

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
на диссертацию **АРАБЖИ ЯНЫ НИКОЛАЕВНЫ**
на тему: «РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИИ СНИЖЕНИЯ
ДИОКСИДА КРЕМНИЯ В ЦИНКОВОМ КОНЦЕНТРАТЕ ПРИ
ФЛОТАЦИИ ТОНКОВКРАПЛЕННЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ РУД»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук, по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых, направления исследований 3 и 9.

Актуальность. Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-практической проблемы – повышению качества цинкового концентрата за счет снижения массовой доли кремнезема. Актуальность диссертационного исследования заключается в научном обосновании реагентного режима, позволяющего снизить вредные примеси для последующей металлургической переработки, что необходимо для реализации «зеленых технологий» в цветной металлургии, снижения себестоимости получения металла из минеральных концентратов.

Цель работы – разработка технологических решений для снижения содержания SiO_2 в цинковом концентрате за счет селективной депрессии кремнийсодержащих минералов новым органическим депрессором и минимизации механического выноса породных минералов.

Новизна диссертационного исследования заключается:

- 1) Впервые установлены и количественно описаны зависимости между удельным количеством органического депрессора RD-1033 во флотационной системе, изменением электрохимических характеристик поверхности (дзета-потенциал) и ее гидрофобно-гидрофильными свойствами (краевой угол смачиваемости, флотируемость) для кремнийсодержащих минералов [кварц, мусковит, клинохлор] и сфалерита.
- 2) Установлен механизм селективной депрессии кварца, мусковита и клинохлора высокомолекулярным депрессором RD-1033, который

обусловлен образованием на их поверхности гидрофильных супрамолекулярных комплексов, способных к полимеризации, состоящих из поликремниевого скелета, закрепленного на поверхности минералов через водородные связи (подтверждено ИК-спектрами), и формирующих гидратный слой карбоксильными и гидроксильными группами, что способствует гидрофиллизации поверхности и вызывает агрегацию частиц, предотвращая их механический вынос в пену со сфалеритом.

- 3) Установлены закономерности влияния гидродинамических факторов на механический вынос нерудных минералов с целью повышения качества цинкового концентрата при флотации полиметаллической руды.

Достоверность и обоснованность результатов исследований подтверждается статистически достоверным количеством экспериментальных данных; разнообразием методов исследований, в том числе с применением сертифицированного инструментального оборудования, совпадением теоретических расчетов, установленных закономерностей и результатов опытно-промышленных испытаний в условиях Рубцовской ОФ АО «Сибирь-Полиметаллы».

Практическое значение заключается:

- 1) Успешно испытан новый реагентный режим на основе селективного депрессора породных минералов RD-1033: кварц, клинохлор, мусковит.

- 2) Разработан комплекс мер управления технологией, который позволяет снизить извлечение SiO_2 в концентрат на 30-35 % отн., который реализован в условиях Рубцовской ОФ АО «Сибирь-Полиметаллы».

По теме диссертации опубликовано 9 научных трудов, в которых отражены научные положения, выносимые на защиту. Три научные статьи опубликованы в изданиях из перечня, утвержденного Минобрнауки России.

Личный вклад соискателя в диссертационное исследование сформулирован, сомнений не вызывает.

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Краткая характеристика диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, библиографического списка из 109 наименований, содержит 154 страниц машинописного текста, 48 рисунков, 34 таблицы, 4 приложения.

Во введении обоснована актуальность научно-практической проблемы повышения качества цинковых концентратов из сульфидных руд за счет снижения кремнезема. Содержится общая информация о целях и задачах исследований, научной новизне, научных положениях, практической значимости, уровня достоверности результатов исследований, личном вкладе соискателя, апробации результатов и научных публикациях.

В первой главе представлены результаты анализа современного состояния проблемы переработки цинковых руд, причин повышенной флотоактивности породных минералов сульфидных руд, металлургической переработки цинковых концентратов, что делает актуальной задачу повышения качества цинковых концентратов. Обоснованы направления исследований по совершенствованию реагентного режима цинковой флотации и гидродинамики как фактора, повышающего эффективность флотации сфалерита. На основании анализа научных публикаций выбран высокомолекулярный органический депрессор RD-1033 для раскрытия эффективности его механизма действия по отношению к породным минералам.

Вторая глава посвящена методам и методикам исследования вещественного состава объекта исследований, а также описаны предметы исследований. Обоснованы показатели эффективности, селективности флотации, фактора механического выноса кремнийсодержащих минералов вмещающих пород для оценки результатов исследований. Обоснована целесообразность использования полного факторного эксперимента (ПФЭ) для

выявления значимых факторов в снижении кремнезема в цинковом концентрате.

