

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук  
**Блохина Александра Андреевича** на диссертационную работу Гордеева  
Даниила Валерьевича на тему: «Разработка технологии автоклавной  
переработки углистых золотосульфидных концентратов с использованием  
дополнительного реагента-окислителя», представленную на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.2  
Металлургия черных, цветных и редких металлов

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В связи с постепенным истощением относительно легко перерабатываемых золотосодержащих руд, поддающихся прямому цианированию, все большее значение в сырьевой базе золота начинают приобретать т.н. упорные руды, в которых золото находится в тонкодисперсном состоянии в виде твердого раствора в пороодообразующих сульфидных и арсеносульфидных минералах, что делает его недоступным для воздействия раствора цианида натрия, традиционно используемого для выщелачивания золота. Добиться приемлемого выщелачивания золота из подобных руд и концентратов можно только после разрушения пороодообразующих минералов и, таким образом, обнажения поверхности частиц золота. Среди известных методов подготовки сульфидных руд к выщелачиванию золота наиболее эффективным следует признать чисто гидromеталлургический метод, заключающийся в их окислении кислородом в водной среде при повышенных температурах и давлениях, получивший название автоклавного окисления (ПОХ - Pressure oxidation). При реализации этого метода происходит окисление и переход в раствор пороодообразующих соединений, а ассоциированное с сульфидами и арсеносульфидами золото освобождается от изолирующей его оболочки и становится доступным для выщелачивания цианидным раствором. Но неприятности на этом не заканчиваются. В состав многих золотосодержащих руд входит природное углеродистое вещество, которое способно сорбировать растворенное золото, что снижает извлечение последнего. Это хорошо известное явление прег-роббинга. На стадии цианирования отрицательное действие прег-роббинга на извлечение золота можно в значительной степени нивелировать путем проведения цианирования в присутствии сорбентов, более эффективно сорбирующих золото из цианидных растворов, чем природное углеродистое вещество – способ сорбционного выщелачивания. Но эффект прег-роббинга может проявляться и на стадии автоклавного разложения концентратов упорных руд, если в растворах присутствует хлорид-ион, источником которого могут являться вода, а также сами рудные концентраты. При этом в процессе автоклавного разложения основы золото частично окисляется и переходит в жидкую фазу в виде хлоридных комплексов, которые сорбируются природным углеродистым веществом. В дальнейшем в процессе цианирования эта часть золота не выщелачивается, и, таким образом, теряется с твердым остатком после цианирования. Это явление называют автоклавным прег-роббингом, а сульфидные руды, золото в которых находится в составе пороодообразующих минералов, одновременно содержащие природное углеродистое вещество, называют дважды упорными рудами. Устранить или, по крайней мере, уменьшить отрицательное влияние

ОТЗЫВ

ВХ. № 9-569 от 13.12.24  
АУ УС

автоклавного прег-роббинга на последующее извлечение золота можно путем снижения содержания в рудных концентратах сорбционно-активного углерода или его пассивации путем полного или частичного окисления углеродистого вещества. Добиться заметного окисления углерода, в принципе, можно путем увеличения температуры и/или продолжительности автоклавного разложения, однако при этом снижается производительность процесса из-за увеличения времени нахождения материала в автоклаве и растут энергетические затраты. Альтернативным способом может явиться проведение автоклавного разложения рудных концентратов при добавлении в систему дополнительного окислителя. В связи с этим тема диссертационной работы Гордеева Д. В, посвященной изучению влияния добавок азотной кислоты как дополнительного окислителя в процессе автоклавного разложения углистых золотосульфидных концентратов на последующее извлечение золота, разработке усовершенствованного процесса автоклавного разложения концентратов и его опробованию в условиях опытного производства, является весьма **актуальной**.

### **Общая характеристика диссертационной работы и научные результаты**

Представленная диссертация состоит из введения, пяти глав текста выводами по каждой из них, основных выводов по работе, списка цитируемой литературы, включающего 159 наименований, и двух приложений. Она изложена на 137 страницах машинного текста, содержит 50 таблиц и 53 рисунка.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, освещена степень разработанности данной проблемы в научной литературе, изложены цель и задачи исследования, приведена информация о структуре работы, сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, а также выносимые на защиту основные положения

В аналитическом обзоре рассмотрены современное состояние золотодобывающей отрасли, технологии переработки упорных золотосульфидных руд, особое внимание уделено дважды упорным углистым золотосульфидным рудам: приведены литературные данные о формах нахождения в подобных рудах золота, сведения о составе и свойствах содержащегося в них природного углерода органического происхождения, обсуждены известные способы переработки дважды упорных руд, сделан вывод о возможности снижения потерь золота вследствие автоклавного прег-роббинга путем введения в процесс автоклавного окисления дополнительного окислителя, а именно, азотную кислоты. Сформулировано основное направление исследований.

