



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИГД СО РАН
А.П. Хмелинин
«22» ноября 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации ФГБУН Институт горного дела им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН) на диссертацию Бурова Владимира Евгеньевича по теме: «Влияние ультразвуковой обработки на характеристики флотационных реагентов и эффективность сильвиновой флотации», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. – «Обогащение полезных ископаемых» (технические науки)

Общая характеристика диссертации

Представленная на рассмотрение диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 218 наименований. Объем диссертации включает 170 страниц машинописного текста, включая 14 рисунков и 13 таблиц.

В диссертационной работе Бурова Владимира Евгеньевича на основе комплекса современных физических и физико-химических методов впервые проведено комплексное исследование и получены новые знания о влиянии ультразвуковой обработки флотационных реагентов (собиратель солянокислый первичный амин, вспениватель гликолевый эфир, депрессоры карбоксиметилцеллюлоза и амилодекстрин), применяемых на стадии основной сильвиновой флотации, на их характеристики, а также о влиянии обработанных ультразвуком перечисленных реагентов на эффективность основной сильвиновой флотации. Установлены режимы УЗ-обработки флотационных реагентов, обеспечивающие повышение эффективности сильвиновой флотации в лабораторных условиях. УЗ-обработка раствора депрессора (амилодекстрина) с удельной акустической мощностью 0.51 Вт/см^3 и композиции реагентов «собиратель – вспениватель – активатор» при удельной акустической мощности 0.68 Вт/см^3 в среднем повышает выход пенного продукта на 0.64 %, увеличивает содержание КСl в пенном продукте на 0.95 масс. % и повышает извлечение КСl на 2.86 %, кроме того, снижается содержание нерастворимого остатка в пенном продукте флотации в среднем на 0.20 масс. %. Установлен оптимальный режим УЗ-обработки композиции флотационных реагентов «собиратель – вспениватель – активатор», при котором наблюдается повышение эффективности основной сильвиновой флотации в условиях работы флотационной фабрики БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий». Оптимальный режим УЗ-обработки (две последовательно подключенные УЗ-установки интенсивностью 0.04 Вт/см^3 каждая при регламентной норме расхода реагентов) снижает содержание сильвина в камерном продукте флотации на 0.2-0.4 масс. %, увеличивает содержание хлорида калия в пенном продукте на 1.7-2.6 масс. % и повышает извлечение хлористого калия до 96.5 % (при контрольном значении – 95.6 %) на одной технологической нитке.

Проведённая экономическая оценка применения УЗ-обработки собирательной смеси реагентов показала, что при использовании ультразвука в оптимальном режиме на одной технологической нитке можно получить положительный экономический эффект в размере 29 036 858 рублей в год (без учёта издержек, связанных с приобретением УЗ-установок и их обслуживанием). Основные расходы, связанные с эксплуатацией двух УЗ-установок при

оптимальном режиме, следующие: амортизация УЗ-аппаратов (срок полезного использования 3 года) – 733 333 руб./год; электропотребление – 150 380 руб./год; техническая вода на охлаждение УЗ-установок – 27 432 руб./год.

Актуальность темы диссертации, ее связь с государственными научными программами

Россия обладает уникальными месторождениями калийных руд, являющихся сырьевой базой для производства калийных удобрений, соединений калия, натрия, магния и хлора – важнейших продуктов, используемых в сельском хозяйстве, химической, металлургической отраслях промышленности и энергетике. На многих действующих калийных предприятиях РФ обогащение сильвинитовых руд осуществляется флотационным способом. Основные преимущества использования флотации заключаются в небольших энергетических затратах и применении простых аппаратных схем. Ключевой особенностью флотационного обогащения калийных руд является применение реагентов разных типов (собиратели, вспениватели, депрессоры), которые необходимы для разделения солевых и глинистых минералов.

В то же время использование реагентов несёт в себе недостатки, оказывающие отрицательное влияние на технологические показатели сильвиновой флотации. Например, применение растворимых солей в качестве жидкой фазы насыщенных солевых растворов в процессе флотации сильвина способствует интенсивному мицеллообразованию собирателя, его коагуляции и высаливанию, что оказывает значительное влияние на адсорбционную и флотационную активность реагента. Наряду с собирателем в процессе флотации важную роль играют вспениватели (пенообразователи), способствующие образованию в объёме пульпы мелких пузырьков воздуха, необходимых для прикрепления гидрофобных минеральных частиц, а на поверхности пульпы – образованию стабильного пенного слоя, который влияет на интенсивность осыпания частиц. От свойств пены зависят эффективность извлечения и качество получаемого при флотации продукта, однако в некоторых условиях результаты флотации не соответствуют промышленным требованиям из-за таких факторов, как низкая устойчивость пены, невысокая кратность, низкая дисперсность пузырьков воздуха в объёме пульпы. Кроме того, в настоящее время часть лучших сырьевых источников калийных месторождений уже выработана, в связи с чем начинают использоваться пласты с более высоким содержанием глинисто-солевого шлама (ГСШ), что приводит к ухудшению показателей сильвиновой флотации. Ввиду этого на стадии основной сильвиновой флотации до ввода в процесс реагента-собирателя рудную пульпу кондиционируют депрессорами, благодаря чему повышается селективность флотации, а также уменьшается расход собирателя. Однако молекулы органических депрессоров (например, карбоксиметилцеллюлозы и крахмала) в растворах склонны к формированию ассоциатов и надмолекулярных структур, вследствие чего могут ухудшаться депрессирующие свойства реагента.