Третья глава раскрывает методику оценки склонности руды к шламообразованию и механизма снижения механического выноса породных минералов. Выполнен корреляционный анализ взаимосвязи содержания порообразующих и сульфидных минералов в различных типах сульфидных руд на основе спайности, сросткового состава, физико-механических свойств. Предложены расчетная формула шламуемости (Ш), формула безразмерного критерия шламуемости, извлечение SiO_2 механическим выносом, коэффициента механического выноса. Автором установлено, что основная часть (около 67,6 %) – извлечения диоксида кремния (SiO_2) в концентрат приходится на механический вынос, в то время как на долю естественной флотиремости порообразующих минералов приходится лишь около 32,4 %. Установленный факт подтверждает необходимость целенаправленного управления гидродинамическими условиями флотации.

Четвертая глава отражает результаты изучения механизма действия реагента-депрессора RD-1033. Экспериментально доказано депрессирующее действие реагента на кремнийсодержащие нерудные минералы (кварц, клинохлор и мусковит, в подавляющем большинстве содержащиеся в руде Корбалихинского месторождения) - извлечение SiO_2 в цинковый концентрат в опыте с использованием депрессора снижено на 35 % относительно базового эксперимента (с 1,34 до 0,87 % абс.). При этом возросло извлечение в концентрат целевых сульфидных минералов. Приведены результаты минералогических исследований, включая сростковый состав. Изучены поверхностные явления при разных реагентных режимах с применением измерения краевого угла смачивания, ИК спектроскопии, измерения ζ -потенциала протекания. Кинетика флотации мономинеральных фракций при разработанных реагентных режимах подтверждает снижение константы скорости флотации Белоглазова породных минералов, особенно клинохлора.

Раскрыт механизм подавляющего действия кремнийорганического полимера по отношению к силикатным минералам и кварцу.

Пятая глава содержит информацию об опытно-промышленном освоении, разработанных технологических решений, на основе установленных закономерностей и поверхностных явлений. Оценен ожидаемый экономический эффект от внедрения разработанных мероприятий. Результатами опытно-промышленных испытаний разработанного комплекса показано, что реализация данной технологии позволяет снизить массовую долю SiO_2 в цинковом концентрате на 32 % отн. с 2,97 % (базовая технология) до 2,02 %. Ожидаемый годовой экономический эффект в размере 8 246,7 тыс. руб. со сроком окупаемости капитальных вложений менее 1 года (11,3 месяцев). Таким образом, к защите представлена законченная научно-квалификационная диссертационная работа.

Кроме того, в диссертацию входят титульный лист, содержание, заключение, список использованных источников и приложения. Структура диссертации и оформление соответствуют ГОСТ Р 7.0.11 – 2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

По диссертационной работе имеются следующие замечания и вопросы:

- 1) Поясните почему в диссертации для обозначения исходного содержания полезного компонента в руде применен символ $\beta_{\text{исх}}$, вместо α ?
- 2) Поясните почему краевой угол смачивания изучен на аншлифах руды, а не мономинеральных выделениях сфалерита, кварца и других породных минералах.
- 3) Что является критерием оптимизации?
- 4) Известно, что существует определенная взаимосвязь между размерами частиц и пузырька. Поясните как тезис об ультратонком измельчении согласуется с размером пузырьков типовых флотационных машин.

Какие типы флотомашин по газонасыщению рекомендуется применять для предотвращения механического выноса, на каких технологических операциях флотации?

- 5) Предложены различные показатели ошламования - расчетная формула шламуемости (Ш), формула безразмерного критерия шламуемости, извлечение SiO_2 механическим выносом, коэффициента механического выноса. Так какой показатель наиболее объективен?
- 6) Насколько правомерен термин коагуляции ультратонких шламов нерудных минералов при использовании высокомолекулярного депрессора?
- 7) Видимо допущена опечатка в диапазоне волновых чисел «Обработка кварца раствором депрессора RD-1033 приводит к увеличению интегральной интенсивности широкой полосы, лежащей в спектральном интервале $3000-700 \text{ см}^{-1}$. Это характерно для валентных колебаний гидроксильных групп ОН-» (с. 102).
- 8) Какой электролит использован при измерении ζ -потенциала протекания породных минералов?

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, которая является законченной научно-квалификационной работой, решает важную научно-практическую задачу снижения кремнезема в товарных цинковых концентратах, имеет новизну и практическую значимость, соответствует паспорту научной специальности.

Таким образом, диссертация соискателя *Арабаджи Яны Николаевны* является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, которые позволяют снизить содержание вредных примесей в товарном цинковом концентрате, имеющие существенное значение для цветной металлургии в стране. Диссертация соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от

24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее Автор – *Арабаджи Яна Николаевна* заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
профессор,
профессор кафедры ОПИ
НИТУ МИСИС,
119049, г. Москва, Ленинский
пр.4, стр.1
+7(903)6876829, woda@mail.ru
«25» мая 2026 г.

В. А. Игнаткина

Подпись руки Игнаткиной В.А. подтверждаю:
Проректор по безопасности и общим вопросам
НИТУ МИСИС



И.М. Исаев