

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.307.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 18 июня 2026 г. № 291

О присуждении **Арабаджи Яне Николаевне**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка комплексной технологии снижения диоксида кремния в цинковом концентрате при флотации тонковкрапленных полиметаллических руд» по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых принята к защите 16 апреля 2026 г. (протокол заседания № 120) диссертационным советом 24.2.307.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83 (Приказ от 02.11.2012 № 714/нк о создании совета, приказ от 24.03.2021 № 256/нк о возобновлении работы совета).

Соискатель **Арабаджи Яна Николаевна**, 09 октября 1983 года рождения.

В 2007 году Арабаджи Яна Николаевна окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«Норильский индустриальный институт» по специальности «Металлургия цветных металлов» с присвоением квалификации «инженер».

В период подготовки диссертации Арабаджи Я.Н. являлась соискателем, прикрепленным к кафедре обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Работает в должности главного специалиста управления обогатительного производств в управлении обогатительного производства, открытое акционерное общество «Уральская горно-металлургическая компания».

Диссертация выполнена на кафедре геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Орехова Наталья Николаевна, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, профессор кафедры.

Официальные оппоненты:

Игнаткина Владислава Анатольевна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет МИСИС» (г. Москва),

Кузнецов Валентин Вадимович, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (г. Санкт-Петербург), кафедра обогащения полезных ископаемых, ассистент кафедры дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – **федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук» (ФГБУН «ИГД СО РАН»)** (г. Новосибирск) в своем положительном отзыве, подписанном Кондратьевым Сергеем Александровичем, доктором технических наук, профессором, заведующим лабораторией обогащения полезных ископаемых и технологической экологии и утвержденном Хмелининым Алексеем Павловичем, кандидатом технических наук, директором федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук», указали, что диссертационная работа Арабаджи Яны Николаевны содержит решение актуальной научно-технической задачи снижения загрязнения цинкового концентрата диоксидом кремния (SiO_2) и является законченной научно-квалификационной работой, которая по критериям актуальности, научной новизны, обоснованности и достоверности выводов соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных журналах из Перечня изданий, рекомендованных ВАК РФ, опубликовано 3 статьи. Авторский вклад соискателя в научные

публикации заключается в проработке известных теоретических и практических опубликованных данных по тематике диссертации, обработке результатов эксперимента, оформлении и подготовке материалов к публикации; вклад составляет 76 %. Объем научных статей – 7,62 печатных листа.

В опубликованных работах представлены результаты исследований по снижению содержания диоксида кремния в цинковом концентрате за счет применения высокомолекулярного депрессора кремнийсодержащих минералов и применения оптимальных режимных параметров флотационного процесса, обеспечивающих минимизацию механического выноса шламов вмещающих пород. Предлагается при переработке тонковкрапленных цинксодержащих полиметаллических руд использовать полученную математическую модель, описывающую зависимость коэффициента механического выноса от ключевых режимных параметров технологического процесса флотации (плотность пульпы, расход воздуха и скорость вращения пульпы). В работах рассматривается взаимосвязь удельного количества органического депрессора RD-1033 во флотационной системе и гидрофобно-гидрофильными свойствами кремнийсодержащих минералов и сфалерита. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют.

Наиболее значительные работы:

1. **Арабаджи Я.Н.** Аспектный анализ механизмов загрязнения сульфидных концентратов шламами из вмещающих пород и обзор методов его снижения / Я.Н. Арабаджи, Н.Н. Орехова, К.И. Абдрахманов, Э.И. Абдрахманов // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2024. – Т. 30. – С. 55-70.

2. **Арабаджи Я.Н.** Снижение механического выноса кремнийсодержащих минералов вмещающих пород в концентрат путем оптимизации режимных параметров технологического процесса / Я.Н. Арабаджи, Н.Н. Орехова, А.Ю. Тюленев, Л.П. Баранова // Вестник

Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2025. – Т. 23. – № 2. – С. 18-27.

