

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.096.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР ИМ. АКАДЕМИКА
Н.В. МЕЛЬНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от "17" марта 2026 г. № 1

О присуждении Воробьеву Кириллу Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация "Обоснование технологии депонирования углеродсодержащих выбросов шлаками от сжигания твердых коммунальных отходов" по специальности 1.6.21. – "Геоэкология" (технические науки) принята к защите "16" декабря 2025 г. (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.096.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, 111020, Москва, Крюковский тупик, д. 4, утвержденным приказом Рособнадзора от 21.05.10, № 1030-391 и измененным в соответствии с приказом Минобрнауки 1025/нк от 21.10.2025.

Соискатель Воробьев Кирилл Александрович, "15" октября 1998 года рождения, в 2022 г. окончил федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" по направлению 21.04.01. "Нефтегазовое дело".

В период подготовки диссертации соискатель Воробьев Кирилл Александрович работал в федеральном государственном бюджетном

учреждении науки Институт проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) в отделе горной экологии в должности инженера (по совместительству), одновременно обучаясь в очной аспирантуре ИПКОН РАН. В настоящее время работает в акционерном обществе "Выксунский металлургический завод" (БЕ АО «ОМК») на должности ведущего специалиста по макроэкономическому анализу и продолжает работать по совместительству в ИПКОН РАН.

Справка о сдаче кандидатских экзаменов выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук № 32 от "12" мая 2025 года.

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова Российской академии наук.

Научный руководитель – Шадрунова Ирина Владимировна, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом горной экологии федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН).

Официальные оппоненты:

Ксенофонтов Борис Семенович, доктор технических наук, профессор, академик Российской экологической академии, профессор кафедры экологии и промышленной безопасности федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)",

Чмыхалова Светлана Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры безопасности и экологии горного производства федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего

образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСИС"

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет" (СПбГАСУ) в своем положительном отзыве, утвержденном доктором технических наук, профессором, проректором по научной деятельности СПбГАСУ Королёвым Евгением Валерьевичем, подписанном доктором технических наук, доцентом, деканом факультета инженерной экологии и городского хозяйства СПбГАСУ Ульрихом Дмитрием Владимировичем и кандидатом технических наук, доцентом, заведующим кафедрой водопользования и экологии СПбГАСУ Федоровым Святославом Викторовичем указывает, что диссертация обладает научной новизной и практической значимостью и отвечает требованиям ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук в соответствии с п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842. Автор диссертационной работы, Воробьев Кирилл Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.21. – «Геоэкология» (технические науки).

Соискатель имеет 23 научные работы по теме диссертации, в том числе: 9 статей в журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, из них 3 по специальности 1.6.21 «Геоэкология» (технические науки), 4 статьи в изданиях, входящих в Scopus и/или Web of Science – библиографические и реферативные базы данных рецензируемой научной литературы, а также в сборниках конференций и журналах, размещенных в национальной библиографической базе данных российского научного цитирования (РИНЦ).

В научных работах соискателя приводятся основные данные о результатах исследований по обоснованию технологии депонирования

углеродсодержащих выбросов шлаками от сжигания твердых коммунальных отходов (ТКО), комплексному изучению химического, минерального и фазового состава золошлаковых остатков мусоросжигательных заводов (МСЗ), определению их реакционной способности и потенциала связывания диоксида углерода методом ускоренной минеральной карбонизации. Рассматриваются вопросы экспериментального определения рациональных параметров процесса принудительной карбонизации (продолжительности гидратации, времени карбонизации, температуры, давления, концентрации газа, соотношения жидкой и твердой фаз), оценки эколого-гигиенических аспектов утилизации и хранения остатков от сжигания ТКО, включая анализ выщелачивания экоконтролируемых тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd) из шлаков и летучей золы, а также разработки технологических маршрутов комплексной переработки техногенных отходов мусоросжигательных заводов с одновременной секвестрацией CO₂ и получением вторичного сырья для производства строительных материалов.

В диссертационной работе отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по специальности 1.6.21:

1. Разработка концепции комплексной переработки отходов мусоросжигательных установок / И.В. Шадрунова, Е.В. Колодежная, О.Е. Горлова, К.А. Воробьев // Экология и промышленность России. – 2025. – Т. 29, № 2. – С. 4-11. DOI: 10.18412/1816-0395-2025-2-4-11 (ВАК K1, Scopus Q3).

