

С. А. ТРЕБУХОВ*, И. А. МАРКИ, А. В. НИЦЕНКО, Н. М. БУРАБАЕВА, Ф. Х. ТУЛЕУТАЙ

АО «Центр наук о Земле, металлургии и обогащения», Алматы, *vohubert@mail.ru

ДЕМЕРКУРИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ УГОЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ ЗОЛОТОИЗВЛЕКАТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ВАКУУМ-ТЕРМИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

В настоящее время базовым процессом в металлургии золота является цианирование как наиболее эффективный способ для извлечения золота и серебра из сравнительно бедных и тонковкрапленных руд, хвостов и других продуктов обогащения. Дальнейшее извлечение золота из растворов цианидного выщелачивания проводят методом сорбции на активированном угле с последующим элюированием. Угли, из-за повышенного содержания в них ртути, не могут подвергаться предварительному сжиганию с целью дальнейшего доизвлечения золота и направляются в хвостохранилища. В рассматриваемой статье приведены результаты лабораторного исследования по предварительному удалению ртути вакуум-термическим методом из отработанных угольных сорбентов золотоизвлекательных фабрик перед их сжиганием. В качестве исследуемого материала были использованы отработанные угольные сорбенты крупнейшего в Казахстане золотодобывающего предприятия ТОО «Altyntau Kokshetau». Полученные пробы представляют собой гранулированный материал с различным содержанием влаги. Влажность пробы угольного сорбента, использованной в исследованиях, составляет 35,48 %. Ртуть в основном находится в металлической форме, содержание которой составляет 1,96 %. Спектральным анализом определено, что содержание золота в угле составляет 0,036 % (360 г/т). Концентрация углерода – около 92 %, серы – 0,63 %. Суммарное содержание золота и серебра составляет порядка 1000 г/т. Изучение влияния основных факторов на отгонку ртути из отработанных угольных сорбентов проводилось с предварительно высушенными до постоянной массы пробами термогравиметрическим методом. Показано, что повышение температуры и понижение давления оказывают положительное влияние на отгонку ртути. Так, при 200 °С и 92,0 кПа за 20 мин содержание ртути снизилось лишь на 47,45 %, а при более высокой температуре (400 °С) и неизменных давлении и времени степень извлечения ртути составила 93,37 %. В огарках, полученных при пониженном давлении (0,13 кПа) и температуре 400 °С за 15 мин, было обнаружено 0,0004 % ртути (4,1 мг/кг), что соответствует европейским нормам ПДК. При этом степень извлечения ртути составила более 99 %.

Ключевые слова: ртуть, активированный уголь, сорбент, золото, цианидное выщелачивание, вакуум, температура, степень отгонки, экология.

Введение. Для извлечения золота и серебра из сравнительно бедных, тонко вкрапленных руд, хвостов и других продуктов обогащения базовым процессом является цианирование [1, 2], которое основано на селективном растворении благородных металлов в слабых растворах цианидов (NaCN , $\text{Ca}(\text{CN})_2$, KCN) и последующем осаждении их из растворов на цинковой пыли, ионитах, активированном угле [3, 4].

Преимуществами этого процесса являются его селективность по отношению к золоту, серебру и другим благородным металлам; сравнительно небольшие расходы цианидов (0,2–0,5 кг/т руды); нахождение золота и серебра в виде анионных комплексов, легко отделяемых от катионных примесей на ионообменных сорбентах; отсутствие дорогостоящего кислото-

стойкого оборудования; невысокие температуры проведения процесса [5, 6].

Для извлечения золота из растворов цианидного выщелачивания, кроме сорбции на анионитах, применяют осаждение (цементацию) цинковой пылью и активированным углём [7, 8]

В связи с тем, что сорбция благородных металлов активированным углем позволяет достичь высокой скорости их извлечения из цианидных растворов и снизить капитальные и эксплуатационные затраты, она нашла широкое применение в мировой практике золотодобывающей промышленности. Наиболее эффективным считается метод, совмещающий растворение золота с его сорбцией на активированном угле с последующим элюированием, получивший название «уголь в пульпе» [9, 10]. Однако после

нескольких стадий реактивации угольного сорбента происходит его отравление и практически полная потеря сорбционных свойств [11]. Такие угольные сорбенты заменяются на новые [12]. Для доизвлечения золота из отработанных угольных сорбентов их (сорбенты) обычно сжигают, а зольный остаток, обогащенный благородными металлами, направляют на извлечение ценных компонентов [13].

Так как при сорбции золота на угле сорбируются и другие металлы, прежде всего ртуть, то сжигание такого материала без предварительной демеркуризации приведет к загрязнению окружающей среды высокотоксичными парами ртути.