3. **Арабаджи Я.Н.** Изучение влияния депрессора на изменение физико-химических свойств поверхности минералов / Я.Н. Арабаджи, Д.А. Кизяев, Н.Н. Орехова, О.Е. Горлова // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2025. – № 4. – С. 19-30.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Ведущая организация ФГБУН «ИГД СО РАН», г. Новосибирск.

Замечания: 1) В работе (разделе 2.4. «Методика изучения механического выноса») изучался вопрос механического выноса тонких частиц в пенный продукт. Механический вынос тонких частиц минералов рассматривался как результат их захвата попутным потоком воды и транспортировки в пенный слой. При флотации с собирателем не исключена минерализация пузырьков тонкими частицами вмещающих пород при малых или нулевых краевых углов, что автор не относит к истинной неселективной флотации, но и не считает механическим выносом. Увеличение числа оборотов импеллера и инерционных сил отрыва позволяет частично решить вопрос деминерализации газовой фазы небольшим количеством частиц. Для флотации тонкого материала требуется соответствующая конструкция флотационной машины. 2) В разделе 3.2 «Основные признаки, определяющие ошламованность пульпы» частицы менее 20 мкм, нарушающие селективность флотационного процесса автором отнесены к тонким частицам, а менее 10 мкм - к шламам. Такая граница условна и должна рассматриваться в привязке к конкретным конструкциям флотомашин. Развитая турбулентность, локализованная в приимпеллерной зоне, позволит селективно флотировать частицы менее 10 мкм и не относить их к шламовым и трудноизвлекаемым. 3) На рисунке 24. Стр. 78 представлены результаты серии тестов по определению влияния скорости вращения импеллера на эффективность флотации. Конструктивное

оформление флотомашины, на которой выполнялись эксперименты с повышенной скоростью вращения импеллера, не отвечает требованиям флотации тонких частиц. Интенсивное турбулентное движение должно быть локализовано в приимпеллерной зоне. В остальном объеме камеры флотомашины в основном должен сохраниться транспортный поток. 4) Автор утверждает (стр. 98), что с увеличением концентрации раствора БКК краевой угол смачивания кварца возрастает, но во всем диапазоне изученных концентраций остается меньше угла естественной гидрофобности, что трактуется как эффективное закрепление депрессора и исключение взаимодействия с собирателем. Взаимодействия БКК с кварцем нет, но есть осадки ксантогенатов металлов, которые могут повысить краевой угол и флотуемость минерала (см. Liu B., Wang X., Du H., Liub J., Zheng S., Zhanga Y., Miller J.D. The surface features of lead activation in amyl xanthate flotation of quartz / International Journal of Mineral Processing. – 2016. – Vol.151. – P. 33-39). 5) На рисунке 37 стр. 103. приведены экспериментальные графики изменения ζ -потенциала сфалерита и нерудных минералов (кварца) в зависимости от pH среды. Поверхность сфалерита склонна к окислению, образуя гидрофильные продукты (гидроксиды цинка), что делает знак потенциала зависимым от концентрации ионов H^+ и OH^- как и кварца. В связи с этим не ясно, по какой причине с увеличением pH (NaOH) ζ -потенциал стремится к положительным значениям при увеличении концентрации гидроксидов. Подача депрессора, содержащего азот, в данном эксперименте не предусматривалась. 6) Измерение дзета-потенциала, стр. 107. “Отмеченные различия обуславливают снижение флотуемости частиц породы и бедных сростков сфалерита с ними при использовании анионного собирателя по электростатическому механизму, что в дополнение к повышению вероятности агрегации кремнийсодержащих шламов свидетельствует об эффективном действии реагента”. На флотуемость основное влияние оказывает наличие двух форм сорбции химической и физической.

Флотируемость достигает максимальной эффективности в строго локализованных областях рН, которые характерны для данного типа реагента (например, рН гидролиза для несульфидов, образования диксантогена или ксантогенатов металла для сульфидов) и независимы от существенных различий в заряде поверхности минералов (см. Pugh R.J. The role of the solution chemistry of dodecylamine and oleic acid collectors in the flotation of fluorite / Colloids and Surfaces. – 1986. – Vol. 18 – P. 19-41). Электростатический механизм характерен в основном для катионных собирателей.

