и/или золота из таких низкосортных или сложных руд.

Соответственно существует необходимость в альтернативном способе извлечения металла, при котором применяют недорогое и приемлемое с экологической точки зрения выщелачивающее средство для извлечения благородного металла и/или меди. Также существует необходимость в безвредном для окружающей среды способе извлечения с низкими (производственными и капитальными) затратами в качес-

ве альтернативного способа экстракции для меди и/или благородных металлов. Также существует необходимость в безвредном для окружающей среды способе извлечения, который может применяться для выщелачивания меди, и/или золота, и/или серебра посредством выщелачивания на месте залегания, выщелачивания на месте происхождения, кучного выщелачивания или чанового выщелачивания либо руды, либо минеральных концентратов. Дополнительно существует необходимость в эффективном и безвредном для окружающей среды способе селективного извлечения меди из содержащих медь/благородный металл руд и рудных концентратов.

Сущность изобретения

В соответствии с настоящим раскрытием предлагается способ извлечения металла, представляющего собой медь и/или благородный металл, из металлосодержащего материала, включающий стадии выщелачивания металлосодержащего материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с указанным металлом, с получением металлосодержащего продукта выщелачивания и экстрагирования указанного металла из продукта выщелачивания.

Способ может включать выщелачивание меди из содержащего медь материала. В качестве альтернативы, способ может включать выщелачивание меди из содержащего медь и благородный металл материала. В качестве альтернативы, способ может включать выщелачивание благородного металла из содержащего медь и благородный металл материала. В качестве альтернативы, способ может включать выщелачивание благородного металла из содержащего медь и благородный металл материала. В качестве альтернативы, способ может включать выщелачивание благородного металла из содержащего благородный металл материала.

Также предложен способ извлечения меди из содержащего медь материала, включающий стадии выщелачивания содержащего медь материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, с получением содержащего медь продукта выщелачивания, и экстрагирования меди из продукта выщелачивания.

Также предложен способ извлечения благородного металла из содержащего благородный металл материала, включающий стадии выщелачивания содержащего благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, и окислитель, при температуре выше температуры окружающей среды с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, и экстрагирования благородного металла из продукта выщелачивания.

Окислитель может представлять собой кислородосодержащий окислитель, такой как пероксид (такой как пероксид водорода и/или пероксид кальция), диоксид марганца, перманганат калия или кислородосодержащий газ. Окислитель может представлять собой пероксид водорода, и количество пероксида водорода в растворе может составлять по меньшей мере 0,005 вес.%, предпочтительно 0,5 вес.% или больше, более предпочтительно по меньшей мере 1 вес.%, и предпочтительно максимально составляет 5 вес.%, более предпочтительно 1%. Было обнаружено, что присутствие окислителя является особенно предпочтительным при применении способа для извлечения благородного металла.

Водный щелочной раствор может дополнительно включать катализатор выщелачивания, содержащий соединения меди (II), который предпочтительно присутствует в концентрации по меньшей мере 1 мМ и предпочтительно в концентрации до 10 мМ.

Выщелачивание можно проводить при температуре окружающей среды. В качестве альтернативы, способ можно осуществлять при температуре выше температуры окружающей среды, предпочтительно по меньшей мере 30°C, например, по меньшей мере 40°C.

Аминокислота может представлять собой одну или несколько из глицина, гистидина, валина, аланина и фенилаланина, цистеина, аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, лизина, метионина, серина, треонина, тирозина и валина, и предпочтительно может представлять собой глицин. Производное аминокислоты может представлять собой пептид, такой как ди- или трипептид.

Концентрация аминокислоты в выщелачивающем растворе может составлять по меньшей мере 0,001 М и предпочтительно максимально может составлять 2 М.

Величина pH может находиться в диапазоне от 6 до 13 и предпочтительно может превышать 10.

Также предложен дифференциальный способ выщелачивания для извлечения меди и благородного металла из содержащего медь и благородный металл материала, включающий стадии:

(a) выщелачивание содержащего медь и благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, при первых условиях с получением содержащего медь продукта выщелачивания и содержащего благородный металл остатка, причем первые условия включают температуру окружающей среды;

(b) выщелачивание содержащего благородный металл остатка с помощью щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, при вторых условиях с получением содержащего благо-

родный металл продукта выщелачивания, причем вторые условия включают температуру выше температуры окружающей среды;

(с) экстрагирование меди из содержащего медь продукта выщелачивания и

(d) экстрагирование благородного металла из содержащего благородный металл продукта выщелачивания.

Вторые условия могут дополнительно включать присутствие окислителя.

Также предложен способ извлечения металла, представляющего собой медь и/или благородный металл, из металлосодержащего материала, включающий стадии выщелачивания металлосодержащего материала с помощью водного щелочного, свободного от тиосульфата раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с указанным металлом, с получением металлосодержащего продукта выщелачивания и экстрагирования указанного металла из продукта выщелачивания.

В одном варианте осуществления металлосодержащий материал представляет собой руды, концентраты или отходы обогащения. Руда или концентрат может представлять собой одно или несколько из окисленной, сульфидной или углеродистой содержащей золото руды. Руда может быть высоко- или низкосортной. В одном варианте осуществления способ применяют для извлечения металлов из низкосортной руды или рудного концентрата. Несмотря на то, что следующее рассмотрение будет сосредоточено на применении способа для извлечения металлов из руд, концентратов или отходов обогащения, следует понимать, что способ не ограничен таким применением и может применяться для извлечения металлов из других источников, таких как повторно используемые материалы, порошки, лом электроники, ювелирные изделия, лом и т.д.

Щелочные соединения в выщелачивающем средстве могут представлять собой одно или несколько из гашеной извести (гидроксида кальция), каустической соды (гидроксида натрия), каустического поташа (гидроксида калия), кальцинированной соды (карбоната натрия) или аммиака/гидроксида аммония.

Как отмечалось ранее, основные выщелачивающие средства в выщелачивающем растворе являются безвредными для окружающей среды реагентами, такими как аминокислоты необязательно вместе с окислителем, таким как пероксид водорода. В одном варианте осуществления аминокислота представляет собой глицин. Глицин представляет собой простую аминокислоту, которую легко и недорого получают в промышленном масштабе. Глицин имеет ряд преимуществ по сравнению со многими другими выщелачивающими средствами: он представляет собой безвредный для окружающей среды и устойчивый реагент, еще он является ферментативно разрушаемым и легко метаболизируется в большинстве живых организмов. За счет его комплексообразующего действия глицин также может повышать относительные растворимости благородных металлов и меди в водных растворах, при этом глицин в настоящее время получают при аналогичных уровнях, при цене, сопоставимой с таковой для цианида натрия, или дешевле. Без ограничения какой-либо теорией, полагают, что глицин образует прочный комплекс с золотом(I) в виде $\text{Au}(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2^-$ и с медью(I) в виде $\text{Cu}(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{COO})_2^-$. Константа устойчивости золота с глицином при pH 9 составляет 18,0, а меди с глицином при pH 9 составляет 18,9. В другом варианте осуществления выщелачиватель содержит комбинацию двух или более аминокислот. Комбинация аминокислот может содержать глицин и одну или несколько других аминокислот. Например, комбинация может содержать глицин и гистидин.

Аминокислота может быть получена с помощью бактерий или посредством небиологических способов. Она может поставляться через обычные коммерческие каналы или может быть получена на месте. При получении на месте аминокислота может быть получена либо отдельно, либо в комбинации на месте обработки руды из подходящей питательной среды с помощью ряда микроорганизмов и бактерий, таких как (но без ограничения) *Achromobacter paradoxus*; *Aeromonas hydrophila*; *Aeromonas sp.*; *Bacillus circulans*; *Bacillus megaterium*; *Bacillus mesentericus*; *Bacillus polymyxa*; *Bacillus subtilis*; *Bacillus sp.*; *Candida sp.*; *Chromobacterium flavum*; *Penicillium sp.*; *Pseudomonas aeruginosa*; *Pseudomonas liquefaciens*; *Pseudomonas putida*; *Pseudomonas sp.*; *Sarcina flava*.

Концентрация аминокислоты в выщелачивающем растворе может составлять по меньшей мере 0,01 М, например, минимум 0,1 М. В одном варианте осуществления концентрация максимально составляет 2 М. Концентрация будет зависеть от определенной выщелачивающей среды. Например, при применении кучного выщелачивания концентрация может составлять минимум 0,01 М. При применении кучного выщелачивания максимум может составлять 0,1 М. В другом варианте осуществления, таком как применение чанового выщелачивания, концентрация может максимально составлять 1 М. В другом варианте осуществления способа концентрация аминокислоты может составлять от 0,5 до 1 М.

Было обнаружено, что выщелачивание металлов с применением аминокислот может быть улучшено в присутствии окислителя в щелочной среде. Было обнаружено, что окислитель может немного повышать растворение меди, но имеет более выраженный эффект в отношении растворения благородного металла.

В одном варианте осуществления окислитель является кислородосодержащим, таким как пероксид водорода или кислородосодержащий газ. Другими окислителями, которые могут рассматриваться, являются диоксид марганца, перманганат калия или пероксид кальция. Однако другие окислители (за исклю-

чением чистого кислорода или пероксида водорода) могут быть опасны с экологической точки зрения и могут привносить новые нежелательные металлические соединения.

Было обнаружено, что пероксид водорода является особенно эффективным за счет его низкой стоимости и приемлемых с экологической точки зрения свойств (он разлагается до воды). Его растворимость также является относительно устойчивой вплоть до повышенных температур способа по сравнению с кислородосодержащим газом (таким как O_2 или воздух). Количество пероксида в растворе может составлять по меньшей мере 0,005 вес.%, например 0,5 вес.% или больше. Опять же, количество применяемого пероксида будет зависеть от выщелачивающей среды: например минимальное количество 1 вес.% пероксида водорода может подходить для чанового выщелачивания, а минимальное количество 0,1 вес.% - для операций кучного выщелачивания. Количество также будет зависеть от металла, подвергающегося выщелачиванию. Как указано, присутствие окислителя, такого как H_2O_2 , может немного повышать растворимость меди. Однако окислитель обладает большим эффектом в отношении растворимости благородного металла, и в целом чем больше концентрация пероксида, тем больше величина растворения благородного металла. Подходящий верхний предел пероксида может составлять 5 вес.%. В одном варианте осуществления максимальная концентрация пероксида составляет 1%. Растворы, как правило, будут получать из 30 вес.% водного промышленного раствора, который является легко доступным.

Показатель pH выщелачивающего раствора или взвеси является щелочным. Он может иметь pH в широком диапазоне pH от 6 до 13. Щелочи, такие как гидроксид натрия или гашеная известь, могут при необходимости применяться для регуляции pH выщелачивающего раствора. Величина pH может составлять выше 10 или же 11 или больше.

Способ в соответствии с данным раскрытием может осуществляться в широком диапазоне условий, таких как pH и Eh. Это обеспечивает надежность способа для кучного выщелачивания или выщелачивания на месте залегания, и даже для чанового выщелачивания.