В связи с вышеуказанным, как справедливо отмечено автором, поиск путей повышения эффективности работы используемых флотационных реагентов сильвиновой флотации для устранения имеющихся недостатков актуален для всех калийных предприятий РФ.

Задачи и содержание исследования соответствуют положениям паспорта специальности 2.8.9. – Обогащение полезных ископаемых. П.1. Технологическая

минералогия. Изучение взаимосвязи состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами. Технологическая оценка минерального сырья. П.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. Физико-химические и энергетические методы интенсификации процессов обогащения и выщелачивания природного и техногенного минерального сырья.

Целью диссертационной работы является установление влияния ультразвуковой (УЗ) обработки флотационных реагентов на их физико-химические характеристики и эффективность сильвиновой флотации.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие **задачи**:

1. Исследовать влияние УЗ-обработки наиболее распространённых в калийной промышленности флотационных реагентов сильвиновой флотации (собиратель – амин первичный солянокислый; вспениватель – гликолевый эфир; депрессоры – карбоксиметилцеллюлоза и амилодекстрин) на изменение их характеристик (размер и форму мицелл и агломератов, величину электрокинетического потенциала частиц реагентов и рН растворов реагентов; вязкость; вспенивающую способность, устойчивость пен и поверхностное натяжение; коагуляцию мицелл собирателя в насыщенном солевом растворе).

2. Установить принципиальную возможность повышения эффективности сильвиновой флотации за счёт использования УЗ-обработки флотационных реагентов.

3. Провести опытно-промышленные испытания УЗ-обработки флотационных реагентов, применяемых на стадии основной сильвиновой флотации.

Идея работы заключается в использовании ультразвукового диспергирования растворов реагентов до стадии основной сильвиновой флотации для повышения их адсорбционной и флотационной активности.

Объекты исследований. В качестве объектов исследования выбраны:

1. Раствор собирателя: 0.8 масс. % водный раствор солянокислого амина (амины первичные, фракции С16-С18).

2. Композиция реагентов «собиратель – вспениватель»: собиратель – 0.8 масс. % водный раствор солянокислого первичного амина; вспениватель – гликолевый эфир химической формулы $C_{12}H_{24}O_3$.

3. Растворы депрессоров: 4 масс. % водный раствор карбоксиметилцеллюлозы (степень полимеризации 750-850) и 4 масс. % водный раствор амилодекстрина (крахмал модифицированный растворимый).

Предмет исследования: изменение физико-химических характеристик флотационных реагентов под воздействием ультразвуковой обработки и их влияние на эффективность сильвиновой флотации.

Оценка внутреннего единства полученных результатов. Диссертационная работа охватывает все основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается общей целенаправленностью работы, основной идейной линией, взаимосвязью научных результатов, положений и выводов.

Основные научные результаты диссертации

Диссертантом на защиту выносятся пять научных положений.

В первом положении установлено, что ультразвуковая обработка раствора собирателя солянокислого амина приводит к изменению его характеристик. УЗ-обработка раствора собирателя с удельной акустической мощностью $0.34\text{--}0.85 \text{ Вт/см}^3$ понижает кажущуюся энергию активации вязкого течения (энергия активации Гиббса) на $2.16\text{--}5.76 \text{ кДж/моль}$, что указывает на переход сложной структурированной мицеллярной формы аминов в менее структурированную, при этом мицеллы амина (раствор которых был обработан ультразвуком акустической мощностью 0.34 и 0.85 Вт/см^3), вводимые в насыщенный солевой раствор $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$, находятся в течение $10\text{--}30$ минут в более устойчивом к коагуляции состоянии, чем без применения ультразвуковой обработки. Ультразвуковая обработка раствора собирателя с удельной акустической мощностью $0.34\text{--}0.85 \text{ Вт/см}^3$ уменьшает размер мицелл реагента на $4.7\text{--}6.5 \text{ нм}$, благодаря чему мицеллы амина более эффективно распределяются на поверхности кристалла сильвина, что подтверждено ростом краевого угла смачивания частиц KCl на $7.2\text{--}11.6$ град. и повышением величины адсорбции амина на кристалле хлорида калия.