В рамках выполнения обязательств, взятых на себя Республикой Казахстан при принятии Концепции экологической безопасности страны, на большинстве золотоизвлекательных предприятий Казахстана, использующих метод цианирования «уголь в пульпе», отработанные угольные сорбенты либо складироваются, либо совместно с хвостами направляются в хвостохранилище.

С целью предотвращения загрязнения окружающей среды токсичными соединениями ртути в процессе доизвлечения цветных и благородных металлов из отработанных угольных сорбентов ртуть и ее соединения необходимо предварительно удалить. Это может быть осуществлено с использованием разработанной в АО «ЦНЗМО» безреагентной вакуум-термической технологии, испытания которой на различных видах минерального и техногенного сырья показали ее высокую эффективность и экологическую безопасность [14-18].

Цель работы – определение оптимальных технологических параметров вакуум-термической демеркуризации отработанных угольных сорбентов.

Для практической реализации необходимо провести технологические исследования по их прямой вакуум-термической демеркуризации при различных условиях из стационарного и виброожигенного слоёв.

Методы анализа. Аналитическое сопровождение исследовательских работ осуществлялось на следующем современном оборудовании: дифрактометр D8 ADVANCE (Bruker, Германия), рентгенофлуоресцентный волнодисперсионный комбинированный спектрометр Venus-200 (PANalytical, Голландия), атомно-эмиссион-

ный спектрометр Optima 2000 DV (Perkin Elmer, США), UV-Vis спектрофотометр Agilent 8453 (Agilent Technologies, Германия), электронный растровый микроскоп с анализатором JXA-8230 (JEOL, Япония).

Анализы на содержание ртути выполнены с помощью ртутного анализатора РА-915М, технические характеристики которого позволяют достичь ультранизких пределов обнаружения содержания ртути на уровне единиц мкг/кг для широкого перечня объектов анализа. Положительной особенностью данного прибора является то, что при измерении содержания ртути не требуется предварительное концентрирование на специальном сорбенте [19].

При экспериментальных исследованиях применялись стандартизированные системы измерения параметров.

Экспериментальная часть. В качестве исследуемого материала использованы отработанные угольные сорбенты золотодобывающего предприятия ТОО «Altyntau Kokshetau». Васильковское месторождение – это одно из основных производственных активов предприятия, которое является крупнейшим в золотодобывающей отрасли Казахстана. В мировом рейтинге оно по всем параметрам входит в число 20 крупнейших золотодобытчиков.

Исходный материал был представлен двумя пробами отработанного гранулированного угольного сорбента ТОО «Altyntau Kokshetau»: одна – «до прокалки» в количестве 3,5 кг, другая – «после прокалки» в количестве 1,2 кг.

Влажность пробы угольного сорбента «до прокалки» составила 35,48 %, а «после прокалки» – 0,7 %. Влажность проб определена экспериментально путём их нагрева в вакуумном сушильном шкафу при давлении 7,8 кПа и температуре 70 °С до установления постоянной массы навески.

Насыпная плотность высушенного угля составила: без утряски 0,588 г/см³, с утряской – 0,645 г/см³, угол естественного откоса сухого угля составил 33°.

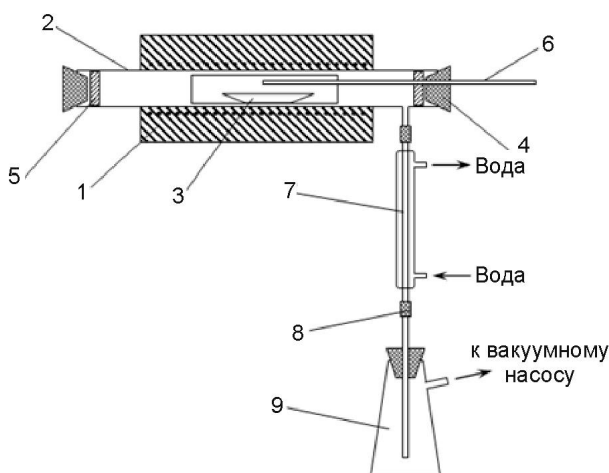
Химический анализ показал, что пробы существенно различаются по содержанию ртути. Так, содержание ртути в угле «до прокалки» составляет 1,96 %, а «после прокалки» – 0,036 % (360 мг/кг).

