

Настоящее изобретение относится к способу извлечения благородных металлов из промышленных отходов и может быть использовано в ювелирной промышленности для переработки отходов на основе окислов железа и хрома.

Здесь и далее под "благородными металлами" понимают золото и серебро. Повышение среднегодовых цен на золото привело к росту интереса к проблеме переработки вторичного сырья, содержащего эти благородные металлы.

Разные виды вторичного сырья, содержащего благородные металлы, значительно отличаются по химическому составу и своей структуре друг от друга. Это обстоятельство вызывает необходимость в создании различных способов извлечения благородных металлов из промышленного сырья, учитывающих его особенности.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является способ извлечения благородных металлов, в котором растворение цветных металлов осуществляют окислением в отдельном реакторе, после чего проводят их восстановление на катоде в электролизере с одновременной анодной регенерацией окислителя (М.А.Мертуков, А.М.Орлов. Металлургия благородных металлов. М.: Металлургия. 1991, с. 334). Этот принцип является основой способа переработки лома плокированных изделий, в нем используют свойства окислительно-восстановительной пары  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ . При промышленной проверке способа использованы плокированные благородным металлом отходы штамповочного производства на основе латуней и бронз. Загруженный в реактор лом обрабатывали сернокислым раствором, содержащим окислитель (трехвалентное железо), в непрерывном варианте.

В результате обработки лома сернокислым раствором медь растворялась в нем, а благородные металлы в виде осадка накапливались в реакторе. Раствор из реактора поступал в электролизер, в котором на катоде выделялась медь, а на аноде происходило окисление двухвалентного железа в трехвалентное. Отработанный электролит возвращали в реактор растворения, замыкая цикл. При проведении испытаний переработано около 450 кг латунного сырья, содержащего сплав серебра с кадмием. Содержание серебра в осадке достигало 62,5 - 85,0 %.

Однако описанный выше способ может быть использован для переработки только определенного вида сырья, содержащего благородные металлы, а именно сырья, в котором благородные металлы тонким слоем нанесены на подложку из меди или ее сплавов. Этот способ не может быть применен для извлечения благородных металлов из отходов ювелирной промышленности, так как в используемом в известном способе электролите не растворяется ни один из компонентов этих отходов, а именно, окислы железа или хрома, находящиеся в этих отходах в большом количестве, а также благородные металлы.

Задачей изобретения является создание такого экологически чистого способа извлечения благородных металлов из промышленных отходов, в котором используемые электролиты и параметры процесса позволяют извлекать с высокой степенью благородные металлы из отходов ювелирной промышленности, содержащих большое количество окислов железа или хрома.

Поставленная задача решается тем, что в известном способе извлечения благородных металлов из промышленных отходов, заключающемся в том, что исходное сырье обрабатывают электролитом, содержащим трехвалентное железо, в камере выщелачивания, а электролиз проводят в камере электролиза, причем водный раствор электролита из камеры выщелачивания подают в камеру электролиза и наоборот, согласно изобретению, исходное сырье предварительно обжигают при температуре 450 - 750°C и измельчают, заполняют камеру выщелачивания и камеру электролиза исходным водным раствором электролита А, который содержит компоненты в г/л:

Хлорид щелочного металла или хлорид щелочно-земельного металла, или хлорид аммония		10,0 - 150,0
Соляную кислоту	10,0-50,0	
Хлорид или сульфат, или нитрат трехвалентного железа	0,1-1,5	
Вода		Остальное,

а затем загружают исходное сырье в камеру выщелачивания и ведут процесс выщелачивания при перемешивании, после чего образующийся водный раствор фильтруют и подают в камеру электролиза, где ведут электролиз при плотности тока на катоде 0,5 - 3,0 А/дм<sup>2</sup>, с образованием водного раствора электролита В, содержащего компоненты в г/л:

Хлорид щелочного металла или хлорид щелочно-земельного металла, или хлорид аммония	7,0 - 14,0	
Соляную кислоту	5,0 - 40,0	
Хлорид или сульфат, или нитрат трехвалентного железа		0,1 - 1,5
Активный хлор	1,5-15,0	
Вода		Остальное,

который подают в камеру выщелачивания, куда одновременно с этим подают выделившийся на аноде газообразный хлор, причем осуществляют процессы выщелачивания и электролиза при постоянной циркуляции водных растворов электролитов из камеры выщелачивания в камеру электролиза и наоборот со скоростью 100,0 - 600,0 мл/мин до прекращения выделения благородных металлов на катоде.