Водный щелочной раствор может дополнительно включать катализатор выщелачивания. В случае выщелачивания благородных металлов катализатор может представлять собой медные соединения (меди(II)). Медные соединения усиливают/ускоряют выщелачивание благородных металлов с применением аминокислот. Медные соединения могут уже присутствовать в руде в виде минералов, содержащих медь. Для содержащих благородный металл руд, которые еще не содержат медь, для повышения скоростей выщелачивания могут добавляться медные соединения.

Медь(II) может применяться (или может присутствовать) в концентрациях 1 mM или больше. Концентрация двухвалентной меди не превышает 10 mM. В одном варианте осуществления концентрация двухвалентной меди не превышает 5 mM. Медные соединения выполняют роль катализатора, в отличие от окислителя, а именно в способах выщелачивания с применением тиосульфата. Соответственно, медные соединения не расходуются в способе по настоящему изобретению.

Способ может осуществляться при температуре окружающей среды или при температуре, которая выше температуры окружающей среды. Способ может эффективно осуществляться при температуре окружающей среды при применении для извлечения меди. Способ может осуществляться при повышенной температуре при применении для извлечения благородных металлов. Было обнаружено, что повышенная температура является особенно предпочтительной, когда способ применяют для извлечения благородного металла.

Когда температура является повышенной, температура может составлять минимум 30°C, например по меньшей мере 40°C. Максимальная температура может соответствовать точке кипения раствора. В одном варианте осуществления способ может осуществляться при температуре, не превышающей 75°C. Было обнаружено, что хорошие результаты выщелачивания достигаются при температуре, не превышающей 60°C. Выщелачивающий раствор может быть нагрет до необходимой температуры с применением комбинации или одного из традиционного технологического теплообмена и солнечного обогрева технологических щелоков.

Когда способ применяют для извлечения как меди, так и благородных металлов из материала, содержащего их, может применяться многоступенчатый (например, 2-ступенчатый) дифференциальный способ выщелачивания, при котором используют различия в соответствующих условиях извлечения для обоих типов металла. Различия в соответствующих условиях извлечения могут представлять собой разные температуры и/или присутствие окислителя. В одном варианте осуществления такого дифференциального способа выщелачивания медь могут выщелачивать при температуре окружающей среды, а благородные металлы затем могут выщелачивать при повышенной температуре. В другом варианте осуществления медь могут выщелачивать при отсутствии добавления пероксида водорода, затем благородные металлы могут выщелачивать после добавления пероксида водорода.

В случае, когда благородные металлы отсутствуют, а дифференциальное растворение не является важным, за счет повышенных температур могут повысить скорости выщелачивания меди из руд или концентратов.

Способ может включать собирание кучи, содержащей руду и/или концентрат, затем применение выщелачивателя по отношению к куче. Выщелачиватель может применяться по отношению к куче по-

средством капания, подповерхностного впрыскивания или орошения разбрызгиванием.

В качестве альтернативы, выщелачиватель может впрыскиваться в предварительно отбитую породу под давлением для выщелачивания на месте залегания или на месте происхождения, или в чанах, или в чанах с перемешиванием. Применяемое в данном документе выщелачивание "на месте залегания" относится к выщелачиванию с применением естественной пористости породы. Для выщелачивания "на месте происхождения" пористость повышается посредством контурного взрывания, или флюидизированного крекинга, или других средств.

Затем металл экстрагируют из продукта выщелачивания. Экстракция приводит в результате к очищенной и концентрированной форме металла/металлов. Экстракция может осуществляться посредством адсорбции, такой как "уголь в пульпе" (CIP), "уголь в щелоке" (CIL), "уголь в колонне" (CIC), цементирование (например, на цинковой пыли), или посредством ионного обмена ("смола в щелоке" (RIL), "смола в пульпе" (RIP) и "смола в колонне" (RIC)). В качестве альтернативы, металл может быть экстрагирован посредством экстракции растворителем.

В случае экстрагирования благородных металлов комплексы благородного металла хорошо адсорбируются на гранулированный активированный уголь. Комбинации выщелачивание-адсорбция, такие как "уголь в пульпе" и "уголь в щелоке", могут применяться для систем на основе одной аминокислоты или смеси аминокислот. В случае применения способа адсорбции может быть внедрен подходящий способ элюирования золота для достижения высокой эффективности элюирования. Адсорбционные системы на основе угля соответствуют диапазону практического опыта в отношении едва ли не всех операций добычи и обработки золота на основе цианида, что делает способ по настоящему изобретению совместимым с существующими методиками экстракции золота.

Авторы настоящего изобретения обнаружили, что комплекс аминокислота-благородный металл успешно загружается на активированный уголь из продуктов выщелачивания с катализатором выщелачивания или без него. В случае извлечения меди из раствора это может происходить посредством экстракции растворителем или ионного обмена с последующим электрохимическим извлечением.

Соответственно, в первом аспекте предлагается способ извлечения благородного металла из содержащего благородный металл материала, включающий стадии выщелачивания содержащего благородный металл материала с помощью щелочного выщелачивающего средства, содержащего аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, и окислитель, при температуре выше температуры окружающей среды с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, и экстрагирования благородного металла из продукта выщелачивания.

В одном варианте осуществления первого аспекта способа извлечение благородных металлов включает следующие стадии: растворяют аминокислоту в водном растворе и добавляют в водный выщелачивающий раствор или взвесь; добавляют в выщелачивающий раствор соответствующие количества окислителя или окислителей (таких как пероксид); регулируют pH выщелачивания в диапазоне от pH 6 до pH 13, предпочтительно при по меньшей мере pH 11; нагревают выщелачивающий раствор в диапазоне от 30 до 100°C, предпочтительно от 40 до 60°C; время выщелачивания может находиться в диапазоне от 5 до 30 дней или больше.

В конце периода выщелачивания взвесь для выщелачивания или продукт выщелачивания фильтруют, и твердый остаток могут промывать при фильтрации несколько раз для удаления каких-либо ионов растворенного металла из хвостов. Продукт выщелачивания обрабатывают с помощью активированного угля с экстракцией благородных металлов.

В одном варианте осуществления первого аспекта раскрывается низкая стоимость и безвредность для окружающей среды гидрометаллургического способа для прямого выщелачивания благородных металлов из низкосортных руд и/или отвалов пустой породы, посредством чего обеспечивается снижение уровней минимального промышленного содержания с повышением доли ресурса, который может быть классифицирован как запас.

Потенциальными преимуществами первого аспекта раскрытого способа является снижение или устранение одного или нескольких из следующего: (1) затраты на помол, (2) затраты на предварительное концентрирование, (3) применение сложных чанов для выщелачивания с мешалкой (в случае кучного выщелачивания и выщелачивания на месте залегания), (4) общий расход энергии (из месторождения к металлу в случае кучного выщелачивания и выщелачивания на месте залегания), (5) применение токсичных и опасных реагентов, (6) воздействие на окружающую среду токсичных тяжелых металлов, мобилизованных в виде слабокислотных диссоциирующих (WAD) цианидов, и (7) углеродный след, (8) сложность обработки (по сравнению с альтернативными выщелачивающими средствами) и (9) химическая сложность (посредством чего уменьшают количество нежелательных побочных продуктов и химических промежуточных соединений). Другие преимущества включают (10) низкие затраты на реагенты, (11) потенциальное производство на месте (для смесей аминокислот посредством микроорганизмов), (12) наличие в большом объеме простых аминокислот, например, глицина, (13) правовая доступность (не контролируемые законодательными актами химические вещества), (14) способность к осуществлению целенаправленного биологического разрушения или (15) к рециркуляции и повторному использованию реагентов, (16) потенциал применения по отношению к ряду благородных металлов, (17) высокая рас-

творимость аминокислот и их комплексов с металлами в воде, обеспечивающая интенсификацию способа с уменьшением размеров оборудования.

Во втором аспекте предлагается способ извлечения меди из содержащего медь материала, включающий стадии: выщелачивание содержащего медь материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, с получением содержащего медь продукта выщелачивания, и экстрагирование меди из продукта выщелачивания.

Вариант осуществления второго аспекта может применяться для проведения селективного выщелачивания меди из содержащей медь-благородный металл руды или рудного концентрата. Он может применяться по отношению к селективному выщелачиванию меди из содержащего медь-золото рудного концентрата с последующим выщелачиванием золота (после необязательной промывки остатка) либо с применением первого аспекта способа при повышенной температуре (40-60°C), либо посредством применения другого способа извлечения золота (например, цианирования). Селективное по меди выщелачивание будет уменьшать потери золота за счет механизма цементирования золота в присутствии металлической меди, поскольку вся металлическая медь будет растворяться на ступени предварительного выщелачивания.

Преимущество второго аспекта заключается в том, что оно может решить сохраняющуюся проблему при обработке меди и меди-золота, т.е. в поиске подходящего выщелачивающего средства с меньшими рисками для окружающей среды и угрозами безопасности по отношению к операциям кучного выщелачивания, выщелачивания из отвалов, выщелачивания на месте залегания и чанового выщелачивания, которые представляют собой медленные операции выщелачивания с выходом в окружающую среду. В качестве альтернативы, он также может быть внедрен в цикл противоточной декантации (CCD), обеспечивая достаточное время пребывания.

Потенциальные преимущества второго аспекта включают следующее.

1. Медь можно селективно выщелачивать относительно золота в растворе глицина-пероксида. В одном варианте осуществления приблизительно 98% меди, присутствующей в содержащем золото-медь концентрате, выщелачивали в течение 48 ч в две ступени.

2. 100% халькоцита, куприта, металлической меди и приблизительно 80% халькопирита может растворяться в выщелачивающем средстве на основе глицина-пероксида при температуре окружающей среды.

3. Растворение элемента пустой породы, в частности, такового на основе железа (например, полученного из пирита), является минимальным по сравнению с традиционным выщелачиванием на основе серной кислоты.

4. Несмотря на то, что экстракция меди, как правило, повышается за счет повышения концентраций аминокислоты и окислителя (например, пероксида, кислорода или воздуха), было обнаружено, что аминокислота может обеспечивать эффективное выщелачивание некоторых минералов, содержащих медь, при отсутствии преднамеренного добавления окислителя.

5. Учитывая, что способ выщелачивания осуществляют в условиях щелочного выщелачивания, конечный остаток можно прямо выщелачивать посредством способа цианирования при необходимости или предпочтительно.

6. Растворимая цианидом фракция минералов, содержащих медь, была значительно уменьшена, что имеет большое влияние на последующий расход цианида во время следующего выщелачивания золота. Щелочное выщелачивание минералов, содержащих медь, также подразумевает, что нет необходимости в колебаниях pH (как для традиционного кислотного выщелачивания), за счет чего будут повышаться последующие требования в отношении каустического средства.

7. Щелочная система на основе аминокислоты является особенно подходящей для медных осадков со значительным отношением кислотопоглощающих минералов, таких как кальцит, трона, доломит, или других минералов на основе карбонатов, которые часто препятствуют осуществлению способов традиционной кислотной экстракции.