Рентгенофлуоресцентным методом анализа установлено, что основными примесями в представленной пробе угольного сорбента «до про-

калки» являются, мас. %: Na – 0,976; Al – 0,673; Si – 0,694; S – 0,869; Ca – 0,576; Fe – 0,101. Содержание остальных примесных элементов – 3,991 мас. %. Суммарное содержание золота и серебра – порядка 1000 г/т, углерода – 92,084 мас. %. Ртуть в основном находится в металлической форме.

Для изучения влияния температуры, давления и продолжительности обработки на степень отгонки ртути из отработанных угольных сорбентов пробы предварительно высушены до постоянной массы при давлении 26,67 кПа и температуре 70 °С. Содержание ртути в пробе после дегидратации не изменилось.

Исследования проводились на вакуумной установке, схема которой приведена на рисунке 1. Установка включает горизонтальную трубчатую электропечь (1), в которую размещается кварцевый реактор (2). Трубчатая электропечь установлена на подвижную платформу для возможности свободного перемещения разогретой до заданной температуры электропечи в горизонтальной плоскости.



1 – электропечь; 2 – кварцевый реактор; 3 – лодочка с навеской материала; 4 – резиновая заглушка; 5 – теплоизоляционный экран; 6 – чехол с термопарой ХА; 7 – водоохлаждаемый конденсатор (холодильник); 8 – резиновое уплотнение; 9 – сборник конденсата

Рисунок 1 – Лабораторная вакуумная установка для отгонки ртути

Для предотвращения возможного заражения исследуемого материала ртутью при разгрузке реторты после эксперимента, лодочку с навеской угольного сорбента (3) устанавливали в специальный кварцевый контейнер. К реторте с помощью резиновых уплотнений (8) подключен

водоохлаждаемый конденсатор паров ртути (холодильник) (7), который соединен с колбой Бунзена (9), служащей сборником конденсата. Для предотвращения перегрева резиновых уплотнений реторты (4) перед ними установлены защитные экраны (5), изготовленные из стали марки 12Х18Н10Т. Температуру в реакционном пространстве измеряли хромель-алюмелевой термопарой, горячий спай которой в кварцевом чехле (6) располагался непосредственно над навеской исследуемого материала. Заданная температура в печи поддерживалась при помощи цифрового терморегулятора ТРМ-Щ1 ОВЕН с точностью $\pm 0,1$ °С. Для дополнительного контроля температуры, между стенкой печи и кварцевым реактором устанавливался контактный цифровой термометр ТК-5,06 в комплекте с термоэлектрическим преобразователем ТПК 031-0,5/0,2/2 (измерение температуры с точностью $\pm 0,1$ °С). Разрежение в системе создавали вакуумным насосом 2НВР-5ДМ и измеряли при помощи барометра-анероида М110 с точностью ± 133 Па.

Методика проведения эксперимента состоит в следующем: перед опытом лодочка с исследуемым материалом, кварцевый реактор и конденсатор по отдельности взвешивались на аналитических весах. Лодочку с исследуемым материалом устанавливали в кварцевый контейнер, который, в свою очередь, устанавливался внутри реторты. Система герметизировалась, откачивалась, промывалась аргоном, и затем в ней создавалось заданное условиями эксперимента давление. Трубчатую электропечь перегревали на 100 °С выше температуры опыта, после чего её надвигали на кварцевый реактор. Достижение навеской заданной технологической температуры считали началом опыта. Промежуток времени с момента установления кварцевого реактора в печь и выхода на заданную температуру вследствие предварительного перегрева составлял 1,5-2,0 мин.

Проведёнными ранее лабораторными, укрупнёнными и заводскими испытаниями с монометаллическими ртутными и ртутно-сурьмяными концентратами, пылями свинцового производства, золотосодержащими шлихами, шламами сернокислотного и ацетальдегидного производства, люминофорами отработанных ламп дневного света была показана эффективность вакуумной возгонки ртути при температурах 350-450 °С и давлении 1,0-10,0 кПа. Исходя из этого, лабора-

торное исследование по определению влияния температуры и давления в системе на степень отгонки ртути и остаточное содержание ртути в отработанных угольных сорбентах проведено в интервале температур 200-400 °С и давлений от 0,13 кПа до атмосферного.

Результаты исследований по влиянию температуры и давления в системе на степень отгонки ртути в отработанных угольных сорбентах после термовакуумной обработки приведены на рисунках 2-4.