В случае преобладания в составе исходного сырья окислов хрома целесообразно вести обжиг исходного сырья при температуре 450 - 550°C, при этом в исходном сырье выжигается также его органическая часть.

Рекомендуется при наличии в исходном сырье большого количества окислов железа вести обжиг исходного сырья при температуре 700 - 750°C, чтобы полностью исключить возможность их растворения в используемом электролите.

Предлагаемый способ извлечения благородных металлов из промышленных отходов позволяет с высокой степенью извлечь благородные металлы из сырья, содержащего большое количество окислов железа или хрома. При этом указанный способ позволяет обеспечить извлечение благородных металлов в замкнутой системе, в которой происходит одновременно и растворение благородных металлов и их осаждение на катоде. Это обстоятельство позволяет говорить о том, что данный способ является экологически чистым, т.е. ненаносящим ущерба окружающей среде. Вышеуказанные эффекты достигаются как предварительным обжигом исходного сырья, в результате которого окислы железа переводятся в пассивную в кислых средах форму, так и обеспечением оптимальных параметров процессов выщелачивания и электролиза, а также необходимой скорости циркуляции водных растворов в этой замкнутой системе.

Заявляемый способ осуществляют на лабораторной установке, схематически изображенной на чертеже.

Камера выщелачивания 1 (объемом 1,5 л или 21 л) соединена с камерой электролиза 2 (объемом 1 л или 7 л) с помощью трубопроводов 3 и 4, причем на трубопроводе 3 установлен перистальтический насос 5. Камера электролиза 2 расположена выше камеры выщелачивания 1 для обеспечения подачи раствора электролита из камеры 2 в камеру 1 по трубопроводу 4 самотеком. Камера выщелачивания снабжена мешалкой 6 с электроприводом от электродвигателя 7. Используют мешалку импеллерного типа со скоростью вращения 1000 - 1500 об/мин.

Камера выщелачивания 1 снабжена также фильтром 8 в виде размещенного внутри ее мешка из полипропиленовой ткани, края которого плотно прижаты к верхней стенке камеры выщелачивания с обеспечением ее герметичности. В верхней части камеры 1 имеется отверстие 9 для ввода трубки, отводящей газообразный хлор из камеры 2.

В камере электролиза 2 установлены электроды: анод 10 в виде графитовых стержней и катод 11, выполненный из нержавеющей стали. Электроды подключены к источнику постоянного тока 12, обеспечивающему плотность тока на катоде 0,5-3,0 А/дм<sup>2</sup>. Катод 11 помещен в перфорированный карман 13.

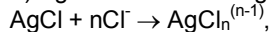
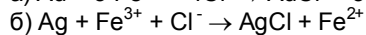
Трубка 15, вставленная одним концом в отверстие 9 камеры 1, а другим концом подключенная к отверстию 14 в камере 2, служит для отвода из последней выделяющегося при электролизе газообразного хлора.

Извлечение благородных металлов из промышленных отходов осуществляют следующим образом.

В начале проводят подготовку исходного сырья. В качестве исходного сырья используют отходы ювелирной промышленности, а именно содержащие золото и серебро отходы полировки изделий из сплавов благородных металлов. Эти отходы представляют собой рыхлую массу, в состав которой входит абразив, содержащий оксиды железа и хрома, наждак, корунд. Кроме того, в этой массе имеются органические вещества: воска, парафины, полимеры, а также обрывки ткани, бумаги и др. Указанное сырье обжигают в муфельной печи, поместив сырье в кюветы из нержавеющей стали и постепенно повышая температуру в печи от комнатной до заданных значений. После охлаждения извлекают содержимое кювет, измельчают и просеивают через сито.