2. Экспериментальное определение оптимальных параметров процесса карбонизации шлаков от сжигания твердых коммунальных отходов / К.А. Воробьев, О.Е. Горлова, И.В. Шадрунова, Т.В. Чекушина // Вестник евразийской науки. – 2025. – Т.17, №3. (С. 1-13). URL: <https://esj.today/PDF/40NZVN325.pdf>. (ВАК K2).

3. Воробьев, К.А. Оценка эколого-гигиенических аспектов утилизации продуктов термической обработки твердых коммунальных отходов / К.А. Воробьев, Е.В. Колодежная // Маркшейдерия и недропользование. – 2025. – Т. 25, №4. – С. 76-82. DOI: 10.56195/20793332-2025-25-4-88-94. (ВАК К2).

в других изданиях (журналах, входящие в международные базы цитирований Web of Science, Scopus, в перечень ВАК) и материалах конференций

4. Вещественный состав остатков сжигания твердых коммунальных отходов и оценка их потенциала минерального связывания диоксида углерода / Е.В. Колодежная, И.В. Шадрунова, О.Е. Горлова, К.А. Воробьев // Обогащение руд. – 2025. – №1. – С. 42-49. DOI: 10.17580/or.2025.01.07 (ВАК К2, Scopus Q2,).

5. Protection of hydrosphere in mining regions: Problems and methodology of technological solutions / I.V. Shadrunova, N.N. Orekhova, T.V. Chekushina, K.A. Vorob'ev // Industrial Engineering and Management Systems. – 2020. – Vol. 19(1). – P. 70-77. DOI: 10.7232/iems.2020.19.1.070.s (Scopus Q3 & WoS Q4).

6. Use of Non-magnetic Fraction of Metallurgical Slags in Carbon Dioxide Sequestration Technology / E.V. Kolodezhnaya, M.S. Garkavi, I.V. Shadrunova, O.E. Gorlova, K.A. Vorobyev // Proceedings of the 7th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol.400. Springer, Cham. 2024 – P. 422–432. DOI: 10.1007/978-3-031-47810-9_38 (Scopus Q4).

7. The Possibility of Using Lithium-Containing Waste in the Russian Federation / K.A. Vorobyev, I.V. Shadrunova, T.V. Chekushina // Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 308. Springer, Cham. 2023. P. 574–582. DOI: 10.1007/978-3-031-21120-1_55 (Scopus Q4).

8. The Carbon Dioxide Capture Potential of Ash and Slag from Waste Incineration Plants / K.A. Vorobyev, I.V. Shadrunova, T.V. Chekushina //

Proceedings of the 7th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety ICCATS 2023, Vol. 400. – Springer, Cham, 2024. – P. 558-568. DOI: 0.1007/978-3-031-47810-9_51 (Scopus Q4).

9. Микроструктурные особенности строения силикатов в шлаках термической переработки твердых коммунальных отходов /Е.В. Колодежная, О.Е. Горлова, И.В. Шадрунова, М.С. Колкова, Ю.Ю. Ефимова, К.А. Воробьев // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2025. – Т.31 (1). – С. 39-50. DOI: 10.21209/2227-9245-2025-31-1-39-50. (ВАК К2).

10. Воробьев К.А. Возможности улавливания диоксида углерода шлаками мусоросжигательных заводов в газовых средах / К.А. Воробьев // Вестник Пермского университета. Геология. – 2023. – Т.22, № 3. – С. 275-281. DOI: 10.17072/psu.geol.22.3.275. (ВАК К2).

11. Исследование количества диоксида углерода при сжигании отходов: экспериментальные измерения / К.А. Воробьев, Т.В. Чекушина, Н. Курбанов, Ш.И. Рабаданов // Естественные и технические науки. – 2024. – № 4(191). – С. 76-79. DOI: 10.25633/ETN.2024.04.15. (ВАК К2).

