

face wave oscillations was considered. Mold oscillation frequencies, which produce waves, and the frequency that increases wave height were defined.

Keywords: mold oscillation mechanism, physical modeling, wave oscillations, technical condition.

### УДК 669.21/23

**И.Ф. ЧЕРВОНЫЙ\***(д-р техн.наук, проф.), **Р.Н. ВОЛЯР\***(канд.техн.наук),  
**В.В. ХОМУТОВ\*\***(канд.техн.наук), **И.В. ХОМУТОВ\***,  
**В.Н. БРЕДИХИН\*\*\***(канд.техн.наук, ст.науч.сотр.),  
**Н.А. МАНЯК\*\*\***(д-р техн.наук, проф.)

\* Запорожская государственная инженерная академия, Запорожье

\*\* ООО «Донецкий кряж», Донецк

\*\*\*Донецкий национальный технический университет, Донецк

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД В РЕАКТОРЕ КОНУСНОГО ТИПА

Рассмотрена возможность извлечения тонкого золота из золотосодержащих руд месторождений Украины при выщелачивании их в реакторах конусного типа. Использование реактора конусного типа, для выщелачивания золота содержащего крупные частицы, позволяет избежать потери металла в виде не растворившихся частиц. Это позволит сосредоточить наиболее медленно растворяющиеся частицы золота в зоне самого мощного динамического потока выщелачивающего раствора расположенной в вершине конуса реактора. Установлены оптимальные параметры процесса выщелачивания золота в раствор в реакторе конусного типа: массовое соотношение жидкой и твердой фаз должно соответствовать 2:1, концентрация цианида в выщелачиваемом растворе на уровне 1,5 г/л, время процесса выщелачивания около 12 часов, разгрузка пульпы от выщелачивания с остатком около 20% материала в вершине конуса на повторный цикл переработки. Применение указанных параметров процесса выщелачивания позволяет извлекать золото в раствор на уровне 97 %.

Ключевые слова: золото, шлик, концентрат, выщелачивание, цианистый раствор, конусный реактор.

### Введение

В последние годы происходит значительное увеличение добычи благородных металлов, в частности золота. Это связано с тем, что золото является основным банковским металлом и является валютным резервом многих стран. Особенно актуальным этот вопрос является из-за нестабильности конвертируемых мировых валют, падением цен на ценные бумаги и последствий мирового финансового кризиса.

Золото в природі зустрічається, в основному, в самородному стані, головним образом в формі дрібних зерен, вкраплених в кварц або містяться в кварцевому піску. В невеликих кількостях золото зустрічається в сульфідних рудах заліза, свинцю і міді. Кларк золота становить  $5 \times 10^{-7}$  [1]. За все час існування людства було видобуто близько 161 тисяч тонн золота (оцінка на 2011 рік) [2]. Динаміка світового виробництва золота представлена на малюнку 1.