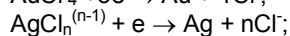
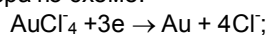
Заполнив исходным водным раствором электролита А камеры 1 и 2, загружают в камеру выщелачивания подготовленное сырье. Затем включают мешалку 6, перистальтический насос 5 и источник постоянного тока 12.

В камере выщелачивания 1 происходит растворение благородных металлов, содержащихся в исходном сырье, под воздействием электролита А по схеме:

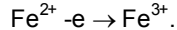
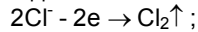


где  $n = 2, 3, 4$ .

Полученный водный раствор, содержащий растворенные благородные металлы и ионы  $\text{Fe}^{2+}$ , фильтруют с помощью фильтра 8 и перистальтическим насосом 5 по трубопроводу 3 со скоростью 100 - 600 мл/мин подают в камеру электролиза 2. В камере электролиза 2 на катоде 11 происходит выделение золота и серебра по схеме:

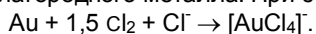


а на аноде - выделение газообразного хлора и окисление железа:



Описанный процесс электролиза и растворение части выделившегося на аноде газообразного хлора приводит к образованию водного раствора электролита В, который самотеком направляют в камеру выщелачивания 1 по трубопроводу 3, куда одновременно по трубке 15 отводят остальную часть выделившегося

гося при электролизе хлора. Газообразный хлор засасывается вглубь суспензии благодаря высокой скорости вращения импеллера мешалки 6 и диспергируется в объеме камеры 1, что облегчает его контакт с частицами благородного металла. При этом происходит реакция:



Состав циркулирующего электролита В определяют путем фотометрического анализа по хлору и хлор-ионам.

Процессы выщелачивания и электролиза при циркуляции электролита В ведут до прекращения выделения благородных металлов на катоде. Время процесса рассчитывают приблизительно по закону Фарадея, при этом допускают, что выход по току каждого благородного металла не превышает 10% при плотности тока на катоде 0,5 - 1,5 А/дм<sup>2</sup> и 5,0 - 7,0% при плотности 1,5 - 3,0 А/дм<sup>2</sup>. За час до окончания процесса, определенного расчетом, его уточняют, определяя содержание золота в твердой фазе и в растворе электролита в камере выщелачивания 1.

Процесс осаждения благородных металлов на катоде практически прекращается при содержании золота в электролите менее 0,01 г/л и в твердой фазе менее 1,1 г/кг (11%), что соответствует извлечению золота более 97%.

После отключения источника 5 и источника постоянного тока 12 осадок смеси благородных металлов смывают с катода 11 струей воды и вымывают из перфорированного кармана 13.

Полученный осадок состоит из трех металлов: золота, серебра и меди. Его промывают водой от электролита и высушивают. Твердый осадок, который образовался в камере выщелачивания, также промывают и сушат.

Рафинирование осадка, образовавшегося на катоде с целью получения чистого золота, проводят следующим образом. Сначала из осадка удаляют медь, обрабатывая его азотной кислотой при соотношении 1:1 при нагревании в течение 30 мин. При этом в раствор переходит также часть серебра. После этого осадок тщательно промывают, высушивают и плавят с флюсом (бура) в слиток, получая таким образом черновое золото (сплав Дорэ) с содержанием 97 - 99%. Аффинаж золота осуществляют электрохимическим способом в хлоридном электролите, в результате получают золото с чистотой 99,9%. При этом серебро выделяется в виде анодного шлама (AgCl). Из азотнокислого раствора, содержащего серебро и медь, при помощи соляной кислоты осаждают серебро, переводя его в AgCl. Хлорид серебра после промывки и сушки подвергают восстановительной плавке под содой. Медь из азотнокислого раствора выделяют электролизом, применяя нерастворимый анод.

В дальнейшем сущность изобретения поясняется конкретными примерами осуществления способа.

