



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ

КВАЛИТЕТ

Юридический адрес: 140000, М.О., г. Люберцы, Котельнический проезд, д. 4, лит. В, ком. 7
Почтовый адрес: 140000, М.О., г. Люберцы, а/я 2791 E-mail: qualitet2004@mail.ru
ОГРН 1027739383650 ИНН 7709048728 КПП 502701001 ОКПО 40065452
Тел: (495) 679-86-27, факс: (495) 679-86-31

Учёному секретарю диссертационного совета
Д 212.285.05 на базе ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»
А.В. Сулицину

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Наумова Константина Дмитриевича** по теме:
«Теоретические и технологические основы осаждения золота из цианистых растворов крупнодисперсным цинком», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – **Металлургия чёрных, цветных и редких металлов**

Тема диссертации весьма актуальна, поскольку цианирование занимает особое место в золотодобывающей промышленности. Данный способ основан на способности золота, а также серебра, растворяться в слабых растворах щелочных цианидов по реакции:



Относительная селективность растворителя, удачное сочетание процессов растворения и осаждения драгоценных металлов из цианистых растворов (цементация цинковой пылью, сорбция на ионообменных смолах и активированных углях и др.), простота аппаратного оформления и другие преимущества цианирования делают его весьма эффективным и производительным. Цианидный метод применяется при переработке 90-95 % руд в мире, а доля металла, извлекаемого посредством цианирования, составляет 80-85 %.

Наиболее распространёнными методами извлечения золота из растворов цианидного выщелачивания являются: цементация более электроотрицательными металлами (цинком, алюминием), сорбция (синтетическими смолами или активированными углями) и электроэкстракция.

При этом с начала развития цианистого процесса и до последнего времени основным и, практически единственным, методом осаждения драгоценных металлов из цианистых растворов остаётся цементация цинком. В настоящее время этот метод сохраняет ведущее место в практике золотоизвлекательной промышленности.

Металлический цинк легко вытесняет драгоценные металлы из цианистых растворов:



Теоретический расход цинка на осаждение золота по реакции составляет 0,19 г на 1 г Au. Практически же, вследствие окисления цинка по побочным реакциям, его расход в десятки раз выше.

Для ускорения цементации используют все методы, способствующие возрастанию скорости диффузии – увеличение катодной поверхности, интенсивное перемешивание, повышение температуры. На практике для повышения скорости осаждения широко используют прием, заключающийся в увеличении катодной поверхности предварительным освинцовыванием металлического цинка. Для этого металлический цинк обрабатывают раствором какой-либо растворимой соли свинца (уксусно- или азотнокислой). На поверхности цинка образуется рыхлый губчатый осадок металлического свинца, имеющий очень большую удельную поверхность. Применение такого освинцованного цинка значительно ускоряет процесс осаждения. Очевидно также, что повышению катодной поверхности способствует применение металлического цинка в виде тонкодисперсного порошка (пыли).

Вместе с тем, традиционный аппаратный подход, основанный на фильтрации золотосодержащего раствора под давлением через слой освинцованного мелкодисперсного цинкового порошка имеет ряд серьёзных недостатков. К основным из них относятся: высокое гидравлическое сопротивление цементационного слоя, требующее введения инертной пористой добавки; низкая производительность процессов цементации и фильтрации; пониженное содержание золота в конечном цементате и др.

Альтернативный способ выделения золота из цианистых растворов включает электроэкстракцию на основе применения электродов с высокоразвитой поверхностью. Применительно к цианистым растворам с содержанием золота более 50 мг/дм³ изучены особенности электроэкстракции золота на объёмные катоды из графитовых нитевидных материалов. К недостаткам этого способа относятся высокая стоимость катодов и сложность их переработки.

Одним из направлений совершенствования процессов цементации являются: разработка условий использования более дешевых цементирующих металлов и дисперсных систем на их основе; снижение удельных расходов; получение более кондиционных цементных осадков. Снижение стоимости цементирующих металлов, например, может быть достигнуто применением дендритных цинковых порошков,

полученных путём электроэкстракции цинка из щелочных растворов выщелачивания цинксодержащих пылей сталеплавильных агрегатов.