Во втором положении показано, что ультразвуковая обработка раствора собирателя солянокислого амина и композиции растворов реагентов «собиратель – вспениватель» изменяет их пенообразующие характеристики. Ультразвуковое диспергирование мицелл раствора солянокислого амина с удельной акустической мощностью от 0.34 до 0.85 Вт/см^3 понижает поверхностное натяжение раствора собирателя на $1.5\text{--}9.2 \%$ и содержание влаги в пене раствора собирателя на 2.2% , увеличивает кратность пен на 2.1% и пенообразование на 5.5% , в связи с чем пены становятся более устойчивыми к разрушению. При этом УЗ-обработка композиции «собиратель – вспениватель» аналогичными удельными акустическими мощностями увеличивает пенообразование на 10.2% и содержание влаги в пене на 20.2% , а также снижает кратность пен на 17% , вследствие чего пены становятся менее устойчивыми.

В третьем положении установлено, что ультразвуковая обработка растворов депрессоров карбоксиметилцеллюлозы и амилодекстрина приводит к изменению их характеристик. Ультразвуковая обработка растворов реагентов-депрессоров при удельной акустической мощности $0.34\text{--}0.85 \text{ Вт/см}^3$ смещает дифференциальные кривые объёмного распределения по размерам агломератов в область малых размеров: в случае с раствором карбоксиметилцеллюлозы размер агломератов может снижаться на 33% ; в случае с раствором амилодекстрина с 8000 (размер агломератов без воздействия ультразвуком) до 60 нм . Ультразвуковая обработка с удельной акустической мощностью $0.34\text{--}0.85 \text{ Вт/см}^3$ понижает отрицательный электрокинетический потенциал раствора карбоксиметилцеллюлозы на $8.50\text{--}10.45 \text{ мВ}$.

В четвертом положении приведены режимы УЗ-обработки флотационных реагентов, обеспечивающие повышение эффективности сильвиновой флотации в лабораторных условиях. УЗ-обработка раствора депрессора амилодекстрина с удельной акустической мощностью 0.51 Вт/см^3 и композиции реагентов «собиратель – вспениватель – активатор» при удельной акустической мощности 0.68 Вт/см^3 в среднем повышает выход пенного продукта на 0.64% , увеличивает содержание KCl в пенном продукте на $0.95 \text{ масс. } \%$ и повышает извлечение KCl на 2.86% , кроме того, снижается содержание нерастворимого остатка в пенном продукте флотации в среднем на $0.20 \text{ масс. } \%$.

В пятом положении приведен оптимальный режим УЗ-обработки композиции флотационных реагентов «собиратель – вспениватель – активатор», обеспечивающий

повышение эффективности основной сильвиновой флотации в условиях работы флотационной фабрики БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий». Оптимальный режим УЗ-обработки (две последовательно подключенные УЗ-установки проточного типа при интенсивности 0.04 Вт/см^3 каждая при расходе собирательной смеси реагентов по норме) снижает содержание сильвина в камерном продукте флотации на 0.2-0.4 масс. %, увеличивает содержание хлорида калия в пенном продукте на 1.7-2.6 масс. % и повышает извлечение хлористого калия до 96.5 % (при контрольном значении – 95.6 %) на одной технологической нитке.

Научная и практическая значимость диссертационной работы

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые проведено комплексное исследование влияния ультразвуковой обработки флотационных реагентов, применяемых на стадии основной сильвиновой флотации, на их характеристики:

- выявлено, что ультразвуковая обработка раствора собирателя солянокислого амина с удельной акустической мощностью от 0.34 до 0.85 Вт/см^3 сопровождается снижением кажущейся энергии активации вязкого течения (энергия активации Гиббса), что указывает на переход сложноструктурированной мицеллярной формы аминов в менее структурированную, при этом диспергированные мицеллы амина, вводимые в насыщенный солевой раствор $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$, находятся в более устойчивом к коагуляции состоянии;

- показано, что ультразвуковая обработка раствора собирателя с удельной акустической мощностью от 0.34 до 0.85 Вт/см^3 уменьшает размер мицелл реагента, благодаря чему мицеллы амина более эффективно распределяются на поверхности кристалла сильвина, что подтверждено ростом краевого угла смачивания частиц KCl , покрытых солянокислым амином, и повышением величины адсорбции амина на кристалле хлорида калия;