#### Пример 1.

В качестве материала, содержащего благородные металлы, использовали отходы ювелирного производства, образующиеся при полировке изделий. Основной полировальных составов являются окислы железа. 454 г исходных отходов размещали в муфельной печи, постепенно повышая температуру от комнатной до 750°C. Затем печь выключали, после остывания выгружали обожженные отходы ювелирного производства, размалывали полученный порошок, просеивали его через сито, отбрасывая случайные примеси (железные обломки, куски абразива и т.п.). Сырье, подготовленное для извлечения благородных металлов, представляло собой бурый тонкодисперсный порошок следующего состава, % :

Окислы железа Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> и Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	85,0		
Окись алюминия Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,0		
Золото		4,84	
Серебро		2,13	
Медь			3,03
Окислы кальция, магния, хрома	До 1,0		

Масса отходов после обжига и просеивания - 340,5 г. Процесс осуществляли на лабораторной установке с объемами камеры выщелачивания 1,5 л и камеры электролиза 1,0 л. В указанные камеры заливали исходный водный раствор электролита А следующего состава (г/л):

Натрий хлористый	50,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0

После загрузки камер электролитом аноды 10 и катоды 11 подключали к источнику электропитания 12. В камере выщелачивания 1 включали мешалку 6 и загружали в нее обожженное сырье. После этого включали перистальтический насос 5, установив скорость перекачки 100 мл/мин. Включали источник электропитания 12 и пропускали через электролит ток силой 10 А, при этом на катодах 11 площадью 20 дм<sup>2</sup> плотность тока была 0,5 А/дм<sup>2</sup>.

Образовавшийся в камере электролиза 2 электролит В возвращался самотеком в камеру выщелачивания 1. В эту же камеру подавался по трубке 15 газообразный хлор, который выделялся на аноде 10. В камере выщелачивания 1 электролит В вместе с диспергируемым мешалкой 6 хлором воздействовал на компоненты перерабатываемого сырья. Состав электролита В (г/л):

Натрий хлористый	47,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	25,0
Активный хлор	9,5

Длительность процесса, как было описано выше, определяли предварительно на основании входного анализа обожженного сырья с применением закона Фарадея для электролиза, предположив, что выход каждого металла по току не превышает 10 % при малых плотностях тока.

Процесс выщелачивания благородных металлов в камере выщелачивания и их осаждения на катодах в камере электролиза продолжался 17 часов. Через 17 часов отключали источник электропитания 12, перистальтический насос 5 и мешалку 6. Разгружали камеру электролиза 2 и отделяли металлический порошок от поверхности катодов 11, смывая его струей воды и протирая поверхность волосистой щеткой. Часть осадка, не закрепившуюся на поверхности катодов 11, вымывали струей воды из перфорированных карманов 13.

Полученный осадок, состоящий из трех металлов (золото, серебро, медь), отмывали сначала водопроводной водой, затем дистиллированной от остатков электролита, высушивали в сушильном шкафу при температуре 150 - 200°С, взвешивали и направляли на дальнейшие операции обработки.

Вес осадка, выделившегося на катоде - 33,2 г (97,5% от суммарного содержания металлов в обожженных отходах). Масса золотого слитка после рафинирования и аффинажа - 15,98 г (извлечение 97%, чистота металла - 99,99%, извлечение серебра в виде хлорида - 97%).

#### Пример 2.

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа аналогичных описанным в примере 1. Процесс осуществляли на установке с объемами камеры выщелачивания 20 л и камеры электролиза - 7 л. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 3,46 кг обожженного исходного сырья. Исходный водный раствор электролита А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	50,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0

Электролиз осуществлялся в камере электролиза, в которой протекал ток силой 60 А, при этом на катодах площадью 60 дм<sup>2</sup> устанавливалась плотность тока 1 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	48,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	23,0
Активный хлор	9,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 300 мл/мин. Процесс продолжали в течение 29 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 339 г (98%). Рафинирование осадка и аффинаж осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 162,4 г (извлечение 97%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 97,5 %.