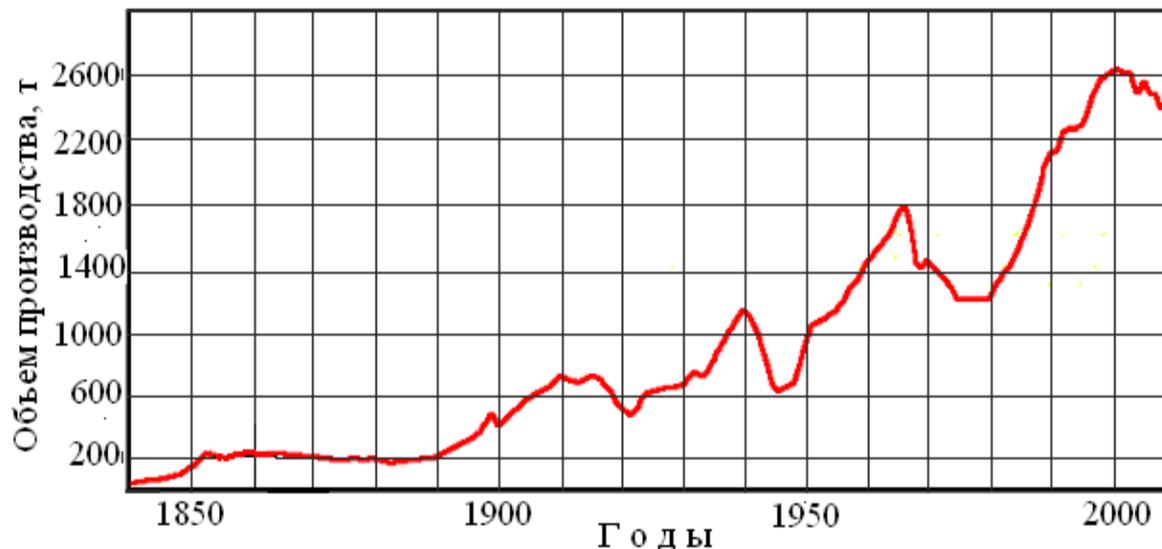


Рисунок 1 – Динаміка світового виробництва золота.

Світовий обсяг виробництва золота в 2010 році, згідно даним World Gold Council, становив 2659 тонн. Найбільші країни-виробники золота в 2010 році наведені на малюнку 2.

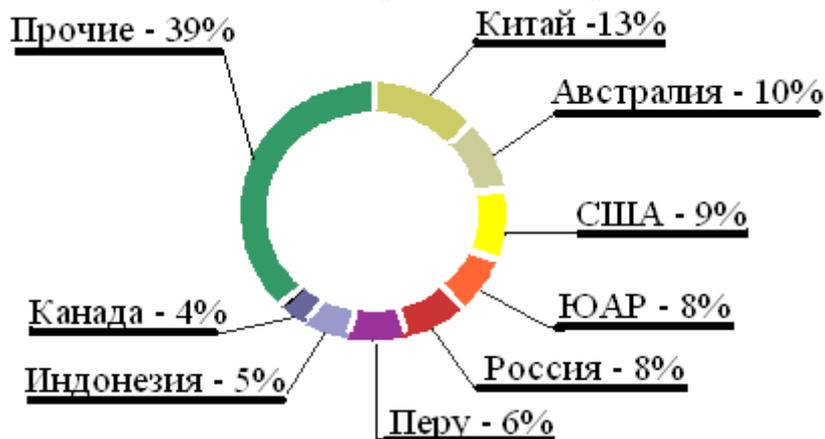


Рисунок 2 – Найбільші виробники золота.

В наші дні основним споживачем золота є ювелірна, електронна і інші галузі промисловості, малюнок 3.

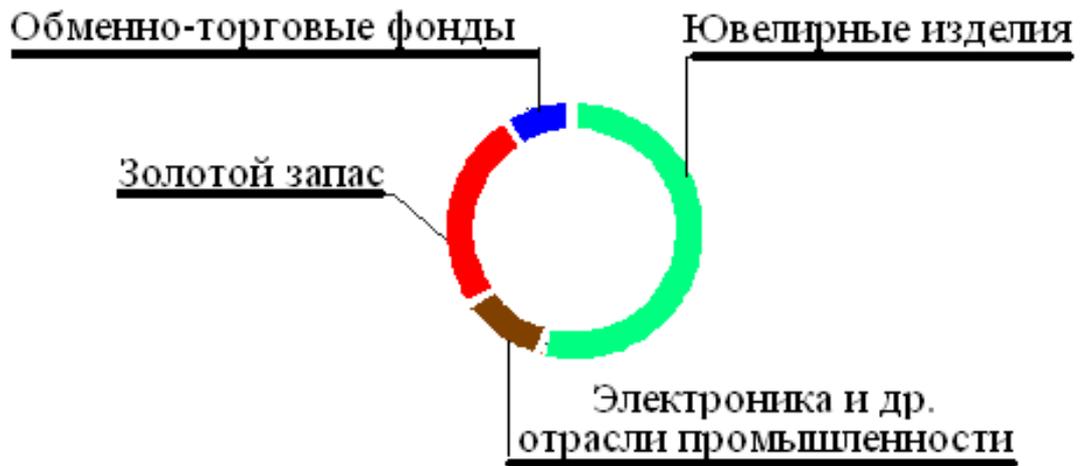


Рисунок 3 – Структура потребления золота в мире в 2010 году.