2. Официальный оппонент Игнаткина Владислава Анатольевна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский технический университет МИСИС», профессор кафедры обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья, г. Москва. *Замечания:* 1) Поясните почему в диссертации для обозначения исходного содержания полезного компонента в руде применен символ β исх, вместо α ? 2) Поясните почему краевой угол смачивания изучен на аншлифах руды, а не мономинеральных фракциях 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 см⁻¹. Это характерно для валентных колебаний гидроксильных групп ОН» (с. 102). 8) Какой электролит использован при измерении ζ-потенциала протекания породных минералов?

3. Официальный оппонент Кузнецов Валентин Вадимович, кандидат технических наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», ассистент кафедры обогащения полезных ископаемых, г. Санкт-Петербург. *Замечания:* 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 большей строгости обоснования критерия шламуемости автору необходимо было 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 необходимо детальнее уточнить, как были выбраны значения ENTr, которые соответствуют эффективной флотации исследуемого сырья, и как были получены границы диапазонов вариации режимных параметров флотации. 4) Для исследованного в разделе 4 депрессора была ли установлена критическая концентрация мицеллообразования и насколько сильно исследованные значения концентраций при определении контактных углов отличаются от нее? 5) 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? 6) 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.

Отзывы на автореферат:

Сабанова Маргарита Николаевна, кандидат технических наук, ООО «НОВОМЕК ИНЖИНИРИНГ», заместитель директора департамента технологических исследований, г. Санкт-Петербург. *Замечания:* 1) В работе утверждается, что протестировано более 40 депрессоров и их смесей, но в автореферате не приведены конкретные названия или классы хотя бы наиболее эффективных из них (кроме финального RD-1033). Не указано, с какими промышленно выпускаемыми реагентами (например, жидким стеклом, карбоксиметилцеллюлозой, крахмалами, декстрином, гуарами и

т.д.) проводилось сравнение. 2) Работа посвящена цинковому концентрату, но в руде присутствуют также свинцовые и медные минералы. Показано отсутствие взаимодействия RD-1033 со сфалеритом. А как реагент влияет на флотуемость галенита или халькопирита? В таблице 2 (стр. 22) извлечение Cu и Pb в цинковом концентрате практически не изменилось, но неясно, проводилась ли отдельная оценка для головных операций свинцово-медной флотации.

Гаркави Михаил Саулович, доктор технических наук, ЗАО «Урал-Омега», заслуженный работник высшей школы РФ, профессор, инженер-технолог по науке и инновациям; **Колодежная Екатерина Владимировна**, кандидат технических наук, ЗАО «Урал-Омега», инженер-технолог, г. Магнитогорск.

Замечания: 1) В автореферате недостаточно внимания уделено влиянию разработанного комплекса способов на работу оборудования рудоподготовительного и классифицирующего циклов.

Представляется важным оценить, как изменение режимных параметров флотационного цикла (в частности, снижение плотности пульпы и расхода воздуха) влияет на гранулометрический состав циркулирующих нагрузок и эффективность работы гидроциклонов и классификаторов. 2) Состав реагента раскрыт не полностью (указаны лишь функциональные группы). Непонятно, является ли он коммерчески доступным или требует индивидуального синтеза. Это затрудняет воспроизводимость результатов другими исследователями и потенциальное внедрение на других фабриках.