Дополнительные преимущества второго аспекта аналогичны таковым для первого аспекта, а именно заключаются в снижении или устранении одного или нескольких из следующего: (1) затраты на помол, (2) затраты на предварительное концентрирование, (3) применение сложных чанов для выщелачивания с мешалкой (в случае кучного выщелачивания и выщелачивания на месте залегания), (4) общий расход энергии (из месторождения к металлу в случае кучного выщелачивания и выщелачивания на месте залегания), (5) применение токсичных и опасных реагентов, (6) воздействие на окружающую среду токсичных тяжелых металлов, мобилизованных в виде слабокислотных диссоциирующих (WAD) цианидов, и (7) углеродный след, (8) сложность обработки (по сравнению с альтернативными выщелачивающими средствами) и (9) химическая сложность (посредством чего уменьшают количество нежелательных побочных продуктов и химических промежуточных соединений). Другие преимущества включают (10) низкие затраты на реагенты, (11) потенциальное производство на месте (для смесей аминокислот посредством микроорганизмов), (12) наличие в большом объеме простых аминокислот, например, глицина, (13) правовая доступность (не контролируемые законодательными актами химические вещества),

(14) способность к осуществлению целенаправленного биологического разрушения или (15) к рециркуляции и повторному использованию реагентов, (16) высокая растворимость аминокислот и их комплексов с металлами в воде, обеспечивающая интенсификацию способа с уменьшением размеров оборудования.

В третьем аспекте предлагается дифференциальный способ выщелачивания для извлечения меди и благородного металла из содержащего медь и благородный металл материала, включающий стадии: выщелачивания содержащего медь и благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, при первых условиях с получением содержащего медь продукта выщелачивания и содержащего благородный металл остатка, причем первые условия включают температуру окружающей среды; выщелачивания содержащего благородный металл остатка с помощью щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, при вторых условиях с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, причем вторые условия включают температуру выше температуры окружающей среды; экстрагирования меди из содержащего медь продукта выщелачивания и экстрагирования благородного металла из содержащего благородный металл продукта выщелачивания.

В варианте осуществления медь могут выщелачивать при отсутствии добавления пероксида водорода (но с аэрированием), затем благородные металлы могут выщелачивать после добавления пероксида водорода.

Краткое описание графических материалов

Несмотря на любые другие формы, которые могут подпадать под устройство и способ, как указано в кратком описании, далее будут описаны конкретные варианты осуществления, лишь в качестве примера, со ссылкой на сопутствующие графические материалы, на которых представлено следующее.

Фиг. 1 представляет собой график, демонстрирующий концентрации золота в выщелачивающем растворе при различном времени выщелачивания (рН 10, температура 60°C, 1% пероксида и 1 М глицина).

Фиг. 2 представляет собой график, демонстрирующий растворение золота в растворах, содержащих различные концентрации глицина и 1% пероксида водорода, при рН 10 и температуре 60°C.

Фиг. 3 представляет собой кривую зависимости $\text{Log} (\Delta[\text{Au}]/[\text{Au}]_s)$ от $\text{Log } t$ для богатого раствора после выщелачивания в течение 15 дней (время нагружения 4 ч, 1,466 г/л угля).

Фиг. 4 представляет собой график, демонстрирующий влияние типа аминокислот на растворение золота: 0,05 М аминокислоты, 1% H_2O_2 , рН 11 при 60°C.

Фиг. 5 представляет собой график, демонстрирующий влияние смеси аминокислот на растворение золота: 0,1 М аминокислоты, 1% H_2O_2 , рН 11 при 60°C.

Фиг. 6 представляет собой график, демонстрирующий кривую зависимости $\text{Log} (\Delta[\text{Au}]/[\text{Au}]_s)$ от $\text{Log } t$ для богатого раствора после выщелачивания (время нагружения 23 ч, 1,55 г/л угля).

Фиг. 7 представляет собой график, демонстрирующий влияние серебра на растворение золота: 1 М глицина, 1% H_2O_2 , рН 10, 60°C.

Фиг. 8 представляет собой график, демонстрирующий влияние температуры на растворение золота: 1 М глицина, 1% H_2O_2 , рН 10 при различных температурах.

Фиг. 9 представляет собой график, демонстрирующий влияние температуры на растворение золота: 0,1 М глицина, 1% H_2O_2 , исходный рН 11,5, при различных температурах.

Фиг. 10 представляет собой график, демонстрирующий влияние температуры на скорость растворения золота относительно времени выщелачивания: 0,1 М глицина, 1% H_2O_2 , исходный рН 11,5, при различных температурах.

Фиг. 11 представляет собой график, демонстрирующий влияние концентрации пероксида водорода на измеренный E_h для выщелачивающего раствора: 0,1 М глицина, различные доли в процентах H_2O_2 , рН 11,5, 60°C.

Фиг. 12 представляет собой график, демонстрирующий влияние концентрации пероксида водорода на растворение золота: 0,1 М глицина, различные доли в процентах H_2O_2 , рН 11,5, 60°C.

Фиг. 13 представляет собой график, демонстрирующий влияние рН выщелачивающего раствора на растворение золота: 0,5 М глицина, 1% H_2O_2 , рН, при 60°C.

Фиг. 14 представляет собой график, демонстрирующий влияние рН выщелачивающего раствора на растворение золота: 0,1 М глицина, 1% H_2O_2 , рН, при 60°C.

Фиг. 15 представляет собой график, демонстрирующий влияние ионов Cu^{2+} на растворение золота: 0,1 М глицина, 0,1% H_2O_2 , рН 11, при 30°C.

Фиг. 16 представляет собой график, демонстрирующий влияние ионов Cu^{2+} на растворение золота: 0,1 М глицина, 0,3% H_2O_2 , 4 мМ Cu^{2+} , рН 11,9 и 30°C.

Фиг. 17 представляет собой график, демонстрирующий влияние пирита на растворение золота из растворов глицина-пероксида: 0,1 М аминокислоты, 1% H_2O_2 , рН 11, при 60°C.

Фиг. 18 представляет собой график, демонстрирующий растворения золота в используемых повторно бедных растворах, изначально содержащих 1 М глицина и 1% пероксида при 60°C и pH 10.

Фиг. 19 представляет собой график, демонстрирующий растворения золота в свежих и выдержанных растворах, изначально содержащих 1 М глицина и 1% пероксида при 60°C и pH 10.

Фиг. 20 представляет собой график, демонстрирующий скорости выщелачивания золота в растворах, изначально содержащих 1 М глицина и 1% пероксида при 60°C и pH 10.

Фиг. 21 представляет собой график, демонстрирующий концентрации золота в растворе, содержащем 1 М глицина, 1% пероксида, 5 мМ Cu(II) при 40°C и pH 10.

Фиг. 22 представляет собой график, демонстрирующий скорость выщелачивания золота в растворе, содержащем 1 М глицина, 1% пероксида, 5 мМ Cu(II) при 40°C и pH 10.

Фиг. 23 представляет собой график, демонстрирующий $\text{Log} (\Delta[\text{Au}]/[\text{Au}]_s)$ от $\text{Log } t$ для богатого раствора после выщелачивания в течение 15 дней (время нагружения 4 ч, 1,466 г/л угля).

Фиг. 24 представляет собой график, демонстрирующий мас.% минералов, содержащих медь, в содержащем медь концентрате перед и после выщелачивания в растворах глицина (условия выщелачивания: двухступенчатое, 0,3 М глицина, 1% пероксида, комнатная температура, pH 11, 48 ч).

Фиг. 25 представляет собой схематическое изображение двухступенчатого противоточного способа выщелачивания меди.

Фиг. 26 представляет собой график, демонстрирующий экстракцию меди (%) относительно времени выщелачивания (часы) из содержащего Cu-Au концентрата после двухступенчатого выщелачивания.

Фиг. 27 представляет собой график, демонстрирующий мас.% минералов, содержащих медь, в содержащем медь концентрате перед и после выщелачивания в растворах глицина (условия выщелачивания: одноступенчатое, 0,4 М глицина, 1% пероксида, комнатная температура, pH 11,5, 96 ч).

Фиг. 28 представляет собой график, демонстрирующий экстракцию меди (%) относительно времени выщелачивания (часы) при различных значениях pH раствора (0,3 М глицина, 1% H_2O_2 , комнатная температура).

Фиг. 29 представляет собой график, демонстрирующий экстракцию меди (%) относительно времени выщелачивания (часы) при различных концентрациях пероксида (0,3 М глицина, pH 11, комнатная температура, 10% плотность пульпы).

Фиг. 30 представляет собой график, демонстрирующий экстракцию меди (%) относительно времени выщелачивания (часы) при различных значениях плотности пульпы (0,3 М глицина, 1% H_2O_2 , pH 11, комнатная температура).

Фиг. 31 представляет собой график, демонстрирующий экстракцию меди (%) относительно времени выщелачивания (часы) при различных концентрациях глицина (1% H_2O_2 , pH 11, комнатная температура, 10% плотность пульпы).

Примеры

Далее будут описаны неограничивающие примеры способа извлечения меди или благородного металла из содержащего медь и/или благородный металл материала.

Примеры 1-15. Извлечение благородного металла

Все примеры 1-15 осуществляли с применением растворов, полученных из одного из реагентов класса чистый для анализа или синтезированных реагентов и воды Millipore. Если не указано, все примеры осуществляли с применением магнитных мешалок и покрытых тефлоном магнитных перемешивающих элементов. Добавляли золото и/или серебро в раствор аминокислоты и пероксида в химическом стакане и нагревали до требуемой температуры при перемешивании. Листы золота и золота-серебра, применяемые во всех примерах, изготавливали из чистого на 99,99% золота и серебра. Перед каждым экспериментом поверхность каждого листа полировали с помощью водостойкой шлифовальной бумаги на основе карбида кремния от Struers (FEPA P#2400). Окончательно лист золота промывали дистиллированной водой и обеспечивали высыхание.

Для испытания активности угля в отношении адсорбции комплекса золото-глицин, если не указано, добавляли 1,5 г/л свежего угля (-2,36+2 мм) в богатые растворы после выщелачивания. Эксперименты по адсорбции были проведены при комнатной температуре при скорости вращения 150 об./мин. С целью оценки адсорбции золота на угле отбирали субпробы в различные интервалы времени и затем разбавляли водным цианидом натрия перед анализом с применением ICP-OES.

Пример 1.

В примере 1 раствор, содержащий 1 М аминокислоты глицина, и 1% окислителя, пероксида водорода, применяли для растворения чистого металлического золота (в виде золотой проволоки и золотой фольги) при температуре 60°C. На фиг. 1 показано количество золота, растворенного в растворе (400 мл), содержащем 1 М глицина и 1% пероксида, относительно времени выщелачивания. Можно увидеть, что золото растворяется при таких условиях в умеренных количествах, не превышающих 18 мг/л за 280 ч. В данном примере более низкие концентрации реагентов (0,1-0,4 М глицина), более низкая температура (т.е. 40°C) и естественный pH раствора (приблизительно pH 6) также не продемонстрировали эффективность.

Пример 2. Влияние концентрации глицина

Изучали кинетику растворения золота в растворах, содержащих различные концентрации глицина и 1% пероксида водорода, при pH 10 и температуре 60°C, и результаты наносили на график на фиг. 2. Из результатов, показанных на фиг. 2, можно увидеть, что при условиях из данного примера растворение золота повышается за счет повышения концентрации глицина, не превышающей 1 М. В табл. 1 показана скорость выщелачивания золота при различных концентрациях глицина.