#### Пример 3.

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома, которые обжигали при температуре 450°С. После обжига получили порошок зеленого цвета, имеющий следующий состав, %:

Окись хрома	90,0
Окись алюминия	1,0
Золото	4,52
Серебро	1,28
Медь	2,30
Остальное	0,9

Процесс осуществляли на установке с объемами камер выщелачивания и электролиза аналогичными описанным в примере 2. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 3,42 кг обожженного исходного сырья. Раствор электролита А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	30,0
Железо азотнокислородное	1,0
Кислота соляная	10,0

Процесс электролиза осуществляли так, как описано в примере 1. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	25,0
Железо азотнокислородное	1,0
Кислота соляная	7,0
Активный хлор	10,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 300 мл/мин. Процесс продолжали в течение 24 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 271,7 г (98%). Рафинирование осадка и аффинаж осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 150,86 г (извлечение 97,5%, чистота золота - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 96,0%.

#### Пример 4.

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома, аналогичных описанным в примере 3, которые обжигали при температуре 550°С. Процесс осуществляли на установке, аналогичной описанной в примере 2. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанному в примере 1.

В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Кальций хлористый	10,0
Железо хлорное	1,5
Кислота соляная	50,0

Электролиз осуществляли при силе тока 20 А, что обеспечивало плотность тока на катоде 1 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Кальций хлористый	8,0
Железо хлорное	1,5
Кислота соляная	40,0
Активный хлор	15,0

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 150 мл/мин. Процесс продолжали в течение 14 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 34,93 г (95%). Рафинирование осадка и аффинаж осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 20,1 г (извлечение 98%, чистота золота - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 95,0 %.

#### Пример 5.

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа аналогичных описанным в примере 1, которые обжигали при температуре 700°C. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 2. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1.

В камеру выщелачивания загружали 4,54 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	100,0
Железо хлорное	1,0
Кислота соляная	25,0

Электролиз осуществляли при силе тока 180 А, что создавало на катодах плотность тока 3 А/дм<sup>2</sup>.

Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	97,0
Железо хлорное	1,0
Кислота соляная	23,0
Активный хлор	4,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 600 мл/мин. Процесс продолжали в течение 28 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 438 г (98%). Рафинирование осадка и аффинаж осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 208,75 г (извлечение 95%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 96,5%.

#### Пример 6.

Извлечение благородных металлов проводили из отходов аналогичных описанным в примере 3. Процесс осуществляли на установке аналогичной описанной в примере 2. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 4,54 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Аммоний хлористый	150,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0

Электролиз осуществляли при силе тока 90 А, создающей на катоде плотность тока 1,5 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Аммоний хлористый	140,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	28,0
Активный хлор	3,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 400 мл/мин. Процесс продолжали в течение 25 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 356,67 г (97%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 195,97 г (извлечение 95,5%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 97%.

#### Пример 7.

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома, аналогичных описанным в примере 3. Процесс осуществляли на установке аналогичной описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	150,0
Железо азотнокислородное	0,5
Кислота соляная	10,0

Электролиз осуществлялся в камере, в которой протекал ток силой 10 А, что обеспечивало плотность тока на катодах 0,5 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	140,0
Железо азотнокислородное	0,5
Кислота соляная	9,5
Активный хлор	1,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 200 мл/мин. Процесс продолжали в течение 19 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 35,11 г (95,5%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 19,49 г (извлечение 95%, чистота металла -99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 95%.

**Пример 8** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа аналогичных описанным в примере 1. Процесс осуществляли на установке аналогичной описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	100,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0

Электролиз и циркуляцию растворов электролитов осуществляли так, как описано в примере 1. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	100,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0
Активный хлор	1,5

Процесс продолжали в течение 23 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 39,35 г (86,7%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 18,9 г (извлечение 86%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 85%.

**Пример 9** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа способом, аналогичным описанному в примере 1. Процесс осуществляли на установке, аналогичной описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	5,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0

Электролиз и циркуляцию растворов осуществляли аналогично описанным в примере 1. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	4,5
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	20,0
Активный хлор	15,0

Процесс продолжали в течение 23 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 41,9 г (92,3%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 20,216 г (извлечение 92%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 82,5 %.

