

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **034848**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2020.03.27**

(21) Номер заявки  
**201592027**

(22) Дата подачи заявки  
**2015.11.23**

(51) Int. Cl. **C22B 11/00** (2006.01)  
**C22B 3/08** (2006.01)  
**C22B 3/10** (2006.01)  
**C22B 1/02** (2006.01)  
**C22B 3/20** (2006.01)

---

(54) **СПОСОБ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ, ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**

---

(31) **2014/08682**

(32) **2014.11.26**

(33) **ZA**

(43) **2016.05.31**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ЛАЙФЗОУН ЛИМИТЕД (MU)**

(72) Изобретатель:  
**Лидделл Кейт Стюарт (GB), Смит  
Лиза Энн (AU), Адамс Майкл Дэвид  
(TH)**

(74) Представитель:  
**Новоселова С.В., Липатова И.И.,  
Хмара М.В., Пантелеев А.С., Осипов  
К.В., Ильмер Е.Г. (RU)**

(56) **WO-A1-2014009928  
WO-A1-1999060178  
RU-C1-2244760  
EA-B1-008574**

---

(57) В изобретении описан гидрометаллургический способ выделения и отделения ценных элементов, в частности золота и серебра, из сырья, содержащего труднообрабатываемые, плохо поддающиеся обработке или другие плохо поддающиеся обработке при помощи традиционных способов руды, концентраты и другие материалы. В частности, указанный способ представляет собой способ, интегрированный в один или более существующих способов извлечения ценных элементов.

**B1**

**034848**

**034848**

**B1**

### Уровень техники

Изобретение относится к гидрометаллургическому способу выделения и отделения ценных элементов, в частности золота и серебра, из сырья, содержащего труднообрабатываемые, плохо поддающиеся обработке или иные руды, концентраты и прочие материалы, плохо поддающиеся обработке традиционными способами. В частности, предложенный способ представляет собой способ, интегрированный в один или более существующих способов извлечения ценных элементов.

Интерес добывающих компаний к возможности применения полиметаллических рудных тел, содержащих совокупность ценных металлов в низких концентрациях, повышается, несмотря на значительные металлургические проблемы, связанные с выделением и отделением указанных элементов в виде концентратов или продуктов, имеющих коммерческую ценность. Это в общем случае относится к рудам, содержащим благородные металлы, такие как золото или серебро, металлы платиновой группы (МПП) и другие ценные цветные (base) и редкие металлы, такие как никель, кобальт, медь, редкоземельные элементы (РЗЭ), включая иттрий и скандий, а также уран, торий, марганец, цинк, кадмий, молибден, ванадий, титан и другие содержащиеся в небольших количествах элементы, такие как ванадий, германий и галлий.

Известные в настоящее время гидрометаллургические способы извлечения ценных металлов из полиметаллических рудных тел описаны в международной патентной публикации WO 99/60178 и известны как "способ Келл" (см. фиг. 1)<sup>1</sup>, международной заявке на патент WO 2014/009928 и заявке на патент Австралии № 2013263848 (содержание каждой из которых включено в настоящую заявку посредством ссылок). Во всех указанных способах, для которых в качестве исходного материала требуется руда или концентрат руды, получают один или более выщелачивающих растворов, содержащих растворенные ценные металлы и другие элементы. Способ Келл, как правило, применяют в отношении концентратов, содержащих МПП и цветные металлы.

Базовая часть способа Келл включает стадии:

(i) выщелачивания руды или концентрата, полученного из руды, путем окисления под давлением в сульфатном выщелачивающем растворе для растворения сульфидов цветных металлов, содержащихся в руде или концентрате, и образования фильтрата сульфатного выщелачивающего раствора, содержащего цветные металлы, и остатка, содержащего металлы платиновой группы (МПП);

(ii) отделения фильтрата сульфатного выщелачивающего раствора от остатка;

(iii) обжига или тепловой обработки остатка с получением продукта обжига; и

(iv) выщелачивания продукта обжига в хлоридном выщелачивающем растворе для перевода МПП в раствор и получения фильтрата хлоридного выщелачивающего раствора для выделения МПП и твердого остатка, содержащего отходы.

Тем не менее, для широкого диапазона сырья, в частности содержащих труднообрабатываемые руды, содержащие золото или серебро, или концентраты, содержащие благородные металлы золота или серебро, существуют проблемы, заключающиеся в том, что происходит незначительное выделение указанных металлов, что делает традиционные способы, такие как цианидирование, экономически неэффективными или неподходящими по иным техническим причинам для обработки указанных материалов<sup>2</sup>.

Указанные труднообрабатываемые или плохо поддающиеся обработке руды, концентраты и другие материалы можно разделять на несколько категорий, включая:

1) традиционные труднообрабатываемые сульфиды (частицы золота или серебра имеют более меньший размер по сравнению с традиционными измельчаемыми частицами и инкапсулированы в различные сульфидные минералы) - как правило, обрабатывают путем окисления под давлением или бактериального окисления, обжига и/или сверхтонкого измельчения;

2) субмикроскопические труднообрабатываемые сульфиды (иногда называемые "твердым раствором") - (частицы золота или серебра, которые настолько меньше традиционных измельчаемых частиц, что их нельзя наблюдать при помощи сканирующей электронной микроскопии, инкапсулированы в различные сульфидные минералы) - как правило, обрабатывают путем окисления под давлением или бактериального окисления или обжига;

3) материалы "прег-роббинга" (присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, такие как глины, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет адсорбции или "прег-роббинга" выщелачиваемого золота и серебра из цианидных выщелачивающих растворов) - как правило, обрабатывают путем обжига или загрязнения керосином при использовании концентрированного цианидного раствора и введении повышенного количества углеродсодержащих добавок;

4) материалы, заключенные в углероде, (присутствуют углеродсодержащие материалы, такие как кероген, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования) - как правило, обрабатывают путем обжига;

5) двойные труднообрабатываемые сульфиды (частицы золота или серебра меньше чем традиционные измельчаемые частицы и инкапсулированы в различные сульфидные минералы; также присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования или "прег-роббинга" из цианидных выщелачивающих растворов) - как правило, обрабатывают путем обжига или окисления щелочью под

давлением;

6) хвосты продуктов обжига (остатки после обжига и последующего цианидного выщелачивания концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

7) материалы, заключенные в силикатах или алюминатах, (присутствуют материалы или фазы, содержащие оксид алюминия или оксид кремния, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования, образования покрытия или адсорбции) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

8) труднообрабатываемый материал, рассматриваемый как содержащий микрокластеры, содержащие золото или МПГ, (например, "нанозолото", "наноразмерное золото", "ауриды" и т.д., который также может содержать другие элементы, такие как Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs, La и т.д.; на указанном уровне могут образовываться более прочные связи по сравнению с объемными атомами, таким образом, химическое поведение благородных металлов может изменяться за счет так называемого "вяжущего" действия) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

9) шлаки (остатки после плавления концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физически инкапсулированные в остаточной матрице) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

10) хвосты после амальгамации (остатки после ртутной амальгамации концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице) - как правило, обрабатывают путем обжига при добавлении концентрированного цианида; и

11) труднообрабатываемые минеральные фазы руд, содержащих золото или серебро, (примеры включают различные минералы, выщелачивание которых в цианидах является медленным или неэффективным, такие как помимо прочего электрум Au-Ag, акантит  $Ag_2S$ , аурустибит  $AuSb_2$ , калаверит  $AuTe_2$ , сильванит  $(Ag,Au)Te_2$ ) - как правило, обрабатывают путем обжига или известкового кипения при добавлении концентрированного цианида;

12) "электронные отходы", отработанные катализаторы и другие отходы, содержащие благородные металлы (повышается доступность ряда указанных материалов, имеющих диапазон различных характеристик восприимчивости к металлургической обработке) - как правило, обрабатывают при помощи широкого диапазона способов механического разделения, пирометаллургических, гидromеталлургических и биогидрометаллургических технологий;

13) определенные нетруднообрабатываемые концентраты (в частности, в случаях, где бедные концентраты содержат элементы, негативно влияющие на традиционные способы обработки, или количество источника является незначительным, чтобы использование устройства для их отдельной обработки было обоснованным) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов, если в установку для обработки не встроить дополнительное подходящее устройство.

Использование традиционных способов требует разработки различных и отдельных схем технологического процесса и создания автономных установок для каждого типа материала, и в некоторых случаях считается, что обработка материала при помощи доступных в настоящее время технологий является экономически необоснованной, так как руды характеризуются совокупностью приведенных выше типов проблем, связанных с переработкой.

Таким образом, существует потребность в интегрированном способе обработки и выделения ценных элементов, включая благородные, цветные и редкие металлы и, в частности, золото или серебро, из любого из указанных материалов или их комбинации, но не в создании автономной установки для каждого типа материала. Возможная интеграция указанного способа в существующие заводские процессы, такие как способ Kell (предложенный в международной патентной публикации WO 99/60178) или модифицированный способ Kell (предложенный в международной заявке на патент WO 2014/009928 или заявке на патент Австралии № 2013263848), или в другие способы извлечения цветных и благородных металлов, такие как кучное выщелачивание, за счет чего можно сокращать капитальные, эксплуатационные и инфраструктурные затраты, была бы эффективной. Способ, при помощи которого на месте получают богатые концентраты металлов или отдельные продукты, содержащие ценные металлы, обеспечивает значительные финансовые преимущества за счет сокращения расходов на очистку.

Кроме того, при использовании цианида, токсического химического агента, который традиционно применяют для обработки золота и серебра, для которого требуются жесткие меры контроля для удовлетворения озабоченности участников рынка и общества, связанной с безопасностью и экологическими проблемами, возникают затруднения. Альтернативный способ, для которого не требуется применение цианида, был бы эффективным. Кроме того, в традиционных способах образуется  $SO_2$  и другие загрязняющие вещества, которые отрицательно влияют на окружающую среду, поэтому требуется альтернативный способ, подходящий с точки зрения экологической ответственности<sup>3</sup>.

#### **Краткое описание изобретения**

Согласно первому варианту реализации изобретения предложен гидрометаллургический способ извлечения золота или серебра или обоих указанных металлов и необязательно одного или более дополнительных элементов, включая МПГ, цветные металлы, редкие металлы и/или редкие элементы, из сырья,

содержащего труднообрабатываемый или плохо поддающийся обработке материал, включающий стадии:

- (i) подачи сырья в реакционный сосуд;
- (ii) проведения на одной или более стадий выщелачивания сырья, включая:
  - a) стадию выщелачивания горячей серной кислотой под давлением и/или в атмосферных условиях с получением суспензии продукта, содержащей сульфаты металлов, имеющих коммерческую ценность, в виде раствора и твердого остатка, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность;
  - b) необязательно, проведение стадии подготовки суспензии, полученной на стадии a), где условия для подготовки выбраны в зависимости от характеристик жильного минерала и включают обработку серной кислотой в концентрации примерно 25-300 г/л или щелочью при pH 10-14 (включая, например, известковое кипение);
  - c) необязательно, проведение стадии тепловой обработки твердого остатка, полученного на стадии a) или b), при примерно 300-700°C или примерно 700-1000°C (где условия выбраны в зависимости от характеристик жильного минерала) в окислительных или восстановительных условиях;
  - d) проведение стадии хлоридного выщелачивания сырья или твердого остатка, полученного на указанной выше стадии a), или, на стадиях b) или c), если их проводят, в среде для хлоридного выщелачивания с получением металлов, имеющих коммерческую ценность, растворимых в обогащенном хлоридом выщелачивающем растворе (PLS);
  - e) реализацию в отношении хлоридного PLS, полученного на указанной выше стадии d), одной или более методик, включая ионный обмен (IX), образование хелатов, технологию молекулярного распознавания (TMP), добавление полимерных или иных сорбентов, извлечение растворителем, осаждение с использованием гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение и/или восстановление, с получением одного или более промежуточных твердых веществ или растворов продуктов для выделения золота и серебра, а также любых МППГ и других ценных цветных или редких металлов, содержащихся в небольших количествах в хлоридном PLS;
  - f) необязательно, проведение стадии дополнительной очистки и/или обогащения полученного на указанной выше стадии e) промежуточного продукта в виде твердого вещества или раствора, включающей реализацию одной или более методик, включая IX, образование хелатов, TMP, добавление полимерных или иных сорбентов; извлечение растворителем, осаждение с использованием гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение и/или восстановление;
  - g) необязательно, проведение выделения хлороводородной кислоты, кальция и остаточных металлов из полученного на указанной выше стадии e) промежуточного продукта-раствора посредством одной или более стадий, включая предварительное кипячение, ректификацию, перегонку, адсорбцию, повторное кипячение и/или пиролиз, с получением суспензии продукта, содержащей твердый остаток, содержащий металлы, имеющие коммерческую ценность, и раствор сульфатов металлов, имеющих коммерческую ценность;
  - h) необязательно, проведение стадии повторного хлоридного выщелачивания твердого остатка, полученного на указанной выше стадии g), в среде для хлоридного выщелачивания с получением растворимых металлов, имеющих коммерческую ценность, в очищенном хлоридном PLS;
  - i) необязательно, проведение стадии сорбции в отношении отводимого раствора, полученного на стадии (e), (g) или (h), на которой благородные металлы (БМ) адсорбируют одной или более смолами или сорбентами, а цветные металлы удаляют в растворе, или проведение дополнительной стадии осаждения в виде сульфидов с получением второй суспензии продукта с последующим отделением вторичного твердого остатка от второй суспензии продукта при помощи способа отделения твердых веществ от жидкости для дополнительной очистки при помощи способа, такого как отмечено для указанной выше стадии (e), или для непосредственной реализации третьей стороне; и
  - j) необязательно, реализация в отношении хлоридного PLS, полученного на указанной выше стадии h), одной или более методик, включая ионный обмен (IX), образование хелатов, технологию молекулярного распознавания (TMP), добавление полимерных или иных сорбентов, извлечение растворителем, осаждение с применением гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение и/или восстановление, с получением одного или более промежуточных продуктов в виде твердых веществ или растворов для выделения золота и серебра, а также любых МППГ и других ценных цветных или редких металлов, содержащихся в небольших количествах в хлоридном PLS.

Труднообрабатываемый или плохо поддающийся обработке материал может быть выбран из группы, состоящей из руд, концентратов, остатков и других материалов, принадлежащих к следующим категориям:

- (i) традиционные труднообрабатываемые сульфиды, в которых частицы золота или серебра имеют меньший размер по сравнению с традиционными измельчаемыми частицами и инкапсулированы в различные сульфидные минералы;
- (ii) субмикроскопические труднообрабатываемые сульфиды, также называемые труднообрабатываемыми сульфидными, представляющими собой "твердый раствор", где частицы золота или серебра настолько меньше традиционных измельчаемых частиц, что их нельзя наблюдать при помощи сканирующей электронной микроскопии, и указанные частицы золота или серебра инкапсулированы в различные

сульфидные минералы;

(iii) материалы "прег-роббинга", в которых присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, включая глины, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет адсорбции или "прег-роббинга" выщелачиваемого золота и серебра из цианидных выщелачивающих растворов;

(iv) материалы, заключенные в углероде, в которых присутствуют углеродсодержащие материалы, включая кероген, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра, за счет физического инкапсулирования;

(v) двойные труднообрабатываемые сульфиды, в которых частицы золота или серебра имеют меньший размер по сравнению с традиционными измельчаемыми частицами и инкапсулированы в различные сульфидные минералы, а также присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования или "прег-роббинга" из цианидных выщелачивающих растворов;

(vi) хвосты продуктов обжига, которые представляют собой остатки после обжига и последующего цианидного выщелачивания концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице;

(vii) материалы, заключенные в силикатах или алюминатах, в которых присутствуют материалы или фазы, содержащие оксид алюминия или оксид кремния, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования, образования покрытия или адсорбции;

(viii) труднообрабатываемый материал, рассматриваемый как содержащий микрокластеры, содержащие золото или МПГ, включая "нанозолото", "наноразмерное золото", "ауриды" и т.д., который также может содержать другие элементы, включая Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs, La, где на указанном уровне могут образовываться более прочные связи по сравнению с объемными атомами, таким образом, химическое поведение благородных металлов может изменяться за счет так называемого "вяжущего" действия;

(ix) шлаки, которые представляют собой остатки после плавления концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физически инкапсулированные в остаточной матрице;

(x) хвосты после амальгамации, которые представляют собой остатки после ртутной амальгамации концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице;

(xi) труднообрабатываемые минеральные фазы руд, содержащих золото или серебро (включая различные минералы, выщелачивание которых в цианидах является медленным или неэффективным, включая помимо прочего электрум Au-Ag, акантит  $Ag_2S$ , аурустибит  $AuSb_2$ , калаверит  $AuTe_2$ , сальванит  $(Ag,Au)Te_2$ ;

(xii) "электронные отходы", отработанные катализаторы и другие отходы, содержащие благородные металлы; и

(xiii) определенные нетруднообрабатываемые концентраты, включая материалы, где проведение традиционной обработки невозможно (например, использование цианида недопустимо), бедные концентраты, которые содержат элементы, негативно влияющие на традиционную обработку, или если количество источника является незначительным для того, чтобы применение устройства для их отдельной обработки было обоснованным.

Способ может дополнительно включать стадию отделения твердого остатка, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность, от раствора сульфатов металлов, имеющих коммерческую ценность, из суспензии продукта, полученной на стадии a), или если их проводят, на стадиях b), f) или g), и последующего обеспечения полученного в результате отделения твердого остатка на любой из стадий b), c) или d). Стадию отделения можно проводить путем фильтрования или с использованием любых других средств отделения твердых веществ/жидкости, известных специалистам в данной области техники.

Способ может дополнительно включать стадию отделения твердого остатка, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность, от раствора хлоридов металлов, имеющих коммерческую ценность, из суспензии продукта, полученной на стадии d), и последующего обеспечения полученного в результате отделения хлоридного PLS на стадии e). Стадию отделения можно проводить путем фильтрования или с использованием любых других средств отделения твердых веществ/жидкости, известных специалистам в данной области техники.

Способ может дополнительно включать стадию выделения металлов, имеющих коммерческую ценность, от раствора сульфатов металлов из суспензии продукта, полученной на стадии a), или если ее проводят, на стадии b), и/или от промежуточного продукта, обогащенного на стадии f), или от остатка сульфатов металлов, полученного на стадии g), при помощи техник, таких как экстракция растворителем, ионный обмен, осаждение с использованием гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическая экстракция, восстановление, повторное использование, и других техник, известных специалистам в данной области техники, обоснованных с точки зрения технико-экономических аспектов.

Используемые в качестве сырья руды, концентраты, остатки или отходы переработки (i) можно сначала обрабатывать путем дробления, измельчения или применять в виде рядового сырья. В качестве

альтернативы или в дополнение сырья можно обрабатывать на стадии обогащения с получением промежуточного рудного продукта для обеспечения в реакционном сосуде. Стадию обогащения можно проводить с использованием комбинации операций дробления, растирания, просеивания, сортировки по видам, сортировки по размерам, сортировки по классам, магнитного отделения, электростатического отделения, флотации или гравитационного отделения для концентрирования таким образом ценных металлов или отделения пустой породы, или при помощи других средств обогащения, известных специалистам в данной области техники.

Используемые в качестве сырья руды, промежуточные рудные продукты, концентраты или твердые остатки, полученные на стадии а) или б), можно подвергать термической обработке с получением термически обработанного продукта обжига перед обработкой на стадии д).

Термическую обработку можно проводить примерно при 80-750°C в течение не более 120 мин, как правило, примерно при 300-700°C в течение периода от 10 до 30 мин в окислительных, нейтральных или восстановительных условиях для удаления летучих компонентов из твердого остатка и снижения или устранения признаков прег-роббинга в материале и превращения при этом труднообрабатываемых минеральных фаз, таких как серебряные ярозиты, в форму, подходящую для выделения путем последующего выщелачивания.

Кроме того, термическую обработку можно проводить примерно при 500-1000°C в течение не более 120 мин, как правило, примерно при 700-1000°C в течение периода от 30 до 120 мин в окислительных, нейтральных или восстановительных условиях для переработки металлов, имеющих коммерческую ценность, обеспечивающей их растворимость в хлоридном выщелачивающем растворе.

Термические способы можно проводить в качестве отдельных стадий способа последовательной термической обработки или в качестве одной объединенной стадии.

Суспензию продукта, полученную на стадии а), можно необязательно подвергать обработке на стадии подготовки с применением горячей кислоты или щелочи или на стадии выщелачивания в атмосферных условиях для удаления или превращения железа в виде ярозита или основного сульфата железа (III) (BFS) для высвобождения серебра, а также необязательно сульфатов железа, алюминия и магния в фазу раствора и последующей обработки на стадии с).

В дополнительном варианте реализации изобретения хлоридный PLS, полученный на стадии d), и промежуточное твердое вещество или раствор продукта, полученные на стадии е), согласно первому варианту реализации, указанному выше, можно подвергать обработке на стадии сорбции, где металлы, имеющие коммерческую ценность, адсорбируют смолой или сорбентом, а цветные металлы удаляют в виде раствора.

В дополнительном варианте реализации изобретения можно проводить осаждение и очистку хлоридного PLS, полученного на стадии d), и промежуточного твердого вещества или раствора продукта, полученных на стадии е) согласно первому варианту реализации, указанному выше, включающие одну или более следующих стадий:

(i) проведение в отношении хлоридного PLS, полученного на стадии d), или промежуточного твердого вещества или раствора продукта, полученного на указанной выше стадии е), или обоих указанных материалов, восстановления и осаждения в виде сульфидов путем добавления раствора, содержащего одну соль или кислоту, выбранную из сульфида, гидросульфида, тиосульфата, метабисульфита или сульфита, или газа, включая диоксид серы или сероводород, или их комбинации с получением таким образом суспензии продукта, содержащей твердый остаток, содержащий элементарную серу, сульфиды металлов и/или сплавы, и отводимый раствор;

(ii) отделение твердого остатка, полученного на указанной выше стадии (i), от отводимого раствора при помощи способа отделения твердых веществ от жидкости, например, путем фильтрования или при помощи другого подходящего устройства для отделения твердых веществ от жидкости при температурах примерно от 10 до 130°C;

(iii) проведение в отношении твердого остатка, полученного на стадии (ii), серий стадий очистки и выделения, включающих:

а) стадию удаления серы, включающую сублимацию твердого остатка при температурах примерно от 200 до 500°C (как правило, в печи для обжига или другом подходящем устройстве для тепловой обработки) с получением твердого остатка и серосодержащего продукта путем сублимации, адсорбции или отмывки;

б) необязательно, проведение в отношении твердого остатка, полученного на указанной выше стадии а), стадии удаления серы, включающей растворение твердого остатка (например, в перемешиваемом сосуде или другом подходящем устройстве для приведения в контакт) в подходящем растворителе серы, включая, но не ограничиваясь ими: ароматические углеводороды (например, ксилол и/или его изомеры или смеси (такие как ксилолы), толуол, этилбензол и т.д.); хлорированные или сульфидированные углеводороды (например, тетрахлорид углерода, хлороформ, дисульфид углерода и т.д.); или серосодержащие лиганды (например, сульфит, сульфид и т.д.), при температурах примерно от 10 до 130°C с получением твердого остатка и серосодержащего продукта путем сублимации, адсорбции или отмывки;

с) проведение в отношении твердого остатка, полученного на указанной выше стадии а) и б), если

ее используют, окислительного выщелачивания под давлением при температурах примерно от 110 до 230°C;

d) проведение в отношении твердого остатка, полученного на указанной выше стадии c), выщелачивания серной кислотой в атмосферных условиях при температурах примерно от 10 до 110°C с получением суспензии, содержащей твердый остаток, включающий металлы, имеющие коммерческую ценность, и раствор, содержащий продукт сульфатного выщелачивания;

e) отделение твердого остатка, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность, полученного на указанной выше стадии d), от раствора, содержащего продукт сульфатного выщелачивания, при помощи способа отделения твердых веществ от жидкости, например, путем фильтрования или при помощи другого подходящего устройства для отделения твердых веществ от жидкости, при температурах примерно от 10 до 130°C;

f) необязательно, проведение в отношении полученного на указанной выше стадии e) раствора, содержащего продукт сульфатного выщелачивания, стадии сорбции, на которой металлы, имеющие коммерческую ценность, адсорбируют смолой или сорбентом, а цветные металлы удаляют в виде раствора;

g) проведение в отношении раствора, содержащего продукт сульфатного выщелачивания, полученного на стадии e), и отводимого раствора, полученного на стадии f), если ее используют, выдерживания, выпаривания, осаждения и/или повторного применения в первичном цикле выделения цветных металлов способа Kell, заявленного в любой из публикаций WO 99/60178, WO 2014/009928 или в заявке на патент Австралии № 2013263848; и

(iv) необязательно, проведение в отношении полученного на стадии (ii) отводимого раствора стадии сорбции, на которой где металлы, имеющие коммерческую ценность, адсорбируют смолой или сорбентом, а цветные металлы удаляют в виде раствора, или дополнительной стадии осаждения в виде сульфидов с получением второй суспензии продукта и последующего отделения второго твердого остатка от второй суспензии продукта при помощи способа отделения твердых веществ от жидкости для дополнительной очистки при помощи способа, такого как отмечено выше для стадии (iii), или для непосредственной реализации третьей стороне.