Вместе с тем, публикаций, отражающих результаты исследования закономерностей цементации золота с применением дендритных цинковых порошков, не выявлено. Также отсутствуют публикации, касающиеся возможности совмещения цементационного и электроэкстракционного способов осаждения золота из цианистых растворов при исполнении объёмного катода из дисперсного цинка.

Целью диссертационной работы являлась разработка научно обоснованных подходов восстановления золота из цианистых растворов, основанных на цементации с применением дендритных порошков и на комбинированном химическом и электрохимическом осаждении с применением объёмного катода из дисперсного цинка.

Полученные в работе результаты исследований свидетельствуют о принципиальной технической возможности использования крупнодисперсных дендритных цинковых порошков для извлечения золота из цианистых растворов методами традиционной цементации и цементации, совмещенной с электроэкстракцией.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Изучены физико-химические свойства цинковых порошков, полученных электроэкстракцией из щелочных растворов. Показано, что электролитические порошки обладают дендритной формой и, как следствие, в 1,3-2,6 раз имеют бóльшую удельную площадь поверхности, чем традиционные порошки, применяемые в настоящее время для цементации золота.
2. Физические особенности дендритного порошка обуславливают его низкое гидродинамическое сопротивление, что позволяет использовать данный порошок без добавления пористого инертного наполнителя.
3. Развитая поверхность дендритных порошков положительно сказывается на скорости цементации. Константа скорости реакции при относительном расходе цинкового порошка 100, 200, 300 г(Zn)/г(Au), с⁻¹: для традиционного 0,016, 0,035, 0,053; для электролитного 0,026, 0,045, 0,070. Экспериментальный порядок реакции для обоих порошков равен 1.
4. Выявлены эффективные значения факторов при цементации в кипящем слое с применением дендритных порошков: размер частиц ~39 мкм, скорость перемешивания ~10 мин⁻¹, удельная скорость подачи раствора ~1,7 м³/(час·м²). Степень воздействия перечисленных факторов на полноту осаждения золота уменьшается в следующем порядке: «удельный расход раствора - крупность порошка - скорость перемешивания».

5. Электрохимическая поляризация цинка в цианистом растворе с содержанием $50,8 \text{ мкмоль/дм}^3$ золота, $0,04 \text{ моль/дм}^3$ свободного цианида ($\text{pH} \sim 11 \text{ ед.}$) не препятствует его окислению по реакции растворения и/или реакции цементации. При этом цинк из раствора восстанавливается. При значениях потенциала в интервале $-1,16 \text{ В} - -1,2 \text{ В}$ (НВЭ) переход цинка в раствор исключается.
6. Образование свежевосстановленного цинка при катодной поляризации цементирующего элемента увеличивает степень извлечения золота. Сопутствующее восстановление водорода ведёт к увеличению пористости цинкового осадка. Наличие пористого свежесосаждённого цинка увеличивает скорость осаждения золота в 1,5 раза.
7. Предложен механизм электроцементации, реализующийся при катодной поляризации объёмного цинкового катода. Применительно к отдельному микрообъёму порошка механизм включает чередующиеся и одновременные стадии: цементации, смены потенциала по причине изменения физико-химического состояния частицы, восстановления цинка и золота за счёт электронов от внешнего источника тока, смены потенциала, цементации на свежевосстановленном цинке.
8. Большая ($1,5-3 \text{ м}^2/\text{г}$) удельная площадь активной поверхности дисперсного цинкового катода, характерная для дендритных порошков, усложняет реализацию механизма электроцементации. Снижение удельной поверхности увеличивает количество зон, характеризующихся потенциалом, достаточным для восстановления цинка.
9. Исполнение объёмного катода из цинкового порошка, полученного распылением расплава (удельная площадь поверхности $0,04 \text{ м}^2/\text{г}$), позволяет реализовать преимущества электроцементации. Количество осаждённого золота, по сравнению с электролизным порошком увеличивается в 1,2-1,3 раза, концентрация цинка в маточном растворе снижается в 6-7 раз.
10. Полупромышленные испытания дендритных порошков подтвердили их преимущества относительно мелкодисперсных порошков, применяемых для цементации золота на золотоизвлекательных фабриках. Электролизный порошок при одинаковой массе осаждаёт на 5-10 % отн. больше золота, чем традиционный. Расход электролизного порошка при большей степени извлечения золота меньше, чем традиционного на 4-7 % отн. При этом не требуется внесение в систему инертных пористых добавок для улучшения фильтруемости цементирующего слоя.
11. Полупромышленные испытания показали, что наложение катодного потенциала на объёмный цинковый электрод из смеси цинковых гранул и традиционного мелкодисперсного цинкового порошка обеспечивает прирост извлечения золота на 12,3 % отн. Это подтвердило перспективность способа электроцементации для технологии осаждения золота из цианистых растворов.