Установлено, что температура обработки отработанных угольных сорбентов при пониженном давлении в значительной мере влияет на остаточное содержание ртути в них. Так, при 200 °С и 92,0 кПа за 20 мин содержание ртути снизилось на 47,45 %, а при 400 °С в тех же условиях степень извлечения ртути составила 93,37 %. При пониженном давлении в системе (1,33 кПа) уже при 200 °С происходит значительный перевод ртути в паровую фазу. Полученные результаты подтверждают тот факт, что в про-

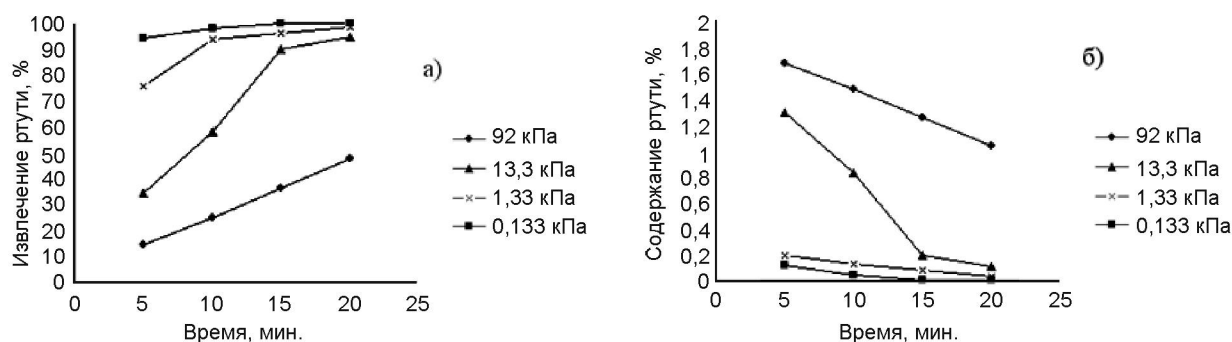


Рисунок 2 – Зависимость степени отгонки ртути (а) и остаточного содержания ртути (б) в отработанных угольных сорбентах от давления и продолжительности термообработки при 200 °С

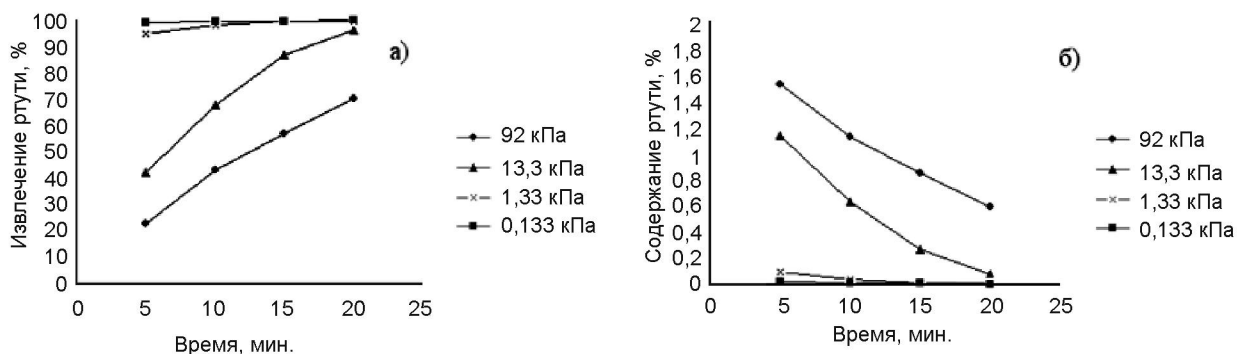


Рисунок 3 – Зависимость степени отгонки ртути (а) и остаточного содержания ртути (б) в отработанных угольных сорбентах от давления и продолжительности термообработки при 300 °С

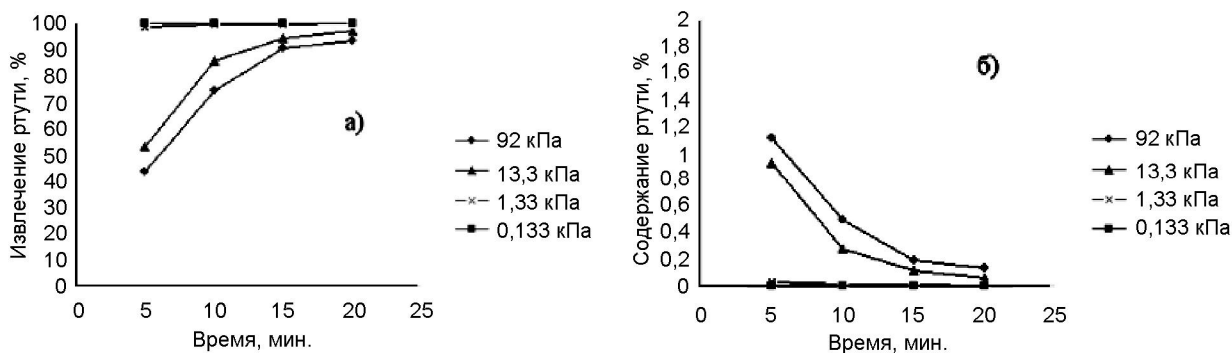


Рисунок 4 – Зависимость степени отгонки ртути (а) и остаточного содержания ртути (б) в отработанных угольных сорбентах от давления и продолжительности термообработки при 400 °С