- установлено, что за счёт ультразвукового диспергирования мицелл амина с удельной акустической мощностью от 0.34 до 0.85 Вт/см^3 снижается поверхностное натяжение и содержание влаги в пене, а также увеличивается кратность пен и пенообразование раствора собирателя солянокислого амина, в связи с чем пены становятся более устойчивыми. При этом УЗ-обработка композиции «собиратель – вспениватель» с удельной акустической мощностью от 0.34 до 0.85 Вт/см^3 увеличивает пенообразование и содержание влаги в пене, а также снижает кратность пен, вследствие чего пены становятся менее устойчивыми;

- выявлено, что ультразвуковая обработка растворов депрессоров карбоксиметилцеллюлозы и амилодекстрина при удельной акустической мощности 0.34 – 0.85 Вт/см^3 смещает дифференциальные кривые объёмного распределения по размерам агломератов в область малых размеров. Установлено, что ультразвуковая обработка с увеличением удельной акустической мощности понижает отрицательный электрокинетический потенциал раствора карбоксиметилцеллюлозы.

Практическое значение диссертации состоит в том, что на стадиях лабораторных испытаний определены режимы ультразвуковой обработки флотационных реагентов, повышающие эффективность флотации (увеличение выхода пенного продукта, повышение содержания сильвина в пенном продукте, повышение извлечения KCl и снижение содержания нерастворимого остатка в пенном продукте флотации). Разработаны способ улучшения характеристик пенообразующих композиций флотореагентов (патент РФ № 2772587) и способ флотационного обогащения сильвинитовых руд (патент РФ № 2777020).

В результате опытно-промышленных испытаний на флотофабрике БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» установлен оптимальный режим УЗ-обработки собирательной смеси реагентов, при котором наблюдается снижение содержания хлорида калия в камерном продукте флотации и увеличение извлечения хлорида калия.

Проведённая экономическая оценка применения УЗ-обработки собирательной смеси реагентов показала, что при использовании ультразвука в оптимальном режиме на одной технологической нитке можно получить положительный экономический эффект в размере 29 036 858 рублей в год (без учёта издержек, связанных с приобретением УЗ-установок и их обслуживанием).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Считаю целесообразным продолжить работу по апробации и применению разработанных способов улучшения характеристик пенообразующих композиций флотореагентов и флотационного обогащения сильвинитовых руд на других калийных предприятиях РФ.

Обоснованность научных положений и достоверность выводов диссертации

Диссертация имеет важное научно-практическое значение. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждается использованием сертифицированного оборудования, комплекса современных экспериментальных физических и физико-химических исследований, непротиворечивостью полученных результатов и выводов. Достоверность подтверждается также согласованностью выводов теоретического анализа и данных эксперимента, воспроизводимостью результатов лабораторных и опытно-промышленных испытаний и их апробацией на практике в условиях действующего производства. Полученные результаты и выводы можно признать обоснованными и достоверными. В их основе лежат впервые проведенные комплексные исследования по влиянию ультразвуковой обработки флотационных реагентов, применяемых при сильвиновой флотации, на их характеристики, что позволило обосновать эффективные режимы, обеспечивающие повышение технологических и технико-экономических показателей флотации, имеющих важное значение при обогащении сильвинитовых руд на калийных предприятиях РФ.

Апробация результатов

Содержание работы достаточно полно отражено в автореферате и публикациях автора. По теме диссертационной работы опубликовано 11 научных работ, в том числе: 5 в рекомендованных ВАК РФ изданиях, 6 в материалах российских и международных конференций, получены 2 патента РФ на изобретение.

Основные положения и результаты диссертационной работы неоднократно докладывались и обсуждались на различных международных и научно-практических конференциях: на Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Химия. Экология. Урбанистика» в г. Пермь (2021, 2024); на конкурсе статей «Школа молодых учёных» в г. Пермь (2021); на международной конференции «Плаксинские чтения – 2022» в г. Владивосток; на VI Всероссийской конференции «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» в г. Кемерово (2022); на III Национальной научно-практической конференции «Современные наука и образование: достижения и перспективы развития» в г. Керчь (2023); на Международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова в г. Белгород (2023).

Работа получила грантовую поддержку от Фонда содействия инновациям по программе «СТАРТ» конкурса «СТАРТ-1» и конкурса-акселератора инновационных

проектов «Большая разведка». Работа признана победителем президентской платформы «Россия – страна возможностей» по конкурсу «Моя страна – моя Россия» в номинации «Большая технологическая разведка моей страны» (3 место), программы от инновационного центра «Сколково» «Химия инноваций» (3 место) и конкурса проектов «Изобретатели ПНИПУ» (3 место). Работа принимала участие в конкурсе-выставке Open Innovations Startup Tour (г. Пермь), в конкурсе бизнес-проектов среди участников акселерационной образовательной программы «Ты – предприниматель» (г. Пермь), а также на Форуме (Nobel Vision) Open Innovations 2.0 от Министерства науки и высшего образования РФ (технопарк «Сколково», г. Москва).

