

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию

Серебрякова Максима Александровича

**«Разработка гидрометаллургической технологии переработки некондиционных медных концентратов обогащения медистых песчаников»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 — металлургия черных, цветных и редких металлов

**Актуальность работы.** В настоящее время медная промышленность России преимущественно базируется на сульфидных полиметаллических месторождениях Норильского рудного района. Несмотря на очевидные преимущества подобной ситуации, связанные с унификацией технологических и аппаратурных решений и крупными запасами медно-никелевых руд, в долгосрочной перспективе необходимо вовлечение в переработку иных типов медного сырья, в первую очередь, медистых песчаников, которые широко представлены на геолого-промышленной карте РФ. Традиционные методы их переработки характеризуются получением в обогатительном цикле, наряду с кондиционными, отвальных низкомедистых концентратов, последующая переработка которых пирометаллургическими приемами затруднительна. Потенциально более высокие экономические и технологические показатели при переработке медистых песчаников могут быть получены при более широком использовании гидрометаллургии.

В перспективе с учетом усиливающихся тенденций к ухудшению качества рудного медного сырья автоклавное выщелачивание в сочетании с предварительным механическим обогащением станет необходимым технологическим элементом эффективной комплексной переработки такого сырья. Эту точку зрения разделяет и автор диссертационной работы, посвященной разработке автоклавной аммиачной технологии переработки некондиционного медного концентрата обогащения медистых песчаников, что обеспечит комплексное использование сырья с получением качественного медного концентрата.

Работа была выполнена в Санкт-Петербургском горном университете на кафедре металлургии. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы из 102 наименований; изложена на 131 странице машинописного текста, содержит 55 рисунков и 39 таблиц.

№ 454-10  
от 28.11.2018

**Научная новизна и практическая значимость работы.** Для проведения подробного критического анализа современного состояния минерально-сырьевой базы и технологий извлечения меди автор использует данные многочисленных литературных и патентных источников. При этом его интересует не только особенности отечественной медной базы, но и характерные отличия и общность медных производств СНГ. Учитывая отсутствие крупных российских предприятий, перерабатывающих в настоящее время медистые песчаники, автор обращается к опыту Жезказганской обогатительной фабрики (ЖОФ). Выбор ЖОФ обоснован также тем, что в настоящий момент российская промышленность обеспечена лишь на 70% собственными медными концентратами и активно импортирует их из ближнего зарубежья, в т.ч. из Казахстана. Рассматривая ЖОФ как модельный объект, он подробно анализирует особенности технологической схемы и перспективы модернизации, учитывая ежегодное накопление сбросного низкомедистого концентрата в объеме 400 тыс.т. Особое внимание автор уделяет сложившейся промышленной практике и научным работам, касающихся применения гидрометаллургических методов в цветной металлургии, в первую очередь, аммиачного выщелачивания. Это придает дополнительную актуальность и обоснованность цели диссертационной работы и основным направлениям исследований, сформулированных соискателем.

В диссертационной работе Серебряков М.А. выделяет два защищаемых положения.

Первое защищаемое положение отражает основные доказательства эффективности применения автоклавного аммиачного выщелачивания для извлечения целевых компонентов флотационного концентрата. В рамках его защиты автором представлены данные изучения химического, фазового и гранулометрического состава флотационного концентрата ЖОФ. Установлено, что основными минеральными формами меди в концентрате являются халькозин (50%), борнит – 40(%) и халькопирит (10%). Выполнена термодинамическая оценка взаимодействия основных компонентов некондиционного медного концентрата в условиях аммиачного автоклавного процесса. Показано, что наиболее вероятно образование тетрааммиачного комплекса меди  $Cu(NH_3)_4^{2+}$ . Серебряковым М.А. установлен механизм аммиачного автоклавного вскрытия низкомедистого (5,14 % Cu) концентрата в диапазоне температур 120÷180 °С и парциальном давлении кислорода 0,2÷0,8 МПа. Использование для расчета кинетических

характеристик автоклавного выщелачивания двух независимых методов (классического и метода "сжимающегося ядра"), дающих близкие значения кажущейся энергии активации окисления концентрата (57,1-74,4 кДж/моль) и порядка по кислороду (0,77-0,93), свидетельствует о протекании процесса в кинетической области. Автором установлены параметры проведения одностадийного процесса, позволяющие извлечь в раствор не менее 96% меди, 95% рения и 86% серебра с концентрированием железа в нерастворимом остатке.