В дополнительном варианте реализации изобретения отводимый раствор, полученный на указанной выше стадии (ii), и/или промежуточный продукт в виде раствора, полученный на стадии e) согласно первому варианту реализации изобретения, можно подвергать обработке на стадии выделения и отделения хлороводородной кислоты, кальция и остаточных цветных металлов, включающей:

a) подачу отводимого раствора и/или промежуточного раствора продукта в устройство выпаривания для предварительного кипячения совместно с гипсом, используемым в качестве затравки, с получением таким образом газообразной хлороводородной кислоты и осадка гипса и последующее отделение твердых веществ от жидкости с получением осажденного гипса, который затем выделяют, и обработанного отводимого раствора;

b) подачу отводимого раствора, полученного на указанной выше стадии a), в ректификационную колонну с серной кислотой или в устройство для повторного кипячения совместно с серной кислотой с получением таким образом газообразной хлороводородной кислоты и раствора серной кислоты, содержащего цветные и/или редкие металлы, имеющие коммерческую ценность и/или выделять;

c) в качестве альтернативы подачу отводимого раствора, полученного на указанной выше стадии a), в реактор для пиролизиса с получением суспензии, содержащей твердый остаток оксида железа, который затем выделяют, и раствора цветных и/или редких металлов и последующее отделение твердых веществ от жидкости;

d) проведение в отношении раствора серной кислоты, полученного на указанной выше стадии b), и/или раствора цветных и/или редких металлов, полученного на указанной выше стадии c), стадии охлаждения и выдерживания, на которой в отношении сульфатных солей металлов проводят кристаллизацию или стадию сорбции и выделения, например, путем выпаривания или осаждения и/или повторное применение в первичном цикле выделения цветных металлов способа Kell, заявленного в любой из публикаций WO 99/60178, WO 2014/009928 или в заявке на патент Австралии № 2013263848;

e) проведение перегонки и адсорбции в отношении газообразной хлороводородной кислоты, полученной на указанной выше стадии a) или стадии b), с выделением тем самым раствора хлороводородной кислоты.

Выделяемую хлороводородную кислоту можно использовать повторно на стадии хлоридного выщелачивания d) согласно первому варианту реализации изобретения. Раствор выделяемой хлороводородной кислоты можно повторно использовать на стадии хлоридного выщелачивания или стадии хлорирования первичного цикла выделения благородных металлов способа Kell, заявленного в WO 99/60178, WO 2014/009928 или в заявке на патент Австралии № 2013263848.

Например, серная кислота, содержащая цветные и/или редкие металлы, имеющие коммерческую ценность или выделять, полученная на указанной выше стадии b), может содержать сульфатные соли металлов, таких как медь, никель, кобальт, родий, рутений, иридий, ванадий, галлий или скандий.

Сырье может содержать отдельный материал или смесь материалов различной природы.

Способ согласно настоящему изобретению может необязательно дополнительно включать началь-

ную стадию обработки хлоридного PLS, полученного на стадии d) согласно первому варианту реализации изобретения, на стадии выдерживания для кристаллизации оксида кремния, включающей:

- (i) подачу хлоридного PLS в емкость для выдержки;
- (ii) добавление твердой затравки оксида кремния в хлоридный PLS;
- (iii) отстаивание хлоридного PLS при температуре окружающей среды для осаждения твердого остатка, содержащего оксид кремния; (iv) отделение осажденного твердого остатка, содержащего оксид кремния, из раствора, полученного на стадии (iii), с получением раствора с пониженным содержанием оксида кремния; и (v) подачу раствора с пониженным содержанием оксида кремния, полученного на стадии (iv), на стадию (i) способа.

Способ согласно настоящему изобретению может необязательно включать начальную стадию обработки хлоридного PLS, полученного на стадии d) согласно первому варианту реализации изобретения, на стадии концентрирования с получением концентрированного PLS при помощи каких-либо одной или более операций, выбранных из:

- a) выпаривания и выделения HCl путем конденсации; и/или
- b) обратного осмоса (ОО), нанофильтрации (НФ), фильтрации или другого способа отделения, основанного на применении мембраны.

Стадии сорбции способа могут включать одну или более следующих стадий:

- a) приведение в контакт раствора с ионообменной (IX) смолой или другим подходящим сорбентом, где металлы, имеющие коммерческую ценность, включая золото, серебро и МПГ, если они присутствуют, адсорбируются смолой или сорбентом, а цветные металлы удаляют в виде раствора; и/или
- b) элюирование адсорбированных металлов, имеющих коммерческую ценность, включая золото, серебро и МПГ, если они присутствуют, из IX смолы или сорбента и осаждение золота, серебра и МПГ, если они присутствуют, из элюата с использованием восстановителя, или, если присутствуют МПГ, то с использованием раствора каустической соды, аммиака или восстановителя, с получением богатого концентрата ценных металлов или продуктов, содержащих отдельные ценные металлы; и/или
- c) непосредственное сжигание смолы или сорбента, содержащих металлы, с получением богатого концентрата, содержащего ценные металлы, или продуктов, содержащих отдельные ценные металлы; и/или
- d) необязательно дополнительную обработку металлов, имеющих коммерческую ценность, полученных на любой из указанных выше стадий от (a) до (c).

Стадию элюирования (b) можно проводить с использованием раствора, содержащего кислую тио-мочевину, сульфитные или гидросульфитные или хлоридные соли или другие элюенты, известные специалистам в данной области техники.

В дополнительном варианте реализации техники, описанные в международной заявке на патент WO 2014/009928 (содержание которой включено в настоящую заявку посредством ссылки), можно применять в способе согласно настоящему изобретению для выделения серной кислоты и осаждения железосодержащего продукта, который потенциально имеет коммерческую ценность или который потенциально можно хранить. В частности, способ может включать следующие стадии: 1) обработку концентрата на модифицированной стадии окисления под давлением для селективного отделения цветных металлов от благородных металлов в сульфатной среде, где на модифицированной стадии окисления под давлением происходит частичное или полное окисление минералов, содержащих сульфиды цветных металлов, до смеси сульфатов и элементарной серы, с получением суспензии продукта, содержащей раствор сульфатов цветных металлов и твердый остаток, содержащий благородные металлы совместно со смесью сульфатов и элементарной серы; 2) необязательно обработку суспензии продукта, полученной на модифицированной стадии 1) окисления под давлением, на стадии подготовки с применением горячей кислоты (или выщелачивания при атмосферном давлении) для удаления дополнительных количеств железа, а также возможно сульфатов алюминия и магния, в фазу раствора; 3) фильтрование суспензии продукта, полученной на модифицированной стадии 1) окисления под давлением и/или на стадии выщелачивания при атмосферном давлении 2), для обеспечения твердого остатка, содержащего благородные металлы совместно со смесью сульфатов и элементарной серы, и фильтрата, содержащего сульфаты цветных металлов; 4) термическую обработку твердого остатка, полученного на стадии 3), для: а) удаления сульфатов и элементарной серы из твердого остатка в виде дисульфида, диоксида серы и/или газообразного сероводорода, и б) для обработки благородных металлов, обеспечивающей их растворимость в хлоридной среде; и 5) обработку твердого остатка, полученного в результате обработки на стадии 4), для выделения благородных металлов путем выщелачивания в среде для хлоридного выщелачивания для выделения благородных металлов. Кроме того, необязательно проводят экстракцию хлоридного PLS растворителем для удаления дополнительных количеств железа.

Кроме того, в способе можно применять технологии, такие как осаждение или кристаллизация, в отношении PLS или растворов сульфата меди с получением продукта, содержащего гидроксиды или сульфаты железа (III) или железа (II), который потенциально имеет коммерческую ценность или который потенциально можно хранить, и выделения при этом серной кислоты в потоке, подходящем для повторного применения.

В альтернативном варианте реализации изобретения можно проводить традиционное выщелачивание при атмосферном или пониженном давлении с использованием серной кислоты непосредственно суспензии продукта, содержащей сульфатный PLS и твердый остаток, полученный на стадии а) согласно первому варианту реализации изобретения, для удаления таким образом избытка сульфатов железа от твердого остатка в сульфатный PLS. Затем можно проводить осаждение сульфатного PLS гидроксидом железа (III) при барботировании воздухом или кислородом в атмосферных условиях или под давлением для удаления избытка сульфатов железа.

В качестве альтернативы или в дополнение к традиционному выщелачиванию непосредственно суспензии продукта, содержащей сульфатный PLS и твердый остаток, полученный на стадии а) согласно первому варианту реализации изобретения, при атмосферном или пониженном давлении с использованием серной кислоты, где твердый остаток подвергают термической обработке, и избыток растворенного железа можно удалять из термически обработанного продукта обжига.

Среду для хлоридного выщелачивания, полученную на стадии е) согласно первому варианту реализации изобретения, которая может содержать хлорид железа, можно обрабатывать под давлением, путем осаждения или кристаллизации, концентрирования посредством выпаривания, обратного осмоса, нанофильтрации или других технологий с использованием мембран, или обрабатывать путем барботирования/ректификации, пирогидролита или другой технологии получения продукта, содержащего железо, известной специалистам в данной области техники.

Среда для хлоридного выщелачивания, полученная на стадии d) согласно первому варианту реализации изобретения, может содержать хлороводородную кислоту или солевой раствор совместно с окислителем, таким как хлор, гипохлорит, азотнокислые соединения, пероксид водорода, или другими окислителями, известными специалистам в данной области техники, и труднообрабатываемый материал, полученный на стадии (i), или твердый остаток, полученный на стадии а) согласно первому варианту реализации изобретения, можно выщелачивать в окислительных условиях с получением тем самым хлоридного PLS, содержащего один или более элементов, имеющих коммерческую ценность, включая Au, Ag, МПГ, а также Ni, Co, Cu, PЗЭ, Y, Sc, U, Th, Zn, Mn, Cd, Mo, V и Ti.

Хлоридный PLS, содержащий один или более элементов, имеющих коммерческую ценность, включая Au, Ag, МПГ, а также Ni, Co, Cu, PЗЭ, Y, Sc, U, Th, Zn, Mn, Cd, Mo, V и Ti, можно подвергать обработке для отделения и/или выделения одного или более элементов, имеющих коммерческую ценность, при помощи техник, таких как экстракция растворителем, IX, осаждение с использованием гидроксидов, карбонатов или сульфидов, электролитическая экстракция, восстановление, или других техник, известных специалистам в данной области техники, обоснованных с точки зрения технико-экономических аспектов.