Содержание и тема диссертационной работы соответствует паспорту научной специальности 2.8.9. – Обогащение полезных ископаемых.

Автореферат диссертации в достаточной мере отражает содержание диссертации и полностью раскрывает научные положения, выносимые на защиту. Диссертация написана грамотным научно-техническим языком, составлена и оформлена в соответствии с требованиями ВАК и ГОСТ Р 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления», графические материалы оформлены с применением современных компьютерных программ.

Личный вклад автора. Основные положения, выносимые на защиту, принадлежат автору. Участие автора состояло в проведении аналитического обзора научно-технической литературы по вопросам изучения ультразвуковой обработки флотационных реагентов, в том числе применяемых при сильвиновой флотации, на их характеристики; в постановке целей и задач исследований, выборе методик, постановке лабораторных экспериментов и их проведении с последующим проведением необходимых расчётов и обоснованием выводов. Кроме того, автор принимал непосредственное участие в составлении программы и проведении опытно-промышленных испытаний.

Замечания по диссертации

Отмечая в целом высокий научно-практический уровень диссертационной работы Бурова В.Е., следует выделить по ней некоторые замечания:

1. Автор предлагает для сокращения размера агломератов мицелл карбоксиметилцеллюлозы, понижения поверхностного натяжения раствора солянокислого амина на 1,5÷9,2 %, использовать обработку ультразвуком. Тот же эффект достигается при добавлении в раствор поверхностно-активного вещества, например, гексанола. В силу каких причин автор отказался от этого крайне доступного метода изменения свойств флотационной системы?

2. В ряде работ, цитируемых автором, доказывается, что реагент-собиратель доставляется к частице минерала пузырьком. Скорость растекания мицелл собирателя в монослой молекул на поверхности пузырька определяет эффективность собирателя. Добавление поверхностно-активных веществ увеличивает скорость растекания собирателя на границе раздела «электролит-газ». В связи с этим возникает противоречие между утверждением автора о необходимости разрушения мицелл ультразвуком и достаточности контакта рассола с пузырьками согласно Ласковскому, Бурдуковой и др.

3. На стр. 57 автор указывает, что звуковые эффекты изменяются в зависимости от частоты и давления. Им исследовалось влияние мощности ультразвукового источника на характеристики растворов реагентов, эффективность основной сильвиновой флотации.

Влияние частоты звуковой волны на пенообразование не исследовалось, особенно интересна интенсивность ее затухания в пузырьковой среде в зависимости от частоты. Какое влияние на долговечность излучателя оказывает повышенная вязкость среды?

4. Рассмотрены радиально сферические колебания пузырька в жидкости, но полностью отсутствуют сведения о поверхностных колебаниях пузырька, о резонансных явлениях разных мод колебаний и их влияния на флотированность.

5. На стр. 51 автором указывается, что «флотационные свойства таких реагентов, как ксантогенаты жирных кислот, сернистый натрий и др., усиливаются после обработки электрическим током». Что за реагенты автор имеет ввиду под названием ксантогенаты жирных кислот?

6. В работе при изучении влияния ультразвуковой обработки на свойства наиболее распространённых в калийной промышленности флотационных реагентов, применяемых на стадии основной сильвиновой флотации, автором рассматривалось влияние ультразвуковой обработки (УЗ-обработки) только одной частоты, обеспечиваемой применяемыми приборами. Автором при проведении лабораторных исследований использовался УЗ-аппарат «Волна» с частотой УЗ-колебаний $22 \pm 1,65$ кГц; а при проведении опытно-промышленных испытаний УЗ-аппарат «БУЛАВА-П» с частотой УЗ-колебаний $18 \pm 1,65$ кГц (стр. 80, таблица 2.3). В работе отсутствует обоснование значения частоты УЗ-колебаний, а в Главах 2-4 нет данных о частоте УЗ-колебаний, используемых при проведении исследований. С чем это связано?

7. В тоже время в разделе «1.3 Возможности применения ультразвука при флотации минеральных руд» работы показано, что УЗ-обработка различными авторами исследовалась в области частот от 20 кГц до 1000 кГц. Было бы интересно сравнить влияние УЗ-обработки при других частотах с полученными автором результатами при одной частоте УЗ-колебаний.

8. На стр. 92-93 работы приведен «Раздел 2.4. Статистическая обработка результатов исследования». Указано, что «Статистическая обработка полученных в ходе исследования данных проводилась с использованием пакетов программ RStudio 2022.12.0 Build 353 (Posit Software, PBC) и Microsoft Office профессиональный плюс 2019 Excell версия 2006 (сборка 13001.20266). В ходе статистической обработки данных были выполнены следующие шаги для оценки влияния УЗ-обработки флотационных реагентов на изменения их физико-химических характеристик: расчёт среднего значения и стандартного отклонения; проверка на нормальность распределения; определение коэффициента корреляции; определение значимости коэффициентов корреляции.