Для оптимизации предлагаемого способа электроцементации представляется целесообразным проработать рациональную конструкцию гидропроницаемого объёмного катода на основе использования смеси традиционного цинкового порошка и цинковых гранул.

Работа представляет собой законченный научный труд, теоретические положения которого можно рассматривать как новое достижение в развитии технологии извлечения золота из растворов цианидного выщелачивания. Полученные результаты свидетельствуют о решении важной научной проблемы, имеющей, в первую очередь, прикладную направленность.

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. Основные результаты работы представлялись на 4-х международных научно-технических конференциях.

По автореферату имеются следующие вопросы и замечания.

1. Техническая осуществимость и перспективность способа электроцементации золота из цианистых растворов на основе применения цинковых порошков диссертантом убедительно доказана. Вместе с тем, стоимость цинковых порошков, независимо от технологии их производства, достаточно высока. Известны ли диссертанту какие-нибудь более прогрессивные альтернативы электроцементации золота, не требующие применения дорогостоящего цинка? Например, применение объёмного катода на основе порошков инертных материалов.

2. Во второй главе (на стр. 13) диссертант сделал вывод о том, что оптимальные значения факторов, определяющих извлечение золота, составляют: размер частиц порошка ~ 39 мкм, скорость перемешивания ~ 10 мин⁻¹, удельная скорость подачи раствора $\sim 1,7$ м³/(ч·м²). Однако, как показывает анализ уравнения регрессии, приведённой на стр. 12 и рис. 7 (стр. 13) зависимость извлечения золота от параметров PS и SFR имеет монотонный характер. Следовательно, говорить в данном случае об оптимальных значениях данных параметров в исследуемых диапазонах не вполне уместно. В частности, при фиксированных значениях SR и SFR (10 мин⁻¹ и 1,7 м³/(ч·м²), соответственно) при различных значениях PS (в диапазоне 35-45 мкм) модель (на стр. 12) даёт следующие значения извлечения золота ($E_{x_{Au}}$): при PS = 35 мкм – 96,67 %; при PS = 39 мкм – 96,26 %; при PS = 45 мкм – 95,61 %. На основании каких материалов сделан вывод о том, что значения PS = 39 мкм и SFR = 1,7 м³/(ч·м²) являются оптимальными?

3. На стр. 18 говорится о том, что «распылённый» порошок за счёт большого размера частиц (56 мкм) «не создаёт гидравлического сопротивления». Формулировка не совсем корректна. Правильнее сказать, что «распылённый» порошок создаёт меньшее гидравлическое сопротивление. Здесь же сообщается, что «количество металлического цинка» в порошке – 95,3 %. Вероятно это опечатка: следует понимать не «количество», а «содержание» металлического цинка?

Вместе с тем, высказанные замечания не снижают высокой научной и практической значимости выполненной работы.

Благоприятное впечатление оставляет использование автором диссертации современных методов моделирования на основе пакетов современных прикладных компьютерных программ, а также глубокий анализ результатов и квалифицированный стиль изложения материала.

Особого внимания и высокой оценки заслуживает научный и технический уровень проведения лабораторного эксперимента, описание которого приведено во 2-й и 3-й главах автореферата. Автор диссертации продумал и создал уникальную установку для изучения возможностей электроцементации с объёмными катодами из дисперсного цинка в режимах кипящего слоя и перколяции.

По содержанию, качеству и уровню проработки научных и практических вопросов диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней к кандидатским диссертациям, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Автор диссертации **Наумов Константин Дмитриевич** вполне заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – **Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.**

Заместитель Директора
ООО НПП «КВАЛИТЕТ»
по металлургии и обогащению, к.т.н.

27.05.2019

Нафталя Михаил
Нафтольевич

Подпись Нафталя Михаила Нафтольевича заверяю.
Начальник Отдела кадров ООО «НПП КВАЛИТЕТ»



Гимаева Г.