Таблица 1. Скорость выщелачивания золота при различных концентрациях глицина: глицин, 1% H₂O₂, pH 10, 60°C

Глицин, М	Au, 10 ³ x мкмоль/м ² .с
0,30	11,3
0,50	16,9
1,00	31,3

Скорость выщелачивания золота в системе на основе глицина-пероксида, как показано в табл. 1, может быть значительно выше, чем скорости с применением систем на основе тиосульфата-оксалата железа и EDTA с трехвалентным железом при отсутствии тиомочевины.

Пример 3. Адсорбция комплекса золото-глицинат на угле

Одним из факторов для альтернативных решений выщелачивания золота на основе цианида является интенсивность адсорбции выщелоченного золота на активированном угле. Поэтому, целесообразно изучить способность активированного угля в отношении адсорбции комплекса золото-глицин из выщелачивающего раствора, в частности, в перспективе промышленного применения.

В соответствии с некоторыми экспериментами по кинетике выщелачивания в богатые выщелачивающие растворы добавляли различные количества свежего угля. Отбирали субпробы в различных испытаниях адсорбции в различные интервалы и анализировали с помощью ICP-OES. Кинетику адсорбции золота и серебра на активированном угле оценивали посредством определения константы активности угля с применением уравнения (1):

$$\log(\Delta[Au \text{ или } Ag]_c / [Au \text{ или } Ag]_s) = n \log t + \log k \quad (1),$$

дельта [Au или Ag]_c = изменение [Au или Ag] на угле с t=0 до t=t ч; [Au или Ag]_s = [Au или Ag] в растворе при t=t ч; n = полученная экспериментально константа для углового коэффициента вышеуказанного уравнения и k = эмпирическая константа скорости при t=1 ч.

Адсорбированное золото и серебро на угле и количества металлов в растворах были рассчитаны и представлены в табл. 2, 3 и 4.

На фиг. 3 также показана кривая зависимости Log (Δ[Au]_c/[Au]_s) от (Log t) для данных, показанных в табл. 3. Эксперименты по адсорбции показали, что комплекс золото-глицин с применением способа в соответствии с данным раскрытием адсорбируется на активированном угле при скорости, аналогичной или даже более высокой, чем комплекс золото-цианид.

Также из данных, показанных в табл. 3 и 4, можно увидеть, что комплекс серебро-глицинат не так хорошо адсорбируется на активированном угле, при этом присутствие серебра улучшает загрузку золота на угле.

Таблица 2. Адсорбция золота на активированном угле из богатого раствора после выщелачивания в течение 456 ч (объем раствора 350 мл)

Время (мин.)	Время (ч.)	[Au] (мг/л)	Δ[Au] _s	Δ[Au] _c	[Au] _c /[Au] _s	Log t	log(Δ[Au] _c /[Au] _s)
0	0,00	15,5					
30	0,50	11,6	3,882	2649	229	-0,301	2,359
60	1,00	9,96	5,504	3701	372	0,000	2,570
120	2,00	8,14	7,321	4852	596	0,301	2,775
240	4,00	6,47	8,993	5872	908	0,602	2,958

Таблица 3. Адсорбция золота на активированном угле из богатого раствора после выщелачивания сплава золота/серебра в течение 168 ч (объем раствора 380 мл)

Время (мин.)	Время (ч.)	[Au] мг/л	Δ[Au] _s	Δ[Au] _c	[Au] _c /[Au] _s	log t	Log(Δ[Au] _c /[Au] _s)
0	0,00	38,70					
30	0,50	24,60	14,097	6565	267	-0,301	2,426
96	1,60	15,82	22,882	10656	674	0,204	2,828
180	3,00	12,08	26,616	12395	1026	0,477	3,011
240	4,00	10,26	28,435	13242	1290	0,602	3,111

Таблица 4. Адсорбция серебра на активированном угле из богатого раствора после выщелачивания сплава золота/серебра в течение 168 ч (объем раствора 380 мл)

Время (мин.)	Время (ч.)	[Ag] мг/л	$\Delta[Ag]_s$	$\Delta[Ag]_c$	$[Ag]_c/[Au]_s$	Log t	$\log(\Delta[Ag]_c/[Au]_s)$
0	0,00	56,1					
30	0,50	48,1	8,079	3683	77	-0,301	1,884
96	1,60	42,7	13,412	6114	143	0,204	2,156
180	3,00	39,1	17,028	7763	198	0,477	2,298
240	4,00	37,0	19,108	8711	235	0,602	2,371

Пример 4. Влияние типа аминокислот

Для испытания в отношении влияния типа аминокислоты на растворения золота применяли аминокислоты глицин, гистидин и аланин. Эксперименты проводили при 0,05 М аминокислот, при pH 11 и температуре 60°C. На фиг. 4 показано растворение золота в различных системах на основе аминокислот. Можно увидеть что исходное растворение золота в растворе гистидина быстрее, чем в растворах глицина и аланина, однако при увеличении продолжительности выщелачивания было обнаружено, что глицин обеспечивает растворение золота быстрее и в большей степени, чем гистидин и аланин.

Для оценки влияния смесей аминокислот оценивали смесь 0,05 М глицина и 0,05 М гистидина, 1% H₂O₂ при pH 11,5 и 60°C. На фиг. 5 показаны эффекты применения комбинации растворов глицина-гистидина и только глицина в отношении растворения золота. Очевидно, что применение смеси глицина и гистидина обеспечивает растворение золота в большей степени, чем применение только глицина.

Кинетику адсорбции золота на активированном угле из растворов глицина-гистидина оценивали посредством определения константы активности угля с применением уравнения (2). Адсорбированное золото на угле и количества металлов в растворах были рассчитаны и представлены в табл. 5.

$$\frac{\log(\Delta[Au \text{ или } Ag]_c)}{[Au \text{ или } Ag]_s} = n \log t + \log k \quad (2),$$

$\Delta[Au \text{ or } Ag]_c$ = изменение Au или Ag на угле с $t = 0$ до $t = t$ ч; $[Au \text{ or } Ag]_s$ = Au или Ag в растворе при $t = t$ ч; n = полученная экспериментально константа для углового коэффициента вышеуказанного уравнения и k = эмпирическая константа скорости при $t = 1$ ч.

На фиг. 6 также показана кривая зависимости Log ($\Delta[Au]_c/[Au]_s$) от (Log t) для данных, показанных в табл. 5. Эксперимент по адсорбции показал, что золото из раствора, содержащего глицин-гистидин, адсорбируется на активированном угле. Расчетная константа активности угля составляла 188, и загрузка золота составляла 5,5 кг Au/т угля. Из данных, показанных в табл. 5 и на фиг. 6, можно отметить, что золото может быть загружено на уголь из растворов, содержащих раствор смеси глицина-гистидина.

Таблица 5. Адсорбция золота на активированном угле из растворов глицина-гистидина

Время (мин.)	Время (ч.)	[Au] (мг/л)	$\Delta[Au]_s$	$\Delta[Au]_c$	$[Au]_c/[Au]_s$	Log t	$\log(\Delta[Au]_c/[Au]_s)$
0	0	24,084	0,000	0	0		
30	0,5	19,143	4,941	2471	129	-0,301	2,111
80	1,33	16,656	7,428	3714	223	0,124	2,348
150	2,5	15,03	9,054	4527	301	0,398	2,479
270	4,5	13,173	10,911	5456	414	0,653	2,617
1380	23	8,34	15,744	7872	944	1,362	2,975

Пример 5. Влияние серебра

Для изучения влияния серебра на растворение золота выщелачивали образцы фольги (площадь поверхности 20 см²) из чистого золота и из 50% золота-50% серебра в растворах, содержащих глицин и пероксид. Растворение золота и серебра из чистого золота и сплава золота-серебра показаны на фиг. 7. Можно увидеть, что присутствие серебра улучшает растворение золота, и при этом серебро растворяется быстрее, чем золото в растворе глицина.

В табл. 6 показана скорость выщелачивания золота и серебра через 168 ч из чистого золота и 50% золота-50% серебра. Можно увидеть, что скорость выщелачивания золота из сплава золота-серебра приблизительно в 6 раз выше скорости выщелачивания из чистого золота. Скорость выщелачивания серебра выше, чем золота в растворах глицина-пероксида.

Таблица 6. Скорости выщелачивания золота и серебра из чистого золота и сплава золота-серебра: глицин, 1% H₂O₂, pH 10, 60°C

Источник Au, Ag	Au, 10 ³ x мкмоль/м ² .с
Золото из (чистого листа золота)	31,3
Золото (из 50% Au- 50% Ag)	185
Серебро (из 50% Au- 50% Ag)	247

Пример 6. Влияние температуры

Влияние температуры на растворение золота показано на фиг. 8, 9 и 10.

На фиг. 8 показано влияние температуры на кинетику выщелачивания золота в растворе, содержащем 1 М глицина, 1% H_2O_2 , при pH 10. Можно увидеть, что растворение золота значительно повышается по мере повышения температуры от 23 до 60°C.

На фиг. 9 показано влияние температуры на кинетику выщелачивания золота при концентрации глицина 0,1 М, при температурах 23, 30, 40, 60 и 75°C. Очевидно, можно увидеть, что растворение золота значительно повышается по мере повышения температуры. Однако при высокой температуре (75°C) было обнаружено, что исходное растворение золота происходит быстрее, но скорость выщелачивания золота быстро снижается.

Выщелачивание золота представляет собой химически контролируемый процесс, при котором на скорость реакции по большей части влияет температура. Результаты, представляющие наибольший интерес, показанные на фиг. 9, приведены через 264 ч выщелачивания при комнатной температуре, при этом скорость растворения золота значительно повышалась, как только температура была повышена до 60°C.

На фиг. 10 проиллюстрированы скорости растворения золота относительно времени выщелачивания при различных температурах. Можно увидеть, что при повышенной температуре скорость выщелачивания золота изначально повышается, затем начинает снижаться при увеличении времени выщелачивания. Средняя скорость растворения золота через шесть дней выщелачивания при 75°C составляла 39×10^{-3} мкмоль/м²·с, которая выше скорости выщелачивания золота 2×10^{-3} мкмоль/м²·с в системах трехвалентное железо-тиосульфат при отсутствии тиомочевины.

Пример 7. Влияние пероксида

Показатель pH раствора и E_h с течением времени контролировали с применением 90-FLMV-МеТра. На фиг. 11 показаны профили E_h растворов глицина-пероксида водорода с течением времени при различных концентрациях пероксида водорода. Из результатов, показанных на фиг. 12, четко видно, что пероксид водорода значительно улучшает растворение золота. Минимальное количество 0,1% пероксида приводит в результате к растворению золота, при этом повышение концентрации пероксида водорода, не превышающей 2% пероксида, значительно улучшает растворение золота.

Пример 8. Влияние pH

Влияние pH (при добавлении гидроксид-ионов) на растворение золота показано на фигурах 13 и 14. Можно увидеть, что система на основе глицина-пероксида очень чувствительна к pH выщелачивания и гидроксид-ионам, причем можно увидеть, что растворение золота значительно повышается при повышении pH выщелачивания выше pH = 10.