Размахнин Константин Константинович, доктор технических наук, ФГБУН «Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения РАН», доцент, заведующий Читинским филиалом, г. Чита. *Замечания:* 1) При описании промышленных испытаний не указана стабильность работы фабрики до и после периода дозирования. Нет данных о колебаниях качества питания по Zn и SiO₂. Следовало бы привести графики изменения Zn и SiO₂ в исходной руде во времени (временные ряды) для обоих периодов. 2) На

рисунке 4 (справа) показана зависимость дзета-потенциала от рН. Утверждается, что для шламов, обработанных депрессором, «отсутствует изоэлектрическая точка». Фраза «отсутствует изоэлектрическая точка» физически некорректна. ИЭТ есть всегда, вопрос – в каком рН она находится. Если она не наблюдается в исследованном интервале, корректно говорить о сдвиге ИЭТ за пределы диапазона или о недостижении ИЭТ в изученных условиях.

Чекушина Татьяна Владимировна, кандидат технических наук, ФГБУН «Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук» (ИПКОН РАН), ведущий научный сотрудник Горной экологии, г. Москва. *Замечания:* 1) В таблице 2, расположенной на стр. 17, представлены технологические балансы для базового процесса и внедренного комплекса технологических решений. Каким образом учитывалось влияние естественной изменчивости сырья на достигнутый эффект, в частности, на снижение содержания SiO_2 с 2,97 до 2,02%. 2) Вероятно, закралась опечатка на стр. 13. В утверждении, что «оптимальный угол между атомами O(26)-P(45) равен актуальному значению и составляет 0,972». Значение 0,9720 скорее похоже на длину связи в ангстремах. Приведенная цифра почти точно соответствует ожидаемой длине связи.

Тимофеев Константин Леонидович, доктор технических наук, АО «Уралэлектромедь», начальник технического отдела инженерно-производственного управления, г. Верхняя Пышма. *Замечания:* 1) Каков механизм перезарядки с «минуса» на «плюс» поверхности сфалерита ($\zeta = -0,2$ мВ, рН ~7) при переходе из нейтральной среды в щелочную ($\zeta = +0,15$ мВ, рН >12) с высокой концентрацией в растворе отрицательных OH^- ионов (рис.2) ? 2) Из текста автореферата непонятно, за счет чего обеспечивается получение экономического эффекта, а также не ясны дальнейшие научно-практические перспективы исследований и технологии.

Краюхин Сергей Александрович, кандидат технических наук, НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», директор по науке, г. Верхняя Пышма.

Замечания: 1) Отсутствие изоэлектрической точки в условиях предварительной обработки кремнийсодержащих минералов реагентом RD-1033 с последующим добавлением раствора извести до значения $pH > 12$, не позволяет считать предложенный расход добавки депрессора 200 г/т оптимальным. Почему расход депрессора RD-1033 не был включен в полный факторный эксперимент наряду с рассмотренными: плотность пульпы, расход воздуха, скорость вращения импеллера? 2) В работе не рассмотрена возможность перечистки (кондиционирования) цинковых концентратов в отдельном цикле, что представляется наиболее логичным решением поставленной задачи? 3) Как Вы считаете, исходя из полученных результатов исследований возможно ожидать повышение селективности при получении цинкового концентрата при применении флотомашин колонного типа вместо пневмомеханических в цинк-пиритном цикле переработки руды Корбалихинского месторождения? 4) Не приведены технологические параметры флотации на стадии опытно-промышленных испытаний, что не позволяет оценить рациональность предложения снизить содержание твердого в пульпе в 2 раза, скорость вращения импеллера флотомашин на 10 % отн. и расход воздуха в диапазоне от 15 до 25 %.

Мамяченков Сергей Владимирович, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», заведующий кафедрой металлургии цветных металлов, г. Екатеринбург. *Замечания:* 1) Рассматривались ли альтернативные депрессоры или комбинации выбранного депрессора с другими? 2) Из текста автореферата не ясно, применим ли выбранный реагент для флотации руд других месторождений, кроме Корбалихинского. 3) Понятие «кремнийсодержащие минералы» очень широко. Насколько уместно проецировать закономерности, полученные при изучении трех минералов (кварц, клинохлор, мусковит) на все

кремнийсодержащие минералы? Будет ли выбранный реагентный режим эффективен?