**Пример 10** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома аналогичных описанным в примере 3. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	50,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	5,0

Электролиз осуществлялся в камере, в которой протекал электрический ток силой 20 А, что обеспечивало плотность тока на катоде 1 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	40,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	3,0
Активный хлор	4,0

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 150 мл/мин. Процесс продолжали в течение 14 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 33,09 г (90,0%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 18,26 г (извлечение 89%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 90,5 %.

**Пример 11** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа, аналогичных описанным в примере 1. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	50,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	60,0

Электролиз осуществляли при силе тока 20 А, что обеспечивало плотность тока на катоде 1 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	47,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	58,0
Активный хлор	6,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли с такой же скоростью, как в примере 10. Процесс продолжали в течение 12 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 39,95 г (88%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 19,12 г (извлечение 87%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 88%.

**Пример 12** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа аналогичных описанным в примере 1. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Магний хлористый	30,0
Железо азотнокислородное окисное	0,05
Кислота соляная	50,0

Электролиз осуществлялся в камере, в которой протекал электрический ток силой 20 А, создающей плотность тока на катоде 1 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Магний хлористый	28,0
Железо азотнокислородное окисное	0,05
Кислота соляная	43,0
Активный хлор	10,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 150 мл/мин. Процесс продолжали в течение 12 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 42,68 г (94%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 20,87 г (извлечение 95%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 86,5 %.

**Пример 13** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа, аналогичных описанным в примере 1. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	50,0
Железо хлорное	2,0
Кислота соляная	30,0

Электролиз и циркуляцию растворов осуществлялся так, как в примере 12. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	47,0
Железо хлорное	2,0
Кислота соляная	25,0
Активный хлор	8,0

Процесс продолжали в течение 12 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 43,58 г (96%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 20,54 г (извлечение 93,5%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 95,0 %.

**Пример 14** (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома, аналогичных описанным в примере 3. Процесс осуществляли на установке, описанной в при-

мере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Аммоний хлористый	30,0
Железо азотнокислородное	1,0
Кислота соляная	10,0

Электролиз осуществляли в камере, в которой протекал электрический ток силой 6 А, создающей на катодах площадью 20 дм<sup>2</sup> плотность тока 0,3 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Аммоний хлористый	29,0
Железо азотнокислородное	1,0
Кислота соляная	7,0
Активный хлор	7,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 100 мл/мин. Процесс продолжали в течение 26 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 36,4 г (99%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 19,7 г (извлечение 96%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 98,5 %.

#### Пример 15 (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома, аналогичных описанным в примере 3. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Кальций хлористый	10,0
Железо хлорное	1,5
Кислота соляная	50,0

Электролиз осуществлялся в камере, в которой протекал электрический ток силой 70 А, создающей на катодах площадью 20 дм<sup>2</sup> плотность тока 3,5 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Кальций хлористый	9,0
Железо хлорное	1,5
Кислота соляная	38,0
Активный хлор	15,0

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 600 мл/мин. Процесс продолжали в течение 5,5 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 34,2 г (93%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 18,37 г (извлечение 89,5%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 92 %.

#### Пример 16 (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов хрома, аналогичных описанным в примере 3. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Натрий хлористый	50,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	30,0

Электролиз осуществлялся в камере, в которой протекал электрический ток силой 10 А, создающий на катоде плотность тока 0,5 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Кальций хлористый	45,0
Железо хлорное	0,5
Кислота соляная	23,0
Активный хлор	10,0

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 50 мл/мин. Процесс продолжали в течение 19 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 34,56 г (94%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 18,98 г (извлечение 92,5%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 93 %.

#### Пример 17 (сравнительный).

Извлечение благородных металлов проводили из отходов ювелирного производства на основе окислов железа, аналогичных описанным в примере 1. Процесс осуществляли на установке, описанной в примере 1. Все подготовительные операции и загрузка камер выщелачивания и электролиза аналогичны описанным в примере 1. В камеру выщелачивания загружали 0,45 кг обожженного исходного сырья. Электролит А содержал компоненты (г/л):

Калий хлористый	100,0
Железо хлорное	1,0
Кислота соляная	25,0



Электролиз осуществляли в электролизной камере, в которой протекал электрический ток силой 60 А, создающий на катоде плотность тока 3,0 А/дм<sup>2</sup>. Электролит В содержал компоненты (г/л):

Калий хлористый	98,0
Железо хлорное	1,0
Кислота соляная	23,0
Активный хлор	6,5

Циркуляцию водных растворов осуществляли со скоростью 700 мл/мин. Процесс продолжали в течение 8 часов. Вес осадка, выделившегося на катоде, составил 44,04 г (97,3%). Рафинирование осуществляли так, как описано выше.