На фиг. 13 показано влияние pH на скорость выщелачивания золота в растворах, содержащих 0,5 М глицина и 1% пероксида, при температуре выщелачивания 60°C. Всего через 24 ч выщелачивания при pH 11 скорость выщелачивания золота составляла 0,35 мкмоль/м²·с. Данная скорость выщелачивания выше скорости выщелачивания золота (0,22-0,25 мкмоль/м²·с) из 100 мМ растворов тиосульфата в присутствии окислителя на основе трехвалентного железа и тиомочевины. В табл. 7 показана скорость выщелачивания золота через различные промежутки времени выщелачивания при pH 5,8, 10 и 11. Данные показывают, что скорость выщелачивания золота при pH 11 в 30 раз выше скорости при pH 10 через 48 ч. Однако было обнаружено, что скорость выщелачивания снижается при увеличении времени выщелачивания при pH 11. Исходная скорость выщелачивания золота при естественном pH раствора (pH ~5,8) была выше, чем для выщелачивания при pH и снижалась при увеличении времени выщелачивания.

Таблица 7. Скорость выщелачивания золота при различных pH выщелачивания:

0,5 М глицина, 1% H_2O_2 , pH, 60°C			
Время выщелачивания, ч	Au, $10^3 \times$ мкмоль/м ² ·с		
	pH 5,8	pH 10	pH 11
24	8,11	0,59	352
29	8,75	1,30	367
48	5,13	11,47	322
119	4,19	14,34	174
167	3,02	16,93	142

Влияние добавления гидроксид-ионов, следовательно, pH растворов, на растворение золота для растворов, содержащих 0,1 М глицина, 1% H_2O_2 , при 60°C показано на фиг. 14. Опять же было обнаружено, что растворение золота в растворах глицина-пероксида очень чувствительно к pH выщелачивания и гидроксид-ионам. Растворение золота значительно повышается за счет повышения pH выщелачивания до более высокой щелочности.

Скорость выщелачивания золота улучшается при pH выше 10, предпочтительно выше 11, в растворах, содержащих 0,1 М глицина и 1% пероксида, при температуре выщелачивания 60°C.

Из результатов, показанных на фиг. 14, можно увидеть, что при добавлении еще некоторого коли-

чества пероксида в систему улучшается растворение золота. В табл. 8 показаны необходимые количества каустического средства в мМ для достижения целевого pH.

Таблица 8. Необходимое количество NaOH для достижения целевого pH

выщелачивающего раствора	
Показатель pH выщелачивания	Необходимое количество NaOH (мМ)
6,10	0
10,10	47,5
11,50	125,0
12,00	175,0
12,80	293,0

Пример 9. Влияние Cu^{2+}

Было обнаружено, что добавление Cu^{2+} в систему на основе глицина-пероксида улучшает растворение золота. На фиг. 15 показано, как присутствие ионов Cu^{2+} улучшает растворение золота в системе на основе глицина-пероксида в растворе, содержащем 0,1 М глицина, 1% H_2O_2 , pH 11 при 30°C.

Было проведено дополнительное испытание для изучения влияния ионов Cu^{2+} на растворение золота в системе на основе глицина-пероксида при повышении pH выщелачивания до 11,9 и концентрации пероксида до 0,3%. Количества растворенного золота из данной системы в зависимости от выщелачивания показаны на фиг. 16. Сравнение результатов из фиг. 15 в присутствии Cu^{2+} и из фиг. 16 указывает на то, что повышение pH и увеличение количества пероксида обеспечивает улучшение растворения золота. Раствор золота-глицина в присутствии ионов Cu^{2+} успешно был загружен на активированный уголь.

Пример 10. Влияние пирита

Залежи содержащей золото руды могут содержать различные минералы пустой породы с различной реакционной способностью; одним из наиболее реакционноспособных минералов, связанных с золотом, является пирит. Для изучения влияния пирита добавляли различные количества минералов на основе пирита в выщелачивающий раствор перед добавлением листа золота. На фиг. 17 показано влияние пирита на растворение золота в растворах, содержащих пирит (FeS_2). Очевидно, что растворение золота в присутствии пирита ниже степени при отсутствии пирита. Снижение растворения золота может объясняться расходом пероксида на окисление пирита или каталитическим разложением на поверхности пирита.

Пример 11. Активность повторно используемого раствора

Испытания выщелачивания осуществляли с применением повторно используемого бедного раствора после адсорбции золота и серебра. Для выщелачивания листа чистого золота 1 см в ширину и 10 см в длину применяли используемый повторно один раз или дважды бедный раствор. Результаты таких испытаний показаны на фиг. 18. Можно увидеть, что выщелачивания золота с применением повторно используемого выщелачивающего раствора очень эффективны с течением времени. Результаты, показанные на фиг. 18, иллюстрируют, что выщелачиватель и способ являются надежными относительно устойчивости реагента с течением времени.

Пример 12. Влияние выдерживания раствора

Раствор 1 М глицина и 1% пероксида оставляли на 4 дня при комнатной температуре. После выдерживания в выдержанный раствор добавляли золото и неоднократно отбирали образцы и анализировали в отношении золота с применением ICP-OES. Результаты выщелачивания золота в свежих и выдержанных растворах показаны на фиг. 19. Результаты иллюстрируют, что золото растворяется быстрее с более высокой скоростью выщелачивания в выдержанном растворе, чем в свежем растворе. Скорость выщелачивания золота в выдержанном растворе и свежих растворах через 215 ч составляла 0,045 и 0,032 мкмоль/м²·с соответственно. На фиг. 20 показана скорость выщелачивания золота в ходе выщелачивания в течение 264 часов в растворе, содержащем 1 М глицина и 1% пероксида. Следует обратить внимание, что скорость выщелачивания золота повышается относительно времени выщелачивания.

Пример 13. Показатель pH и Eh с течением времени

Электрохимический потенциал (Eh) и pH выщелачивающего раствора измеряли в течение 19 дней выщелачивания. В табл. 9 показаны значения pH и Eh с течением времени для выщелачивания в течение 456 ч. Можно увидеть, что pH и Eh являются допустимо устойчивыми с течением данного времени, что, опять же, указывает на устойчивость реагента.

Таблица 9. Показатель pH и Eh относительно времени выщелачивания в растворах, содержащих 1 М глицина и 1% пероксида, при 60°C

Время, ч	pH	Eh(мВ)
3	9,3	-128
23	9,3	-117
48	9,25	-112
167	9,21	-117
215	9,24	-118
287	9,19	-115
384	9,18	-121
456	9,21	-115

Пример 14. Увеличенное время выщелачивания при 40°C.

В данном эксперименте применяли раствор, содержащий 1 М глицина, 1% пероксида водорода и 5 мМ Cu(II), при температуре 40°C. В данном примере применяли чистое металлическое золото в виде золотой фольги с площадью поверхности 36 см². На фиг. 21 показано количество растворенного золота в растворе (400 мл), содержащем 1 М глицина, 1% пероксида водорода и 5 мМ Cu(II). Можно увидеть, что золото также растворяется при данном условии в умеренных количествах. Наиболее интересными результатами из данного примера является то, что скорость выщелачивания золота повышается с течением времени (в большинстве альтернативных способов выщелачивания золота демонстрируется снижение скорости выщелачивания золота с течением времени). Такие результаты отражают надежность в отношении устойчивости реагентов в выщелачивающем растворе. Эксперимент продолжали в течение приблизительно 14 дней (334 ч). На фиг. 21 показано количество растворенного золота в выщелачивающем растворе с течением времени, а на фиг. 22 показана скорость выщелачивания золота в мкг/см².день относительно всего периода выщелачивания. В данной устойчивой системе pH раствора не изменялся в течение времени выщелачивания, составляющего 14 дней, и Eh колебался от -50 до -40 мВ.

Пример 15. Адсорбция золота на активированном угле

В выщелачивающие богатые растворы из примеров 12 и 13 добавляли различные количества активированного угля. Отбирали образцы в различных испытаниях адсорбции через определенные интервалы и анализировали с помощью ICP-OES. Адсорбированное золото на угле и количества золота в растворах были рассчитаны и представлены в таблицах 10, 11 и 12.

Кинетику адсорбции золота и серебра на активированном угле также оценивали посредством определения константы активности угля с применением следующего уравнения (3):

$$\log (\Delta[Au \text{ или } Ag]_c / [Au \text{ или } Ag]_s) = n \log t + \log k \quad (3),$$

где $\Delta[Au \text{ или } Ag]_c$ = изменение $[Au \text{ или } Ag]$ на угле с $t=0$ до $t=t$ ч $[Au \text{ или } Ag]_s = [Au \text{ или } Ag]$ в растворе при $t=t$ ч; n = полученная экспериментально константа для углового коэффициента из вышеуказанного уравнения; k = эмпирическая константа скорости при $t=1$ ч; r^2 = коэффициент корреляции вышеуказанного уравнения.

Поскольку в примере демонстрируется активность в отношении адсорбции золота на угле, на фиг. 3 также показана кривая зависимости $\log (\Delta[Au]_c/[Au]_s)$ от $(\log t)$ для данных, показанных в табл. 10.

Различные эксперименты по адсорбции указывают на то, что выщелоченное золото с применением способа в соответствии с данным раскрытием может быть адсорбировано на активированном угле при скорости, аналогичной для комплексов золото-цианид.

Также из данных, показанных в табл. 11 и 12, можно увидеть, что серебро незначительно адсорбируется на активированном угле, при этом присутствие серебра улучшает загрузку золота на угле.

Таблица 10. Адсорбция золота на активированном угле из богатого раствора после выщелачивания в течение 456 ч (объем раствора 350 мл)

Сухой вес угля		0,513 г	Загрузка (4 ч.) = 6,2 кг/г				
Время, мин.	Время (ч.)	[Au] мг/л	$\Delta[Au]_s$	$\Delta[Au]_c$	$[Au]_c/[Au]_s$	log	
						Log t	$[Au]_c/[Au]_s$
0	0,0	15,5	0,000	0	0		
30	0,5	11,6	3,882	2649	229	-0,301	2,359
60	1,0	9,96	5,504	3701	372	0,000	2,570
120	2,0	8,14	7,321	4852	596	0,301	2,775
240	4,0	6,47	8,993	5872	908	0,602	2,958

Таблица 11. Адсорбция золота на активированном угле из богатого раствора после выщелачивания сплавов золота/серебра в течение 168 ч (объем раствора 380 мл)

Сухой вес угля		0,816 г	Загрузка (4 ч.) = 10,5 кг/т				
Время (мин.)	Время (ч.)	[Au] мг/л	$\Delta[Au]_s$	$\Delta[Au]_c$	$[Au]_c/[Au]_s$	Log t	log $[Au]_c/[Au]_s$
0	0,00	32,54	0,000	0	0		
30	0,50	24,33	8,210	3823	157	-0,301	2,196
96	1,60	15,87	16,670	7763	489	0,204	2,689
180	3,00	11,55	20,990	9775	846	0,477	2,928
240	4,00	9,78	22,760	10599	1084	0,602	3,035

Таблица 12. Адсорбция серебра на активированном угле из богатого раствора после выщелачивания сплавов золота/серебра в течение 168 ч (объем раствора 380 мл)

Сухой вес угля		0,816 г	Загрузка (4 ч.) = 1,54 кг/т				
Время (мин.)	Время (ч.)	[Ag] мг/л	$\Delta[Ag]_s$	$\Delta[Ag]_c$	$[Ag]_c/[Ag]_s$	Log t	log $[Ag]_c/[Ag]_s$
0	0,00	59,51	0,000	0	0		
30	0,50	56,32	3,190	1454	26	-0,301	1,412
96	1,60	54,33	5,180	2361	43	0,204	1,638
180	3,00	52,43	7,080	3228	62	0,477	1,789
240	4,00	51,59	7,920	3611	70	0,602	1,845

Примеры 16-21. Извлечение меди

В следующих примерах 16-21 подробно описано извлечение меди из содержащего медь-золото гравитационного концентрата. Однако следует понимать, что способ по настоящему раскрытию не ограничен извлечением меди из содержащих медь-золото концентратов, а может также применяться для извлечения меди из других содержащих медь материалов, таких как меднорудные концентраты, которые не содержат золото.