Для более ясного понимания следовало бы привести конкретный пример расчётов. Например, для случая определения величин электрокинетического потенциала частиц реагента-собираателя и рН раствора солянокислого амина (СКА) без и с использованием ультразвуковой обработки раствора СКА. Экспериментальные данные представлены на рисунках 3.1 и 3.2. (Стр. 95).

9. Отмечены ошибки в тексте диссертации:

– На стр. 14, пункт 3 указывается «... мощностью 0,34–0,85 Вт/см³...», а должно быть: «... мощностью 0,34–0,85 Вт/см³...»;

– На стр. 45 на последней строке приведено «... товарный продукт в среднем n 0,6 %», а следовало «... товарный продукт в среднем на 0,6 %»;

– На стр. 62 в конце первого абзаца приведено «Используя оптимальные режимы ультразвуковой обработки, степень извлечения железа улучшилось с 61,09 % до 81,03 %». Следовало написать: «С использованием оптимальных режимов ультразвуковой обработки степень извлечения железа повысилась с 61,09 % до 81,03 %».

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку рассматриваемой диссертации, а имеют своей целью уточнить некоторые ее положения.

Заключение

Диссертация Булова Владимира Евгеньевича представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему.

Содержание диссертационного исследования соответствует поставленным целям и задачам. Задачи решены полностью и на высоком научном уровне с применением современных математических методов и прикладных компьютерных программ. Работа написана грамотным научно-техническим языком, хорошо иллюстрирована необходимыми рисунками и фактическим табличным материалом, оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям. Выводы и рекомендации обоснованы в достаточной мере. Замечания не снижают научной и практической ценности работы.

Диссертационная работа, представленная Буловым Владимиром Евгеньевичем на соискание учёной степени кандидата технических наук, обладает научной новизной и практической значимостью.

В работе на основе комплекса современных физических и физико-химических методов впервые проведено комплексное исследование и получены новые знания о влиянии ультразвуковой обработки флотационных реагентов (собиратель солянокислый первичный амин, вспениватель гликолевый эфир, депрессоры карбоксиметилцеллюлоза и амилодекстрин), применяемых на стадии основной сильвиновой флотации, на их характеристики, а также о влиянии обработанных ультразвуком перечисленных реагентов на эффективность основной сильвиновой флотации. Обоснованные и разработанные эффективные режимы ультразвуковой обработки флотационных реагентов, обеспечивающие повышение технологических и технико-экономических показателей флотации, имеют важное значение при обогащении сильвинитовых руд на калийных предприятиях РФ. Результаты исследований приняты для использования на практике.

По объёму выполненной работы и оригинальности полученных результатов, научной и практической значимости выводов считаем, что диссертация соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям п. 9-14 Положения о порядке присуждения учёных степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842; а её автор, Булов Владимир Евгеньевич, достоин присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. – Обогащение полезных ископаемых.

Диссертационная работа, автореферат и положительный отзыв ведущей организации рассмотрены и одобрены на заседании лаборатории обогащения полезных ископаемых и технологической экологии ФГБУН Институт горного дела им. Н. А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук (ИГД СО РАН) (протокол № 11 от 21 ноября 2024 г.)

Заведующий лабораторией
обогащения полезных ископаемых
и технологической экологии ИГД СО РАН,
г.н.с., д.т.н.

Подпись Кондратьева С. А. заверяю
Учёный секретарь ИГД СО РАН, к.т.н.



Кондратьев С. А.

Коваленко К. А.

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 630091, Россия, Новосибирск, Красный проспект, 54

Телефон: +7 (383) 205–30–30, доб. 100 (приемная)

Факс: +7 (383) 205–30–30

E-mail: mailigd@misd.ru

ОГРН 1035402457683

от 23 января 2003 г.

ИНН/КПП 5406015367

540601001

Дата регистрации

31.05.1994

Список опубликованных научных трудов

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт горного дела
им. Н.А. Чинакала Сибирского отделения Российской академии наук

1. Kondratyev S. A. Effect of physical collector sorption on flotation parameters / International Mineral Processing Congress 2018, Congress proceedings. - Moscow. P. 1113 – 1126.

2. Кондратьев С. А., Гаврилова Т. Г. Механизм работы физической формы сорбции на примере активации сульфидных минералов ионами тяжелых металлов / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. - № 3. – С. 121 – 135.

3. Юсупов Т. С., Кондратьев С. А., Халимова С. Р., Новикова С. А. Минералогическая оценка обогатимости оловосульфидного техногенного сырья / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. - № 4. – С. 145 – 151.