Во второй главе приведено подробное описание объектов исследования, материалов и реактивов, использованных в работе методик проведения экспериментов и аппаратуры.

Далее в диссертации представлены полученные в работе экспериментальные данные и проведено их обсуждение.

Третья глава посвящена детальному исследованию влияния добавок азотной кислоты в процессе автоклавного разложения образцов концентратов дважды упорных золотосульфидных руд различных месторождений, вначале

двух, а в дальнейших еще и других, всего 10 образцов, на последующее извлечение золота. Установлена взаимосвязь между содержанием органического углерода в рудных концентратах и полнотой последующего извлечения золота. Определены оптимальные условия процесса. Доказано положительное влияние добавок азотной кислоты при автоклавном разложении рудных концентратов на последующее извлечение золота.

В четвертой главе приведено описание результатов пилотных испытаний технологии автоклавного окисления концентратов дважды упорных руд с добавкой азотной кислоты, проведенных на автоклавной пилотной установке в опытном цехе АО «Покровский рудник», подтвердившие результаты лабораторных исследований и позволившие уточнить параметры процесса, в частности, определить место ввода азотной кислоты в автоклав.

В пятую главу входит аппаратурно-технологическая схема процесса, ее описание и расчет ожидаемого экономического эффекта от внедрения предложенной технологии за счет повышения извлечения золота с учетом затрат на азотную кислоту и установку дополнительного оборудования.

В приложениях приведены акт об использовании результатов диссертационной работы и зачетный титульный лист патента на изобретение.

### **Научная новизна**

В самом общем виде предметом научной новизны работы является предложение автора с целью устранения отрицательного влияния автоклавного прег-роббинга проводить автоклавное разложение концентратов дважды упорных золотосульфидных руд при добавлении дополнительного окислителя – азотной кислоты, и результаты исследований, подтверждающие обоснованность этого предложения.

Безусловно, новыми являются:

- систематические данные о влиянии дозировки азотной кислоты, температуры и продолжительности процесса автоклавного разложения концентратов в присутствии азотной кислоты на полноту последующего извлечения золота;

- сравнительные данные о влиянии концентрации хлорид-иона в жидкой части пульпы автоклавного окисления в отсутствии и присутствии добавки азотной кислоты на извлечение золота;

- результаты исследования влияния перманганата калия и бихромата натрия как дополнительных окислителей при автоклавном разложении концентратов на извлечение золота;

- данные, подтверждающие взаимосвязь между содержанием органического углерода в рудных концентратах и полнотой последующего извлечения золота.

Новизна одного из предложенных в ходе выполнения диссертационной работы технических решений подтверждена патентом на изобретение.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Работа имеет выраженную практическую направленность. Все эксперименты проведены на реальных образцах рудных концентратов различных месторождений, различающихся по составу. Основным итогом выполненной работы, предопределяющим ее теоретическую и практическую значимость,

является разработка теоретически обоснованного процесса подготовки концентратов дважды упорных руд путем проведения их автоклавного разложения в присутствии добавки азотной кислоты на завершающей стадии автоклавного процесса, что позволяет существенно повысить полноту извлечения золота, и результаты его проверки в условиях опытного производства в АО «Покровский рудник».

**Достоверность полученных результатов** подтверждается большим объемом проведенных весьма трудоемких исследований и полученных экспериментальных данных, использованием надежных классических и современных методов исследований, хорошей сходимостью результатов, полученных в ходе проведения лабораторных исследований, и результатов, полученных в ходе проведения пилотных испытаний в АО «Покровский рудник».

Кроме того, результаты работы были обсуждены на 5 международных конференциях.