Комлев Алексей Сергеевич, доктор технических наук, ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», главный научный сотрудник, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых, г. Екатеринбург. *Замечания:* 1) Третье научное положение декларирует достижение синергетического эффекта от совместного действия трех независимых факторов эксперимента (превышение ожидаемого аддитивного эффекта на величину более 6 % относительных). При этом в автореферате не содержится объяснения механизма синергетического эффекта и его количественной оценки по величине эффекта и устойчивости синергетической системы. Также не приведены сведения или предположения о характере связи между составляющими систему факторами. Так, например, без ответа остается вопрос о возможности установления корреляционных зависимостей между действующими факторами. 2) Скорость вращения импеллера флотационной машины в тексте автореферата выражена в оборотах в секунду и является, фактически, частотой вращения без указания диаметра импеллера. Более распространенной в технической литературе и эксплуатационной документации величиной скорости импеллера является так называемая «окружная скорость» выраженная в метрах в секунду, являющаяся тангенциальной скоростью импеллера. Тогда указанный в тексте диапазон изменения скорости импеллера лабораторной флотационной машины от 30 до 40 с⁻¹ при диаметре импеллера 60 мм составит от 5,7 до 7,6 м/с. 3) На рисунке 10в допущена техническая ошибка: скорость вращения импеллера указана в литрах в минуту.

Все отзывы положительные.

В отзывах отмечены актуальность выбранной темы исследования, научная новизна работы, а также практическая значимость полученных результатов исследования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими исследованиями в области обогащения полиметаллических руд, способностью определить научную и практическую ценность диссертационной работы, наличием научных разработок, публикаций в близкой области исследований, а также отсутствием совместных проектов, печатных работ.

В качестве примера публикаций сотрудников ведущей организации и официальных оппонентов, близких к тематике работы соискателя, можно привести следующие работы:

1. Разработка методики выбора сочетания собирателей для получения синергетического эффекта во флотации / С.А. Кондратьев, Д.В. Семьянова // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – № 6. – С. 148-159.

2. Подходы к выбору флотационных реагентов-собирателей / С.А. Кондратьев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2022. – № 5. – С. 109-124.

3. Кинетические исследования реагентных режимов для повышения контрастности флотации сульфидных минералов / В.А. Игнаткина, А.А. Каюмов, Н.Д. Ергешева, П.А. Чернова // Цветные металлы. – 2023. – № 10. – С. 15-22.

4. Физико-химические и технологические свойства галенита, сфалерита и углеродистого материала полиметаллической малосульфидной Pb-Zn руды / А.Р. Ергешев, М.А. Кармеева, Н.Д. Ергешева, В.А. Игнаткина [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № 9. – С. 163-181.

5. Выбор параметров флотации сульфидных медно-никелевых руд на основе анализа распределения компонентов по флотирруемости / Т.Н. Александрова, А.В. Афанасова, В.В. Кузнецов, В.А. Абурова // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 1. – С. 131-147.

6. Разработка методов определения флотуемости минералов для эффективного проектирования технологии флотации / В.В. Кузнецов, Т.Н. Александрова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 10-1. – С. 145-154.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная идея использования закономерностей депрессии кремнийсодержащих минералов супромолекулярным комплексом, включающим органические реагенты, для снижения содержания оксида кремния в цинковом концентрате,

предложен нетрадиционный подход к предварительной оценке склонности тонковкрапленных полиметаллических руд к шламообразованию (с критерием $K_{ш} < 0,57$ и $K_{ш} > 1,1$),

доказано наличие синергетического эффекта от применения кремнийорганического депрессора и регулирования параметров флотации, заключающегося в снижении механического выноса за счет селективной флокуляции породных минералов шламовой крупности,

введено новое понятие – критерий шламуемости, предложена формула его определения; дана дефиниция ошламованности пульпы и предложена методика определения указанной характеристики.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны научные положения о повышении селективности разделения сфалерита и кварца подачей депрессора RD-1033, за счет избирательной адсорбции его на поверхности кремнийсодержащих минералов, что способствует снижению в два раза краевого угла смачивания и в 2,5 раза абсолютного значения ζ -потенциала поверхности кварца без перезарядки поверхности и вызывает агрегацию ультратонких шламов, что в