Прогнозные запасы золота в Украине весьма и весьма значительны. По некоторым оценкам они превышают 3000 т. Подавляющее количество золота содержится в рудах. Интерес, как источники добычи золота, могут также представлять россыпные месторождения и отвальные продукты некоторых действующих предприятий [3]. На рисунке 4 и в таблице 1 приведены разведанные и частично разведанные рудные месторождения золота Украины.



Рисунок 4 – Месторождения золота и рудопроявлений золота и платиноидов на территории Украины.

Таблица 1 – Рудные месторождения золота на территории Украины.

Месторождения	Содержание золота, г/т	Прогнозные запасы, т
Берегово-Мужиевское	4,5...15	25...30
Саулякское	5...10	-
Сергеевское	7...8	156
Балка Золотая	6,2	15...50
Балка Широкая	7,15	130
Майское	7,63	150
Клинцевское	6,4	52
Юрьевское (Южное)	8,29	145
Бобриковское	2...9	6...400 т
Сурожское	4...66	нет данных

В настоящее время самым распространённым процессом извлечения золота из руд и концентратов является цианирование. В основе этого процесса лежит селективное выщелачивание золота или другого благородного металла водными растворами щелочных цианидов: натрия, калия или кальция. Полученный раствор, содержащий растворенное золото, отправляют на переработку различными методами для получения товарного продукта высокого качества в виде сплава Доре в слитках. Полученный сплав отправляют на аффинажный завод для производства золота необходимой степени чистоты [4].

### **Цель работы**

Целью работы является установить оптимальные параметры процесса выщелачивания в реакторе конусного типа для максимального извлечения золота в раствор.

### **Основная часть исследований**

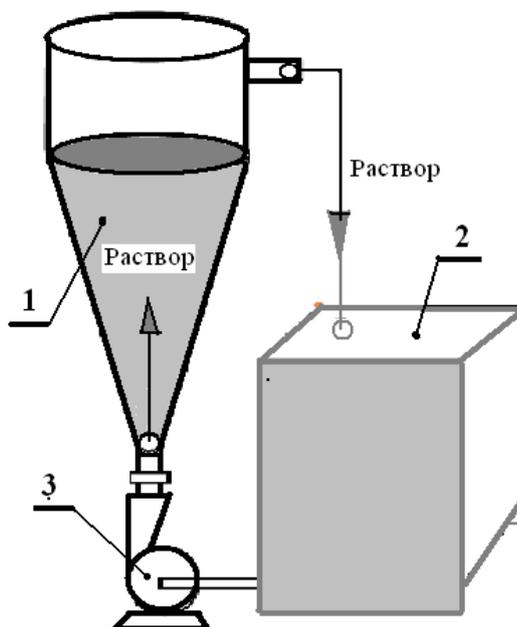
Исследования по определению оптимальных параметров процесса выщелачивания в реакторе конусного типа, проводили с использованием золотосодержащего сырья: концентраты и шлихи различного состава (окисленное, сульфидное, золото-мышьяковистое). Золото, которое содержится в сырье, обладает следующими свойствами:

- золото в гравитационных концентратах (шлих) содержится в свободном состоянии в виде частиц металла различной крупности и формы;
- повышение содержания золота в гравитационном концентрате при его получении из одного вида сырья, при прочих равных условиях, обусловлено увеличением доли содержания крупных частиц свободного металла и сопровождается потерями мелкого золота;

- ассоциированное с минералами золото в гравитационных концентратах имеет доступ и, при создании определённых условий, может быть переведено в раствор без дополнительного механического, химического или термического вскрытия.

Рассмотренные выше физические характеристики золота, которые затрудняют его выщелачивания из концентратов цианистыми или другими растворами, в традиционных аппаратах, при изменении технологических режимов могут быть использованы для интенсификации его растворения.

При проведении исследований по интенсификации процесса выщелачивания использовался способ “кипящего слоя” с изменяющейся скоростью восходящего потока выщелачивающих растворов в конусном реакторе с вершиной, направленной вниз (см. рис. 5).



1 – реактор конусного типа; 2 – бак; 3 – насос.