Масса слитка чистого золота - 20,87 г (извлечение 95%, чистота металла - 99,99%). Извлечение серебра в виде хлорида - 96 %.

Некоторые параметры процесса и данные о степени извлечения благородных металлов по примерам 1-7 заявляемого способа, а также по сравнительным примерам 8-17 представлены в таблице.

Как видно из приведенных конкретных примеров реализации изобретения, предлагаемый способ позволяет обеспечить высокую степень извлечения золота и серебра из отходов ювелирной промышленности (примеры 1-7).

В то же время несоблюдение указанных в формуле параметров процесса или выход за установленные пределы концентраций компонентов электролита либо приводит к снижению степени извлечения благородных металлов, либо к значительному замедлению процесса и резкому повышению энергетических затрат, т.е. не обеспечивается достижение необходимого технического результата (см. сравнительные примеры 8-17).

При проведении процесса извлечения благородных металлов с использованием соляной кислоты в электролита А в концентрации ниже заявляемого предела рН водных растворов электролитов сдвигается в сторону щелочной среды, что вызывает гидратообразование железа и его осаждение на катоде, что ведет к снижению количества благородных металлов в осадке на катоде (пример 10).

Высокое содержание соляной кислоты в составе электролита А приводит к снижению выхода благородных металлов на катоде из-за усиления выделения на катоде водорода и растворения окислов железа (пример 11). Увеличение содержания в составе электролита А ионов железа Fe<sup>3+</sup> выше заявляемого предела ведет к восстановлению Fe<sup>3+</sup> до Fe<sup>2+</sup> на катоде, в этом случае уменьшается количество тока, которое идет на восстановление благородных металлов, и количество благородных металлов, выделившихся на катоде, падает (пример 13). Снижение количества ионов железа Fe<sup>3+</sup> ниже заявляемого предела отрицательно сказывается на процессе выщелачивания серебра (пример 12).