Термические способы можно проводить в качестве отдельных стадий способа последовательной термической обработки или одной объединенной стадии. Среда для окислительного хлоридного выщелачивания, приведенная выше, или среда для хлоридного выщелачивания, полученная на стадии d) согласно первому варианту реализации изобретения, может содержать хлорид железа, и ее можно обрабатывать под давлением, путем осаждения или кристаллизации, концентрирования посредством выпаривания, обратного осмоса, нанофильтрации или другой технологии с использованием мембран, или обрабатывать путем барботирования/ректификации, пирогидролита или другой технологии получения продукта, содержащего железо, известной специалистам в данной области техники.

В дополнительном конкретном варианте реализации стадия d) хлоридного выщелачивания согласно первому варианту реализации изобретения может включать использование менее кислой среды для хлоридного выщелачивания, имеющей pH примерно от 2,5 до 7,5, выдерживаемой при температуре в диапазоне 50-150°C.

В дополнительном конкретном варианте реализации стадия d) хлоридного выщелачивания согласно первому варианту реализации изобретения может включать использование среды для хлоридного выщелачивания с содержанием свободной кислоты примерно от 50 до 300 г/л HCl, выдерживаемой при температуре в диапазоне 50-150°C.

Согласно дополнительному конкретному варианту реализации стадию d) хлоридного выщелачивания согласно первому варианту реализации изобретения можно проводить путем выщелачивания в атмосферных условиях или под давлением в автоклаве с использованием солевого раствора в окислительных условиях.

Любые один или более способов согласно настоящему изобретению могут быть интегрированы в существующий способ, включая, например, "способ Kell", заявленный в WO 99/60178, или модифицированный способ Kell, заявленный в WO 2014/009928 или заявке на патент Австралии № 2013263848, или традиционный способ кучного выщелачивания для выделения цветных металлов.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 приведена упрощенная технологическая блок-схема способа Kell;

на фиг. 2 - упрощенная технологическая блок-схема, на которой показан модифицированный способ Kell согласно настоящему изобретению (KellGold);

на фиг. 3 - упрощенная технологическая блок-схема, на которой проиллюстрирована интеграция способа KellGold согласно настоящему изобретению в способ Kell для выделения МПГ и в другие тради-

ционные способы;

на фиг. 4 - упрощенная технологическая блок-схема, на которой в качестве примера проиллюстрирована интеграция способа KellGold согласно настоящему изобретению в традиционный способ кучного выщелачивания для выделения цветных металлов.

#### Подробное описание изобретения

В настоящем изобретении предложен гидрометаллургический способ выделения и отделения ценных элементов, в частности золота и серебра, из сырья, содержащего труднообрабатываемые, плохо поддающиеся обработке или иные руды, концентраты и прочие материалы, плохо поддающиеся традиционным способам обработки. В частности способ представляет собой способ, интегрированный в один или более существующих способов извлечения ценных элементов.

Кроме того, способ согласно настоящему изобретению не требует применения цианида или ртути, токсических химических агентов, которые традиционно применяют для обработки золота и серебра, для которых требуются жесткие меры контроля безопасности и экологических проблем. Кроме того, способ согласно настоящему изобретению обеспечивает альтернативный экологически ответственный способ извлечения благородных металлов, таких как золото и серебро, в котором не образуются  $SO_2$  и другие загрязняющие вещества, которые отрицательно влияют на окружающую среду.

Термины "элемент", "минерал" и "металл" используют в настоящем описании взаимозаменяемо.

"Труднообрабатываемый", как правило, используют для обозначения материала, из которого в результате цианидного выщелачивания даже при добавлении большого избытка цианида выделяют менее 90% золота и/или серебра.

Для задач настоящего изобретения фраза "труднообрабатываемый или плохо поддающийся обработке материал" обозначает руды, концентраты, остатки и другие материалы, принадлежащие к следующим категориям:

1) традиционные труднообрабатываемые сульфиды (частицы золота или серебра имеют меньший размер по сравнению с традиционными измельчаемыми частицами и инкапсулированы в различные сульфидные минералы) - как правило, обрабатывают путем окисления под давлением или бактериально-го окисления, обжига и/или сверхтонкого измельчения;

2) субмикроскопические труднообрабатываемые сульфиды (иногда называемые "твердым раствором") - (частицы золота или серебра, которые настолько меньше традиционных измельчаемых частиц, что их нельзя наблюдать при помощи сканирующей электронной микроскопии, инкапсулированы в различные сульфидные минералы) - как правило, обрабатывают путем окисления под давлением или бактериального окисления или обжига;

3) материалы "прег-роббинга" (присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, такие как глины, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет адсорбции или "прег-роббинга" выщелачиваемого золота и серебра из цианидных выщелачивающих растворов) - как правило, обрабатывают путем обжига или загрязнения керосином при использовании концентрированного цианидного раствора и введении повышенного количества углеродсодержащих добавок;

4) материалы, заключенные в угледе, (присутствуют углеродсодержащие материалы, такие как кероген, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования) - как правило, обрабатывают путем обжига;

5) двойные труднообрабатываемые сульфиды (частицы золота или серебра меньше чем традиционные измельчаемые частицы и инкапсулированы в различные сульфидные минералы; также присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования или "прег-роббинга" из цианидных выщелачивающих растворов) - как правило, обрабатывают путем обжига или окисления щелочью под давлением;

6) хвосты продуктов обжига (остатки после обжига и последующего цианидного выщелачивания концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

7) материалы, заключенные в силикатах или алюминатах, (присутствуют материалы или фазы, содержащие оксид алюминия/оксид кремния, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования, образования покрытия или адсорбции) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

8) труднообрабатываемый материал, рассматриваемый как содержащий микрокластеры, содержащие золото или МПГ, (например, "нанозолото", "наноразмерное золото", "ауриды" и т.д., который также может содержать другие элементы, такие как Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs, La и т.д.; на указанном уровне могут образовываться более прочные связи по сравнению с объемными атомами, таким образом, химическое поведение благородных металлов может изменяться за счет так называемого "вяжущего" действия) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

9) шлаки (остатки после плавления концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физически инкапсулированные в остаточной матрице) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов;

10) хвосты после амальгамации (остатки после ртутной амальгамации концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице) - как правило, обрабатывают путем обжига при добавлении концентрированного цианида; и

11) труднообрабатываемые минеральные фазы руд, содержащих золото или серебро, (примеры включают различные минералы, выщелачивание которых в цианидах является медленным или неэффективным, такие как помимо прочего электрум Au-Ag, акантит  $Ag_2S$ , аурустибит  $AuSb_2$ , калаверит  $AuTe_2$ , силванит  $(Ag,Au)Te_2$ ) - как правило, обрабатывают путем обжига или известкового кипения при добавлении концентрированного цианида;

12) "электронные отходы", отработанные катализаторы и другие отходы, содержащие благородные металлы (повышается доступность ряда указанных материалов, имеющих диапазон различных характеристик восприимчивости к металлургической обработке) - как правило, обрабатывают при помощи широкого диапазона способов механического разделения, пирометаллургических, гидromеталлургических и биогидрометаллургических технологий;

13) определенные нетруднообрабатываемые концентраты (в частности, в случаях, где проведение традиционной обработки невозможно (например, где использование цианидов недопустимо), где бедные концентраты содержат элементы, негативно влияющие на традиционные способы обработки, или количество источника является незначительным, чтобы использование устройства для их отдельной обработки было обоснованным) - как правило, плохо поддаются обработке при помощи традиционных способов, если в установку для обработки не встроить дополнительное подходящее устройство.

"МПП" обозначают рутений (Ru), родий (Rh), палладий (Pd), осмий (Os), иридий (Ir) и платину (Pt).

"Благородные металлы" обозначают золото (Au), серебро (Ag) и в некоторых случаях МПП, где руды, содержащие благородные металлы, также содержат незначительное количество МПП.

Согласно настоящему описанию "цветные металлы" обозначают промышленные металлы, отличные от железа, за исключением благородных металлов, такие как алюминий, медь, свинец, никель, олово, вольфрам, цинк, кадмий и марганец. "Редкоземельные элементы" обозначают группу химических схожих элементов металлов, включающую элементы лантанидного ряда (пятнадцать элементов), скандий и иттрий. "Редкие металлы" обозначают группу металлов, включающую редкоземельные элементы, германий, галлий, индий, скандий и другие номинальные ценные металлы, которые можно эффективно выделять, включая уран, торий, молибден и ванадий.

"KellGold" обозначает способ, описанный в настоящей заявке. "Kell" обозначает базовый способ, описанный в международной патентной публикации WO 99/60178, и модифицированные способы, предложенные в международной заявке на патент WO 2014/009928 и заявке на патент Австралии № 2013263848 (содержание всех из которых включено в настоящую заявку посредством ссылок), для выделения МПП и цветных металлов из концентратов.

Для задач настоящего изобретения термины "условия с использованием давления и/или атмосферные условия" и "стадия горячего выщелачивания с применением серной кислоты" обозначают стадию выщелачивания с применением серной кислоты, включающую традиционное выщелачивание с применением серной кислоты при атмосферной(ом) (20-100°C), низкой(ом) (100-130°C), средней(ем) (130-220°C) или высокой(ом) (220-260°C) температуре и давлении или с применением любой их комбинации.

Термин "стадия подготовки с применением горячей кислоты" обозначает традиционное выщелачивание с применением серной кислоты при атмосферной(ом) (20-100°C) или низкой(ом) (100-130°C) температуре и давлении.

"Стадия подготовки с применением горячей щелочи" обозначает известковое кипение при pH 10-14.

"Стадия атмосферного выщелачивания" обозначает традиционное выщелачивание с применением серной кислоты при атмосферной(ом) температуре (20-100°C) и давлении.

"Стадия хлоридного выщелачивания" обозначает традиционное выщелачивание в окислительных условиях с применением хлороводородной кислоты или солевого раствора совместно с окислителем, таким как хлор, гипохлорит, азотнокислые соединения, пероксид водорода, или другим агентом, известным специалистам в данной области техники, при атмосферной(ом) (20-100°C) или низкой(ом) (100-130°C) температуре и давлении.

Термин "охлаждение и выдерживание" в контексте настоящего изобретения обозначает отстаивание PLS или другой технологической жидкости в течение периода времени необязательно при добавлении затравки твердых веществ, получаемых на последующей стадии отделения твердых веществ от жидкости, и необязательно при применении внешнего источника охлаждения.

Термин "элементы, имеющие коммерческую ценность" или "металлы, имеющие коммерческую ценность" обозначает любые элементы или металлы, при помощи которых можно получать доход за счет продажи элемента или металла в виде металла или соли или осадка металла или элемента.

Существует значительное количество материалов, которые плохо поддаются или плохо поддаются обработке при помощи известных в настоящее время традиционных технологий, или для которых может потребоваться разработка конкретной технологической схемы, а также разработка и постройка специализированного завода, что может быть чрезвычайно затратным для достижения окупаемости с учетом объемов конкретного ресурса. Во всех случаях конечное количество выделяемых благородных металлов может быть

недостаточным. Авторы настоящего изобретения разработали способ, такой как описано в настоящей заявке, в котором допускается применение ряда труднообрабатываемых или нетруднообрабатываемых материалов, в качестве сырья, где для различных типов сырья модификации технологического цикла не проводят или проводят в минимальном количестве, и который не требует применения токсичных реагентов, содержащих цианид или ртуть.