12. Оценка потенциала секвестрации выбросов углекислого газа металлургических предприятий за счет карбонизации шлаков / Е.В. Колодежная, М.С. Гаркави, К.А. Воробьев, О.Е. Горлова // Недропользование и транспортные системы. – 2023. – Т. 13, № 1. – С. 22-29. DOI: 10.18503/SMTS-2023-13-1-22-29. (Ядро РИНЦ)

13. Technological evaluation of carbon dioxide sequestration by waste incineration plant slags / К.А. Vorobyev //Тезисы Московского Международного Конгресса Обогаителей (ММКО-2025). - М.: Издательский Дом «Графит», 2025. – С. 211. ISBN 978-5-6047564-7-8. (РИНЦ).

14. Воробьев, К.А. Изучение выбросов углекислого газа при термическом сжигании ТКО на модельной установке / К.А. Воробьев // Инновационные процессы обогащения и глубокой переработки редкометаллического и горнохимического сырья и комплексных руд цветных

и черных металлов : Материалы международной конференции, Апатиты, 23–27 сентября 2024 г. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2024. – С. 542-545. (РИНЦ).

15. Особенности захоронения CO₂ в техногенных литосферных реакторах как фактор сокращения количества его антропогенных выбросов / К.А. Воробьев, В.А. Щерба // География: развитие науки и образования: Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции (к 225-ю Герценовского университета). 20–23 апреля 2022 г., Т. II. – Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2022. – С. 31-35. (РИНЦ)

На диссертацию и автореферат поступило 19 отзывов: к.б.н. Байракова И.А., к.т.н. Белова А.В., проф. д.т.н. Богданова А.В., проф., д.т.н. Васильева А.В., проф., д.т.н. Гаркави М.С., проф., д.т.н. Качурина Н.М., проф., д.т.н. Конуркина В.А. и к.г.н. Лысенковой З.В., д.г.-м.н. Котовой О. Б., к.т.н. Кременсковой М.С., к.т.н. Лусис А.В., проф. д.т.н., Маслобоева В.А., проф., д.т.н., Медяник Н.Л., к.т.н. Митрофановой Г.В., д.т.н., проф. Морозова Ю.П., д.т.н., проф. Петухова В.И., доц., д.т.н. Размахнина К.К., к.т.н. Рассказовой А. В., проф., д.т.н. Степановой С. В. и доц. к.х.н. Сольяшиновой О. А., проф., д.т.н. Шумиловой Л.В.

В отзывах дана положительная оценка диссертационной работы, отмечается актуальность выбранной темы, новизна и профессиональный подход к решению поставленных задач, однако, в отзывах содержатся следующие замечания:

- к.б.н. Байраков И.А.:

1. В работе недостаточно раскрыто влияние региональных особенностей состава твердых коммунальных отходов на карбонизационную способность получаемых шлаков. Учитывая существенные различия в морфологическом составе ТКО различных регионов России, целесообразно было бы оценить, насколько предложенные технологические параметры применимы к шлакам других мусоросжигательных заводов страны.

2. Представляется целесообразным более подробное рассмотрение вопросов территориального планирования размещения установок минеральной карбонизации с учетом логистических факторов, близости источников CO₂ и мусоросжигательных производств, а также геоэкологических ограничений для различных регионов Российской Федерации.

- к.т.н. Белов А.В.:

1. Можно ли адаптировать разработанную технологию минеральной карбонизации для других видов отходов, содержащих кальциевые и магниевые минералы?

2. Как могут повлиять примеси, присутствующие в реальных промышленных дымовых газах, на процесс связывания CO₂ и итоговую эффективность предложенной установки?

3. Рассматривалась ли автором возможность дальнейшего полезного использования получаемых твердых карбонизированных продуктов, например, в качестве компонента закладочных смесей при ведении горных работ?

- проф., д.т.н. Богданов А.В.:

1. В таблице 8 следовало для сравнения характеристик привести данные для брикета, изготовленного из не стабилизированного материала (золошлака, золы).

2. Отсутствуют даже укрупненно рассчитанные затраты на реализацию разработанных технологических решений.

- проф., д.т.н. Васильев А.В.:

1. В автореферате не указана методика оценки погрешности результатов проведенных экспериментов.

2. В тексте автореферата нет выводов о предполагаемом экономическом эффекте предложенной технологии.

- проф., д.т.н. Гаркави М.С.:

1. Некорректно указано название таблицы 1 автореферата. Модули основности и активности является характеристиками химического состава.