Рисунок 5 – Установка выщелачивания концентратов.

В таком реакторе конусного типа, изменяющийся по скорости, восходящий поток растворов обеспечивает разрыхление концентрата, сегрегацию частиц золота по крупности с размещением наиболее крупных частиц золота в вершине конуса, где наблюдаются самые высокие скорости потока растворов и, следовательно, наиболее интенсивное перемешивание. Для увеличения извлечения золота вместо традиционных насосов подающих раствор в реактор использовали аппараты интенсифицирующие растворение золота ультразвуком: роторно-турбулизационные или роторно-пульсационные.

Для извлечения золота в раствор на уровне 90...99 % необходимо подобрать оптимальные параметры процесса выщелачивания: массовое соотношение жидкой и твёрдой фаз, концентрация реагентов, время выщелачи-

вания, разгрузка пульпы от выщелачивания с остатком материала в вершине конуса на повторный цикл переработки.

Как указано выше крупные частицы золота, содержащиеся в гравитационных концентратах, при цианировании оседают на дне аппарата из-за сложности в поддержании указанных частиц во взвешенном состоянии, что приводит к снижению извлечения золота в раствор.

Для более полного извлечения золота и оптимального перешивления раствора в аппарате цианирования проводили исследования по определению массового соотношения жидкой и твёрдой фаз.

Повышение соотношения жидкой и твёрдой фаз (Ж:Т) в реакторе от 0,5:1 до 2:1 приводит к увеличению извлечения золота в раствор с 85 до 92 %. Дальнейшее разбавление пульпы Ж:Т до 4:1 даёт небольшой прирост извлечения золота в раствор на 1%, до 93 %, что не оказывает существенного влияния на процесс выщелачивания. Зависимость извлечения золота в раствор при выщелачивании от массового соотношения жидкой и твёрдой фаз (Ж:Т) показано на рисунке 6.

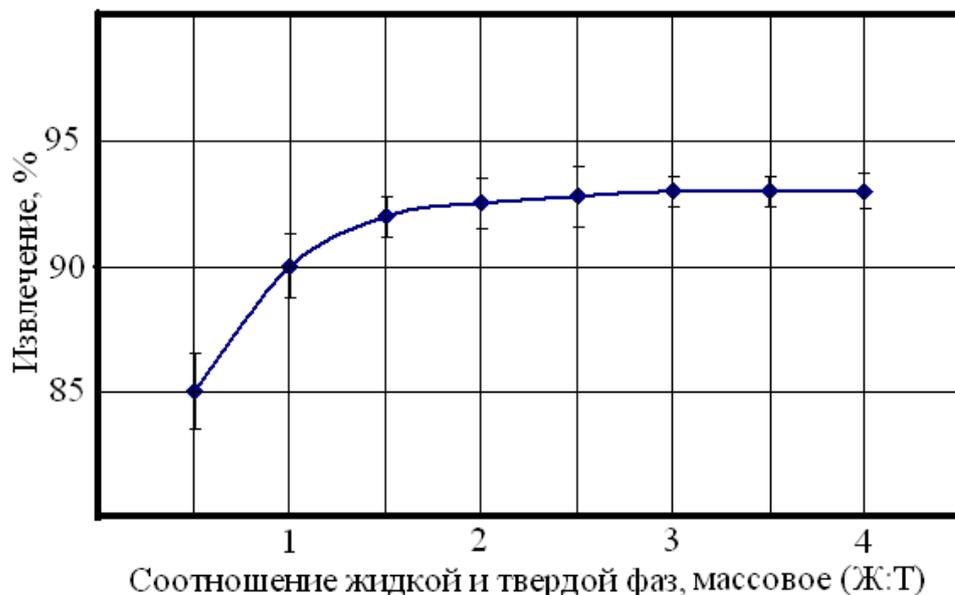


Рисунок 6 – Зависимость извлечения золота в раствор от массового соотношения жидкой и твёрдой фаз (концентрация:  $\text{NaCN}$  – 1 г/л,  $\text{CaO}$  – 0,25 г/л, время выщелачивания – 12 часов).

