

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ХАБАРОВСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

680000, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54, тел.: (4212) 32-79-27, e-mail: adm@khfrc.ru

№ ХФИЦ-01-02/ 403 от 03.06. 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного бюджетного
учреждения науки Хабаровского
Федерального исследовательского
центра Дальневосточного отделения
Российской академии наук,
академик РАН, д.т.н.



И.Ю. Рассказов

03 июня 2026 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Абуровой Валерии Александровны на тему: «Разработка технологии переработки углеродистых благороднометалльных руд с использованием энергетического воздействия», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

1. Актуальность темы диссертации

Тема диссертационного исследования обусловлена объективной необходимостью вовлечения в переработку упорных и труднообогатимых благороднометалльных руд в связи с истощением запасов богатого и легкообогатимого сырья. Углеродистые руды двойной упорности характеризуются тонкой вкрапленностью золота и серебра в сульфидной матрице, а также наличием сорбционно-активного органического углерода, вызывающего эффект «прег-роббинга» и значительные потери ценных компонентов с хвостами обогащения. Традиционные методы их переработки отличаются высокими удельными энергозатратами на рудоподготовку и недостаточной эффективностью извлечения. Применение энергетического (СВЧ) воздействия для избирательного разупрочнения рудной массы, интенсификации измельчения и укрупнения низкоразмерных благородных металлов представляет собой перспективное и своевременное научно-техническое направление, соответствующее стратегическим задачам повышения комплексности использования минерально-сырьевой базы Российской Федерации.

2. Научная новизна диссертации

В работе получены следующие новые научные результаты:

Установлен комплекс зависимостей, характеризующих влияние СВЧ-воздействия на физико-механические характеристики углеродистых благороднометалльных руд, подтверждающий переход материала из категории «умеренно мягкой» в «мягкую» крепость за счет избирательного диэлектрического нагрева.

ОТЗЫВ

ВХ. № 237 от 26.06.26
АУ УС

Выявлены и теоретически обоснованы механизмы укрупнения низкоразмерного золота и серебра в углеродсодержащих материалах при добавлении магнетита: формирование активных центров локального нагрева, возникновение дефектов Френкеля в кристаллической решетке и последующая термодинамически обусловленная агрегация наночастиц до размера 20-50 мкм.

Разработан новый интегральный критерий оптимизации флотационного процесса

$K = E_s \cdot (1 - \varepsilon_{\text{Сорг}})$, учитывающий взаимосвязанное изменение эффективности обогащения по сере и минимизации извлечения углеродистого вещества в сульфидный концентрат.

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

Достоверность результатов подтверждена репрезентативным объемом экспериментальных исследований, проведенных на сертифицированном и поверенном лабораторном оборудовании. В работе применен комплекс современных методов: тесты падающего груза (DWT), определение индекса чистой работы дробления Бонда, кинетические исследования измельчения, проведены экспериментальные исследования с использованием флотационных, гравитационных и магнитных методов обогащения, сканирующая электронная микроскопия с ЭДС, рентгенофлуоресцентный анализ. Применены методы планирования эксперимента (матрица Бокса-Бенкена). Статистическая обработка данных выполнена с применением регрессионного анализа и имитационного моделирования технологических схем в пакете JKSImMet. Воспроизводимость результатов подтверждена многократным повторением опытов и рандомизацией. Научные положения логически вытекают из экспериментальных данных, а выводы и рекомендации имеют четкое технологическое и экономическое обоснование.

4. Научные результаты, их ценность

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 8 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, а также в 2 статьях, индексируемых в базе данных Scopus. Получен 1 патент на изобретение РФ № 2799219. Ценность результатов заключается в создании научно-методической базы для энергоэффективной переработки упорных углеродистых руд, разработке нового технологического подхода к доизвлечению «невидимого» золота и серебра из углеродистых хвостов/концентратов, а также в доказанной экономической эффективности предложенных схем (индекс доходности до 8,75, дисконтированный срок окупаемости от 0,94 до 2,50 лет).

5. Теоретическая и практическая значимость результатов диссертации

Теоретическая значимость состоит в раскрытии физических механизмов разупрочнения углеродисто-сульфидных руд под действием СВЧ-поля, установлении закономерностей формирования дефектов Френкеля и термической агрегации благородных металлов, а также в разработке адекватных математических моделей флотационного процесса и интегрального критерия K . Практическая значимость заключается в разработке и технико-экономическом обосновании двух принципиальных технологических схем переработки руд с содержанием $\text{Сорг} > 1\%$ и $\text{Сорг} < 1\%$. Внедрение СВЧ-обработки перед полусамомельчением позволяет снизить удельный расход электроэнергии на 0,83–1,26 кВт·ч/т, повысить извлечение золота на 1,03–3,31%. Результаты работы внедрены в методики НИР ООО «Р-Центр» и могут быть использованы АО «Полиметалл Инжиниринг» для оценки влияния энерговоздействия на прочностные параметры сырья при выборе схем рудоподготовки.