бах «до прокалки» и «после прокалки» содержание ртути значительно разнится. Следовательно, в целях экологической безопасности сушку угольного сорбента перед удалением ртути и последующее его сжигание требуется проводить в сушильных шкафах при температуре ниже 80 °С и незначительном разрежении в системе (19,5-39,9 кПа).

Кроме того, установлено, что в вакууме (0,13 кПа) даже при низкой температуре (200 °С) в первые 10 мин термообработки происходит значительное удаление ртути – более 98 %. Остатки от термообработки угольных сорбентов в вакууме при температуре выше 400 °С содержали 0,0007-0,001 % Hg (7-10 мг/кг).

Следует отметить, что более существенное влияние на остаточное содержание ртути в отработанных угольных сорбентах оказывает понижение давления. При 400 °С и давлении 92,0 кПа остаточное содержание ртути за 20 мин обработки составило 0,13 %. При снижении давления в системе от 92 до 0,133 кПа за то же время остаточное содержание ртути снизилось от 0,13 до 0,0005 %, что ниже европейских норм ПДК (0,001 мг/кг).

Результаты проведенных исследований показали, что при давлении 0,133 кПа и нагревании до 400 °С в течение 20 мин из отработанных угольных сорбентов можно безреагентным экологически чистым способом удалить ртуть более чем на 99 %.

Механизм удаления ртути из отработанных угольных сорбентов предполагает, по нашему мнению, диффузию металла по порам сорбента к поверхности испарения и последующий перевод его в паровую фазу.

Таким образом, для практического осуществления процесса предварительного удаления ртути из отработанных угольных сорбентов вакуум-термическим методом перед их сжиганием процесс необходимо проводить при температуре 350-400 °С и поддерживать давление в промышленном аппарате менее 1,33 кПа. Это позволит удалять ртуть как из текущих, так и накопленных в хвостохранилищах отработанных угольных сорбентов с последующим доизвлечением благородных металлов. Рекомендуемые на основании технологического исследования интервалы температур и давлений наиболее близки к условиям, при которых осуществляется промышленный процесс с псевдоожижением материала.

В результате выполненной работы получены данные, которые позволяют сделать вывод о применимости существующего оборудования с псевдоожижением материала направленной вибрацией для предварительного удаления ртути из отработанных угольных сорбентов золотоизвлекательных фабрик перед их сжиганием. Эффективность использования нестандартизированного вакуумного оборудования достигается за счет повышения извлечения ртути и сокращения её механических потерь, включая выбросы в окружающую среду, предотвращенного экологического ущерба, доизвлечения благородных металлов; безреагентности технологии, а её реализация в непрерывно действующей аппаратуре позволяет существенно снизить непроизводительные затраты тепловой энергии [14-18].

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Лодейщиков В.В. Золотоизвлекательные фабрики мира: аналит. обзор. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2005. – 447 с.
- 2 Котляр Ю.А., Меретуков М.А. Metallургия благородных металлов. – М.: АСМИ, 2002. – 466 с.
- 3 Пелих В.В., Салов В.М. К вопросу об управлении процессом цианирования золота // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2012. – № 11. – С. 163-170.
- 4 Буйновский А.С., Ковыркина Т.В., Агеева Л.Д., Колпакова Н.А. Концентрирование золота и металлов платиновой группы на углеродных сорбентах. – Северск: СГТИ, 2005. – 316 с.
- 5 Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. – Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 1999. – Т. 2. – 452 с.
- 6 Гурин К.К., Башлыкова Т.В., Ананьев П.П., Бобоев И.Р., Горбунов Е.П. Извлечение золота из хвостов золотоизвлекательных фабрик от переработки упорных руд смешанного типа // Цветные металлы. – 2013. – № 5. – С. 39-44.
- 7 Дементьева Н.А., Чернов В.К., Коган Д.И., Леонов С.Б. Противоточная сорбционно-флотационная технология извлечения золота с применением порошкообразного модифицированного угля // Анализ, добыча и переработка полезных ископаемых: Сб. науч. тр., посв. 125-летию института «Иргиредмет». – Иркутск: ОАО Иргиредмет, 1998. – С. 251-253.
- 8 Рандин О.И. Природа активных центров в углеродных сорбентах при сорбции цианидных комплексов золота $[\text{Au}(\text{CN})_2]$ // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2005. – № 4. – С. 115-116.
- 9 Рандин О.И., Дударева О.В. Расчёт энергии невалентных взаимодействий при сорбции комплексных ионов благородных металлов // Вестник Иркутского гос. техн. ун-та. – 2011. – Т. 50, № 3. – С. 102-105.