Проведённые исследования позволили установить оптимальное массовое соотношение жидкой и твёрдой фаз в реакторе равное 2:1, что увеличивает извлечение золота в раствор до 92 %. Это можно объяснить тем, что разжижение пульпы до указанного соотношения заметно снижает вязкость пульпы. Это в свою очередь положительно влияет на интенсивность её перемешивания и поддержание тяжёлых частиц во взвешенном состоянии и на скорость диффузионных процессов внутри системы «жидкое-твёрдое».

Помимо определения оптимального соотношения жидкой и твёрдой фаз для более полного извлечения золота необходимо подавать в реактор для выщелачивания заданное количество с необходимой концентрацией цианида в растворе. При малой концентрации цианида в растворе процесс выщелачивания и извлечения в раствор золота будет проходить не полностью или затягивать процесс во времени, что экономически не целесообразно.

Если увеличить концентрацию цианида в выщелачиваемом растворе извлечение золота увеличивается, но при этом возрастает цена реагентов и регенерации отработанных растворов, а так же вопрос загрязнения окружающей среды.

Исследования по определению оптимальной концентрации цианидов в выщелачиваемом растворе проводили, с изменением концентрации цианидов от 0,1 до 5 г/л при соотношении жидкой и твёрдой фаз в реакторе равном 2:1. Повышение концентрации цианида в выщелачиваемом растворе от 0,1 до 1,5 г/л приводит к резкому увеличению извлечения золота в раствор с 20 до 92 %. Дальнейшее повышение концентрации цианида в растворе до 5 г/л приводит к незначительному увеличению извлечения золота в раствор на 1...2 %, т.е. до 93...94 %, рисунок 7.

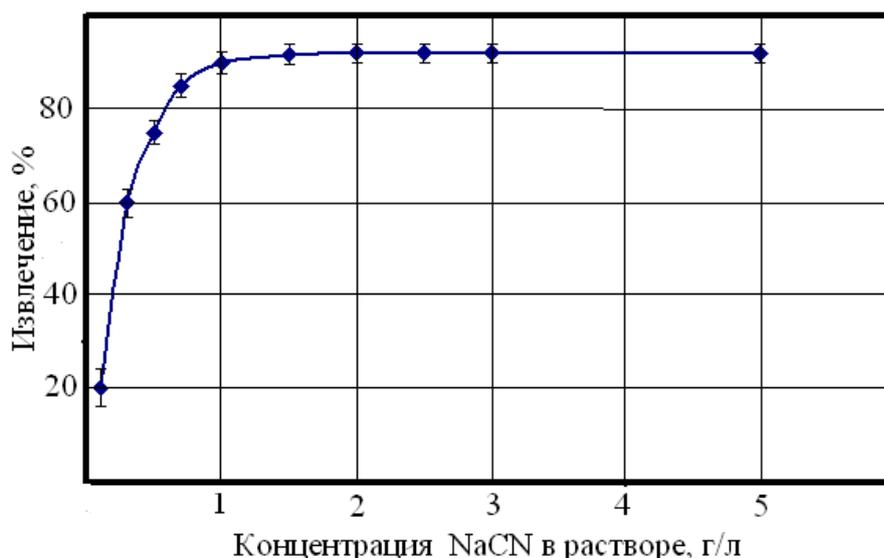


Рисунок 7– Зависимость извлечения золота в раствор от концентрации цианида, (время выщелачивания – 12 часов, Ж:Т = 2:1, СаО – 0,25 г/л).

Экспериментально полученную оптимальную концентрацию цианида в растворе на уровне 1,5 г/л можно объяснить тем, что в процессе выщелачивания золота, обязательным условием протекания реакции растворения является наличие кислорода в растворе. Известно, что растворимость кислорода в цианистых растворах не превышает 7...8,5 мг/л [3], то очевидно, что весь кислород, находящийся в растворе, который подводится к растворяющейся частице золота, будет полностью расходоваться при реакции

растворения. Дальнейшее повышение концентрации цианида в растворе существенного влияния не оказывает.

Продолжительность процесса выщелачивания, сказывается на производительности реактора.