Одним из важнейших аспектов изобретения, который позволяет увеличивать выделение цветных металлов и благородных металлов, является возможность повторного применения любого сульфатного потока, получаемого в технологическом цикле хлоридного выщелачивания, включая остаток сульфатов металлов, полученный в цикле выделения HCl, и раствор для окисления под давлением/атмосферного выщелачивания, содержащий сульфиды МПП, в цикле сульфатного выщелачивания для выделения цветных металлов при условии, что из раствора удален хлорид, что будет более подробно обсуждаться в описании стадий, приведенном ниже. Растворы можно повторно использовать в составе сырья для окисления под давлением или сырья для атмосферного выщелачивания в зависимости от баланса воды и кислоты при конкретном применении. Увеличение выделения обеспечивается за счет а) вторичного выщелачивания цветных металлов в цикле хлоридного выщелачивания и б) регенерации HCl путем отгонки из серной кислоты.

Для сравнения "базовый способ Kell" для выделения МПП и цветных металлов из концентратов схематически показан на фиг. 1.

Как проиллюстрировано на фиг. 2, главный вариант реализации изобретения представляет собой гидрометаллургический способ извлечения элементов, имеющих коммерческую ценность, включая ценные металлы, в частности золото и серебро, из ряда различных видов сырья, включая труднообрабатываемые или плохо поддающиеся обработке типы материалов. Способ основан на возможности обеспечения выделения больших количеств Au и Ag, а также побочных продуктов, таких как Cu, Ni, Co, Zn, Mn, Sc, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, S, МПП и т.д., путем обработки отдельных или смешанных видов сырья, содержащих различные труднообрабатываемые, не являющиеся трудноскрываемыми и углеродсодержащие сульфиды, силикаты, продукты обжига, и других материалов при помощи многостадийного, но единого способа. Удаление основной части серы и цветных металлов на первой стадии способа обеспечивает полноту удаления благородных металлов и оставшихся цветных металлов на второй стадии способа. В указанном способе полностью предотвращено использование токсичных веществ, таких как цианид или ртуть, в процессе выделения, а также не допускается загрязнение атмосферы диоксидом серы и другими экологически опасными элементами.

Сырье (10), используемое в способе, может присутствовать в виде, в котором его добывают, в котором его транспортируют, или его можно дробить с получением более мелких частиц. Сырье (10) также можно подвергать обработке на предшествующей стадии обогащения, такой как просеивание, сортировка по размерам, сортировка по классам, магнитное разделение, электростатическое разделение, разделение в тяжелой среде, радиометрическая сортировка, оптическая сортировка или сортировка под действием силы тяжести, для концентрирования ценных металлов или удаления пустой породы. Тем не менее, необходимость применения и тип операции измельчения или обогащения, используемой на данной стадии, определяются конкретными характеристиками материала.

Способ может включать первую стадию, где сырье (10) подвергают обработке на стадии горячего выщелачивания с применением серной кислоты (12) под давлением и/или в атмосферных условиях с получением суспензии продукта, содержащей сульфаты ценных металлов в виде раствора и твердый остаток, содержащий ценные металлы. Затем твердый остаток отделяют от раствора сульфатов металлов при помощи способа отделения твердых веществ/жидкости (14а), такого как фильтрование, или с использованием других средств, известных специалистам в данной области техники.

Суспензию продукта, содержащую сульфатный PLS и твердый остаток, полученную в результате выщелачивания с применением серной кислоты, можно дополнительно обрабатывать путем традиционного выщелачивания в атмосферных условиях или при низком давлении с применением серной кислоты (16), что обеспечивает удаление или конверсию избытка сульфатов железа и/или ярозитов от твердого остатка и их переход в сульфатный PLS, для удаления посредством осаждения гидроксида железа (III) при барботировании воздухом или кислородом в атмосферных условиях или под давлением.

Для определенных типов руд при необходимости суспензию продукта, полученную путем выщелачивания с применением серной кислоты, обрабатывают на стадии подготовки, включающей обработку кислотой или щелочью.

Металлы, имеющие коммерческую ценность, можно выделять на стадии выделения цветных металлов (18) из каких-либо растворов, содержащих сульфаты металлов, включая суспензию продукта выщелачивания с применением серной кислоты, при помощи способов, таких как экстракция растворителем, ионный обмен, осаждение с применением гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическая экстракция, восстановление, повторное использование, и других способов, известных специалистам в данной области техники, обособенных с точки зрения технико-экономических аспектов.

Необязательно также можно применять способы, описанные в международной патентной публикации WO 2014/009928 (содержание которой включено в настоящую заявку посредством ссылки), что

обеспечивает выделение серной кислоты и осаждение железосодержащего продукта, который потенциально имеет коммерческую ценность или который потенциально можно хранить. В частности, сначала твердый остаток можно подвергать термической обработке (20a) с получением отходящих газов, содержащих серу, и затем отходящие газы можно подвергать обработке при помощи способа выделения серы:

- a) путем конденсации в виде промежуточного продукта, содержащего элементарную серу;
- b) в промежуточный продукт, содержащий серную кислоту; или
- c) из устройства для сушки отходящих газов в промежуточный продукт, содержащий сульфиды, полисульфиды, политионаты, тиосульфаты, или схожий промежуточный продукт.

Как правило, проводят термическую обработку примерно при 80-750°C в течение периода до 120 мин, предпочтительно примерно при 300-700°C в течение периода от 10 до 30 мин в окислительных, нейтральных или восстановительных условиях для удаления летучих компонентов от твердого остатка и снижения или устранения свойств прег-роббинга в материале.

При необходимости можно проводить дополнительную термическую обработку (20b) примерно при 500-1000°C в течение периода до 120 мин, предпочтительно примерно при 700-1000°C в течение периода от 30 до 120 мин в окислительных, нейтральных или восстановительных условиях для придания ценным металлам растворимости в среде для хлоридного выщелачивания. Кроме того, на указанной стадии можно устранять или модифицировать свойства прег-роббинга и инкапсулирования или образования покрытия углистых и глинистых минералов, что тем самым позволяет проводить выщелачивание благородных металлов. Например, серебряный ярозит, присутствующий в материале, разлагается в результате обработки при 400-700°C на стадии термической обработки, что делает серебро доступным для хлорирующего выщелачивания. Тем не менее, если экономически обоснованная доля золота и серебра уже доступна для растворения, и если материал не обладает характеристиками прег-роббинга и не требует проведения дополнительной термической обработки, то указанную стадию можно опускать. Термические способы можно проводить в качестве отдельных стадий способа последовательной термической обработки или в качестве одной объединенной стадии.

Стадию хлоридного выщелачивания (22) можно оптимизировать для эффективного выделения и/или отделения некоторых элементов, имеющих коммерческую ценность, которые могут присутствовать в сырье, содержащем несколько компонентов. В частности, стадию хлоридного выщелачивания (22) можно проводить в окислительных условиях с применением хлороводородной кислоты или солевого раствора совместно с окислителем, таких как хлор, гипохлорит, азотнокислые соединения, пероксид водорода, или другими агентами, известными специалистам в данной области техники. Ценные элементы, такие как Au, Ag, а также Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os (т.е. МПГ), Ni, Co, Cu, PЗЭ, Y, Sc, U, Th, Zn, Mn, Cd, Mo, V, Ti, Ge, Ga выщелачивают в хлоридном насыщенном выщелачивающем растворе (PLS).

Благородные металлы, включая золото и серебро, отделяют и выделяют (24) от хлоридного PLS при помощи традиционных способов, известных специалистам в данной области техники, включая техники, такие как экстракция растворителем, ионный обмен, осаждение с применением гидроксидов, карбонатов или сульфидов, электролитическая экстракция, восстановление и прочие способы. Выбор конкретных стандартных операций отделения и/или выделения ценных элементов в составе побочных продуктов проводят с учетом обоснованности с точки зрения технико-экономических аспектов и требований к продукту, таких как получение чистых металлов в виде порошковых "губок", литых заготовок или предшественников конечного продукта, таких как растворы, содержащие катализатор. В некоторых случаях может быть предпочтительным менее чистый продукт. Для обеспечения отделения и/или выделения указанных элементов от хлоридного PLS можно применять техники, такие как экстракция растворителем, ионный обмен, осаждение с применением гидроксидов, карбонатов или сульфидов, электролитическая экстракция, восстановление, и другие способы. В частности, можно ожидать, что при помощи способа KellGold можно добиваться высокого уровня выделения из определенных руд, содержащих серебро или золото, для которых традиционные способы обработки обеспечивают низкий уровень выделения.

Элементы, имеющие коммерческую ценность, в частности включают золото и серебро, но могут дополнительно включать и другие ценные металлы, такие как металлы платиновой группы (МПГ) и редкие металлы. Указанные металлы отделяют при помощи способа от других ценных металлов, таких как никель, кобальт и медь, а также редкоземельных элементов, включая иттрий и скандий, и уран, торий, ванадий, титан, марганец, цинк и кадмий, тогда как железосодержащие компоненты также можно экстрагировать в виде продуктов, которые потенциально имеют коммерческую ценность.

Хлоридные и/или сульфатные кислоты, полученные в способе, можно использовать повторно для снижения эксплуатационных затрат, и дополнительные количества металлов можно выделять в указанном способе повторного применения. Например, цветные металлы, такие как никель, медь и кобальт, можно отделять в виде сульфатов, растворенных в промывочной воде, от конечных остатков и можно повторно использовать совместно с серной кислотой в сульфатных потоках на предшествующих стадиях способа. Выделяемые растворы серной кислоты можно использовать повторно в качестве сульфатных потоков в первичном цикле выделения цветных металлов способа Kell, заявленного в любой из публикаций WO 99/60178, WO 2014/009928 или в заявке на патент Австралии № 2013263848.

Кроме того, любые содержащиеся в незначительных количествах фугитивное золото, серебро, МПГ

или другие ценные металлы, если они присутствуют, также можно отделять в виде хлоридов, растворенных в промывочной воде, от конечных остатков и можно повторно использовать совместно с хлороводородной кислотой в хлоридных потоках на предшествующих стадиях способа или непосредственно выделять. Например, выделяемый раствор хлороводородной кислоты можно использовать повторно на стадии хлоридного выщелачивания или стадии хлорирования в первичном цикле выделения благородных металлов способа Kell, заявленного в WO 99/66178, WO 2014/009928 или заявке на патент Австралии № 2013263848.

IX, хелатообразующие (например, тиольные, тиомочевинные, полиаминовые и другие) сорбирующие смолы, волокна, углеродистые материалы, биологические материалы или другие материалы обладают способностью выделения небольших количеств фугитивного золота, серебра, МПГ или других ценных металлов, если они присутствуют, от бедного сульфидного осадка, жидкостей, обогащенных промежуточным продуктом, или PLS, содержащего цветные металлы.

Для выщелачивания путем хлорирования требуется применение хлороводородной кислоты, которое является эффективным за счет возможности выделения и повторного применения. При помощи конкретного способа обработки бедного хлоридного потока, полученного на стадии выщелачивания путем хлорирования, путем предварительного кипячения-ректификации-повторного кипячения (26) можно решать несколько задач, включая выделение концентрированной хлороводородной кислоты, удаление кальция и отделение сульфатных солей остаточных металлов, таких как медь, никель, кобальт, родий, рутений, иридий, ванадий, германий, галлий или скандий, для повторного применения или выделения. Бедный хлоридный раствор (после выделения первичных благородных металлов и благородных металлов, сохранившихся после очистки, и других фугитивных элементов) подвергают обработке кислотой и проводят выделение металлов, основанное на различной растворимости сульфатов металлов в выбранных условиях. Бедный хлоридный раствор приводят в контакт с 70% серной кислотой и предварительно нагревают на стадии предварительного кипячения, на которой основную часть хлороводородной кислоты выпаривают для выделения. Кальций удаляют путем осаждения гипса на указанной стадии, после чего проводят отделение твердых веществ от жидкости путем загущения и фильтрования, что приводит к получению твердых остатков, которые удаляют. Часть слива устройства загущения повторно используют в устройстве приведения в контакт в качестве затравочного материала.

