

О Т З Ы В

официального оппонента, *к.т.н., Кузнецова Валентина Вадимовича*

на диссертацию *Арабаджи 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.

1. Актуальность темы диссертации

Повышение темпов развития промышленности диктует необходимость увеличения производства цветных металлов на фоне сокращения минерально-сырьевой базы руд с высоким содержанием ценного компонента, что, в свою очередь, обуславливает потребность в вовлечении в переработку труднообогатимых руд. Тонкая вкрапленность ценных компонентов, их тесная ассоциация с минералами вмещающей породы и другие минералого-технологические особенности подобных руд приводят к снижению эффективности традиционных схем обогащения. Таким образом, современным вызовом для горно-обогатительной промышленности является разработка технологических решений, позволяющих обогащать технологически сложные руды с получением концентрата, соответствующего требованиям металлургических предприятий по содержанию и полноте извлечения основного компонента, а также по содержанию примесей.

Данная проблема весьма актуальна при комплексной переработке полиметаллических руд, где одной из ключевых проблем является интенсивный механический вынос шламовой фракции породных минералов во флотационный концентрат. Обильное шламообразование связано с необходимостью раскрытия тонковкрапленных рудных минералов цинка. Развитая удельная поверхность шламов и их высокая седиментационная устойчивость приводят к их извлечению в пенный продукт вместе с водой.

Актуальность представленной диссертационной работы заключается в решении научно-практической задачи совершенствования реагентного режима флотационного обогащения тонковкрапленных полиметаллических руд для обескремнивания цинкового концентрата.

2. Научная новизна диссертации

Научная новизна работы состоит в установлении механизма селективной депрессии кварца, мусковита и клинохлора высокомолекулярным органическим депрессором специфического строения за счет образования супрамолекулярных комплексов на поверхности

кремнийсодержащих минералов и их закрепления за счет специфических взаимодействий, что подтверждено результатами исследований электрохимических характеристик поверхности минералов, ИК-спектроскопии и исследованиями межфазных характеристик (краевого угла смачивания). Эффективность депрессии породных минералов подтверждена также на основании установленных зависимостей численных характеристик механического выноса от режимных параметров флотации (плотность пульпы, расход воздуха, скорость вращения импеллера).

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность и достоверность защищаемых научных положений подтверждаются достаточным объемом проведенных экспериментальных исследований с использованием широкого спектра методов химических, физических и физико-химических исследований процесса флотации и минерального вещества, представительностью и сходимостью полученных результатов, адекватной интерпретацией полученных данных методами математической статистики и применением современного оборудования и средств измерений.

Работа прошла апробацию на следующих семинарах и конференциях:

- международном совещании «Инновационные процессы обогащения и глубокой переработки редкометаллического и горнохимического сырья и комплексных руд цветных и черных металлов» (Плаксинские чтения, г. Апатиты, 2024 г.);
- международном научном симпозиуме «Неделя горняка» (г. Москва, 2025 г.);
- международной конференции Tech Mining Сибирь-2025 (г. Красноярск, 2025 г.);
- 83-й международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск, 2025 г.);
- Московском международном конгрессе обогатителей (г. Москва, 2025 г.);
- конференции «Современные достижения университетских научных школ» (г. Магнитогорск, 2025 г.);
- международном совещании «Инновационные процессы комплексной и глубокой переработки природного и нетрадиционного минерального сырья» (Плаксинские чтения, г. Екатеринбург, 2025 г.).

Тема диссертации, направленность проведенных исследований и полученных результатов соответствуют паспорту научной специальности 2.8.9 Обогащение полезных ископаемых по пункту 3: «Повышение контрастности технологических свойств разделяемых минералов. Физические, физико-химические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов, руд, промежуточных продуктов переработки природного и техногенного минерального сырья».

4. Научные результаты, их ценность

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК).

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

В работе разработан предиктивный критерий $K_{ш}$ оценки склонности тонковкрапленных полиметаллических сульфидных руд к шламообразованию на основе минералогических характеристик сырья. Обоснованы численные значения диапазонов критерия, позволяющие на стадии изучения руды прогнозировать повышенное шламообразование на стадии рудоподготовки перед флотационным переделом.