Длительное пребывание пульпы в реакторе снижает его производительность, а ограниченное по время пребывание пульпы в реакторе приводит к снижению извлечения золота в раствор и снижению технико-экономических показателей работы реактора. В связи с этим после определения оптимальных параметров, массового соотношения жидкой и твёрдой фаз и концентрации цианида в растворе, проводили исследования по извлечению золота в раствор от времени процесса выщелачивания в реакторе конусного типа.

При продолжительности выщелачивания концентрата в интервале от 2 до 12 часов извлечение золота в раствор увеличивается с 60 до 95 %, дальнейшее продолжение выщелачивания до 24 часов существенного увеличения извлечения в раствор не наблюдается. При продолжительности выщелачивания 24 часа извлечение золота составляет около 98 %, что является достаточным для полного извлечения золота в раствор. Результаты исследований по изучению извлечения золота в раствор от времени выщелачивания представлены на рисунке 8.

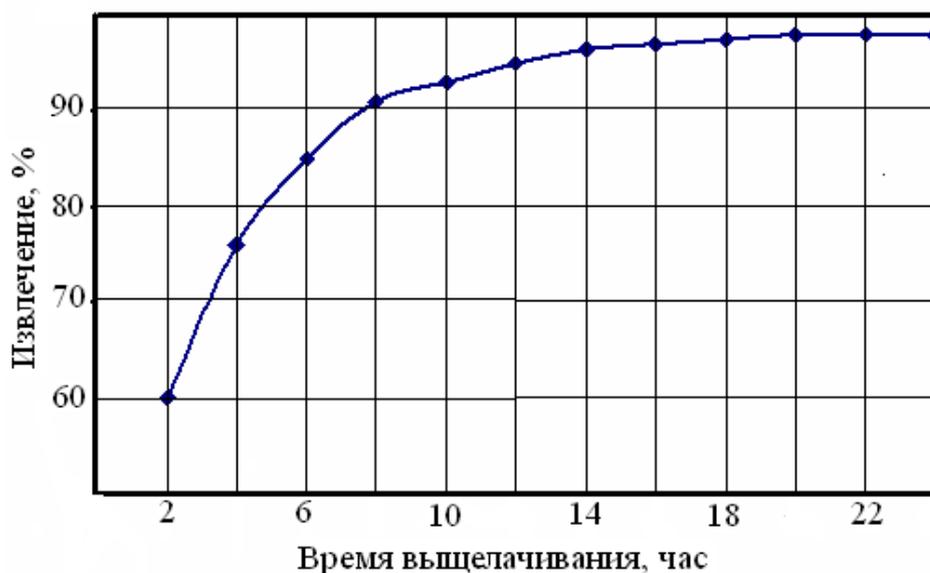


Рисунок 8 – Зависимость извлечения золота в раствор от времени выщелачивания (концентрация:  $\text{NaCN}$  – 1 г/л,  $\text{CaO}$  – 0,25 г/л, Ж:Т = 2:1).

Как отмечалось выше, крупные частицы золота при выщелачивании не успевают полностью растворяться и переходить в раствор, накапливаясь в нижней конусной части реактора. После окончания процесса выщелачивания пульпа полностью извлекается из реактора и отправляется в отвал. Для наиболее полного извлечения золота в раствор, проводили исследова-

ния с возвращением до 30% пульпы, которая остаётся в реакторе в вершине конуса, на повторный цикл выщелачивания.

Исследования показали, что извлечение золота в раствор существенно увеличивается с 82 до 97 %, при увеличении до 20 % остатков в конусе повторно перерабатываемого материала.

Результаты исследования извлечения золота от массы материала, оставляемого в вершине конуса реактора на повторный цикл выщелачивания показаны на рисунке 9.