10 Чантурия В.А. Новые технологические процессы комплексного извлечения ценных компонентов из минерального сырья: современное состояние и основные направления развития // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т. 49, № 3. – С. 235-242.

11 Воробьев-Десятовский Н.В., Ермаков Д.В. Основные проблемы обезвреживания цианидсодержащих растворов и пульп золотодобывающей промышленности в России. Ч. 3. Неокисленные реагентные и сорбционные методы детоксикации // Цветные металлы. – 2014. – № 8. – С. 36-41.

12 Мухин В.М., Соловьёв Б.В., Путин С.Н., Клущин В.Н. Углеродные адсорбенты в обеспечении химической и биологической безопасности человека, окружающей среды и инфраструктуры // Химическая промышленность сегодня. – 2010. – № 2. – С. 26-37.

13 Lodeishchikov V.V. Problems of Coast-effective Used of Complex Gold Ores // Processing of XXIV Int. Miner. Processing Congress, Beijing, China, 24-28 Sept. 2008. – P. 1710-1719.

14 Пат. 12264 РК. Способ удаления ртути из грунта и/или техногенных материалов / Требухов С.А., Храпунов В.Е., Челохсаев Л.С., Володин В.Н., Исакова Р.А., Абрамов А.С.; опубл. 14.10.2005, Бюл. № 10.

15 Пат. 13681 РК. Способ извлечения ртути из ртутьсодержащих материалов / Храпунов В.Е., Челохсаев Л.С., Требухов С.А., Марки И.А., Володин В.Н.; опубл. 14.07.2006, Бюл. № 7.

16 Пат. 12209 РК. Аппарат для переработки сыпучих материалов / Храпунов В.Е., Челохсаев Л.С., Требухов С.А., Володин В.Н., Исакова Р.А.; опубл. 15.11.2002, Бюл. № 11.

17 Пат. 13257 РК. Аппарат для вакуум-термической переработки сыпучих материалов / Храпунов В.Е., Челохсаев Л.С., Требухов С.А., Марки И.А., Исакова Р.А.; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5.

18 Пат. 13680 РК. Вакуумная установка для извлечения ртути из ртутьсодержащих материалов / Храпунов В.Е.; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8.

REFERENCES

1 Lodeishchikov V.V. *Zolotoizvlekatel'nye fabriki mira. Analiticheskij obzor* (Gold processing plants of the world: Analytical Review). Irkutsk: Publishing House of JSC Irgiredmet, 2005. 447 (in Russ.).

2 Kotlyar Yu.A., Meretukov M.A. *Metallurgiya blagorodnykh metallov*. (Metallurgy of precious metals). Moscow: ASMI. 2002. 466 (in Russ.).

3 Pelikh V.V., Salov V.M. *K voprosu ob upravlenii processom tsianirovaniya zolota*. (To question of gold cyanidation process managing). *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta=Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2012. 11. 163-170 (in Russ.).

4 Bujnovskij A.S., Kovyrkina T.V., Ageeva L.D., Kolkpakhova N.A. *Kontsentrirovanie zolota i metallov platinoj gruppy na uglerodnykh sorbentakh* (Concentration of gold and platinum group metals on carbon sorbents). Seversk: SGTI Publishing House. 2005. 316 (in Russ.).

5 Lodeishchikov V.V. *Tekhnologiya izvlecheniya zolota i srebra iz upornykh rud* (The technology of extracting gold and silver from refractory ores). Irkutsk: Irgiredmet Publishing House. 1999. 2. 452 (in Russ.).

6 Gurin K.K., Bashlykova T.V., Anan'ev P.P., Boboev I.R., Gorbunov E.P. *Izvlechenie zolota iz khvostov zolotoizvlekatel'nykh fabrik ot pererabotki upornykh rud smeshannogo tipa* (Gold recovery from tailings of gold processing plants at processing refractory ores of mixed type). *Tsvetnye metally=Non-ferrous metals*. 2013. 5. 39-44 (in Russ.).