6. Рекомендации по использованию результатов работы

Внедрить предложенную стадию предварительной СВЧ-обработки (400 Вт, 2 мин) в передел рудоподготовки обогатительных фабрик, перерабатывающих углеродистые благороднометалльные руды, для снижения энергозатрат на МПСИ/МШЦ.

Использовать оптимизированный реагентный режим сульфидной флотации (Na_2CO_3 900 г/т, декстрин 600 г/т, крупность питания 85% класса -71 мкм) для минимизации извлечения углерода при максимизации извлечения серы.

Организовать цикл переработки углеродистых флотационных концентратов с добавлением 10% магнетита и последующей СВЧ-обработкой, гравитационной и флотационной сепарацией для снижения потерь золота и серебра с хвостами.

Применять разработанный критерий К при автоматизированном управлении и оптимизации флотационных переделов на действующих предприятиях.

7. Замечания и вопросы по работе

В ходе изучения диссертации у рецензирующей организации сформировались следующие вопросы и рекомендации:

В работе рассматривается лабораторная СВЧ-установка с конвейерной подачей. Какие технические и экономические барьеры могут возникнуть при масштабировании данной технологии до промышленной производительности (сотни тонн в час), и как обеспечить равномерность СВЧ-поля в слое руды толщиной 0,2–0,25 м?

Автор не приводит обоснование необходимости дополнительного ввода магнетита для создания активных центров локального нагрева и не уточняет, могут ли быть имеющиеся в руде сульфиды центрами локального нагрева.

В экономической модели принята консервативная цена золота 9600 руб/г. При этом не учитывается как изменятся показатели индекса доходности и срока окупаемости при использовании текущих рыночных котировок и учете возможных колебаний тарифов на электроэнергию в регионах с удаленной инфраструктурой.

Рекомендуется в дальнейших исследованиях рассмотреть влияние различных форм углеродистого вещества (кероген, битумен, графит) на эффективность СВЧ-нагрева и подобрать дифференцированные режимные параметры воздействия.

8. Заключение по диссертации

Диссертационная работа Абуровой В.А. «Разработка технологии переработки углеродистых благороднометалльных руд с использованием энергетического воздействия» представляет собой законченное научно-квалификационное исследование, выполненное на высоком научно-техническом уровне. Содержание работы полностью соответствует паспорту научной специальности 2.8.9. «Обогащение полезных ископаемых» (п. 2, 3). Полученные результаты обладают выраженной научной новизной, теоретической и практической ценностью, подтверждены экспериментально, имитационным моделированием и актами внедрения. Замечания носят рекомендательный характер и не снижают общей высокой оценки работы.

Диссертация «Разработка технологии переработки углеродистых благороднометалльных руд с использованием энергетического воздействия», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых полностью отвечает требованиям раздела 2 «Положения о присуждении ученых степеней» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», утвержденного приказом ректора Санкт-Петербургского горного университета Екатерины II от 20.05.2021 № 953 адм, а ее автор Абурова Валерия Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Отзыв на диссертацию и автореферат диссертации Абуровой Валерии Александровны обсужден и утвержден на заседании Лаборатории обогащения полезных ископаемых Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, протокол № 1 от 02 июня 2026 года.

Председатель заседания

Заведующая Лабораторией обогащения полезных ископаемых Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук

Кандидат технических наук

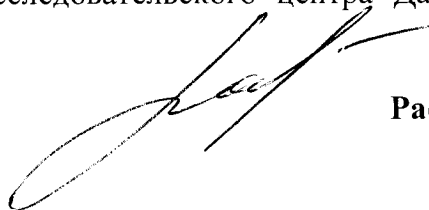


Литвинова Наталья Михайловна

Секретарь заседания

Ведущий научный сотрудник Лаборатории обогащения полезных ископаемых Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук

Кандидат технических наук



Рассказова Анна Вадимовна

Подпись Литвиновой Натальи Михайловны председателя заседания и Рассказовой Анны Вадимовны секретаря заседания заверяю:

Заместитель начальника кадрово-правового отдела Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук



Волокжанина Наталья Васильевна

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук

Почтовый адрес: 680000, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54.

Официальный сайт в сети Интернет: <http://www.khfrc.ru>

эл. почта: adm@khfrc.ru, телефон: 8(4212) 32-79-27