

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФИЦ УУХ СО РАН
В.Н. Кочетков
_____ 2026 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН)**

Диссертация Волкова Валерия Дмитриевича «Пиролиз микрочастиц углей при воздействии лазерного излучения» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4. – «Физическая химия» выполнена в лаборатории энергетических соединений и нанокompозитов Института углехимии и химического материаловедения Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН).

В 2021 г. с отличием окончил ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» по направлению подготовки 03.04.02 Физика (диплом № 104208 0023334 выдан 19 июля 2021 г.)

В период подготовки диссертации с 2022 по 2026 год Волков Валерий Дмитриевич обучался в очной аспирантуре. Научный руководитель – Адуев Борис Петрович, доктор физико-математических наук, заведующий Лабораторией энергетических соединений и нанокompозитов Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХСО РАН.

Диссертация «Пиролиз микрочастиц углей при воздействии лазерного излучения» рассмотрена на научном семинаре Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН.

На семинаре присутствовали: восемнадцать научных сотрудников Института углехимии и химического материаловедения и два ученых из Кемеровского госуниверситета, в том числе члены диссертационного совета 24.2.315.09 КемГУ (д.ф.-м.н. Адуев Б. П., д.ф.-м.н. Нурмухаметов Д.Р., д.х.н. Патраков Ю.Ф., д.ф.-м.н. Звекон А.А.) и кандидаты и доктора наук (д.х.н. Жеребцов С.И., д.х.н. Остапова Е.В., д.х.н. Альтшулер Г.Н., к.х.н. Вотолин К.С., к.х.н. Захаров Н.С., к.х.н. Федорова Н.И., к.п.н. Петрушина А.В. и др.)

Слушали: доклад соискателя Волкова Валерия Дмитриевича по диссертационному исследованию «Пиролиз микрочастиц углей при воздействии лазерного излучения».

При обсуждении диссертации задали вопросы:

д.х.н. Патраков Ю.Ф. Все ли нормально с водородными функциональными группами после деминерализации, особенно для бурого угля. Показатель влажности был одинаковый для всех образцов?

к.п.н. Петрушина А.В. Как рассчитывали доверительный интервал? Почему интервал разный на рисунках?

к.х.н. Захаров Н.С. В каком виде находятся металлы в угле и каким методом внесены в уголь? Как оценивали влияние на скорость образования водорода при добавлении включений? Почему выбран ряд Ca, Mg, Fe?

д.х.н. Жеребцов С.И. Как определяли содержание металлов после добавления включений? Можно ли сравнивать пиролиз с сжиганием? Уголь марки Б относится к Кузнецкому каменноугольному бассейну? Какие величины массовых соотношений полученных газов?

д.ф.-м.н. Звеков А.А. Нет ли противоречий между нелинейным образованием продуктов пиролиза при наносекундном лазерном воздействии и массой продуктов абляции в зависимости от плотности энергии? Нелинейное поглощение происходит в твердом угле (в таблетке) или в том что вылетает из таблетки?

д.х.н. Альтшулер Г.Н. В чем состоит личный вклад автора?

В обсуждении работы выступили: научный руководитель д.ф.-м.н. Адуев Б.П., д.х.н. Патраков Ю.Ф., д.ф.-м.н. Звеков А.А.

Диссертационная работа Волкова В.Д. выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН) в период с 2022 по 2026 гг. Работа выполнена в рамках государственного задания Федеральному исследовательскому центру угля и углехимии СО РАН по проектам № 121031500513-4 и 124041100056-6, при поддержке гранта Российского научного фонда № 22-13-20041, <https://rscf.ru/project/22-13-20041/> и при поддержке гранта Кемеровской области – Кузбасса (соглашение с № 2 от 22.03.2022).

Актуальность работы

Актуальность работы определяется необходимостью исследования сложных физико-химических высокотемпературных процессов образования газообразных молекулярных соединений в продуктах пиролиза углей при воздействии высокоинтенсивных потоков лучистой энергии, которые недоступны для изучения при традиционном тепловом нагреве, но становится возможным благодаря применению лазерного излучения в импульсно-

периодическом и непрерывном режимах различной интенсивности, что сочетает фундаментальную научную новизну с практической значимостью для энергетики и решения экологических задач.

Цель работы

Исследование закономерностей образования газообразных молекулярных соединений при лазерном иницировании высокотемпературного пиролиза углей в импульсно-периодическом (нано- и микросекундной длительности импульсов) и непрерывном режимах воздействия.