2. В выводе 2 на странице 21 указано, что в шлаках присутствует свободный СаО, что противоречит данным таблицы 4.

- проф., д.т.н. Качурин Н.М.:

1. Слабо отмечена установленная новая для горной экологии связь использования отходов потребления и технологий обогащения полезных ископаемых.

2. Следовало бы более подробно изложить технико-экономическую эффективность разработанных технологий карбонизации и отметить их природоподобную сущность.

- проф., д.т.н. Конуркин В.А. и доц. к.г.н. Лысенкова З.В.:

1. В условиях работы с СО₂ под давлением целесообразно дополнить описание мерами промышленной безопасности: оценкой рисков разгерметизации, системами мониторинга (датчики давления/температуры) и протоколами аварийного реагирования для интеграции в объекты ТЭК.

2. Желательно привести результаты оценки воздействия технологии на ландшафт, включая пылевые/шумовые эмиссии при подготовке шлаков, влияние на почвенно-растительный покров при размещении продуктов и сравнение с базовым сценарием захоронения отходов.

- д.г.-м.н. Котова О.Б.:

1. Введение аббревиатур приводит к стилистическим ошибкам. Стр. 3. Отходы сжигания ТКО (отходы сжигания твердых коммунальных отходов...). Может правильнее "зола от сжигания твердых коммунальных отходов, т.е. зола от сжигания ТКО"?

2. Терминология. "...мелкая дисперсность частиц шлаков..." (стр. 9) Обычно используются термины грубодисперсные (размер частиц превышает 100 нм) и тонкодисперсные, или коллоидные (размер частиц от 100 до 1 нм) частицы.

3. Рисунок 5. Влияние времени на степень карбонизации образцов. Неудачно.

4. См. таблицы 1, 2, 8. Округление числовых значений величин (до первого, второго, третьего и т.д. десятичного знака) должно быть одинаковым в рамках одного параметра.

5. Информация по температурным значениям излагаемых результатов удобнее воспринимается в тексте в единой системе, например, либо по шкале Цельсия, либо Кельвина (см. стр. 13), при этом значение по шкале Цельсия необходимо писать с пробелом между цифрой и °С (например, стр. 12 "при температуре 20°С") и т.д.

- к.т.н. Кременскова М.С.

1. Не приведена экономическая оценка предлагаемой комплексной переработки шлаков от сжигания ТКО.

2. В работе не указано, есть ли ограничения по условиям (температура, влажность и пр.) хранения и транспортирования изготовленных брикетов.

- к.т.н. Лусис А.В.:

1. В автореферате ограниченно рассмотрены вопросы масштабирования предложенной технологии минеральной карбонизации и ее внедрения в промышленную практику, включая возможные технологические и экономические ограничения применения.

2. Следует отметить, что состав золошлаковых отходов от сжигания твердых коммунальных отходов может существенно варьироваться в зависимости от морфологического состава исходных ТКО и технологических особенностей работы мусоросжигательных установок. В этой связи содержание кальций- и магнийсодержащих фаз, определяющих потенциал карбонизации, может быть нестабильным. В автореферате данный аспект затронут ограниченно и требует дополнительного обсуждения с точки зрения устойчивости предложенной технологии при изменении вещественного состава исходного сырья.

- проф., д.т.н. Маслобоев В.А.:

1. К сожалению, в тексте автореферата отсутствует экономическая оценка предлагаемых технологий, что не позволяет оценить перспективы их практической реализации и реальных инвесторов.

2. Желательно было бы предложить варианты утилизации летучей золы от сжигания ТКО, как наиболее вредного для окружающей среды техногенного отхода.

3. Нет детальной схемы аппаратного оформления процессов принудительной карбонизации на кальций-магниевых отходах от сжигания ТКО, равно как и подготовки газовых выбросов МСЗ к карбонизации.

- проф., д.т.н. Медяник Н.Л.

1. В работе не рассматривает влияние хлоридов натрия и калия, а также сульфатов кальция и калия, присутствующих в минеральном составе шлаков и летучей золы на кинетику образования карбонатных фаз и на образование термодинамически выгодных реакций в целом.

2. Рассматривалась ли автором возможность образования побочных соединений, например, хлоркальцита, способных снижать эффективность связывания CO_2 ?

