

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Воробьева Кирилла Александровича** на тему: **«Обоснование технологии депонирования углеродсодержащих выбросов шлаками от сжигания твердых коммунальных отходов»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Рост углеродного следа усиливает парниковый эффект, вызывая глобальное потепление, изменение климата и негативное воздействие на экосистемы и человечество. Россия – крупный промышленный игрок, вносит значительный вклад в мировые выбросы, поэтому снижение углеродного следа критически важно для минимизации климатических рисков. Россия участвует в Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Киотском протоколе и Парижском соглашении, обязывающих страны сокращать выбросы. В августе 2025 года президент РФ В.В. Путин подписал указ о сокращении выбросов парниковых газов к 2035 году до 65 - 67% уровня 1990 года, поэтому тема диссертационного исследования является актуальной и весьма перспективной.

Для решения научно-практической задачи: обоснование и разработка технологических и технических условий депонирования углеродсодержащих выбросов шлаками от сжигания ТКО и повторного использования техногенных отходов автором работы выполнен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований, позволяющий впервые получить следующие результаты для науки: 1) расширение и углубление существующих научных знаний о принудительной карбонизации систем на основе остатков от сжигания ТКО с одновременным связыванием диоксида углерода в стабильные карбонатные комплексы; 2) теоретическая и экспериментальная оценка секвестрационного потенциала остатков от сжигания ТКО для технологии ускоренной минеральной карбонизации; 3) уточнение механизмов и установление закономерностей гидратации и принудительной карбонизации шлаков и летучей золы.

Экспериментально выявлены закономерности и определена эффективность процесса карбонизации шлаков и золы в зависимости от химического состава сырья и ключевых параметров процесса. Установлено, что существенное влияние на степень и скорость карбонизации оказывают такие свойства сырья, как его дисперсность и минеральный состав, содержание кальций-магнийсодержащих фаз, активных в реакциях гидратации и карбонизации, а также параметры процесса, такие как давление и концентрация углекислого газа, температура, соотношение жидкой и твердой фаз и продолжительность процесса.

Практическая значимость работы состоит в разработке новых технологических решений, позволяющих в два раза снизить углеродную нагрузку на природно-технические системы и обеспечить экономическую эффективность с получением вторичного сырья для производства строительных материалов. Сформированы методологические основы внедрения в работу мусоросжигательных заводов безотходных и малоотходных технологий на основе предложенной автором развернутой схемы технологических маршрутов комплексной переработки остатков от сжигания ТКО с вариативностью выбора цепочки операций, для перехода к экологической низкоуглеродной трансформации отрасли обращения с отходами и реализации глобальных климатических проектов. Разработана принципиальная схема комплексной переработки шлаков и депонирования ими углеродсодержащих выбросов (технология секвестрации углерода).

Научные положения, выносимые на защиту, успешно доказаны, достоверность полученных результатов сомнений не вызывает.

Замечания и вопросы по автореферату:

1. Как рассчитывалась степень карбонизации на единицу массы сухого образца и фактический потенциал связывания CO_2 ?
2. Из автореферата непонятно, как при проведении исследований (рис.3, стр.13) исключалось влияние посторонних газов, содержащихся в воздухе, на работу установки улавливания диоксида углерода шлаками в газовой

среде?

Вышеуказанные замечания не влияют на научную, практическую значимость и общую положительную оценку выполненной работы.

Диссертация Воробьева К.А. соответствует паспорту научной специальности 1.6.21. Геоэкология; требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г), а её автор – Воробьев Кирилл Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.21. Геоэкология (технические науки).

Доктор технических наук по специальности 25.00.13. «Обогащение полезных ископаемых», доцент по кафедре «Обогащение полезных ископаемых и вторичного сырья», профессор кафедры «Инженерная экология», профессор кафедры «Обогащение полезных ископаемых и химических технологий в горном деле» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Забайкальский государственный университет»

Шумилова Лидия Владимировна

Тел: 89144798280, e-mail: shumilovalv@mail.ru.

ЗабГУ: 672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, дом 30.

Я, Шумилова Лидия Владимировна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

10 марта 2026 г.

Шумилова Лидия Владимировна