Задачи работы

1. Экспериментальное исследование пиролиза углей марок Б, ДГ, Г, Ж, К исходной генетической зольности и деминерализованных при воздействии мощных потоков энергии импульсно-периодического лазерного излучения наносекундной длительности с оценкой роли минеральной составляющей угля на образование газообразных молекулярных соединений.
2. Экспериментальное исследование влияния примесей солей кальция, магния и железа на образование газообразных молекулярных соединений в процессе пиролиза предварительно деминерализованного угля марки Б в условиях воздействия импульсно-периодического лазерного излучения микросекундной длительности.
3. Экспериментальное исследование высокотемпературного пиролиза угля марки Б при воздействии непрерывного лазерного излучения с определением вклада термохимических превращений в макрокинетику образования смолы и газов в продуктах реакции.
4. Интерпретация результатов с выделением ключевых особенностей режимов лазерного воздействия, приводящих к изменениям химических процессов и макрокинетики образования газообразных молекулярных соединений, с определением вклада абляции и изменением атомного состава твердого вещества угля марки Б.

Личный вклад соискателя ученой степени

Личный вклад соискателя ученой степени заключается в анализе и систематизации литературных данных, подготовке таблетированных образцов микрочастиц углей, проведении экспериментов по лазерному пиролизу, обработке полученных экспериментальных данных. Интерпретация полученных результатов и формулирование выводов в виде научных публикаций проводились совместно с научным руководителем.

Научная новизна

1. Впервые выполнено экспериментальное исследование пиролиза угля марки Б при лазерном инициировании реакций в импульсно-периодическом (нано- и микросекундной длительности импульсов) и непрерывном режимах воздействия.
2. Впервые для углей различной степени метаморфизма (марок Б, ДГ, Г, Ж, К) показана роль абляционных процессов с выносом частично карбонизованных микрочастиц углей в условиях импульсно-периодического лазерного воздействия наносекундной длительности.
3. Впервые установлено, что относительная концентрация водорода в газообразных продуктах пиролиза деминерализованного угля марки Б при пропитке растворами солей увеличивается в ряду $Mg < Fe < Ca$ в условиях импульсно-периодического лазерного воздействия микросекундной длительности.

Теоретическая значимость работы

Результаты исследования закономерностей образования газообразных молекулярных соединений в процессе высокотемпературного нагрева сложных многокомпонентных систем на примере ископаемых углей позволяют определить условия химических превращений в зависимости от степени неравновесности системы при воздействии мощных потоков энергии импульсно-периодического и непрерывного лазерного излучения.

Практическая значимость работы

Полученные фундаментальные результаты исследования воздействия лазерного излучения на угли могут быть использованы при оптимизации сложных термохимических процессов в условиях высокоскоростного и высокотемпературного нагрева угля.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Применение импульсно-периодического и непрерывного режимов лазерного инициирования пиролиза позволяет управлять степенью неравновесности процесса, что приводит к изменению зависимости относительной концентрации газообразных продуктов от интенсивности излучения от сверхлинейной при воздействии наносекундных импульсов к линейной при воздействии микросекундных импульсов и непрерывного излучения.
2. Минеральная составляющая в процессе пиролиза углей марок Б, ДГ, Г, Ж, К, иницируемого импульсно-периодическим излучением наносекундной длительности, оказывает каталитический эффект на образование газообразных продуктов, причем величина эффекта снижаются с ростом степени метаморфизма.

3. Каталитический эффект включений, вводимых в деминерализованную матрицу угля марки Б методом пропитки растворами солей, на относительную концентрацию водорода увеличивается в ряду $Mg < Fe < Ca$ в условиях импульсно-периодического лазерного воздействия микросекундной длительности.
4. Использование лазерного излучения непрерывного действия и импульсно-периодического микро- и наносекундной длительности позволяет эффективно управлять вкладом макрокинетических процессов пиролиза угля: деструкцией и абляцией органической массы, образованием газообразных и жидких молекулярных соединений.

Соответствие специальности 1.4.4. Физическая химия

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 1.4.4 – Физическая химия (физико-математические науки) в части развития модельных представлений о макрокинетике, механизмах сложных химических процессов и химических превращений молекулярных соединений при воздействии внешних электромагнитных полей (лазерное излучение), экстремально высоких температур, потоков энергии и массы в неравновесных системах (пп. 5, 6, 7).

Полнота изложения материалов диссертации в опубликованных работах

По материалам диссертации опубликовано 24 работы, из которых 10 статей опубликованы в российских рецензируемых журналах из перечня ВАК и 6 статей в изданиях, индексируемых в Web of Science и Scopus. Кроме того, результаты докладывались и обсуждались на конференциях международного, всероссийского, регионального уровнях и представлены в 13 сборниках трудов и тезисов докладов.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях из перечня ВАК:

1. Крафт, Я. В. Пиролиз бурого угля под воздействием частотно-импульсного наносекундного лазерного излучения / Я. В. Крафт, Б. П. Адуев, В. Д. Волков [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2022. – Т. 30, № 5. – С. 517-525. – DOI 10.15372/KhUR2022409.
2. Крафт, Я. В. Пиролиз каменных углей под воздействием наносекундного лазерного излучения / Я. В. Крафт, Б. П. Адуев, В. Д. Волков [и др.] // Кокс и химия. – 2023. – № 9. – С. 8-17. – DOI 10.52351/00232815_2023_03_8.
3. Адуев, Б. П. Пиролиз микрочастиц бурого угля, инициируемый воздействием импульсов наносекундной длительности первой гармоники неодимового лазера / Б. П. Адуев, В. Д. Волков // Квантовая электроника. – 2023. – Т. 53, № 9. – С. 731-737.