4. Кондратьев С. А., Семьянова Д. В. Связь структуры углеводородного радикала флотационного реагента с его собирательными свойствами / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. - № 6. – С. 145 – 151.

5. Кондратьев С. А., Коновалов И. А. Физическая форма сорбции и ее влияние на активацию флотации сфалерита ионами тяжелых металлов. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Международный научный конгресс. Международная научная конференция. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки

месторождений полезных ископаемых. Геозкология»: сб. материалов в 6 т. Т. 5. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – 66 – 73 с.

6. Ростовцев В. И., Кондратьев С. А., Кулагин О. Р., Кулагин Р. А., Сиволап Б. Б. Исследования энергии разрушения керновых образцов гранита, обработанных ускоренными электронами. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Международный научный конгресс. Международная научная конференция. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геозкология»: сб. материалов в 6 т. Т. 5. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – 188 – 193 с.

7. Кондратьев С. А. Влияние структуры углеводородного фрагмента оксигидрильных и катионных реагентов на их собирательную активность. Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Международный научный конгресс. Международная научная конференция. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геозкология»: сб. материалов в 6 т. Т. 6. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 65 – 77.

8. Chanturiya, V. and Kondratiev, S. Contemporary understanding and developments in the flotation theory of non-ferrous ores / Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2019. – No. DOI: 10.1080/08827508.2019.1657863.

9. Кондратьев С. А., Метод выбора структуры и состава углеводородного фрагмента молекулы собирателя. – ФТПРПИ. – 2019. – № 3. С. 87 – 98.

10. Киенко Л. А., Воронова О. В., Кондратьев С. А. Исследование влияния ультразвуковых воздействий на селективность флотации при обогащении отходов производства Ярославской горнорудной компании / ФТПРПИ. – 2019. – № 4. С. 174 – 181.

11. Юсупов Т. С., Шумская Л. Г., Кондратьев С. А., Кириллова Е. А., Уракаев Ф. Х. Использование механоактивационного измельчения в процессах обогащения оловосодержащего сырья / ФТПРПИ. – 2019. – № 5. С. 121 – 127.

12. Размыслов И. Н., Котова О. Б., Силаев В. И., Ростовцев В. И., Киселева Д. В., Кондратьев С. А. Микрофазовая гетерогенизация железистых бокситов в результате радиационно-термической обработки / ФТПРПИ. – 2019. – № 5. С. 128 – 140.

13. Кондратьев С. А. Развитие методов выбора перспективных реагентов-собирателей / Проблемы и перспективы эффективной переработки минерального сырья (Плаксинские чтения-2019): материалы Международная научная конференция, Иркутск, 9-14 сентября 2019 г. – С. 130 – 133.

14. Брызгин А. А., Коробейников М. В., Кондратьев С. А., Ростовцев В. И. Эффекты дальнего действия при взаимодействии электронного пучка с кристаллическими веществами / XXIX Международная конференция «Радиационная физика твердого тела». Севастополь. -2019. – С. 55-64.

15. Брызгин А. А., Коробейников М. В., Кондратьев С. А., Михайленко М. А. Ростовцев В. И. Радиационно-термические процессы при обработке пирита и железосодержащих руд / XXIX Международная конференция «Радиационная физика твердого тела». Севастополь. -2019. – С. 387-395.

16. Уракаев Ф.Х., Шумская Л.Г., Кириллова Е.А., Кондратьев С.А., Юсупов Т.С. Влияние условий предварительной механической обработки на обогащение отходов Новосибирского оловокомбината и извлечение касситерита из техногенного сырья / Проблемы геологии и расширение минерально-сырьевой базы стран Евразии. Материалы

международной научной конференции, посвящённой 100-летию со дня рождения П.Т. Тажибаевой, 28-29 ноября 2019 г. - С. 288 – 298.

17. Кондратьев, С.А. Выбор структуры и состава молекулы собирателя на основе механизма работы его физически сорбируемых форм. Интерэкспо Гео-Сибирь 2019. – 2019. – Т.2. – №4. – С.61-68.

18. Кондратьев, С.А., Коновалов И.А. Связь скорости растекания осадков ксантогенатов по поверхности воды с показателями флотации. Интерэкспо Гео-Сибирь 2019. XV Международный научный конгресс. – Т.2. – №4. – С.69-76.

19. Kondratiev S. A., Tsitsilina D.M. Mechanism of physisorption of collectors in activation of no-sulfide mineral flotation by metal ion / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2019. –Vol. 262. – P. 6.