Содержащий медь-золото гравитационный концентрат получали в результате вихревой нижней подачи в центробежный гравитационный сепаратор периодического действия на заводе по переработке содержащих медь-золото материалов в Западной Австралии. В гравитационном концентрате с золотом условно сконцентрированы множество не относящихся к сульфидам минералов на основе меди и самородная медь, а также сульфидные минералы с обеспечением широкого распространения минералогии меди. Затем образец гравитационного концентрата перемалывали с применением дисковой мельницы и просеивали с применением сит с размером ячейки 150 и 106 мкм. Образцы +150 мкм отправляли обратно в мельницу.

Размер частиц перемолотого образца, применяемого в экспериментах по выщелачиванию, составлял 100% - 150 мкм и 80% - 106 мкм. Образец направляли на элементный анализ с применением кислотного озоления с последующим анализом растворов для различных металлов с применением оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES). Минералогические составы гравитационного концентрата до и после выщелачивания анализировали посредством интегрированного автоматизированного минералогического прибора, обеспечивающего количественный анализ минералов с применением количественной оценки минералов посредством методики сканирующей электронной микроскопии (QEMSCAN).

Все примеры осуществляли с применением растворов, полученных из реагентов класса чистый для анализа и воды Millipore. Если не указано, все эксперименты проводили с применением бутылочного агитатора в соответствии с традиционной лабораторной практикой. Концентрат и раствор глицина помещали в 2,5 л бутылку Винчестер. Взвесь взбалтывали посредством качения бутылки на бутылочном агитаторе при 150 об./мин. Бутылки продували для обеспечения переноса кислорода, убеждаясь в том, что недостаток кислорода не ограничивает скорость реакции.

В различные моменты времени получали образцы выщелачивающего раствора с применением мембранного шприц-фильтра (размер пор 0,45 мкм). Фильтраты анализировали в отношении меди и железа с применением атомно-адсорбционной спектроскопии. Следовые элементы анализировали с применением оптической эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES). Элементный анализ остатка проводили с применением кислотного озоления с последующим анализом с применением ICP-OES.

Из данных, показанных в табл. 13, можно увидеть, что распространенные минералы, содержащие медь, халькопирит ($CuFeS_2$), по меньшей мере, растворимы в цианиде, а другие оксиды меди и самородная медь демонстрируют высокую растворимость в растворах цианидов.

Таблица 13. Растворимость минералов, содержащих Cu, в 1% растворе NaCN

Минерал	Формула	% растворенной меди
Азурит	$2\text{Cu}(\text{CO}_3) \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	94,5
Малахит	$2\text{CuCO}_3(\text{OH})_2$	90,2
Халькоцит	Cu_2S	90,2
Ковеллин	CuS	95,6
Халькопирит	CuFeS_2	5,60
Самородная медь	Cu	90,0
Куприт	Cu_2O	85,5
Борнит	$\text{FeS} \cdot 2\text{Cu}_2\text{S}$	70,0
Энардит	Cu_3AsS_4	65,8
Тетраздрит	$(\text{Cu} \cdot \text{Fe} \cdot \text{Ag} \cdot \text{Zn})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	21,9
Хризоколла	$\text{CuSiO}_3 \cdot (\text{nH}_2\text{O})$	11,8

В табл. 14 показан элементный анализ содержащего медь-золото концентрата, применяемого в примерах 16-21. Содержащий медь-золото концентрат содержал 3,75% Cu, распределенной среди целого ряда минералов, содержащих медь, в том числе самородной меди.

Таблица 14. Элементный анализ содержащего медь-золото концентрата

Концентрация (%)												
ID образца	Au	Ag	Cu	As	Fe	Si	Ni	Al	K	Co	Pb	S
Конц.	0,213	0,03	3,75	0,76	11,6	27,0	0,06	2,0	0,69	0,34	0,12	11,4

Пример 16. Двухступенчатое выщелачивание

Эксперименты показали, что 98% Cu экстрагировали за 48 ч при двухступенчатом выщелачивании при следующих условиях: 0,3 М глицина, 1% H_2O_2 , pH 11,0, 23°C и плотность пульпы 16% (% вес./об.). Минералогические составы содержащего медь-золото концентрата до и после выщелачивания, которые анализировали посредством QEMSCAN, показаны в табл. 15. На фиг. 24 также показаны массовые доли в процентах для каждого минерала, содержащего медь, в концентрате до и после выщелачивания. Результаты, представленные на фиг. 24, показали, что растворяли 100% металлической меди и сульфидных минералов, содержащих медь, таких как борнит и халькоцит/дигенит. Растворили приблизительно 80% халькопирита. Анализ QEMScan остатка показал, что невыщелоченный халькопирит встречается в виде высвобожденных частицы во фракции с более крупным размером.

Таблица 15. Минералогический анализ минералов, содержащих медь, и минералов пустой породы в концентрате до и после выщелачивания (условия выщелачивания: 0,3 М глицина, 1% H_2O_2 , pH 11, комнатная температура)

Общий минералогический состав, масс. %		
Минерал	До выщелачивания	После выщелачивания
Халькоцит/дигенит	1,46	0,01
Металлическая Cu	1,30	0,00
Куприт	0,88	0,00
Халькопирит	0,71	0,15
Борнит	0,27	0,02
Ковеллин	0,18	0,12
Редкий комплекс Cu-сульфиды	0,09	0,00
Грани Cu	0,34	0,02
Пирит	28,55	32,33
Пирротит	0,35	0,20
Арсенопирит	0,01	0,00
Кварц	48,49	51,28
Полевой шпат	5,32	5,59
Кальцит	0,12	0,10
Доломит	0,09	0,11
Анкерит/доломит	0,78	0,61
Рутил/анатаз/ильменит	0,52	0,75
Гематит	0,69	1,71
Гетит	2,72	2,21
Остальное	7,16	4,75

В табл. 16 представлена доля в процентах каждого минерала, содержащего медь, растворенного после выщелачивания в растворе глицина. Присутствие ковеллина (CuS) в конечном остатке может объясняться переосаждением меди во время выщелачивания согласно уравнению (2). Образование ковеллина (CuS) во время выщелачивания минералов на основе сульфида меди, такого как халькопирит, было обнаружено в некоторых исследованиях. Отсюда можно сделать вывод, что ковеллин растворяется в выщелачивающих растворах и переосаждается за счет реакции меди с одним из серы или сульфида во время выщелачивания.

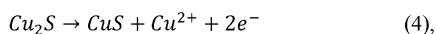
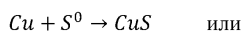


Таблица 16. Наблюдаемое растворение минералов, содержащих медь, в растворе 0,3 М глицина при комнатной температуре, 1% H₂O₂, pH 11

Минерал	Растворение Cu, %
Халькоцит/дигенит	100
Металлическая Cu	100
Куприт	100
Халькопирит	80
Борнит	92
Ковеллин	19
Редкий комплекс Cu-сульфиды	99
Грани Cu	95

На фиг. 25 представлено схематическое изображение принципиального двухступенчатого противоточного цикла выщелачивания меди, в целом обозначенного номером позиции 10. С целью достижения высокой степени растворения меди выщелачивание может проводиться в две ступени 12, 14 (например, посредством применения двух реакторов выщелачивания) при идентичных условиях выщелачивания на каждой ступени. В стационарном режиме свежий содержащий Cu-Au концентрат 16 будут подавать на первую ступень 12, а свежий (подпиточный) выщелачивающий раствор 18 будут подавать на вторую ступень 14. Выщелоченная взвесь, выходящая со ступени 12, подвергается первому разделению 20 на твердую/жидкую фазу с получением первого богатого медью выщелачивающего раствора 22 и твердого остатка 24 от выщелачивания. Остаток 24 подают на вторую ступень 14 выщелачивания. Выщелоченная взвесь, выходящая со второй ступени 14 выщелачивания, подвергается второму разделению 32 на твердую/жидкую фазу с получением содержащего золото концентрата 34 и второго содержащего медь PLS 36. Второй PLS повторно используют на первой ступени 12 выщелачивания в качестве выщелачивающего раствора. Содержащий медь богатый выщелачивающий раствор 22 подвергается электрохимическому извлечению 26 и извлечению 28 меди. Бедный раствор 30 полученный в результате стадии 26 электрохимического извлечения повторно используют в качестве технологического раствора для второй ступени 14 выщелачивания. В таблице 18 показаны концентрации меди и других загрязняющих примесей в конечном выщелачивающем растворе после ступеней 1 и 2.

Таблица 17. Концентрации меди и загрязняющих примесей в конечных выщелачивающих растворах на ступени 1 и 2

ID образца	Концентрация (мг/л)											
	Cu	Au	As	S	Fe	Si	Ni	Co	Pb	K	Mg	Ca
Ступень 1	4745	0,85	24,7	185	12,1	9,14	5,21	3,14	16,4	14,8	14,4	25,1
Ступень 2	1069	1,28	29,4	146	6,69	6,45	4,34	2,27	10,2	9,2	2,99	14,1

Выщелачивали приблизительно 98% меди с применением 0,3 моль/л глицина при комнатной температуре при этом лишь приблизительно 12 мг/л Fe, 16 мг/л Pb и низкая концентрация загрязняющих примесей переносилась в богатый раствор. Очевидно, что железо значительно не растворяется в щелочных растворах глицина.

На фиг. 26 показано растворение меди как функция от времени после выщелачивания в две ступени. Можно увидеть, что было растворено более 98% меди. Также можно наблюдать, что после выщелачивания в течение 5 ч экстракция меди составляет приблизительно 66% меди и данное исходное быстрое растворение меди обусловлено присутствием высоко растворимого куприта и металлической меди в концентрате.