Автореферат и опубликованные работы **в полной мере отражают содержание диссертационной работы.**

Сделанные по работе выводы вполне **обоснованы.**

Положения, выносимые на защиту, **соответствуют содержанию диссертации.**

Содержание диссертационной работы **соответствует паспорту научной специальности 2.6.2 - Metallургия черных, цветных и редких металлов**

#### **Рекомендации по использованию результатов**

Результаты рассмотренной диссертационной работы могут представить интерес для ряда вузов, научно-исследовательских и производственных организаций. С ними следует ознакомить Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Институт тонких химических технологий имени М.В. Ломоносова (в составе Российского технологического университета МИРЭА), Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Сибирский федеральный университет, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Технический университет УГМК, АО «Иргиредмет», АО «Полиметалл», ПАО «Полюс», АО «Южуралзолото ГК», ООО «Атлас Майнинг».

#### **Замечания и вопросы по работе**

1. Касается аналитического обзора. При описании различных способов повышения извлечения золота при переработке упорных руд автор упоминает способ, названный им технологией NiTeCC ( п.1.4.5, стр. 33–34), высоко оценил его эффективность, однако забыл привести сведения о том, в чем суть этого способа

2. Не уравнено уравнение реакции 19 (стр. 41). Кроме того, почему-то при записи уравнений реакций и в тексте диссертации, и в автореферате обозначения участвующих в реакциях простых ионов заключены в квадратные скобки (например, уравнения реакций 1 и 2 в автореферате).

3. В большинстве представленных в диссертации таблиц автор приводит в первых столбцах наименование шифров проб, что совершенно излишне и не несет никакой информации. Это чисто рабочие обозначения.

4. При обозначении действия вводимой в автоклав азотной кислоты автором выбран термин «переокисление». Наверное, более уместным было бы использовать термин «доокисление».

5. При изучении влияния температуры внутри автоклава, при которой в автоклав вводилась азотная кислота, на последующее извлечение золота (раздел 3.1.1, почему-то названный автором как «Влияние температуры добавки азотной кислоты»), было зафиксировано резкое снижение извлечения золота, даже по сравнению с тем, которое достигалось в отсутствие азотной кислоты (более чем на 40 %), при температуре в автоклаве 160 °С. Следовало попытаться найти объяснение этого достаточно неожиданного эффекта.

6. Полнота извлечения золота в ходе проведения экспериментов оценивалась по результатам анализа твердого остатка после цианирования на содержание золота. Между тем, при автоклавном разложении концентратов, тем более в присутствии азотной кислоты, введение которой предотвращает сорбцию золота углистым веществом, в присутствии хлорид-иона часть золота должна оставаться в растворенном состоянии и может теряться при последующем отделении автоклавного раствора от твердого остатка. Используемый в работе метод оценки полноты извлечения золота по результатам анализа твердого остатка после цианирования на содержание золота не учитывает возможные потери золота на предыдущей стадии. Возникает вопрос, проводился ли анализ на золото растворов после автоклавного разложения концентратов и отделения их от твердого остатка.

7. Публикации под №№ 1 и 2, приведенные в автореферате, вряд ли стоило включать в список опубликованных по теме диссертации работ. В то же время в этот список автор почему-то не поместил опубликованные материалы конференций, в которых он принял участие.

8. В тексте диссертации встречаются опечатки, описки и несогласованные предложения. Например, рис. 8 (стр. 30), на котором приведена зависимость достигаемой степени извлечения золота от рН пульпы при предварительном хлорировании концентрата, автор озаглавил как «График зависимости рН процесса предварительного хлорирования от степени конечного извлечения золота»

Высказанные замечания не затрагивают существа диссертационной работы, выполненной на высоком уровне, и не влияют на ее **общую положительную оценку**

### Заключение

Считаю, что по актуальности, содержанию, глубине проработки, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа Гордеева Д.В. на тему: «Разработка технологии автоклавной переработки углистых золотосульфидных концентратов с использованием дополнительного реагента-окислителя», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 Metallургия черных, цветных и редких металлов, **полностью отвечает** требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм., а ее автор – *Гордеев Даниил Валерьевич* – **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2. Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой химической технологии редких элементов  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический  
институт (технический университет)», профессор, доктор технических наук



Блохин Александр Андреевич

13.12.2024

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский государственный технологический  
институт (технический университет)». Адрес: 190013, Россия, Санкт-Петербург,  
Московский проспект, дом 24-26/49 литера А.

Официальный адрес в сети Интернет: <https://spbti.ru>.

Телефон: +7(812) 494-92-56, E-mail: [blokhin@spbti.ru](mailto:blokhin@spbti.ru).

Подпись *Блохин Александр Андреевич*  
*Блохин*  
Начальник отдела кадров *Р. Ширеева И.В.*