3. Оценивался ли состав и объем жидких стоков, образующихся при проведении карбонизации во влажном режиме, с точки зрения необходимости их последующей очистки перед сбросом или повторным использованием в технологическом цикле?

- к.т.н. Митрофанова Г.В. - не совсем понятна при описании физических и химических свойств шлаков и золы (стр. 9) фраза: "... рН твердых остатков, образующихся при обработке дымовых газов, высок и превышает 12". Это речь идет о водной вытяжке? Снижается ли рН после улавливания CO_2 и на сколько?

- проф., д.т.н. Морозов Ю.П.

1. Недостаточно отражено влияние состава и температуры отходящих газов мусоросжигательного завода на процесс секвестрации. Дымовые газы содержат, помимо CO_2 , значительное количество водяного пара, оксидов

серы и азота, а их температура на выходе из системы газоочистки может существенно варьироваться. Необходимо ли предварительное охлаждение и кондиционирование газового потока перед подачей на карбонизацию и как это сказывается на энергобалансе процесса?

2. Экспериментальные исследования выполнены в лабораторных условиях при фиксированных температурах. Целесообразно было бы оценить, как климатические условия территорий размещения мусоросжигательных заводов (среднегодовые температуры, сезонность, мерзлотные грунты) влияют на кинетику карбонизации, водный режим процесса и, в целом, на возможность применения обоснованной в диссертации технологии поглощения углекислого газа.

- проф., д.т.н. Петухов В.И.:

Недостаточно полно освещены и рассмотрены вопросы геоэкологического мониторинга карбонизированных продуктов при их размещении в природно-технических системах: какие показатели состояния окружающей среды (почва, грунтовые воды, атмосферный воздух) следует контролировать и с какой периодичностью для подтверждения долговременной экологической безопасности.

- доц., д.т.н. Размахнин К.К.:

1. Какое влияние оказывает гранулометрический состав исходных шлаков на полноту протекания реакции карбонизации, и рассматривалась ли автором необходимость предварительной рудоподготовки (дробления, классификации) для повышения реакционной поверхности материала?

2. Каким образом предполагается организовать контроль качества и стабильности поступающего на карбонизацию сырья в условиях значительной неоднородности морфологического состава сжигаемых ТКО?

- к.т.н. Рассказова А.В.:

1. Насколько чувствителен и экономически целесообразен процесс к использованию не чистого CO_2 , а дымовых газов с низкой его концентрацией?

2. Каковы предполагаемые капитальные и эксплуатационные затраты на интеграцию блока минеральной карбонизации в действующее производство?

- проф., д.т.н. Степанова С.В. и доц. к.х.н. Сольяшинова О.А.:

1. Из результатов экспериментальных исследований (табл. 46, стр. 16) следует, что летучая зола обладает более высоким потенциалом связывания CO_2 (79 кг/т) по сравнению со шлаками (45-56 кг/т), а природный серпентинит - еще более высоким (121 кг/т). Однако в качестве основного сырья для разработанной технологии предлагается именно шлак. Не планируется ли в дальнейшем проведение исследований по предварительной обработке (отмывке, нейтрализации) летучей золы для снижения ее экологической опасности и использования ее более высокого карбонизационного потенциала?

2. Автор сосредоточился на технологических параметрах процесса (режимы карбонизации, составы, прочностные характеристики и на экологическом эффекте в виде связывания CO_2 . Вопрос освобождения земельных площадей как результат утилизации отходов в работе не рассматривается:

- площадные полигоны, которые можно рекультивировать при сокращении объемов захоронения шлаков;

- земельный коэффициент – сколько гектаров экономится на 1 тыс. тонн переработанных отходов;

- сравнение – площадь, занимаемая шлаком и после карбонизации.