Пример 17. Одноступенчатое выщелачивание

В данном разделе выщелачивание содержащего медь-золото концентрата проводят в одну ступень при повышении концентрации глицина с 0,3 М до 0,4 М и увеличения времени выщелачивания до 96 ч. На фиг. 27 показано, что массовый процент минералов, содержащих медь, анализировали посредством QEMSCAN до и после выщелачивания для сравнения. Из концентрации меди в конечном выщелачивающем растворе и меди в конечном остатке экстракция меди составляла 82%. Из результатов, показанных на фиг. 27, очевидно, что было растворено 100% халькоцита, куприта, металлической меди и лишь 50% халькопирита. Интересно заметить, что, как показано на фиг. 27, медь переосаждалась в виде ковеллина (CuS) или высокодисперсной меди, либо адсорбированных на глинах, либо включенных в силикаты (границы Cu).

Пример 18. Влияние pH

Влияние pH выщелачивающего раствора на растворение меди показано на фигуре 28. Можно увидеть, что исходное растворение меди при более низком pH (pH 8,0) выше, чем растворение при pH 10 и 11,5. Однако при увеличении времени выщелачивания было обнаружено, что растворение меди повышается при более щелочном pH (например, pH 11,5). Из результатов, показанных на фиг. 28, можно наблю-

дать, что растворение меди немного повышается за счет повышения pH выщелачивания с pH 10 до pH 11,5.

Пример 19. Влияние пероксида

Для изучения влияния на выщелачивание меди применения пероксида в качестве окислителя в растворе глицина в раствор 0,3 М глицина добавляли 0, 1 и 2% пероксида при комнатной температуре. Результаты, показанные на фиг. 29, показали, что пероксид немного повышает растворение меди. Наиболее интересным результатом в данном случае является то, что достигается экстракция меди, не превышающая 75% в растворе, содержащем только глицин (без пероксида), на бутылочном агитаторе с продувкой, который обеспечивает достаточный перенос кислорода из окружающего воздуха.

Пример 20. Влияние плотности пульпы

Для изучения влияния плотности пульпы на выщелачивание меди в растворе глицина применяли значения плотности пульпы 10, 16 и 20%. Влияние плотности пульпы на растворение меди показано на фиг. 30. Повышение плотности пульпы с 10 до 20% снижает экстракцию меди приблизительно на 10%. Полагают, что снижение экстракции меди при более высокой плотности пульпы преимущественно может объясняться эффективностью переноса кислорода к выщелачивающему раствору.

Пример 21. Влияние концентрации глицина

Влияние концентрации глицина на растворение меди показано на фиг. 31. Очевидно, что при повышении концентрации глицина экстракция меди немного повышается. В целом можно сказать, что растворение меди зависит от концентрации глицина в растворах глицина-пероксида.

В формуле изобретения, которая следует далее, и в предшествующем описании, за исключением случаев, когда контекст требует иного с целью выражения языковых особенностей или необходимого смысла, слово "содержать" и вариации, такие как "содержит" или "содержащий", используются во включающем смысле, т.е. для указания наличия изложенных признаков, но без исключения наличия или добавления дополнительных признаков в различных вариантах осуществления устройства и способа, описанных в данном документе.

Дополнительные патентные заявки могут быть поданы в Австралии или за рубежом исходя из или с заявлением приоритета настоящей заявки. Следует понимать, что следующая предварительная формула изобретения предусмотрена для применения лишь в качестве примера и не предназначена для ограничения объема того, что может быть заявлено в таких любых дополнительных заявках. Позднее признаки могут быть добавлены или исключены из предварительной формулы изобретения так, чтобы дополнительно определить или повторно определить изобретение или изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ извлечения металла, представляющего собой медь и/или благородный металл, из металлосодержащего материала, включающий стадии выщелачивания металлосодержащего материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с указанным металлом, с получением металлосодержащего продукта выщелачивания, и экстрагирования указанного металла из продукта выщелачивания.

2. Способ извлечения меди из содержащего медь материала, включающий стадии выщелачивания содержащего медь материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, с получением содержащего медь продукта выщелачивания, и экстрагирования меди из продукта выщелачивания.

3. Способ извлечения благородного металла из содержащего благородный металл материала, включающий стадии выщелачивания содержащего благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, и окислитель, при температуре выше температуры окружающей среды с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, и экстрагирования благородного металла из продукта выщелачивания.

4. Способ по п.3, где окислитель является кислородосодержащим, таким как пероксид, диоксид марганца или кислородосодержащий газ.

5. Способ по п.4, где окислитель представляет собой пероксид водорода, и количество пероксида водорода в растворе составляет по меньшей мере 0,005 вес.%, предпочтительно 0,5 вес.% или больше, более предпочтительно по меньшей мере 1 вес.% и предпочтительно максимально составляет 5 вес.%, более предпочтительно максимально 1%.

6. Способ по любому из пп.3-5, где водный щелочной раствор дополнительно включает катализатор выщелачивания, содержащий соединения меди (II), который предпочтительно присутствует в концентрации по меньшей мере 1 мМ и предпочтительно в концентрации до 10 мМ.

7. Способ по п.1 или 2, где выщелачивание проводят при температуре окружающей среды.

8. Способ по любому из пп.3-6, где способ осуществляют при температуре выше температуры ок-

ружающей среды, предпочтительно по меньшей мере 30°C, например по меньшей мере 40°C.

9. Способ по любому из предыдущих пунктов, где аминокислота представляет собой одну или несколько из глицина, гистидина, валина, аланина и фенилаланина, цистеина, аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, лизина, метионина, серина, треонина, тирозина и валина и предпочтительно представляет собой глицин.

10. Способ по любому из предыдущих пунктов, где производное аминокислоты представляет собой пептид, такой как ди- или трипептид.

11. Способ по любому из предыдущих пунктов, где концентрация аминокислоты в выщелачивающем растворе составляет по меньшей мере 0,001 М и предпочтительно максимально составляет 2 М.

12. Способ по любому из предыдущих пунктов, где рН находится в диапазоне от 6 до 13 и предпочтительно превышает 10.

13. Дифференциальный способ выщелачивания для извлечения меди и благородного металла из содержащего медь и благородный металл материала, включающий стадии:

(а) выщелачивание содержащего медь и благородный металл материала с помощью водного щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с медью, при первых условиях с получением содержащего медь продукта выщелачивания и содержащего благородный металл остатка, причем первые условия включают температуру окружающей среды;

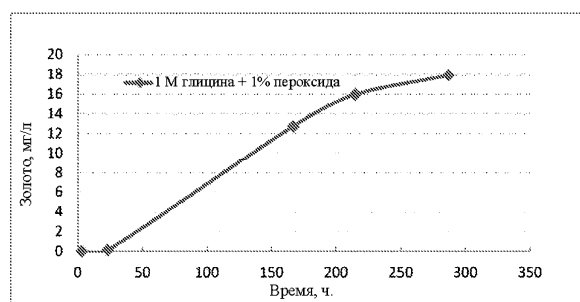
(b) выщелачивание содержащего благородный металл остатка с помощью щелочного раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с благородным металлом, при вторых условиях с получением содержащего благородный металл продукта выщелачивания, причем вторые условия включают температуру выше температуры окружающей среды;

(с) экстрагирование меди из содержащего медь продукта выщелачивания и

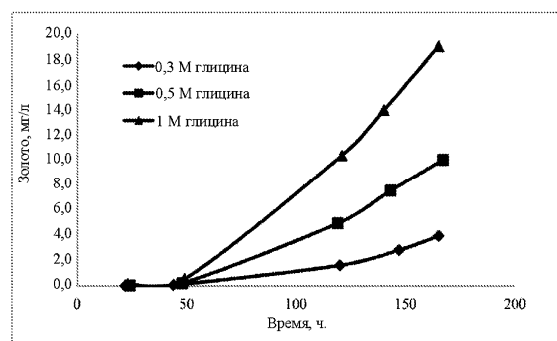
(d) экстрагирование благородного металла из содержащего благородный металл продукта выщелачивания.

14. Дифференциальный способ выщелачивания по п.13, в котором вторые условия дополнительно включают присутствие окислителя.

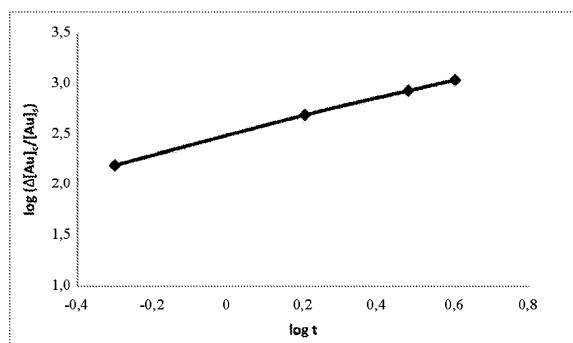
15. Способ извлечения металла, представляющего собой медь и/или благородный металл, из металлосодержащего материала, включающий стадии выщелачивания металлосодержащего материала с помощью водного щелочного, свободного от тиосульфата раствора, содержащего выщелачивающее средство, представляющее собой аминокислоту или ее производное, которое образует комплекс с указанным металлом, с получением металлосодержащего продукта выщелачивания и экстрагирования указанного металла из продукта выщелачивания.



