



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе  
и инновационной деятельности

Е.Ю. Семенов

«26» 04 2019 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации – ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет» на диссертацию  
Наумова Константина Дмитриевича  
«Теоретические и технологические основы осаждения золота из цианистых растворов крупнодисперсным цинком»

### **1. Актуальность темы диссертации**

Как известно, цианистое выщелачивание остается самым распространенным методом извлечения золота в отечественной и мировой практике переработки сырья, содержащего драгоценные металлы. Важнейшей стадией этой технологии является извлечение золота из продуктивных растворов. Чаще всего содержание благородных металлов в цианистых растворах не превышает несколько граммов в 1 м<sup>3</sup>. При этом, содержание примесных металлов (Cu, Zn, As) может превышать указанные значения в несколько раз. В меньшей степени в цианистых растворах присутствуют Pb, Sb, соли Ca, Mg. Указанные особенности резко ограничивают выбор эффективных методов переработки продуктивных растворов цианирования. Цементация является предпочтительным способом извлечения Au из продуктивных растворов. В связи с этим работы, направленные на совершенствование процессов цементации и снижение стоимости цементирующих металлов, являются актуальными.

#### *Структура и содержание работы*

Раздел «Введение» содержит краткое обоснование работы, характеристику научной новизны и практической значимости выполненного исследования, положений выносимых на защиту, а также данные об апробации результатов работы и личном вкладе автора.

В первой главе рассмотрены теоретические аспекты цементации золота из цианистых растворов цинковыми порошками. Показаны недостатки традиционного аппаратного подхода, который основан на фильтрации золотосодержащего раствора под давлением через слой освинцованного мелкодисперсного цинкового порошка: высокое гидравлическое сопротивление цементирующего слоя, что требует внесения инертной пористой добавки; низкая производительность

фильтров, обусловленная необходимостью поддержания малой толщины цементирующего слоя на фильтре; ограниченная длительность цикла цементации; низкое содержание золота в конечном цементате. Описаны известные методы электроэкстракции золота из цианистых растворов и их недостатки, связанные с высокой стоимостью катодов и сложностями в их переработки. На основе проведенного литературного обзора сформулированы основные направления исследования.

Вторая глава посвящена изучению кинетических и технологических аспектов цементации золота из цианистых растворов крупнодисперсным цинковым порошком, полученным электроэкстракцией из щелочного раствора («электролизный» порошок), и сравнению с показателями цементации порошком, применяемым в промышленности на золотоизвлекательных фабриках. Представлены результаты лабораторных испытаний цементации золота из цианистых золотосодержащих растворов с применением различных цинковых порошков. Изучено взаимное влияние параметров на степень извлечения золота.

В третьей главе исследован механизм совмещенного цементационного и электроэкстракционного осаждения золота с применением цинковых порошков в качестве объемного катода и возможность его реализации для извлечения золота из растворов с содержанием золота более  $50 \text{ мкмоль/дм}^3$ . Изучена динамика растворения цинка и осаждения золота при разных значениях потенциала. В качестве показателя, определяющего вклад электроэкстракции в общий процесс извлечения золота, выбрана концентрация цинка в исходящем маточном растворе.

Четвертая глава посвящена полупромышленным испытаниям цементации золота с применением электролизного цинкового порошка и полупромышленным испытаниям технологии электроцементации. Цементацию электролизным порошком выполняли в условиях участка выщелачивания концентратов на территории опытного предприятия ООО «СП Союз», Республика Казахстан. Полупромышленными испытаниями подтверждено, что применение данных порошков позволит отказаться от внесения в систему инертных пористых добавок. Полупромышленные испытания позволили установить расход электролизного порошка для цементации золота из цианистых растворов, который, при большей степени извлечения золота, оказался на 4-7% меньше, чем расход традиционной цинковой пыли.

## **2. Научная новизна диссертации**

1. Впервые изучены кинетические закономерности цементации золота из цианистых растворов с применением дендритного цинкового порошка, полученного электроэкстракцией. Обнаружено, что константа скорости реакции цементации, характеризующая динамику осаждения золота с

применением дендритных порошков, превосходит константу скорости, характерную для порошков, традиционно применяемых в практике цементации, в 1.3-1.6 раз.

2. Впервые обнаружено и объяснено меньшее гидравлическое сопротивление дендритных порошков по отношению к традиционным в условиях перколяционного осаждения золота из цианистых растворов.

3. Предложен механизм комбинированного химического и электрохимического осаждения золота из цианистых растворов на цинковый катод – электроцементация. Впервые установлено, что внешняя поляризация цинка в цианистых золотосодержащих средах сопровождается переосаждением цинка, что позволяет сократить расход цинка и увеличить интенсивность осаждения золота за счёт реализации процесса на высокоразвитой поверхности свежевосстановленного цинка.