Для защиты второго положения, посвященного разработке метода выделения меди из растворов автоклавного выщелачивания, Серебряков М.А. исследовал процесс термического разложения аммиакатов с применением математического планирования эксперимента на основе полного факторного плана ПФЭ  $2^3$  в широком диапазоне параметров (температура 70-90 °С, расход воздуха 0,01-0,07 дм<sup>3</sup>/ч и продолжительность 120-180 мин.). Полученный автором аппроксимирующий полином позволяет ему предсказывать влияние технологических параметров на степень отгонки аммиака с высокой точностью. С учетом необходимости минимизации потерь аммиака в технологическом цикле исследован метод регенерации аммиака путем абсорбции отходящих газов оборотным раствором с остаточным содержанием аммиакатов меди. Установлено, что термическое разложение аммиакатов меди из растворов автоклавного выщелачивания некондиционного концентрата Жезказганской обогатительной фабрики при температуре 90 °С и расходе воздуха 0,035 дм<sup>3</sup>/ч сопровождается практически полным осаждением меди в виде оксида и отгонкой 99 % аммиака в газовую фазу.

Творческое обобщение полученных теоретических и экспериментальных данных позволило Серебрякову М.А. предложить новую технологию гидрометаллургической переработки некондиционных медных концентратов, выделяемых при обогащении медистых песчаников, на основе автоклавного аммиачного выщелачивания и термического разложения аммиакатов с получением товарного медного концентрата и регенерацией аммиака. Автором выполнены расчеты и произведен выбор технологического оборудования. Внедрение разработанной аппаратурно-технологической схемы на действующих обогатительных предприятиях с годовым объемом переработки 400 тыс. т обеспечит выпуск дополнительной товарной продукции и годовой прирост денежного потока на 898,33 млн. руб.

**Достоверность и обоснованность работы.** Достоверность полученных

данных доказана сходимостью теоретических и экспериментальных результатов, основанной на современных методах физико-химического анализа. Научные выводы и рекомендации, сделанные автором, доказаны большим массивом опытных данных и их воспроизводимостью.

**Оформление.** Текст диссертации и автореферат написаны грамотно, в соответствии с нормативными требованиями. Содержание автореферата отражает основные положения диссертации.

**Публикации.** Работа Серебрякова М.А. прошла хорошую апробацию: по теме диссертационных исследований опубликовано 5 научных работ, в том числе 2 работы в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

**Замечания по диссертационной работе:**

1. Непонятно, почему при термодинамической оценке поведения серебра при аммиачном выщелачивании выбран его оксид  $\text{Ag}_2\text{O}$ , а не сульфидные формы (стр. 57)?
2. При определении кажущейся энергии активации и порядка реакции построение зависимостей по трем-четырем точкам некорректно. Для наиболее полной картины требуется больше экспериментальных данных (стр. 2.21, стр. 75.)
3. Присутствие сульфата аммония, как буферного реагента для стабилизации аммиаков меди, существенно увеличивает ее извлечение в аммиачный раствор (с 60 до 94%) согласно рис. 2.33 на стр. 88. Непонятно, почему это не нашло отражения в выводах и рекомендациях (стр. 91).
4. Отсутствуют обоснованные предложения по выделению рения из аммиачных растворов (стр. 93).
5. Имеются неточности, опечатки (например, стр. 61 "... тетрааммиачный комплекс цинка", вместо меди), орфографические ошибки (например, стр. 61 .."цифрой измеритель..").

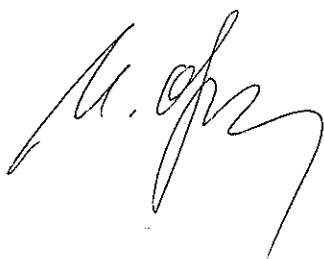
**Заключение.**

Несмотря на отдельные замечания, достоинства диссертационной работы Серебрякова Максима Александровича «Разработка гидрометаллургической технологии переработки некондиционных медных концентратов обогащения медистых песчаников» несомненны. Это дает все основания считать ее завершенным научно-квалификационным исследованием, выполненным на достаточно высоком научном уровне. Результаты работы обладают научной новизной, в достаточной мере обоснованы и имеют научную и большую практическую значимость. Работа автора соответствует критериям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции Постановления Правительства Российской

Федерации от 24 сентября 2013 года №842, а сам Серебряков М.А. заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов.

Консультант по научной  
деятельности и инновациям  
Акционерного общества  
«Научно-производственный комплекс  
«Суперметалл» имени Е.И. Рывина»  
профессор,  
доктор технических наук

Федосеев Игорь Владимирович

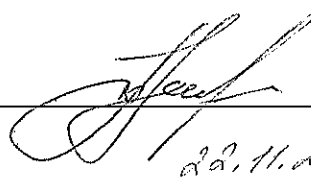


Подпись профессора, доктора технических наук

Федосеева Игоря Владимировича заверяю

Начальник Службы персонала и протокола АО «НПК «Суперметалл»



 Т.Ю. Гетман  
22.11.2018.

115184, Москва, Озерковская набережная,  
дом 22/24, корпус 2  
Тел: +7 (495) 5362828  
info@supermetal.ru