совокупности снижает константу скорости его флотации (в 1,2 раза) и вызывает агрегацию ультратонких шламов,

применительно к проблематике диссертации результативно использованы активный многофакторный эксперимент, благодаря чему получена математическая модель, описывающая влияние содержания твердого в пульпе, расхода воздуха, скорости импеллера и их взаимодействие на коэффициент механического выноса; теоретическое обоснование адсорбции поликремниевой матрицы депрессора и создание тонкопленочного гидрофильного покрытия на поверхности кремнийсодержащих минералов, приводящей к агрегации ультратонких частиц и снижению их механического выноса,

изложены доказательства формирования супрамолекулярной структуры с участием минеральной частицы и органического высокомолекулярного депрессора RD-1033, способствующей снижению флотируемости и механического выноса кремнийсодержащих минералов шламовых фракций, **раскрыты** механизм действия нового высокомолекулярного депрессора кремнийсодержащих минералов, заключающийся в адсорбции поликремниевой матрицы на поверхности клинохлора, кварца и мусковита, при котором присутствующие в реагенте акриловые и карбоновые кислоты, закрепляясь через кремнийорганическую молекулу, вызывают агрегацию шламов и укрупнение частиц; противоречие между требованием снижения содержания диоксида кремния в цинковом концентрате ниже кондиционных значений, что сопровождается потерями сфалерита, и необходимостью поддержания его извлечения на необходимом уровне,

изучены причинно-следственные связи между содержанием шламов и снижением селективности флотации; изменением дзета-потенциала поверхности и краевого угла смачивания кварца при подаче высокомолекулярного депрессора, заключающиеся в подавлении его

флотуемости; режимными параметрами флотации и снижением механического выноса ультратонких шламов,

проведена модернизация существующих методов оценки шламуемости руд, позволяющая прогнозировать ошлагование твердой фазы в условиях флотационного процесса.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и апробирована на действующем производстве в условиях Рубцовской обогатительной фабрики комплексная технология снижения загрязнения цинкового концентрата диоксидом кремния, включающая применение высокомолекулярного депрессора RD-1033 и управление режимными параметрами флотационного процесса на основе математической модели, направленное на снижение механического выноса ультратонких шламов вмещающих пород, что подтверждено Актами опытно-промышленных испытаний,

определена возможность предиктивной оценки склонности тонковкрапленных полиметаллических сульфидных руд к шламообразованию на основе минералогического состава руд и теоретических данных о шламуемости минералов, что позволяет на практике минимизировать механический вынос шламов используя оптимальные режимные параметры флотации,

созданы технологические рекомендации по снижению содержания диоксида кремния в цинковом концентрате в процессе флотации цинксодержащих тонковкрапленных полиметаллических руд,

представлены методические рекомендации по определению ошлагованности пульпы и предложение использования критерия шламуемости для предиктивного определения склонности сульфидных полиметаллических тонковкрапленных руд к ошлагованию, что позволяет разработать корректирующие действия при изучении руд новых месторождений,

разработке технологий их переработки и/или модернизации и усовершенствования действующих обогатительных производств.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

для экспериментальных работ результаты исследований подтверждаются использованием сертифицированного оборудования: эмиссионного спектрометра Arcos (для анализа массовых долей ценных компонентов), минералогического комплекса TESCAN TИМА (для технологическо-минералогических исследований), оптического микроскопа Axio Imager Alm (для определения минералогического состава), спектрометра IR – Affinity (Shimadzu) (для регистрации ИК-спектров), а также электроакустического спектрометра Dispersion DT-310 й (для измерения ζ -потенциала); обработка экспериментальных данных проведена с привлечением методов математической статистики и планирования эксперимента,