Раствор с пониженным содержанием кальция вводят в нижнюю часть перегонной колонны, при этом дополнительное количество 60-80% серной кислоты вводят в верхнюю часть колонны с расходом, обусловленным требуемой концентрацией выделяемой хлороводородной кислоты. Устройство для повторного кипячения, нагретое паром или при помощи других средств, используют для нагревания жидкости на дне колонны до ~110-160°C, в то же время верхняя часть колонны имеет температуру ~95-125°C. Испарение воды, главным образом, не происходит, тогда как оставшаяся хлороводородная кислота практически полностью испаряется.

Пары, выделяемые из колонны и устройства предварительного нагревания, пропускают через абсорбирующую колонну, охлаждаемую водой, где проводят выделение хлороводородной кислоты путем абсорбции в промывочной воде от фильтрования продуктов хлорирования, что приводило к получению 25-40% хлороводородной кислоты, подходящей для применения для первичного выщелачивания путем хлорирования, и при этом позволяло непосредственно повторно использовать промывочную воду.

Разбавленную серную кислоту (~35-65%) удаляют из нижней части колонны и пропускают через устройство для выпаривания для выделения абсорбированной воды для ее повторного применения, что приводит к получению ~60-80% серной кислоты, которую подвергают обработке на стадии охлаждения и выдерживания в резервуарах для хранения, где сверхнасыщенные сульфаты металлов кристаллизуются, после чего их собирают. Содержащиеся серную кислоту и металлы выделяют или повторно применяют посредством повторного применения в цикле выделения цветных металлов способа KellGold, на стадиях предварительного выщелачивания, окисления под давлением и/или кислотного выщелачивания в атмосферных условиях. Содержащуюся кислоту применяют в первичном цикле выщелачивания цветных металлов, в то же время сульфаты металлов растворяются на указанной стадии, и их выделяют в цикле выделения цветных металлов, за счет чего добиваются высокой эффективности выделения цветных металлов в способе в целом.

Пары, полученные в устройстве для выпаривания, пропускают через холодильник, охлаждаемый водой, где происходит их конденсация с получением жидкости, подходящей для применения в качестве промывочной воды для фильтра продуктов хлорирования второй стадии. Выделяемую концентрированную (~60-80%) серную кислоту используют повторно в резервуаре для накопления серной кислоты, где 98% серную кислоту добавляют для получения сульфата, который удаляют в виде осадка и повторно используют в цикле выделения цветных металлов способа.

Затем накопленная серная кислота становится доступной для повторного применения в секциях предварительного кипячения и предварительного нагревания цикла.

Согласно дополнительной конкретной новаторской идее, описанной в настоящей заявке, способ KellGold обеспечивает значительные технико-экономические преимущества за счет возможности интеграции способа со способом Kell, который проводят на отдельном заводе, для выделения МПГ и цветных

металлов из концентратов. Как проиллюстрировано на фиг. 3, применение традиционных реагентов, блоки получения, выделения цветных металлов, выделения благородных металлов и повторного применения HCl или их элементы позволяют значительно снижать эксплуатационные затраты для обоих заводов. Кроме того, существенную возможность приема и дополнительной переработки сырья из нескольких источников сильно различающихся труднообрабатываемых, нетруднообрабатываемых и других типов сырья, обработка которых сопровождается проблемами, на заводе, в котором используют способ KellGold, рассматривают как значительное нововведение. Расположение указанной установки для дополнительной обработки неподалеку от другой схожей установки обеспечивает очевидные преимущества.

Дополнительный пример возможной синергии, определяемой расположением в одном месте и интеграцией, показан на фиг. 4. Кучное выщелачивание в частности бедных медных руд, но также никеля/кобальта и других металлов, теперь можно рассматривать как относительно простую операцию. Кислоту, получаемую в способе KellGold, применяют путем направления сульфатного PLS для кучного выщелачивания и для проведения цикла выделения содержащихся цветных металлов, что понижает капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с автономной установкой.

Богатые медные руды и концентраты, как правило, содержат золото, которое получают в виде актива металлургических комбинатов. Выплаты, производимые металлургическими комбинатами, могут быть нежелательными для производителей на удаленных участках и в частности при проведении мелко-масштабных операций. При помощи способа KellGold можно легко проводить дополнительную обработку концентратов меди-золота и обеспечивать при этом потенциально привлекательный вариант для обеспечения повышенного выделения металлов и возврат на капитал при использовании указанных операций.

Экстракция благородных, цветных и редких элементов из труднообрабатываемых или плохо поддающихся обработке материалов различных типов.

Следующие примеры приведены для демонстрации эффективности способа KellGold, описанного в настоящей заявке, предназначенного для выделения и отделения благородных металлов, таких как золото и серебро, а также цветных и/или редких металлов из различных труднообрабатываемых или иных плохо поддающихся обработке или плохо поддающихся обработке при помощи традиционных способов материалов, что обеспечивает потенциально экономически эффективное выделение и/или отделение совокупности ценных элементов и возможно повторное применение или регенерацию реагентов, где удаление большей части серы и цветных металлов на первой стадии способа способствует легкому удалению благородных металлов и оставшихся цветных металлов на второй стадии способа.

Указанные примеры, тем не менее, не следует рассматривать как ограничивающие каким-либо образом сущность или объем изобретения.

### Примеры

В первом из приведенных далее примеров проводили испытания различных типов материалов для демонстрации превосходной извлечения ценных элементов с применением среды для хлоридного выщелачивания, которая является предпочтительной для описанного способа, по сравнению с менее эффективной экстракцией ценных элементов с применением среды для цианидного выщелачивания, которую используют традиционно. Во всех указанных случаях проводили сравнительные традиционные испытания цианирования в бутылках (BLEG) в условиях, которые являются общепринятыми в промышленности.

В последующих примерах проводили полноценное испытание KellGold измельченных образцов каждого материала с применением окисления под давлением для извлечения цветных металлов и выщелачивания путем хлорирования для извлечения благородных металлов, таких как Au и Ag.

Пример 1. Экстракция благородных и цветных металлов из различного сырья.

В указанном примере получали семь образцов отдельных труднообрабатываемых концентратов, содержащих золото, и продуктов способа для проведения исследования, которые охватывали различные диапазоны обогащения благородными металлами, содержания меди, серы и органического углерода, а также трудоемкости обогащения посредством цианидного выщелачивания. Результаты основного исследования сведены в табл. 1, при этом результаты извлечения хлоридов и цианидов сведены в табл. 2.

Таблица 1. Основные исследования труднообрабатываемых углистых сульфидных руд, концентратов и хвостов

Образец	Результат (г/т)					Результат (%)	
	Au	Ag	As	Cu	Sb	S	C
Углистая труднообрабатываемая руда	1,0	0,2	2980	81	95,5	2,7	2,5
Труднообрабатываемый концентрат	132,5	22,6	4650	1050	113,0	25,0	1,3
Хвосты выщелачивания продукта обжига	4,8	11,0	3950	857	107,0	2,2	0,1
Хвосты выщелачивания продукта обжига	2,6	11,6	1230	1430	68,0	2,2	0,1
Хвосты амальгамации	1,5	0,8	2270	133	25,3	0,0	0,0
Труднообрабатываемый концентрат	21,2	50,9	88000	2190	717,0	28,7	1,4
Концентрат Cu/Au	67,6	54,5	652	170000	10,2	26,0	0,2

Характерные количества Au, Ag и Cu в процентах, экстрагируемые с использованием цианида и с использованием хлорида, для семи исследуемых образцов сырья сведены в табл. 2. В указанном примере приведены предварительные испытания, где результаты свидетельствуют только о потенциальной возможности обработки материала при помощи способа KellGold. Результаты растворения в цианиде получены в испытаниях мелкомасштабного цианидного выщелачивания с использованием одного стандарта (BLEG) в условиях применения избытка цианида и извести, где выщелачивание было неконтролируемым и несбалансированным, данные кинетики и потребления реагентов не собирали. Результаты извлечения с использованием хлоридов получены в мелкомасштабных испытаниях выщелачивания царской водкой с использованием одного стандарта в условиях применения избытка реагента, где выщелачивание было неконтролируемым и несбалансированным, данные кинетики не собирали.

Таблица 2. Общие данные по выделению посредством способа KellGold из труднообрабатываемых сульфидных руд, концентратов и хвостов

Образец	Растворимость после обработки цианидами, %			Растворимость после обработки хлоридами, %		
	Au	Ag	Cu	Au	Ag	Cu
Углистая труднообрабатываемая руда	38	205*	24	93	185*	85
Труднообрабатываемый концентрат	68	74	25	106	116	83
Хвосты выщелачивания продукта обжига	21	3	4	87	94	78
Хвосты выщелачивания продукта обжига	27	10	14	100	30	65
Хвосты амальгамации	82	116 <sup>#</sup>	4	124 <sup>#</sup>	139 <sup>#</sup>	86
Труднообрабатываемый концентрат	3	51	53	99	89	83
Концентрат Cu/Au	8	0	1	100	108	X

\*Отклонения результата основного исследования (~0,2 г/т Ag);

<sup>#</sup>Отклонения результата основного исследования (предполагаемое воздействие Hg);

X - исследование не проводили.

В образцах наблюдали диапазон извлечения с использованием цианидов, но все семь образцов были отнесены к труднообрабатываемым согласно определению Ла Брооя (La Brooy<sup>3</sup>), так как экстракция золота путем цианирования составляла <90% (в диапазоне 3-82%). Количества серебра и меди, полученные в результате извлечения путем цианирования, также в общем случае были низкими, а в результате извлечения путем хлорирования в общем случае были высокими.

Пример 2. Выделение благородных и цветных металлов из труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата арсенопирита.

В указанном примере проводили исследование труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата арсенопирита, результаты основного исследования сведены в табл. 3. Примерно 2 кг смешанного концентрата, не проводя дополнительное измельчение или другую предварительную обработку, помещали в 15 л автоклав и подвергали обработке путем окисления под давлением, где кислород нагнетали в течение 60 мин. Затем спускали давление с использованием системы быстрого спуска давления, затем суспензию выдерживали в перемешиваемом резервуаре, после чего проводили отделение твердых веществ от жидкости путем фильтрования под давлением. Осадок сушили и разделяли для проведения анализа, часть (~0,5 кг) суспендировали в растворе хлороводородной кислоты и проводили двухстадийное хлорирование, между стадиями проводили фильтрование. Снова проводили химический анализ конечного остатка для определения эффективности выщелачивания ценных элементов. Результаты выделения при помощи способа KellGold сведены в табл. 4, согласно которой выход Au, Ag и Cu при выделении составлял более 98%. Как правило, медь можно выделять из раствора при помощи традиционных средств, таких как экстракция растворителем, электролитическая экстракция, ионный обмен или осаждение. Au и Ag можно выделять в указанных больших количествах на стадии хлорирования совместно с оставшейся медью из твердого остатка, из которого удалена основная часть частиц, расходующих реагенты.

Таблица 3. Основное исследование труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата арсенопирита

Образец	Результаты исследования, г/т			Результаты исследования, %		
	Au	Ag	Cu	As	S	Fe
Труднообрабатываемый золотосодержащий концентрат арсенопирита	21,2	45,1	2190	8,8	28,7	26,7

Таблица 4. Общие данные по выходам при выделении ценных металлов из труднообрабатываемого сульфидного концентрата арсенопирита посредством способа KellGold

Стандартный способ	Выход при выделении (%)		
	Au	Ag	Cu
Всего	98,3	98,7	99,6

Пример 3. Выделение благородных и цветных металлов из труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата пирита.