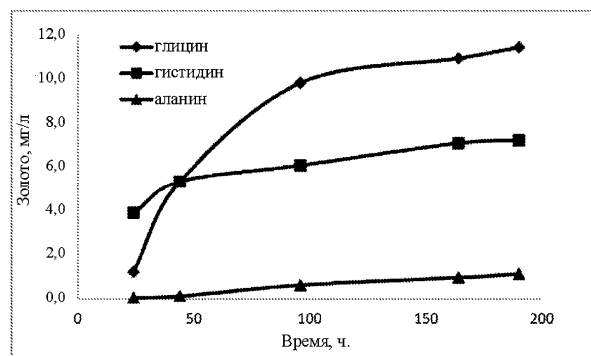
Фиг. 1



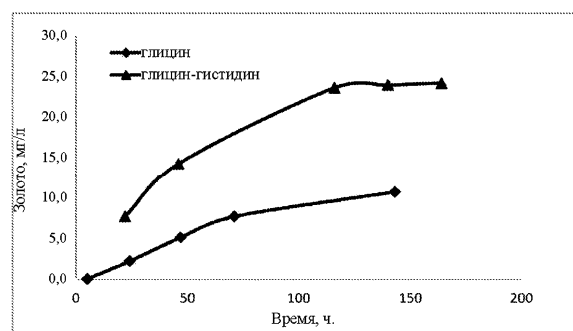
Фиг. 2



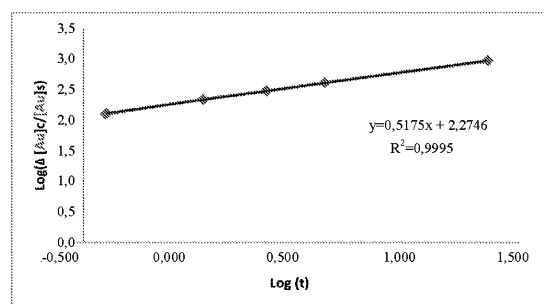
Фиг. 3



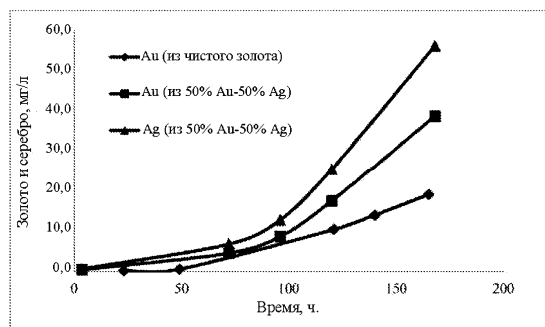
Фиг. 4



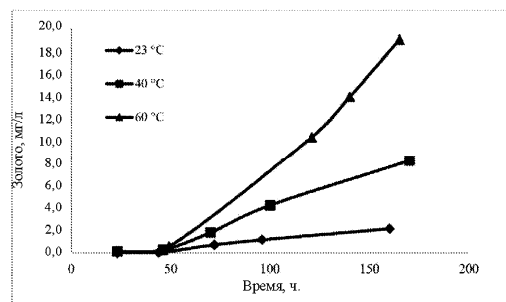
Фиг. 5



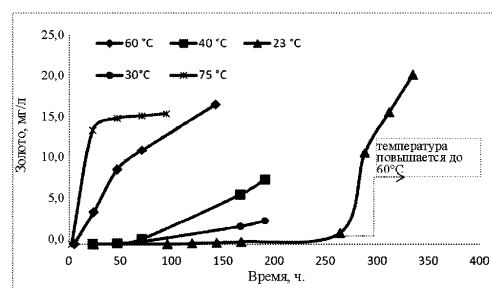
Фиг. 6



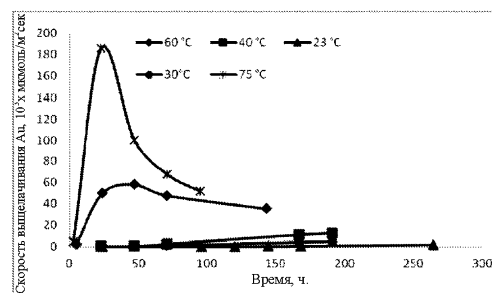
Фиг. 7



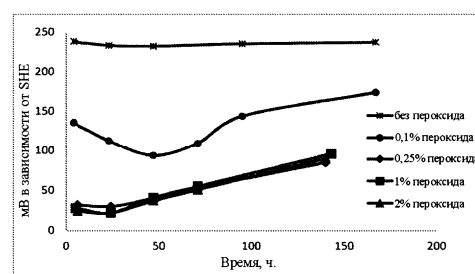
Фиг. 8



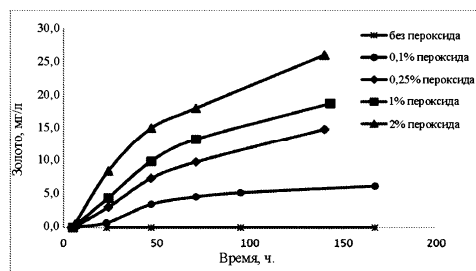
Фиг. 9



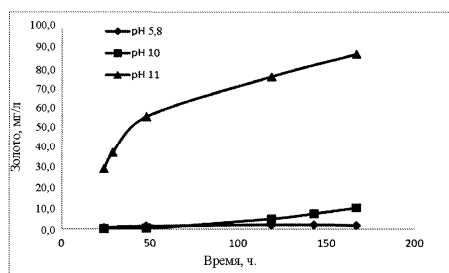
Фиг. 10



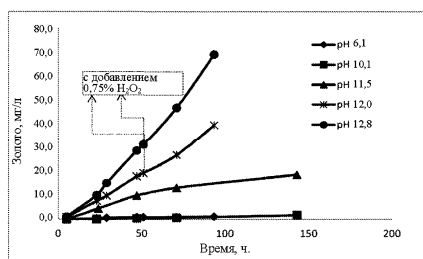
Фиг. 11



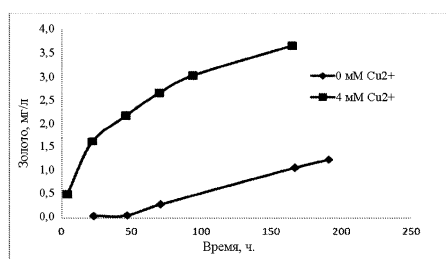
Фиг. 12



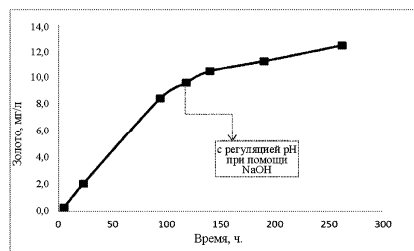
Фиг. 13



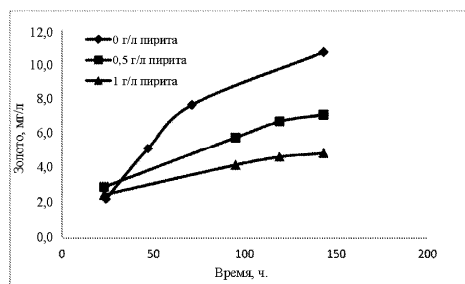
Фиг. 14



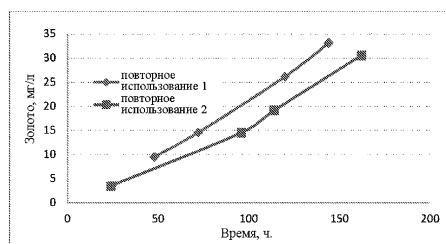
Фиг. 15



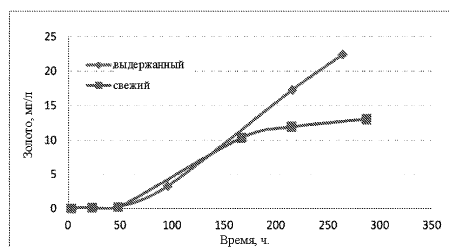
Фиг. 16



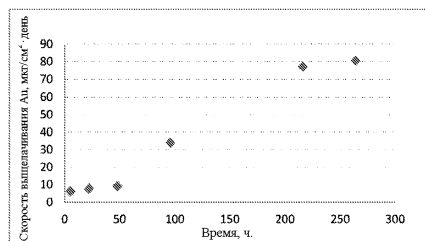
Фиг. 17



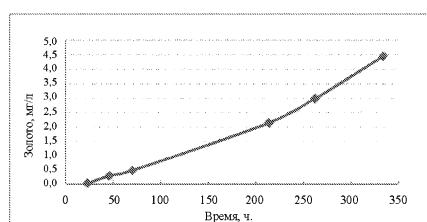
Фиг. 18



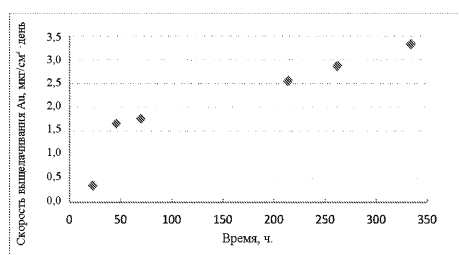
Фиг. 19



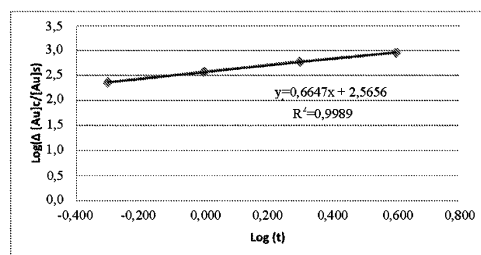
Фиг. 20



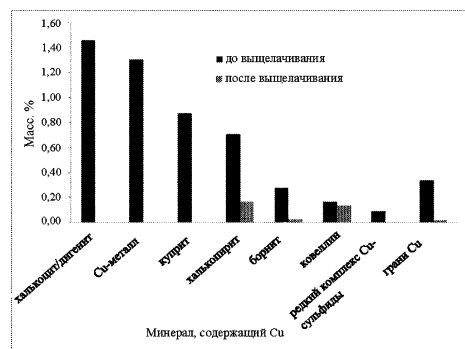
Фиг. 21



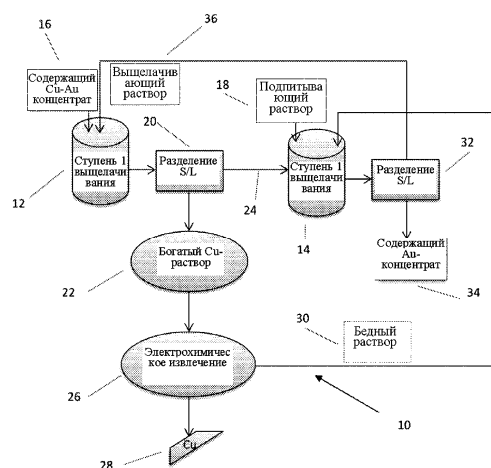
Фиг. 22



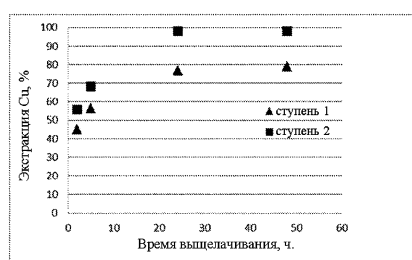
Фиг. 23



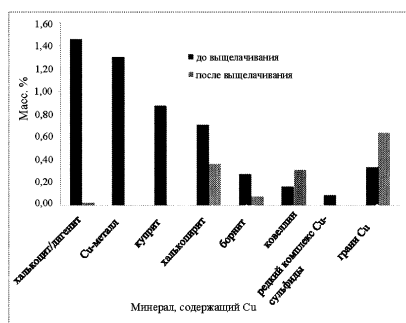
Фиг. 24



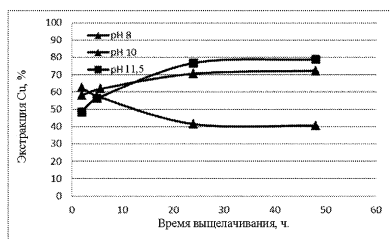
Фиг. 25



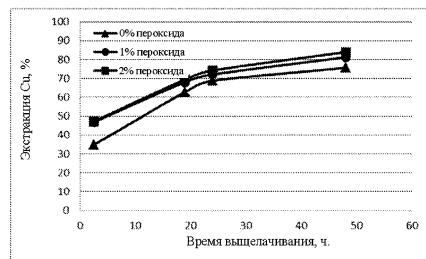
Фиг. 26



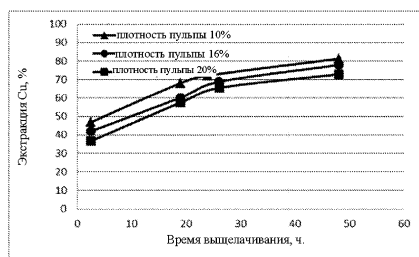
Фиг. 27



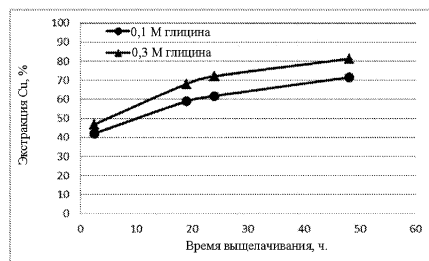
Фиг. 28



Фиг. 29



Фиг. 30



Фиг. 31