теория построена на научно обоснованных принципах флотации, учитывающих физико-химические свойства минералов, селективность действия реагентов и оптимальные режимные параметры технологического процесса, и принципах создания супрамолекулярной системы и не противоречит известным теоретическим положениям,

идея базируется на анализе практики флотации ошламованных руд и повышении качества концентрата при регулировании реагентного режима флотации,

использовано сравнение авторских данных и данных, полученных другими учеными в области значений электрохимических характеристик поверхности (дзета-потенциал) и гидрофобно-гидрофильными свойствами минералов (краевой угол смачивания, флотируемость) для кремнийсодержащих минералов;

установлено количественное совпадение авторских результатов исследования измерения дзета-потенциала, краевого угла смачивания с результатами, представленными в научной литературе по теме диссертации; **использованы** современные методы обработки результатов исследований, такие как корреляционный анализ, статистическая обработка экспериментальных данных с оценкой случайной погрешности измерений и расчетом доверительных интервалов, что позволило подтвердить воспроизводимость полученных результатов и их статистическую значимость.

Личный вклад соискателя состоит в проведении экспериментальных испытаний, оценке закономерностей процессов и определении механизма действия высокомолекулярного органического депрессора кремнийсодержащих минералов. Выносимые на защиту положения, составляющие научную новизну, получены автором лично. Автор данной работы проводил экспериментальные исследования, анализировал и обрабатывал результаты, готовил материалы к публикации и сформулировал выводы. Кроме того, автор принимал непосредственное участие в проведении лабораторных и опытно-промышленных испытаний.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания о необходимости использования флотомашин специальных конструкций с учетом конструктивных и гидродинамических аспектов, а также различий по газонасыщению при флотации тонких частиц, недостаточной проработке вопроса взаимосвязи между размером частиц и пузырьков, а также чувствительности предложенного критерия шламуемости к изменениям прочностных характеристик по шкале Мооса и его корреляции с индексами Бонда; кроме того, было отмечено нехарактерное стремление дзета-потенциала сфалерита к положительным значениям при повышении рН и необоснованный выбор аншлифов руды вместо мономинеральных фракций для измерения краевого угла смачивания при обработке поверхности бутиловым ксантогенатом калия и депрессором.

Соискатель Арабаджи Яна Николаевна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела аргументацию, что одной из ключевых задач исследования являлось снижение механического выноса кремнийсодержащих шламовых частиц в пенный слой путём регуляции управляемых режимных параметров на действующей обогатительной фабрике, оснащённой стандартными пневмомеханическими флотомашинами (как и 95 % других российских обогатительных фабрик), без необходимости проведения модернизации существующего оборудования.

Также соискатель дала объяснение, что, несмотря на то, что прочностные свойства реальных минеральных ассоциаций отличны от эталонных значений для каждого минерала, разработанный критерий шламуемости является предиктивным и используется на самых первоначальных стадиях геолого-технологических исследований. Вычисление значения данного критерия в дальнейшем даст возможность определить необходимость проведения углубленных и дорогостоящих исследований, как минералогических, так и технологических, направленных на снижение негативного влияния шламов на флотационный процесс.

Соискатель Арабаджи Я.Н. подробно и аргументированно объяснила, что изменение значения дзета-потенциала с $-0,20$ до $-0,19$ мВ при дозировании в качестве электролита NaOH ничтожно мало и не было интерпретировано как стремление к положительным значениям. Данное изменение могло быть обусловлено избыточным содержанием Na^+ , что приводит либо к десорбции OH^- либо Na^+ мешают закреплению гидроксил ионов на поверхности сфалерита и снижению заряда по модулю.

Касательно использования аншлифов руды вместо мономинеральных фракций для измерения краевого угла смачивания при обработке поверхности бутиловым ксантогенатом калия и депрессором, соискатель Арабаджи Яна Николаевна разъяснила, что найти образец тонковкрапленной руды с достаточной поверхностью одного минерала оказалось проблематичным, в связи с чем были использованы аншлифы с преобладающим содержанием сфалерита (более 90% по поверхности) и с