4. Адуев, Б. П. Лазерный пиролиз бурого угля с различным содержанием минеральных включений / Б. П. Адуев, В. Д. Волков, Я. В. Крафт, Н. В. Нелюбина // Кокс и химия. – 2024. – № 11. – С. 7-16. – DOI 10.52351/00232815_2024_11_7.
5. Адуев, Б. П. Лазерный пиролиз высокометаморфизованных углей / Б. П. Адуев, В. Д. Волков, Н. В. Нелюбина // Химия в интересах устойчивого развития. – 2024. – Т. 32, № 6. – С. 795-802. – DOI 10.15372/KhUR2024612.
6. Адуев, Б. П. Влияние деминерализации на пиролиз бурого угля при импульсном лазерном воздействии / Б. П. Адуев, В. Д. Волков, Н. В. Нелюбина // Химическая физика. – 2025. – Т. 44, № 10. – С. 3-15. – DOI 10.7868/S3034612625100016.
7. Адуев, Б. П. Пиролиз углей при воздействии наносекундными импульсами первой и второй гармоник неодимового лазера / Б. П. Адуев, В. Д. Волков, А. Ю. Митрофанов // Квантовая электроника. – 2025. – Т. 55, № 1. – С. 45-52.
8. Адуев, Б. П. Пиролиз микрочастиц углей при воздействии лазерных импульсов наносекундной длительности / Б. П. Адуев, Я. В. Крафт, В. Д. Волков, Н. В. Нелюбина // Физика горения и взрыва. – 2025. – Т. 61, № 4. – С. 35-51. – DOI 10.15372/FGV2023.9422.
9. Адуев, Б. П. Пиролиз микрочастиц бурого угля при воздействии лазерных импульсов различной длительности / Б. П. Адуев, В. Д. Волков, Д. Р. Нурмухаметов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2025. – Т. 33, № 6. – С. 705-712. – DOI 10.15372/KhUR2025698.
10. Адуев, Б. П. Лазерный пиролиз бурого угля с включениями металлов Ca, Mg, Fe / Б. П. Адуев, Н. В. Нелюбина, В. Д. Волков // Химическая физика. – 2026. – Т. 45, № 4. – С. 17-30. – DOI 10.7868/S3034612626040028.

Другие рецензируемые издания:

11. Kraft, Ya. V. Pyrolysis of High Volatile C Bituminous Coal under the Action of Nanosecond Laser Radiation / Ya. V. Kraft, B. P. Aduev, V. D. Volkov [et al.] // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2022. – Vol. 24, No. 3. – P. 173-181. – DOI 10.18321/ectj1430.

Материалы диссертационной работы представлены на конференциях:

12. Адуев, Б. П. Пиролиз низкометаморфизованного каменного угля под воздействием наносекундного лазерного излучения / Б. П. Адуев, Я. В. Крафт, Д. Р. Нурмухаметов [и др.] // Углекислотная и экология Кузбасса : Сборник тезисов докладов XI

- Международного Российско- Казахстанского Симпозиума, Кемерово, 04–06 июня 2022 года. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. – С. 50. – DOI 10.53650/9785902305651_50.
13. Волков, В. Д. Анализ газообразных продуктов пиролиза бурого угля лазерными импульсами различных длин волн / В. Д. Волков // Развитие – 2023 : Сборник трудов конференции, Кемерово, 11–13 мая 2023 года. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2023. – С. 87-96.
 14. Крафт, Я. В. Пиролиз газовых и жирных углей наносекундными лазерными импульсами второй гармоники / Я. В. Крафт, Б. П. Адуев, Н. В. Нелюбина, В. Д. Волков // Углехимия и экология Кузбасса: XII Международный российско-казахстанский симпозиум : СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ, Кемерово, 03–06 июля 2023 года / . – RUS: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2023. – С. 51.
 15. Волков, В. Д. Пиролиз бурого угля инфракрасными лазерными импульсами наносекундной длительности / В. Д. Волков, Я. В. Крафт, З. Р. Исмагилов // Кузбасс: образование, наука, инновации : Материалы XI Инновационного конвента, Кемерово, 08 февраля 2023 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2023. – С. 414-418.
 16. Aduев, B. P. Pyrolysis of coals under the influence of nanosecond laser radiation / B. P. Aduев, Ya. V. Kraft, V. D. Volkov [et al.] // Pulsed lasers and laser applications : Materials of the 16th International Conference AMPL-2023, Tomsk, 10–15 сентября 2023 года. – Tomsk: Общество с ограниченной ответственностью "СТТ", 2023. – P. 203-204.
 17. Волков, В. Д. Анализ газообразных продуктов лазерного пиролиза микрочастиц углей / В. Д. Волков // Развитие – 2024 : Научное электронное издание, Кемерово, 14–16 мая 2024 года. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук, 2024. – С. 72-83.
 18. Волков, В. Д. Пиролиз бурого угля при воздействии наносекундного лазерного излучения различных длин волн / В. Д. Волков // Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации" : Материалы XII Инновационного конвента, Кемерово, 08 февраля 2024 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2024. – С. 339-343.