С использованием методов планирования эксперимента получена математическая модель для предиктивного управления и оптимизации селективности флотации с целью минимизации загрязнения концентрата ультратонкими шламами. Методика дает основу для предиктивного выбора и оптимизации технологических решений, направленных на снижение механического выноса. Обоснованные решения по оптимизации режимных параметров цинк-пиритного цикла флотации внедрены в действующее производство по получению цинкового концентрата на Рубцовской обогатительной фабрике. Реализация разработанного комплекса мер управления технологией позволяет снизить извлечение SiO_2 в концентрат на 30–35% отн.

6. Замечания и вопросы по работе

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания и рекомендации:

1. При обосновании критерия шламуемости сырья автор основывается на градации прочностных характеристик минералов по шкале Мооса. Автору рекомендуется дать более развернутое пояснение, насколько данный критерий чувствителен к отклонению прочностных свойств реальных минеральных ассоциаций, которые зависят от характера вкрапленностей, примесей и других свойств, от эталонных значений по Моосу. Также возникает вопрос, есть ли корреляция данного критерия с энергетическими индексами разрушения по Бонду.

2. Для повышения обоснованности предложенного критерия шламуемости автору следовало бы привести результаты кинетики измельчения с интерпретацией величины образования шламового класса в зависимости от номинальной крупности измельченного

продукта, так как для разных типов руд крупность измельчения, при которой происходит раскрытие, будет различной.

3. В работе автором получена зависимость численного критерия от технологических параметров флотации и определены рациональные диапазоны их вариации, при которых достигается минимизация механического выноса. Однако из текста диссертации не до конца ясно, как были выбраны данные диапазоны значений скорости вращения импеллера, расхода воздуха и плотности пульпы. Графическая интерпретация полученной зависимости показывает, что минимальное значение ENT_p соответствует минимальным значениям варьируемых факторов в исследованных диапазонах. Автору следует более подробно раскрыть как были выбраны значения ENT_p , которые соответствуют эффективной флотации исследуемого сырья, и как были получены границы диапазонов вариации режимных параметров флотации.

4. На странице 117 автором приведены результаты молекулярного моделирования образующегося супрамолекулярного комплекса. Какой метод минимизации энергии системы был использован для поиска наиболее устойчивой структуры и каким образом автор установил, что молекула не разрушается со временем?

5. Автором обоснован механизм закрепления исследованного высокомолекулярного депрессора и показано образование водородной связи с силооксановыми функциональными группами. В то же время результаты кинетики (таблица 29) показывают, что константа скорости для клинохлора значительно сильнее падает, чем для кварца. Автору рекомендуется прояснить особенности механизма значительного усиления депрессии для клинохлора по сравнению с кварцем.

Сделанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации соискателя Арабаджи Яны Николаевны. Диссертация имеет новизну, практическую значимость, соответствует паспорту научной специальности и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается решение актуальной научной задачи по развитию технологий флотационного обогащения полиметаллических руд, что имеет существенное значение для развития рационального недропользования в стране.

7. Заключение по диссертации

Диссертация «Разработка комплексной технологии снижения диоксида кремния в цинковом концентрате при флотации тонковкрапленных полиметаллических руд», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. - Обогащение полезных ископаемых, **полностью соответствует** критериям, установленным пунктами 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор –

Арабаджи Яна Николаевна **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Я, Кузнецов Валентин Вадимович, даю согласие на обработку моих персональных данных.

Официальный оппонент

к.т.н.,

ассистент кафедры обогащения полезных ископаемых

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский Горный университет императрицы Екатерины II»



Кузнецов Валентин Вадимович

14 мая 2026 года

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский университет императрицы Екатерины II»

Адрес: 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, СПГУ

Телефон: +7(812)328-01-28

Адрес электронной почты: Kuznetsov_VV@pers.spmi.ru



Подпись: В.В. Кузнецова
Заведующий
кабинетом управления делопроизводства
и контроля документооборота



Е.Р. Яковлева

14. 05. 2026