7 Dement'eva N.A., Chernov V.K., Kogan D.I., Leonov S.B. *Protivotochnaya sorbtsionno-flotatsionnaya tekhnologiya izvlecheniya zolota s primeneniem poroshkoobraznogo modifitsirovannogo uglya*. (Counter-flotation sorption technology of gold extraction using a modified powdered coal). *Analiz, dobycha i pererabotka poleznykh iskopaemykh* (Analysis, extraction and processing of minerals). Collection of materials. Irkutsk: Irgiredmet. 1998. 251-253 (in Russ.).

8 Randin O.I. *Priroda aktivnykh tsentrov v uglerodnykh sorbentakh pri sorbtsii tsianidnykh kompleksov zolota [Au(CN)₂]* (The nature of the active centers in carbon sorbents at sorption of cyanide complexes of gold Au(CN)₂). *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2005. 4. 115-116 (in Russ.).

9 Randin O.I., Dudareva O.V. *Raschyot ehnergii nevalentnykh vzaimodejstvij pri sorbtsii kompleksnykh ionov blagorodnykh metallov* (The calculation of non-bonded interactions energy at the sorption complex ions of noble metals). *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta= Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2011. 50, 3. 102-105 (in Russ.).

10 Chanturiya V.A. *Novye tekhnologicheskie protsessy kompleksnogo izvlecheniya tsennykh komponentov iz mineral'nogo syr'ya: Sovremennoe sostoyanie i osnovnye napravleniya razvitiya* (New technological processes of complex extraction of valuable components from mineral raw materials: the current state and direction of development). *Geologiya rudnykh mestorozhdenij=Mining geology*. 2007. 49, 3. 235-242 (in Russ.).

11 Vorob'ev-Desyatovskij N.V., Ermakov D.V. *Osnovnye problemy obezvezhivaniya tsianidsoderzhashchikh rastvorov i pul'p zolotodobyvayushchej promyshlennosti v Rossii. Chast' 3. Neokislennyye reagentnye i sorbtsionnye metody detoksikatsii* (The main problems of neutralization of cyanide solutions and pulps of gold mining industry in Russia. Part 3: Non-oxidized reagent and sorption methods of detoxication). *Tsvetnye metally=Non-ferrous metals*. 2014. 8. 36-41 (in Russ.).

12 Mukhin V.M., Solov'yov B.V., Putin S.N., Klushin V.N. *Uglerodnye adsorbenty v obespechenii khimicheskoy i biologicheskoy bezopasnosti cheloveka, okruzhayushchej sredy i infrastruktury* (Carbon adsorbents in ensuring of chemical and biological security rights, the environment and infrastructure). *Khimicheskaya promyshlennost' segodnya= Chemical industry today*. 2010. 2. 26-37 (in Russ.).

13 Lodejshchikov V.V. Problems of Coast-effective Used of Complex Gold Ores. Processing of XXIV Int. Miner. Processing Congress. Beijing, China, 24-28 Sept. 2008. – 1710-1719 (in Eng.).

14 Pat. 12264 RK *Sposob udaleniya rtuti iz grunta i/ili tekhnogennykh materialov* (A method for removing mercury from soil and/or secondary materials). Khrapunov V.E., Chelokhsaev L.S., Trebukhov S.A., Marki I.A., Volodin V.N. Published: 14.10.2005. *Bull.* 10 (in Russ.).

15 Pat. 13681 RK. *Sposob izvlecheniya rtuti iz rtut'soderzhashchikh materialov.* (A method for recovering mercury from mercury-containing materials). Khrapunov V.E., Chelokhsaev L.S., Trebukhov S.A., Marki I.A. Published: 14.07.2006. *Bull.* 7 (in Russ.).

16 Pat. 12209 RK. Khrapunov V.E., Chelokhsaev L.S., Trebukhov S.A., Volodin V.N., Isakova R.A. *Apparat dlya pererabotki sypuchikh materialov* (Apparatus for processing of bulk materials). Published: 15.11.2002. *Bull.* 11 (in Russ.).

17 Pat. 13257 RK. Khrapunov V.E., Chelokhsaev L.S., Trebukhov S.A., Marki I.A., Isakova R.A. *Apparat dlya vakuumtermicheskoy pererabotki sypuchikh materialov* (Vehicle for the vacuum processing of friable materials). Published: 15.05.2006. *Bull.* 5 (in Russ.).

18 Pat. 13680 RK. *Vakuumnaya ustanovka dlya izvlecheniya rtuti iz rtut'soderzhashchikh materialov* (Vacuum unit to remove mercury from mercury-containing materials). Khrapunov V.E. Published: 15.08.2006. *Bull.* 8 (in Russ.).