19. Адуев, Б. П. Пиролиз углей при воздействии наносекундных импульсов первой и второй гармоник неодимового лазера / Адуев Б. П., Волков В. Д. Митрофанов А. Ю., Нелюбина Н. В. // XII Всероссийская конференция с международным участием «Горение топлива: теория, эксперимент, приложения» : Сборник тезисов докладов, Новосибирск, 11–14 ноября 2024 года. – Новосибирск: ИТ СО РАН, 2024. – С. 7.
20. Volkov, V. D. Coals pyrolysis under nanosecond laser pulses influence / V. D. Volkov, B. P. Aduiev // 9th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE-2024): Abstracts, Tomsk, September 16–21, 2024 : Academizdat Publishing, 2024. — P. 486.
21. Адуев, Б. П. Пиролиз высокометаморфизированных углей лазерными импульсами второй гармоники / Б. П. Адуев, В. Д. Волков, Н. В. Нелюбина // Углекимиия и экология Кузбасса-2024 : XIII Международный Российско-Казахстанский Симпозиум: сборник тезисов докладов, Кемерово, 15–17 октября 2024 года. – Кемерово: Федеральный исследовательский центр угля и углекимиии СО РАН, 2024. – С. 11.
22. Волков, В. Д. Влияние включений хлоридов магния и железа на выход газообразных продуктов лазерного пиролиза бурого угля / В. Д. Волков // Развитие – 2025 : Научное электронное издание, Кемерово, 14–15 мая 2025 года. – Кемерово: ФИЦ УУХ СО РАН, 2025. – С. 98-109.
23. Волков, В. Д. Влияние включений кальция на выход газообразных продуктов лазерного пиролиза микрочастиц бурого угля / В. Д. Волков, Б. П. Адуев, Н. В. Нелюбина // XIII Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации", посвященный 80-й годовщине победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов : Сборник тезисов докладов. В 2-х частях, Кемерово, 14 февраля 2025 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2025. – С. 354-356.
24. Волков, В. Д. Пиролиз микрочастиц углей при воздействии непрерывного лазерного излучения / В. Д. Волков // Инновационный конвент "Кузбасс: образование, наука, инновации" : Сборник тезисов докладов, Кемерово, 13 февраля 2026 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2026. – С. 466-468.

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация Волкова Валерия Дмитриевича «Пиролиз микрочастиц углей при воздействии лазерного излучения» является законченной научно-квалификационной

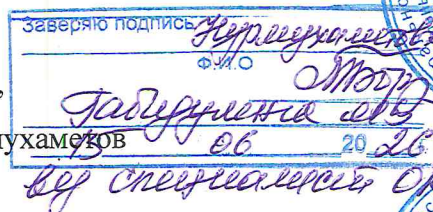
работой, выполненной на высоком уровне, полученные новые данные диссертационного исследования дополняют знания в области пиролиза угля в условиях высокотемпературного нагрева. Автор диссертации Волков В. Д. является сложившимся исследователем, хорошо ориентируется в научной литературе по теме работы, имеет необходимые навыки для решения поставленной научной задачи. Основные положения, выносимые на защиту, результаты и выводы работы не вызывают сомнения. Диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

ПОСТАНОВИЛИ: работа Волкова В. Д. соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842. Диссертация Волкова Валерия Дмитриевича «Пиролиз микрочастиц углей при воздействии лазерного излучения» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на заседании научного семинара Института углехимии и химического материаловедения ФИЦ УУХ СО РАН. Присутствовало на заседании 20 человек. Результаты голосования «за» - 19 чел., «против» - нет, «воздержавшиеся» - 1, протокол № 5 от 27 мая 2026 г.

Председатель семинара,
директор ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН,
д-р физ.-мат. наук

Д.Р. Нурмухамедов



Секретарь семинара,
ученый секретарь ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН,
канд. пед. наук

А.В. Петрушина



Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук». 650000, Россия, Кемеровская область, г. Кемерово, пр-т Советский, 18. +7 (3842) 36-69-04. info@ficuuh.ru