В указанном примере проводили исследование труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата, результаты основного исследования сведены в табл. 5. Примерно 2 кг смешанного концентрата, не проводя дополнительное измельчение или другую предварительную обработку, помещали в 15 л автоклав и подвергали обработке путем окисления под давлением, где кислород нагнетали в течение 60 мин. Затем спускали давление с использованием системы быстрого спуска давления, затем суспензию выдерживали в перемешиваемом резервуаре, после чего проводили отделение твердых веществ от жидкости путем фильтрования под давлением. Осадок сушили и разделяли для проведения анализа, часть (~0,5 кг) суспендировали в растворе хлороводородной кислоты и проводили двухстадийное хлорирование, между стадиями проводили фильтрование. Снова проводили химический анализ конечного остатка для определения эффективности выщелачивания ценных элементов. Результаты выделения при помощи способа KellGold сведены в табл. 6, согласно которой выход Au, Ni, Cu и Co при выделении составлял более 95%. Цветные металлы Ni, Cu и Co, как правило, можно выделять из раствора при помощи традиционных средств, таких как экстракция растворителем, электролитическая экстракция, ионный обмен или осаждение. Au и Ag можно выделять в указанных больших количествах на стадии хлорирования совместно с оставшимися Ni, Cu и Co из твердого остатка, из которого удалена основная часть частиц, расходуемых реагенты.

Таблица 5. Основное исследование труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата пирита

Образец	Результаты исследования, г/т				Результаты исследования, %	
	Au	Ni	Cu	Co	Fe	S
Труднообрабатываемый золотосодержащий концентрат пирита	51	700	1500	390	20,6	15,2

Таблица 6. Общие данные по выходам при выделении ценных металлов из труднообрабатываемого золотосодержащего концентрата пирита посредством способа KellGold

Стадия	Выход при выделении, %			
	Au	Ni	Cu	Co
Труднообрабатываемый золотосодержащий концентрат пирита	95,5	99,8	98,4	97,3

Пример 4. Выделение благородных и цветных металлов из труднообрабатываемого полиметаллического сульфидного концентрата.

В указанном примере проводили исследование труднообрабатываемого полиметаллического концентрата Au-Ag-Cu-Zn-Pb, результаты основного исследования сведены в табл. 7. Примерно 2 кг смешанного концентрата, не проводя дополнительное измельчение или другую предварительную обработку, помещали в 15 л автоклав и подвергали обработке путем окисления под давлением, где кислород нагнетали в течение 60 мин. Затем спускали давление с использованием системы быстрого спуска давления, затем суспензию выдерживали в перемешиваемом резервуаре, после чего проводили отделение твердых веществ от жидкости путем фильтрования под давлением. Осадок сушили и разделяли для проведения анализа, часть (~0,5 кг) суспендировали в растворе хлороводородной кислоты и проводили двухстадийное хлорирование, между стадиями проводили фильтрование. Снова проводили химический анализ конечного остатка для определения эффективности выщелачивания ценных элементов. Результаты выделения при помощи способа KellGold сведены в табл. 8, согласно которой выход Au, Ag, Cu, Zn и Pb при выделении составлял более 98%. Цветные металлы Cu и Zn, как правило, можно выделять из раствора при помощи традиционных средств, таких как экстракция растворителем, электролитическая экстракция, ионный обмен или осаждение. Au и Ag, а также Pb можно выделять в указанных больших количествах на стадии хлорирования совместно с оставшимися Cu и Zn из твердого остатка, из которого удалена основная часть частиц, расходуемых реагенты.

Таблица 7. Основное исследование труднообрабатываемого полиметаллического концентрата

Образец	Результаты исследования, г/т			Результаты исследования, %			
	Au	Ag	Cu	Zn	Pb	Fe	S
Труднообрабатываемый полиметаллический концентрат	55,7	93	1970	3,1	3,0	16,8	37,1

Таблица 8. Общие данные по выходам при выделении ценных металлов из труднообрабатываемого полиметаллического концентрата посредством способа KellGold

Стадия	Выход при выделении, %				
	Au	Ag	Cu	Zn	Pb
Труднообрабатываемый полиметаллический концентрат	98	100	98	100	99

#### Ссылки

- Liddell, K.S. and Adams, M.D. Kell hydrometallurgical process for extraction of platinum group metals and base metals from flotation concentrates, J. S. Afr. Inst. Min. Metall. Trans., vol. 112, January 2012, pp. 31-36.
- La Brooy, S. R., Linge, H. G. and Walker, G. S. 1994. Review of gold extraction from ores. Minerals Engineering, vol. 7, no. 10, pp. 1213–1241.
- Liddell, K.S., Newton, T., Adams, M.D. and Muller, B. Energy consumptions in Kell hydrometallurgical refining versus conventional pyrometallurgical smelting of PGM concentrates, J. S. Afr. Inst. Min. Metall. Trans., vol. 111, February 2011, pp. 127-132.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гидрометаллургический способ извлечения элементов, выбранных из группы, состоящей из золота; серебра; золота и серебра; золота и любого одного или более из элементов, состоящих из цветных металлов, выбранных из алюминия, меди, свинца, никеля, олова, вольфрама, цинка, кадмия и марганца, редких металлов, выбранных из редкоземельных элементов, германия, галлия, индия, урана, тория, молибдена и ванадия; и серебра и любого одного или более элементов, состоящих из цветных металлов, выбранных из алюминия, меди, свинца, никеля, олова, вольфрама, цинка, кадмия и марганца, редких металлов, выбранных из редкоземельных элементов, германия, галлия, индия, урана, тория, молибдена и ванадия; и золота, серебра и любого одного или более из элементов, состоящих из цветных металлов, выбранных из алюминия, меди, свинца, никеля, олова, вольфрама, цинка, кадмия и марганца, редких металлов, выбранных из редкоземельных элементов, германия, галлия, индия, урана, тория, молибдена и ванадия, из тугоплавкого или плохо поддающегося обработке сырьевого материала, состоящий из следующих стадий:

(i) подачи сырья в реакционный сосуд; и

(ii) проведения следующих стадий выщелачивания сырья и связанных с ним стадий:

а) стадии выщелачивания горячей серной кислотой под давлением и/или в атмосферных условиях с получением суспензии продукта, содержащей раствор сульфатов металлов, имеющих коммерческую ценность, и твердый остаток, содержащий металлы, имеющие коммерческую ценность;

б) стадии кондиционирования суспензии, полученной на стадии а), включающей обработку серной кислотой в количестве от 25 до 300 г/л или щелочью при pH от 10 до 14;

с) стадии выделения твердого остатка, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность, из раствора сульфатов металлов, имеющих коммерческую ценность, в суспензии продукта, полученной на стадии б), с получением отделенного твердого остатка;

д) стадии хлоридного выщелачивания отделенного твердого остатка, полученного на стадии с), в среде для хлоридного выщелачивания с получением металлов, имеющих коммерческую ценность, растворенных в обогащенном хлоридом выщелачивающем растворе (PLS), и промежуточного твердого остатка;

е) стадии реализации в отношении хлоридного PLS, полученного на указанной выше стадии d), одной или более методик, таких как ионный обмен (IX), образование хелатов, технологию молекулярного распознавания (TMP), добавление полимерных или иных сорбентов, извлечение растворителем, осаждение с применением гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение и/или восстановление, с получением одного или более промежуточных продуктов в виде твердых веществ или растворов для выделения золота и серебра, а также других ценных цветных или редких металлов, содержащихся в хлоридном PLS;

ф) стадии выделения хлороводородной кислоты, кальция и остаточных металлов из полученного на

стадии е) промежуточного продукта-раствора посредством одной или более стадий, таких как кипячение, ректификацию, перегонку, адсорбцию и пиролиз, с получением суспензии продукта, содержащей твердый остаток, содержащий металлы, имеющие коммерческую ценность, и раствор сульфатов металлов, имеющих коммерческую ценность;

г) стадии повторного хлоридного выщелачивания твердого остатка, полученного на стадии ф), в среде для хлоридного выщелачивания с получением растворимых металлов, имеющих коммерческую ценность, в очищенном хлоридном PLS;

h) стадии выделения золота и серебра, а также других ценных цветных или редких металлов, из промежуточных продуктов в виде твердых веществ или растворов, полученных на указанных выше стадиях е), ф) или г).

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что способ дополнительно включает проведение одной или более из следующих стадий дополнительного необязательного выщелачивания сырья и связанных с ним стадий:

и) стадии дополнительной очистки и/или обогащения полученного на стадии е) п.1 промежуточного продукта в виде твердого вещества или раствора, включающей реализацию одной или более методик, таких как ионный обмен (IX), образование хелатов, технологию молекулярного распознавания (ТМР), добавление полимерных или иных сорбентов; извлечение растворителем, осаждение с применением гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение и/или восстановление;

ж) стадии сорбции в отношении отводимого раствора, полученного на стадиях (ф) или (г) п.1, на которой благородные металлы (БМ), такие как золото и серебро, имеющие коммерческую ценность, адсорбируются одной или более смолами, такими как ионообменные (IX) смолы, или сорбентом, а цветные металлы удаляют в растворе, с последующим элюированием адсорбированных металлов, имеющих коммерческую ценность, таких как золото и серебро, из IX смолы или сорбента, и либо осаждение золота и серебра из элюата с использованием восстановителя, либо непосредственное сжигание смолы или сорбента, содержащих металлы, с получением богатого концентрата ценных металлов или продуктов, содержащих отдельные ценные металлы, или проведение в отношении полученных таким образом имеющих коммерческую ценность золота и/или серебра дополнительной стадии осаждения в виде сульфидов с получением второй суспензии продукта с последующим отделением вторичного твердого остатка от второй суспензии продукта при помощи способа отделения твердых веществ от жидкости для дополнительной очистки при помощи способа, такого как отмечено для стадии (е) п.1, или для непосредственной реализации третьей стороне;

к) стадии реализации в отношении хлоридного PLS, полученного на стадии (г) п.1, одной или более методик, таких как ионный обмен (IX), образование хелатов, технологию молекулярного распознавания (ТМР), добавление полимерных или иных сорбентов, извлечение растворителем, осаждение с применением гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение и/или восстановление, с получением одного или более промежуточных продуктов в виде твердых или растворов для выделения золота и серебра, а также других ценных цветных или редких металлов, содержащихся в незначительном количестве в хлоридном PLS;

л) стадии выделения твердого остатка, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность, из раствора сульфатов металлов, имеющих коммерческую ценность, в суспензии продукта, полученной на стадиях ф), г) п.1, или и), ж) или к) данного пункта, и последующую направлением полученного отделенного твердого остатка на стадию б) или д) п.1;

м) стадии выделения металлов, имеющих коммерческую ценность, из раствора сульфатов металлов в промежуточном продукте, обогащенном на стадии и) данного пункта, при помощи методик, таких как извлечение растворителем, ионный обмен (IX), осаждение с применением гидроксидов, аммиака, карбонатов или сульфидов, электролитическое извлечение, восстановление и/или повторное применение.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что тугоплавкий или плохо поддающийся обработке материал выбран из группы, состоящей из руд, концентратов и других материалов, принадлежащих к следующим категориям:

(i) труднообрабатываемые сульфиды, в которых частицы золота или серебра инкапсулированы в сульфидные минералы;

(ii) субмикроскопические труднообрабатываемые сульфиды, в которых частицы золота или серебра нельзя наблюдать при помощи сканирующей электронной микроскопии и указанные частицы золота или серебра инкапсулированы в сульфидные минералы;

(iii) материалы "прег-роббинга", в которых присутствуют углеродсодержащие материалы, сорбирующие минералы, глины, которые снижают выходы при выделении золота и серебра за счет адсорбции или "прег-роббинга" выщелачиваемого золота и серебра из цианидных выщелачивающих растворов;

(iv) материалы, заключенные в углероде, в которых присутствуют углеродсодержащие материалы или кероген, которые могут снижать выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования;

(v) двойные труднообрабатываемые сульфиды, в которых присутствуют углеродсодержащие материалы или другие сорбирующие минералы, которые снижают выходы при выделении золота и серебра за

счет физического инкапсулирования или "прег-роббинга" из цианидных выщелачивающих растворов, и в которых частицы золота или серебра инкапсулированы в сульфидные минералы;

(vi) хвосты продуктов обжига, которые представляют собой остатки после обжига и последующего цианидного выщелачивания концентратов или руд, содержащих золото или серебро, физические инкапсулированные в остаточной матрице;

(vii) материалы, заключенные в силикатах или алюминатах, в которых присутствуют материалы или фазы, содержащие оксид алюминия или оксид кремния, которые снижают выходы при выделении золота и серебра за счет физического инкапсулирования, образования покрытия или адсорбции;