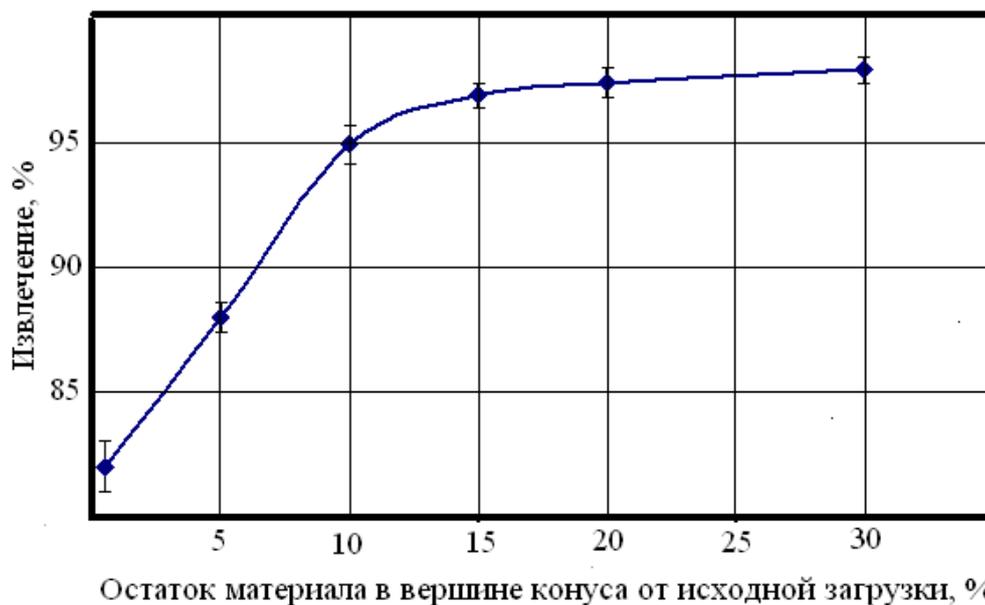


Рисунок 9 – Зависимость извлечения золота от массы материала, оставляемого в вершине конуса на повторный цикл выщелачивания (концентрация: NaCN – 1 г/л, CaO – 0,25 г/, Ж:Т = 2:1, время – 12 часов).

Это подтверждает, что крупные частицы золота при выщелачивании находятся в нижней части реактора у вершины конуса, где наблюдаются наиболее мощные потоки выщелачивающего раствора, которые способствуют интенсификации диффузионных процессов.

### Выводы

Использование реактора конусного типа для выщелачивания золота содержащего крупные частицы позволяет избежать потерь металла в виде не растворившихся частиц. Сосредоточить наиболее медленно растворяющиеся частицы золота в зоне самого динамического потока выщелачивающего раствора расположенной в вершине конуса реактора. Выполненные исследования позволили установить оптимальные параметры процесса выщелачивания золота в раствор в реакторе конусного типа. Массовое соотношение жидкой и твёрдой фаз должно соответствовать 2:1, концентрация цианида в выщелачиваемом растворе на уровне 1,5 г/л, время процесса выщелачивания около 12 часов, разгрузка пульпы от выщелачивания с

остатком около 20% материала в вершине конуса на повторный цикл переработки. Применение указанных параметров процесса выщелачивания позволяет извлекать золото в раствор на уровне 97 %.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Золотодобыча [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.goldomania.ru/menu\\_024.html](http://www.goldomania.ru/menu_024.html) – 25.11.2011. - Заголовок с экрана.
2. Рынок золота в 2010 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polyusgold.com/reportes/index-12.htm> – 25.11.2011. – Заголовок с экрана.
3. Единственное украинское золотодобывающее предприятие объявили банкротом и лишили лицензии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://revisor.od.ua/news/Edinstvennoe\\_v\\_Ukraine\\_predpriyatie\\_kotoroe\\_doby](http://revisor.od.ua/news/Edinstvennoe_v_Ukraine_predpriyatie_kotoroe_doby) – 25.11.2011. – Заголовок с экрана.
4. Гравитационное обогащение, цианирование и флотация золотосодержащих руд: ч. 3. / Лодейщиков В.В., гл. научный сотрудник ОАО «Иргиредмет», д.т.н., профессор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zolotodb.ru/news/10443> – 23.12.2011. – Заголовок с экрана.