- проф., д.т.н. Шумилова Л.В.:

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.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высоким уровнем их компетентности в данной отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей области исследования и способностью определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены перспективы и возможности использования минеральной карбонизации зол и шлаков мусоросжигательных и металлургических производств как способа связывания диоксида углерода с одновременной утилизацией щелочных техногенных отходов;

- доказано, что ускорение процесса карбонизации за счет целенаправленного изменения его параметров (температура, давление CO_2 , время, гранулометрический состав и влажность материалов) обеспечивает формирование стабильных карбонатных фаз и снижение подвижности токсичных элементов (Pb, Zn, Cd и др.) до уровней, удовлетворяющих действующим экологическим нормативам;

- установлены закономерности влияния минерального, фазового, химического и дисперсного состава зол и шлаков на полноту поглощения CO_2 и на процессы формирования структуры карбонато-твердеющих материалов, определяющие их прочностные и эксплуатационные характеристики;

- разработаны научно обоснованные технологические решения по интеграции методов минеральной карбонизации зол и шлаков в существующие системы обращения с отходами и в производство строительных материалов, что позволяет увеличить потенциал снижения выбросов парниковых газов в Российской Федерации в рамках развития технологий CCUS.

Научное значение работы заключается в углублении существующих и получении новых знаний о геохимической трансформации отходов

мусоросжигательных заводов в техногенных геосистемах при принудительной минеральной карбонизации продуктов сжигания ТКО с одновременной утилизацией щелочных техногенных отходов.

Принятые подходы и сформулированные положения способствуют решению фундаментальной проблемы снижения антропогенной нагрузки на биосферу за счет комплексного использования ресурсного потенциала промышленных отходов.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что сформированные схемы технологических маршрутов переработки техногенных отходов от сжигания твердых коммунальных отходов и минеральной карбонизации обеспечивают вариативность выбора и направлены на формирование методологических основ по внедрению в работу малоотходных технологий.

Разработанная и предлагаемая для использования в реальном секторе российской экономики принципиальная схема комплексной переработки шлаков от сжигания твердых коммунальных отходов и депонирования ими углеродсодержащих выбросов обеспечивает необходимую и достаточно полную обработку и стабилизацию отходов технологических процессов сжигания твердых коммунальных отходов, а также получение вторичного сырья для производства строительных материалов.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается применением современной приборной базы, апробированных методов анализа и статистической обработки фактического материала, представительностью исходных данных, использованием общепринятых критериев оценки полученных результатов. Обоснованность выносимых положений подтверждается совпадением выводов теоретического анализа с данными экспериментов, с результатами экспериментальных работ.

Личный вклад автора состоит в анализе современного состояния и перспектив использования твердых отходов мусоросжигательных заводов для снижения углеродсодержащих выбросов, постановке цели и задач

исследований, составления общей схемы экспериментальных исследований, обосновании применяемых методик, отборе проб шлаков и золы на мусоросжигательных заводах, организации и проведении экспериментов, разработке и изготовлении модельной установки для изучения карбонизации шлаков в газовых средах, термодинамических расчетах, обработке и анализе полученных результатов, подготовке публикаций и апробации материалов на конференциях различного уровня.

В диссертации на основании выполненных автором исследований теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что регулирование качества состояния окружающей среды, снижение экологической нагрузки на экосистемы регионов и повышение комплексности использования техногенного сырья в виде остатков от сжигания ТКО может быть реализовано за счет утилизации в одном процессе ускоренной минеральной карбонизации техногенного газообразного диоксида углерода и техногенных отходов мусоросжигания, что расширяет и углубляет существующие знания в области геоэкологических аспектов устойчивого развития регионов.

На заседании "17" марта 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Воробьеву Кириллу Александровичу ученую степень кандидата технических наук за новые научно обоснованные технологические решения депонирования углеродсодержащих выбросов шлаками от сжигания твердых коммунальных отходов, что имеет важное научно-методологическое и практическое значение для ресурсосбережения, санации и рекультивации земель, утилизации отходов производства и потребления, в том числе возникающих в результате хозяйственной деятельности и эксплуатации ЖКХ, их безопасного размещения и хранения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по специальности 1.6.21 "Геоэкология" (технические науки), участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую

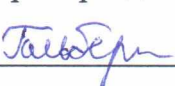
защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение учёной степени - 15, против присуждения учёной степени - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель диссертационного совета



академик, д.т.н. В.А. Чантурия

Учёный секретарь диссертационного совета



д.т.н. Г.Ю. Гольберг

Дата оформления Заключения – «17» марта 2026 г.

Подписи В.А. Чантурия и Г.Ю. Гольберга заверяю:

Учёный секретарь ИПКОН РАН, проф., д.т.н.



С.С. Кубрин