4. Впервые установлен потенциал ( $\sim -1.16\text{В} - -1.2\text{В}$  (НВЭ)), достаточный для протекания механизма электроцементации из растворов с содержанием  $50\text{ мкмоль/дм}^3$  золота,  $0.04\text{ моль/дм}^3$  свободного цианида.

5. Установлено, что площадь активной поверхности объёмного цинкового электрода напрямую влияет на возможность реализации механизма электроцементации.

### **3. Практическая значимость работы**

1. Установлено, что гидравлическая проницаемость дендритного порошка без пористых добавок превышает пропускную способность традиционного порошка, смешанного с инертной пористой добавкой, на 25-30%. При длительном цикле цементации с применением дендритного порошка удаётся осадить золота больше, чем при цементации традиционным порошком при прочих равных условиях.

2. Предложен способ цементации золота в режиме кипящего слоя с механическим малоинтенсивным перемешиванием, показана эффективность его применения по отношению к растворам выщелачивания золотосодержащих концентратов. Выявлены степени влияния факторов: крупность частиц, интенсивность перемешивания, удельная скорость подачи раствора.

3. Разработана и обоснована технология электроцементационного осаждения золота с применением дисперсного цинкового катода в режимах кипящего слоя и перколяции.

4. Установлено, что принудительная катодная поляризация цинка от внешнего источника тока позволяет снизить удельные операционные затраты и повысить степень извлечения золота.

### **4. Достоверность и апробация результатов**

Достоверность проведенных исследований обеспечивается надёжностью исходных данных, применением стандартизированных

методик анализа, современных средств и методик проведения эксперимента, а также ответственным подходом автора к обработке экспериментальных данных. Результаты исследований подтверждаются их воспроизводимостью.

Результаты работы представлялись на четырех международных научно-технических конференциях. По теме диссертации опубликовано 4 работы в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК и индексируемых в базах Scopus, Web of Science, получено 3 патента РФ на изобретение.

## **5. Общая оценка диссертации, вопросы и замечания**

Диссертация изложена на 129 страницах машинописного текста, Оформление диссертации производит благоприятное впечатление, а графические и табличные материалы достаточно полно отражают полученные автором результаты. Диссертация состоит из 4 глав, заключения и 2 приложений. Список литературы включает 115 наименований, в том числе ссылки на современные отечественные и зарубежные публикации, специальную научно-техническую документацию, монографии, учебную и патентную литературу по объекту исследования.

Текст изложения диссертации – научный, технически грамотный. Все разделы работы логически связаны между собой, содержат выводы, по которым можно судить о завершенности раздела и решении задач на конкретном этапе исследования. Приведенные в работе рисунки и графики выполнены качественно и полноценно дополняют текстовую информацию. Автореферат отвечает основному содержанию работы, а поставленные в диссертации задачи решены в полном объеме.

По содержанию диссертации и автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. Какие примеси присутствуют в золотосодержащих растворах и их влияние на осаждение золота и расход крупнодисперсного цинка (см. стр. 20 текста диссертации)?
2. Наблюдается ли образование «белых шламов» при использовании дендритных порошков?
3. Возможно ли удаление операции освинцевания в связи с развитой поверхностью цинка (см. подраздел 3.3.1)?
4. В списке литературы имеются неточности по оформлению (место издания «Москва» - полностью, pages – полностью и др.).
5. В работе в главе 1 имеется много данных о способах получения цинка и дендритных порошков, которые носят ознакомительный характер.
6. В формулировках практической значимости желательно бы указать конкретные цифры рекомендуемых параметров.

Высказанные замечания носят частный, дискуссионный характер и не оказывают заметного негативного влияния на качество представленных результатов и не снижают общей научно-практической значимости представленной работы.

### 6. Заключение

Результаты теоретических и экспериментальных исследований Наумова К.Д. содержатся в 11 печатных работах, в том числе в 4 статьях в журналах из перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ, а также 3 патентах.

Диссертация Наумова К.Д. является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на современном научном уровне, содержит результаты, обладающие научной новизной и практической значимостью. Это позволяет считать, что диссертация Наумова К.Д. соответствует п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ от 24.09.2013г. (№ 842), а ее автор – Наумов Константин Дмитриевич – достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры металлургии цветных металлов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет». Присутствовало на заседании 11 чел., результаты голосования: «за» – 11, «против» – 0, «воздержались» – 0, протокол заседания № 14 от «18» апреля 2019 г.

Председатель заседания заведующая кафедрой  
металлургии цветных металлов,  
д.т.н., профессор

Немчинова  
Нина Владимировна

Секретарь заседания  
доцент кафедры металлургии  
цветных металлов,  
к.х.н., доцент

Кузьмина  
Марина Юрьевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83. e-mail: [kafmcm@istu.edu](mailto:kafmcm@istu.edu), тел: 8(3952) 40-51-16