Надійшла до редакції 16.05.2012

Рецензент канд. техн. наук, доц. Є.Л. Корзун

І.Ф. Червоний \*, Р.Н. Воляр \*, В.В. Хомутов\*\*, І.В. Хомутов \*, В.М. Бредихін \*\*\*, М.А. Маняк\*\*\*

\*Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя, \*\*ТОВ "Донецький кряж", Донецьк, \*\*\*Донецький національний технічний університет, Донецьк

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИЛУГОВУВАННЯ ЗОЛОТОВМІСНИХ РУД В РЕАКТОРІ КОНУСНОГО ТИПУ

Розглянуто можливість вилучення тонкого золота з золотовмісних руд родовищ України при вилуговуванні їх в реакторах конусного типу. Використання реактора конусного типу для вилуговування золота, яке містить великі частки, дозволяє уникнути втрат металу у вигляді не розчинених частинок і зосередити частки золота, які найбільш повільно розчинюються, в зоні динамічного потоку вилуговування, що розташована у вершині конуса реактора. Встановлені оптимальні параметри процесу вилуговування золота в розчин в реакторі конусного типу. Масове співвідношення рідкої і твердої фаз має відповідати 2:1, концентрація ціаніду в вилуговуючому розчині на рівні 1,5 г/л, час процесу вилуговування близько 12 годин, розвантаження пульпи від вилуговування з залишком близько 20% матеріалу у вершині конуса на повторний цикл переробки. Застосування зазначених параметрів процесу вилуговування дозволяє перевести золото в розчин на рівні 97%.

Ключові слова: золото, шліх, концентрат, вилуговування, ціаністий розчин, конусовий реактор.

I.F. Chervoniy \*, R.N. Volyar \*, V.V. Homutov \*\*, I.V. Homutov \*, V.M. Bredihin\*\*\*, M.O. Manyak \*\*\*

\* Zaporizhzhya State Engineering Academy, Zaporizhzhya, \*\*LLC "Donetskiy Kryazh", Donetsk, \*\*\*Donetsk National Technical University, Donetsk

#### PROCESS OF GOLD-BEARING ORES LEACHING IN A CONE TYPE REACTOR

We consider the possibility of extracting fine gold from gold-bearing ores in Ukraine by their leaching in a cone type reactor. The use of a conical reactor for leaching the gold containing large particles allows avoiding the loss of metal in the form of undissolved particles and allows concentrating the most slowly dissolving gold particles in leaching dynamic flow area located at the top of the reactor cone. The optimal parameters of the process of gold leaching into solution in a cone reactor are the following: mass ratio of liquid and solid phase must be 2:1, cyanide concentration in the leaching solution should be 1.5 g/l, the time of the leaching process is about 12 hours.

Keywords: gold, schlich, concentrate, leaching, cyanic solution, conical reactor.

**УДК 669.187.5:669.295:669.787**

**Ф.Л. ЛЕОХА (аспирант), С.Н. РАТИЕВ**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

## **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ СПЛАВОВ ТИТАНА ЛЕГИРОВАННЫХ КИСЛОРОДОМ**

Показана перспективность легирования титана кислородом и применения полученных сплавов. Проведен анализ современных процессов получения сплавов титана насыщенных кислородом. Приведены результаты исследований по легированию титана кислородом при переплаве в камерной электрошлаковой печи.

Ключевые слова: титан, кислород, легирование, сплав.

### **Введение**

Титан – металл, обладающий уникальным сочетанием механических, коррозионных и биологических свойств, является один из наиболее распространённых химических элементов по содержанию в земной коре (около 0,6%) [1]. Это обстоятельство позволяет расширить области его применения, выйти за рамки традиционного использования титана как легирующей добавки к сталям и получения пигментного диоксида титана.

Новые области применения титана – медицинская, строительная промышленность и производство товаров широкого потребления, связаны с применением сплавов титана. Следует отметить, что лишь около 5 % титанового сырья, которое сегодня добывается в мире, перерабатывается в металлический титан [2]. Несмотря на это сплавы титана, имеют важнейшее значение для многих отраслей промышленности (рис 1).

При этом следует отметить, что в основном находят применение не чистый титан, а его сплавы, так как они обладают прочностью в 4-5 раз превосходящей прочность йодидного титана.

Основными способами переработки титановой губки в слитки являются вакуумно-дуговой переплав (ВДП) и электронно-лучевая плавка (ЭЛП).