20. Кондратьев С.А., Мошкин Н.П. Взаимодействие минеральной частицы со свободным пузырьком воздуха в жидкости. – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). Издательство Сибирского отделения РАН, Новосибирск. – 2020. – № 6. – С. 125-135. DOI: 10.15372/FTPRPI2020050. (Работа выполнена в рамках проекта НИР, № государственной регистрации АААА-А17-117092750073-6).

21. Ростовцев В.И., Брызгин А.А., Коробейников М.В. Повышение селективности измельчения и комплексности использования минерального сырья на основе радиационной модификации его свойств. – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). Издательство Сибирского отделения РАН, Новосибирск. – 2020. – № 6. – С. 136-146. DOI: 10.15372/FTPRPI202006. (Работа выполнена в рамках проекта НИР, № государственной регистрации АААА-А17-117092750073-6).

22. Коновалов И.А. Кондратьев С.А. Флотационная активность солей ксантогеновой кислоты. – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). Издательство Сибирского отделения РАН, Новосибирск. – 2020. – № 1 – С. 114-123. DOI: 10.15372/FTPRPI20200112. Работа выполнена в рамках проекта ФНИ (№ государственной регистрации АААА-А17-117092750073-6).

23. Кондратьев С.А., Ростовцев В.И., Коваленко К.А. Развитие экологически безопасных технологий комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья. – Горный журнал. Издательство: Издательский дом «Руда и металлы», Москва. – 2020. – № 5. – С. 39-46. DOI: 10.17580/gzh.2020.05.07. (Работа выполнена в рамках проекта НИР, № государственной регистрации АААА-А17-117092750073-6).

24. Ростовцев В.И., Кондратьев С.А. Повышение селективности раскрытия полезных минералов при переработке труднообогатимого полиминерального сырья с предварительным разупрочнением / Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI Междунар. науч. конгр., сб. материалов в 8 т. Т.2: Национальная науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология». – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. DOI: 10.33764/2618-981X-2020-2-162-172. Т.2, С. 162-172. (Работа выполнена в рамках проекта НИР (№ государственной регистрации АААА-А17-117092750073-6)).

25. Кондратьев С. А. Обоснование механизма работы физически сорбированного собирателя в элементарном акте флотации // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 1 – С. 118-136.

26. Кондратьев С. А., Коваленко К. А. Крупность флотуемых частиц в импеллерных флотомашинах // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 2 – С. 106-118.
27. Кондратьев С. А. Собирающая сила и избирательность флотационного реагента // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 3 – С. 133-147.
28. Уракаев Ф.Х., Л. Г. Шумская Л. Г., Кириллова Е.А., Кондратьев С. А. Возможности стадийной дезинтеграции и механической активации в процессах обогащения техногенного оловосодержащего сырья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 3 – С. 158-167.
29. Хамзина Т. А., Кондратьев С. А. Исследование флотационной активности реагентов различного группового химического состава при флотации угольного шлама трудной обогатимости // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 4 – С. 121-130.
30. Киенко Л. А., О. В. Воронова О. В., Кондратьев С. А. Влияние состава собирающих комплексов на результаты флотационного обогащения техногенных отходов Ярославской горнорудной компании // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 4 – С. 153-160.
31. Ростовцев В. И. Пути повышения извлечения микро- и наночастиц ценных компонентов из природного и техногенного минерального сырья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2021. – № 4 – С. 131-141.
32. Kovalenko K. A. Safe and ecological performance of mining and processing industry / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 773 (2021) 012030. doi:10.1088/1755-1315/773/1/012030.
33. Kovalenko K. A. Adsorption properties of Kemerovo manganese ore toward zinc / IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 773 (2021) 012031. doi:10.1088/1755-1315/773/1/012031.
34. Бакшеева И. И., Бурдакова Е. А., Ростовцев В. И., Плотникова А. А., Жижаев А. М., Бондаренко Г. Н. Совершенствование технологии переработки золотосодержащего сульфидного сырья на основе магнитно-коллоидной обработки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых (ФТПРПИ). – 2022. – № 1 – С. 153-162.
35. Кондратьев С. А., Коновалов И. А. Влияние физической формы сорбции собирателя на флотацию галенита ксантогенатом в присутствии ионов Pb^{2+} / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2023. - № 4. – С. 118 – 129.
36. Ростовцев В.И. Влияние особенностей минерального состава на свойства железистых бокситов и перспективы их комплексного использования // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 1. С. 124-134.
37. Кондратьев С. А., Мошкин Н. П. Поведение флотационного комплекса “минеральная частица – пузырек” в слабовязкой жидкости в процессе флотации // ФТПРПИ. – 2024. – № 1. – С. 143 – 154.
38. Кондратьев С. А. Термодинамические условия нахождения физически сорбируемых собирателей на минеральной поверхности в элементарном акте флотации // Цветные металлы. – 2024. - № 7. – С. 11- 19.