(viii) труднообрабатываемый материал, содержащий микрокластеры золота, включая наноразмерное золото или ауриды, или указанные микрокластеры и другие элементы, включая Al, Si, Ti, V, Zr, Nb, Hg, Mo, W, Ag, Cu, Cs, La;

(ix) шлаки, которые представляют собой остатки после плавления концентратов или руд, содержащие золото или серебро, физически инкапсулированное в остаточной матрице;

(x) хвосты после амальгамации, которые представляют собой остатки после ртутной амальгамации концентратов или руд, содержащие золото или серебро, физические инкапсулированное в остаточной матрице;

(xi) труднообрабатываемые минеральные фазы руд, содержащие одно или более из золота, серебра, электрума Au-Ag, акантита  $Ag_2S$ , аурустибита  $AuSb_2$ , калаверита  $AuTe_2$ , сальваниат  $(Ag,Au)Te_2$ ; и

(xii) "электронные отходы" или отработанные катализаторы.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что сырье сначала обрабатывают путем дробления, измельчения или его применяют в том виде, как оно было добыто, или, в качестве альтернативы или в дополнение, его подвергают стадии обогащения с получением промежуточного рудного продукта для подачи в реакционный сосуд, где обогащение включает комбинацию операций дробления, растирания, просеивания, сортировки по размерам, классификации, сортировки по видам, магнитного отделения, электростатического отделения, флотации или гравитационного отделения для концентрирования таким образом ценных металлов или отделения компонента пустой породы.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что стадия (f) выделения и отделения хлороводородной кислоты, кальция и остаточных цветных металлов, включает:

A) подачу отводимого раствора со стадии e) п.1 в устройство выпаривания для предварительного кипячения совместно с гипсом, используемым в качестве затравки, с получением таким образом газообразной хлороводородной кислоты и осадка гипса и последующее отделение твердых веществ от жидкости с получением осажденного гипса для выделения и обработанного отводимого раствора;

B) (aa) подачу отводимого раствора, полученного на стадии A) данного пункта, в ректификационную колонну с серной кислотой или в устройство для повторного кипячения совместно с серной кислотой с получением таким образом газообразной хлороводородной кислоты и раствора серной кислоты, содержащего металлы, имеющие коммерческую ценность, и/или выделяемые цветные, и/или редкие металлы; или

(bb) подачу отводимого раствора, полученного на стадии A) данного пункта, в реактор для пирогидролита с получением суспензии, содержащей твердый остаток оксида железа для выделения, и раствора цветных и/или редких металлов, и последующее отделение твердых веществ от жидкости;

C) проведение в отношении раствора серной кислоты, полученного на стадии B) (aa) или раствора цветных и/или редких металлов, полученного на стадии B) (bb), стадии охлаждения и выдерживания, на котором происходит кристаллизация сульфатных солей металлов, или обработку на стадии сорбции и выделения, включающей выпаривание или осаждение и/или повторное использование в первичном цикле выделения цветных металлов способа Kell; и

D) проведение в отношении газообразной хлороводородной кислоты, полученной на стадии A) или стадии B) (bb), перегонки и адсорбции с выделением тем самым раствора хлороводородной кислоты.

6. Способ по п.2, отличающийся тем, что элюирование на стадии (j) проводят с применением раствора, содержащего кислую тиомочевину, или сульфитные, или гидросульфитные, или хлоридные соли.

7. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что среда для хлоридного выщелачивания, применяемая на стадии d) п.1, содержит хлорид железа и хлоридный PLS подвергают дополнительной стадии обработки под давлением, осаждения или кристаллизации, концентрирования путем выпаривания, обратного осмоса, наночистотирования или другой мембранной технологии, извлечения растворителем или обработки путем барботирования/ректификации и/или пирогидролита с получением продукта, содержащего железо.

8. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что среда для хлоридного выщелачивания, применяемая на стадии f) п.1, содержит хлорид железа и хлоридный PLS подвергают дополнительной стадии обработки под давлением, осаждения или кристаллизации, концентрирования путем выпаривания, обратного осмоса, наночистотирования или другой мембранной технологии, извлечения растворителем или обработки путем барботирования/ректификации и/или пирогидролита с получением продукта, содержащего железо.

9. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что среда для хлоридного выщелачивания, применяемая на стадии g) п.1, содержит хлорид железа и хлоридный PLS подвергают дополнительной стадии обработки под давлением, осаждения или кристаллизации, концентрирования путем выпаривания, обратного осмоса,

наночелющения или другой мембранной технологии, извлечения растворителем или обработки путем барботирования/ректификации и/или пиролизом с получением продукта, содержащего железо.

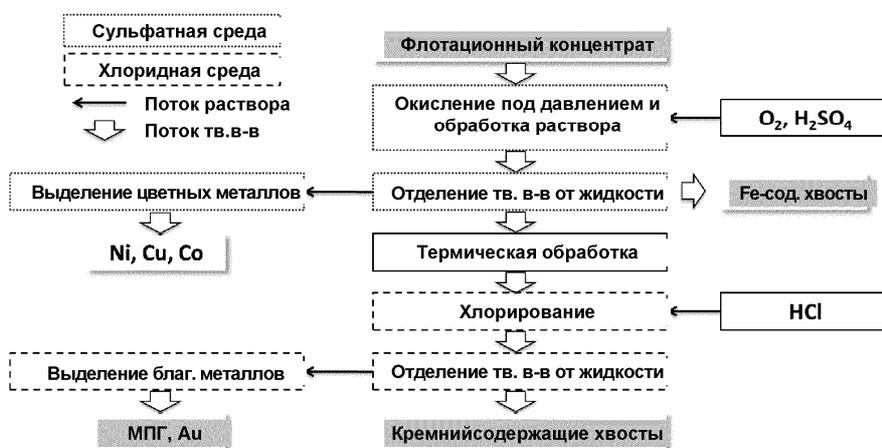
10. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что стадия хлоридного выщелачивания d) по п.1 включает применение кислой среды для хлоридного выщелачивания, имеющей рН от 2,5 до 7,5, выдерживаемой при температуре в диапазоне 50-150°C.

11. Способ по любому из пп.1-9, отличающийся тем, что стадия хлоридного выщелачивания d) по п.1 включает применение среды для хлоридного выщелачивания, имеющей содержание свободной кислоты от 50 до 300 г/л HCl, выдерживаемой при температуре в диапазоне 50-150°C.

12. Способ по любому из пп.1-11, отличающийся тем, что стадию хлоридного выщелачивания проводят путем выщелачивания в атмосферных условиях или в автоклаве под давлением с применением солевого раствора в окислительных условиях.

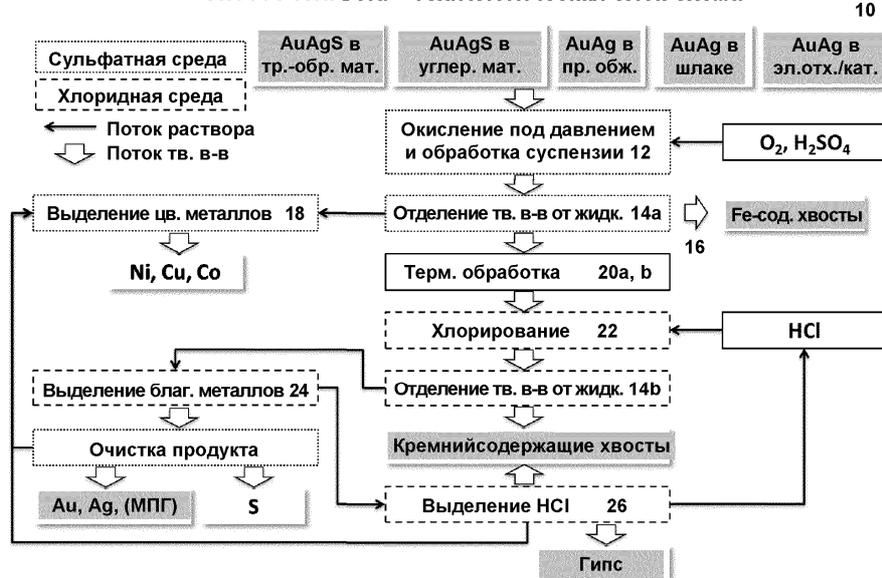
13. Способ по любому из пп.1-12, отличающийся тем, что указанный способ интегрирован в существующий способ, такой как способ Kell, или в традиционный способ кучного выщелачивания для выделения цветных металлов.

Способ Kell – технологическая блок-схема

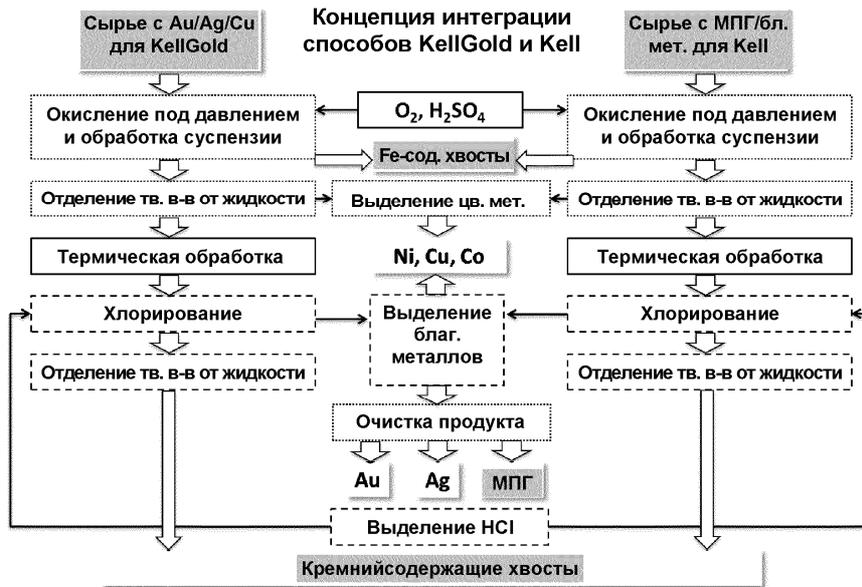


Фиг. 1

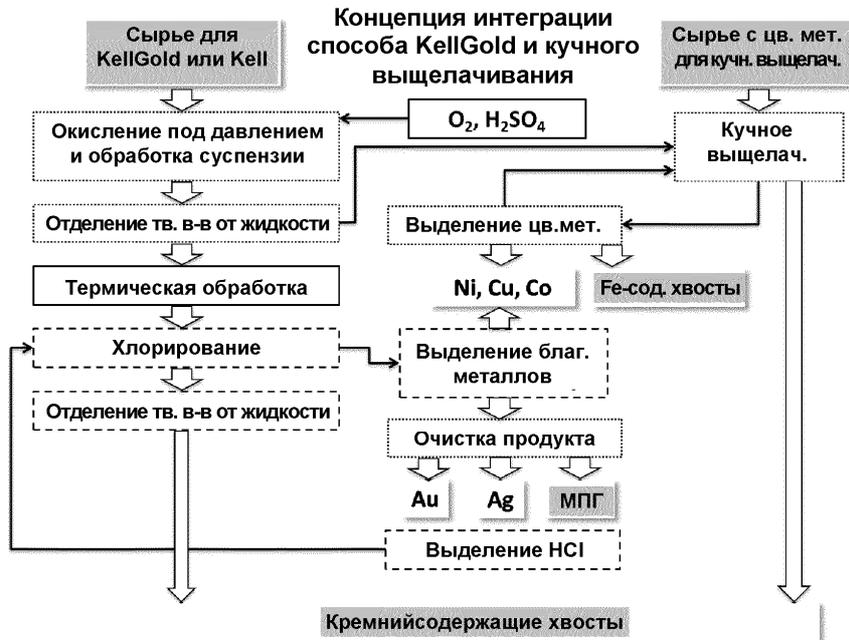
Способ KellGold – технологическая блок-схема



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