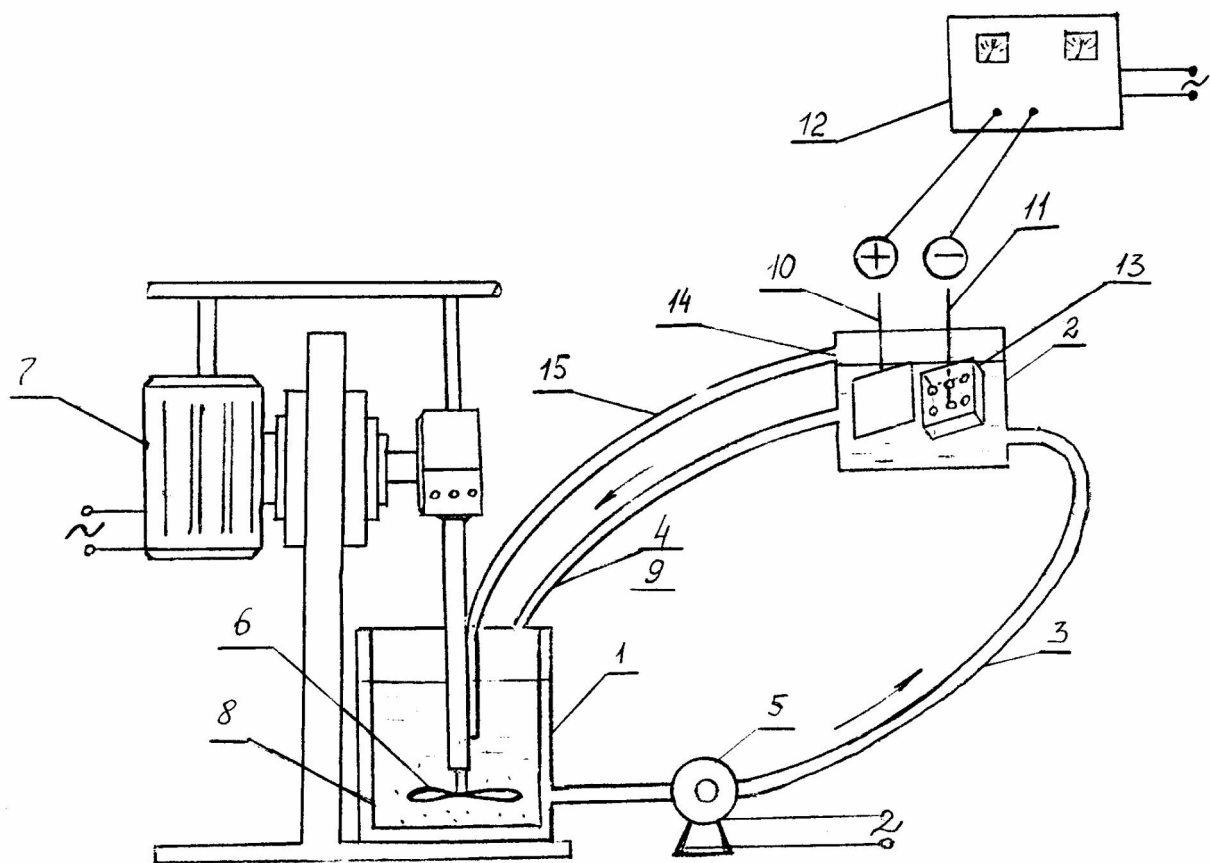
Существенное влияние на эффективность процесса оказывает плотность тока на катоде. При плотности тока ниже заявляемого предела замедляется осаждение благородных металлов на катоде. Так, процесс извлечения благородных металлов из 0,45 кг исходного сырья длится 26 часов. При увеличении количества перерабатываемого исходного сырья продолжительность процесса увеличится еще больше, что приведет к большим затратам энергии (пример 14). Если увеличить величину плотности тока на катоде выше заявляемого предела, то выделившееся количество благородных металлов падает, так как на катоде начинает активно выделяться водород (пример 15).

Снижение скорости циркуляции водных растворов из камеры выщелачивания в камеру электролиза и наоборот ниже заявляемого предела также негативно сказывается на результатах процесса (пример 16). При скоростях циркуляции выше заявляемого предела тонкие фракции исходного сырья проникают через фильтр и попадают в раствор электролита, направляемый в камеру электролиза, где оседают на катоде, что впоследствии затрудняет рафинирование (пример 17).

Вполне очевидно, что выше приведены лишь некоторые конкретные примеры осуществления изобретения. Однако, возможны и другие примеры, не выходящие по существу за пределы, ограниченные формулой изобретения.

Примеры	Количество загружаемого в камеру выщелачивания сырья, кг	Продолжительность процесса, ч	Степень извлечения металла, %	
			Золото	Серебро
1	0,34	17	97,0	97,0
2	3,46	29	97,0	97,5
3	3,42	24	97,5	96,0
4	0,45	14	98,0	95,0

5	4,54	28	95,0	96,5
6	4,54	25	95,5	97,0
7	0,45	19	95,0	95,0
8 (cp)	0,45	23	86,0	85,0
9 (cp)	0,45	23	92,0	82,5
10 (cp)	0,45	14	89,0	90,5
11 (cp)	0,45	12	87,0	88,0
12 (cp)	0,45	12	95,0	86,5
13 (cp)	0,45	12	93,5	95,0
14 (cp)	0,45	26	96,0	98,5
15 (cp)	0,45	5,5	89,5	92,0
16 (cp)	0,45	19	92,5	93,0
17 (cp)	0,45	8	95,0	96,0



---

Тираж 50 екз.

Відкрите акціонерне товариство «Патент»  
Україна, 88000, м. Ужгород, вул. Гагаріна, 101  
(03122) 3 – 72 – 89      (03122) 2 – 57 – 03

---