ТҮЙІНДЕМЕ

Қазіргі уақытта алтын металлургиясының базалық үрдісі циандау болып табылады, ол байыту кезіндегі өнімдер мен қалдықтарды, таңдамалы жұқа майдаланған және кедей кендерден алтын мен күмісті алуда әсерлі. Циандалған сілтілі ерітіндіден алтынды алу қаныққан көмірмен сорбциялау арқылы жүргізіледі, одан кейін элюирленеді. Құрамында сынаптың көп болуына байланысты алдын ала өртеуге келмейді, сондықтан алтынды алу үшін қалдықтар қорына бағытталады. Қарастырылған мақалада алтын өндіретін фабрикалардағы қолданылған көмір сорбенттерін өртеу алдында вакуумтермиялық әдіспен алдын ала сынапты жоюдың зертханалық зерттеу нәтижесі келтірілген. Зерттелетін материал ретінде Қазақстандағы ірі алтын өндіретін кәсіпорны «Алтынтау Кокшетау» ЖШС-де қолданылған көмір сорбенттері пайдаланылады. Алынған сынамалар түйіршіктелген материал түрінде келеді және олардың ылғалдылығы әр түрлі болады. Зерттеуде қолданылатын көмір сорбенті сынамасының ылғалдылығы 35,48 %-ды құрайды. Сынап негізінде метал түрінде келеді, оның құрамы 1,96 %-ды құрайды. Жарты мөлшерде былай анықталған, алтынның көмірдегі құрамы 0,036 % (360 г/т), көміртегі шамамен 95,36 %, күкірт – 0,63 %. Алтын мен күмістің жиынтық құрамы шамамен 1000 г/т. Қолданылған көмір сорбенттерінен айдауда негізгі факторларға тәуелділігін зерттеу бірдей массаға келтіру үшін алдын ала кептіріліп, термогравиметриялық әдіспен жүргізіледі. Температураның көтерілуі мен қысымның төмендеуі материалдан сынапты айдауға оңтайлы әсер әкелетіндігі көрсетілген. Сонымен, 200 °C және 92,0 кПа 20 минутта сынаптың құрамы тек 47,45 %, ал 400 °C әр түрлі жағдайларда сынапты алу деңгейі 93,37 %. Төмен қысымда (0,13 кПа) және 400 °C температурада 15 минутта алынған тұқылда сынап 0,0004 % (4,1 мг/кг) бар екендігі анықталды, бұл еуропалық МШК (ПДК) нормаларына сәйкес келеді, сонымен қатар сынапты алу деңгейі шамамен 99 %-дан асады.

Түйін сөздер: сынап, көмір, сорбент, алтын цианидті шаймалау, вакуумдық айдау, температура, қысым, жылдамдық булату аршу дәрежесі, қалдық мазмұны, экология.

SUMMARY

Currently, the basic process in the gold industry is a cyanidation as the most efficient way to extract gold and silver from a relatively poor and finely disseminated ores, tailings and other products of beneficiation. Further gold extraction from cyanide leaching solutions is carried out by adsorption on activated carbon, followed by elution. Due to the high mercury content, they cannot be subjected to a preliminary combustion for further complete gold extraction and shall be sent to the tailing dumps. This article contains the results of a laboratory research on prior mercury removal from waste coal sorbents of gold recovery plants with the help of vacuum heat treatment before their combustion. The waste coal sorbents of Altyntau Kokshetau Ltd, the largest gold mining company in Kazakhstan, were used as the test material. The received test samples were granulated material with different moisture content. The humidity of the coal sorbent samples used in the study was 35.48 %. Mercury was mainly in the metallic form with the content of 1.96 %. It was determined by semiquantitative method that the gold content in the coal was 0.036 % (360 g/t), carbon – about 92 %, and sulfur – 0.63 %. The total content of the gold and silver was about 1000 g/t. The study of the main factors influence on the mercury distillation from waste coal sorbents was carried out with the samples pre-dried up to a constant weight by the thermogravimetric method. It is shown that the temperature increase and pressure reduction positive effect on the mercury distillation. For example, at 200 °C and 92.0 kPa the mercury content decreased only by 47.45 % in 20 minutes, and at 400 °C with the other same conditions the degree of mercury recovery reached 93.37 %. The cinders, obtained under reduced pressure (0.13 kPa) at temperature 400 °C in 15 minutes, contained 0.0004 % of mercury (4.1 mg/kg). This corresponds to the maximum permissible concentrations established by the European standards. The degree of mercury recovery amounted 99%.

Key words: mercury, coal, activated carbon, sorbent, gold cyanide leaching, vacuum distillation, temperature, distillation degree, ecology.

Поступила 15.04.2015

