

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ. ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 55

Применение термического ДСК/ТГ-анализа в практике геологических исследований

М.А. Пшевлодский, Е.А. МеньшиковаПермский государственный национальный исследовательский университет
614068, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: kahiro8000@gmail.com*(Статья поступила в редакцию 03.10.2025 г.)*

Рассматриваются различные аспекты применения термического анализа методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ) на примере литературного обзора большого количества публикаций исследовательских коллективов как отечественных, так и зарубежных авторов. Основными современными направлениями применения метода являются исследования в области минералогии, литологии и петрографии (обнаружение примесей в исследуемых образцах, количественная оценка форм воды и др.), исследования каустобиолитов нефтяного и угольного рядов (изучение рассеянного органического вещества, фракционный состав углеводородов, оценка качества сырья, его теплоемкость, способность к самовозгоранию), исследования в области переработки минерального сырья, производственной безопасности (оценка параметров производственных процессов, в том числе самовозгорания руд) и экологии (формы органического вещества почв).

Ключевые слова: *дифференциальная сканирующая калориметрия, термогравиметрия, минералогия, петрография, литология, каустобиолиты, производственная безопасность, экология.*

DOI: 10.17072/psu.geol. 24.4.298

Введение

Термический анализ, включая методы дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрии (ТГ), занимает значимое место в современной практике исследований благодаря своей способности раскрывать особенности состава, структуры и реакционной способности природных материалов. Эти методы, основанные на контролируемом нагреве или охлаждении образцов в инертной или реакционной среде, позволяют не только фиксировать изменения массы и тепловые эффекты, но и устанавливать взаимосвязь между термическими свойствами и особенностями строения образца (в физическом, химическом и геологическом плане). В условиях растущего интереса к устойчивому использованию ресурсов и решению экологических задач ДСК/ТГ-метод становится незаменимым для

анализа минералов, горных пород, горючих полезных ископаемых и почв.

Актуальность вышеупомянутых методов обусловлена их универсальностью и высокой информативностью. Например, ТГ-анализ позволяет выявить стадии дегидратации, декарбонизации и окисления, что критически важно для изучения литогенеза или оценки качества ископаемых топлив (Hassid et al., 2022; Iordanidis et al., 2001). Метод ДСК, в свою очередь, регистрирует эндо- и экзотермические процессы, которые обусловлены фазовыми переходами, разложением органических соединений и окислительно-восстановительными реакциями (Iordanidis et al., 2001; Wanfen et al., 2015). Комбинация ДСК/ТГ-метода с масс-спектрометрией (QMS) и ИК-Фурье-спектроскопией (FTIR) расширяет возможности идентификации газообразных продуктов, выделяющихся в процессе реакции анализируемых веществ на

© Пшевлодский М.А., Меньшикова Е.А., 2025



Работа лицензирована в соответствии с CC BY 4.0. Чтобы просмотреть копию этой лицензии, посетите <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

изменение температуры, что особенно ценно при анализе сложных многокомпонентных систем (Kostova et al., 2021; Labus et al., 2018).

Целью данной статьи является систематизация опыта применения ДСК/ТГ-анализа в практике геологических исследований. Обобщение опубликованных данных позволяет выделить следующие ключевые направления исследований: в области минералогии, литологии и петрографии; каустобиолитов нефтяного и угольного рядов; в области переработки минерального сырья, производственной безопасности и экологии. Результаты обобщения позволяют наметить направления сотрудничества авторов данной работы, реализующих применение методов термического анализа на кафедре минералогии и петрографии геологического факультета, Секторе наноминералогии ПГНИУ, а также привлечь внимание коллег к возможностям метода термического анализа для решения своих исследовательских задач.

Применение ДСК/ТГ-анализа в области минералогии, петрографии и литологии

В области минералогии, литологии и петрографии ДСК/ТГ-анализ оказывается крайне полезен в обнаружении примесей в исследуемых образцах, однако корректное детектирование примесей, а также прочих факторов, оказывающих влияние на термические эффекты, возможно только при грамотной интерпретации полученных результатов.

Так, в работе (Спивак и др., 2022), посвященной дифференциальной сканирующей калориметрии природного золота, группа исследователей поднимает тему сложности интерпретации термических эффектов, наблюдаемых в ходе эксперимента. Предлагается объяснение термических эффектов на основе как «предыстории» образования частиц природного золота, так и на основе учета того факта, что природное золото представляет собой сплав с сопутствующими компонентами (медь, серебро и т.п.).

Методы ДСК/ТГ-анализа также позволяют изучить характер термического разложения (Исаева и др., 2014; Меньшикова, 2016) и появления новообразованных минералов. Это демонстрирует процесс нагрева кальцита (рис. 1), который характеризуется, наряду с эндотермическим эффектом термического разложения этого минерала на CaO и CO_2 , экзотермическим эффектом кристаллизации CaO в высокотемпературном диапазоне (при нагреве более 1000°C) (Пшевловский и др., 2025; Zhuang et al., 2025).

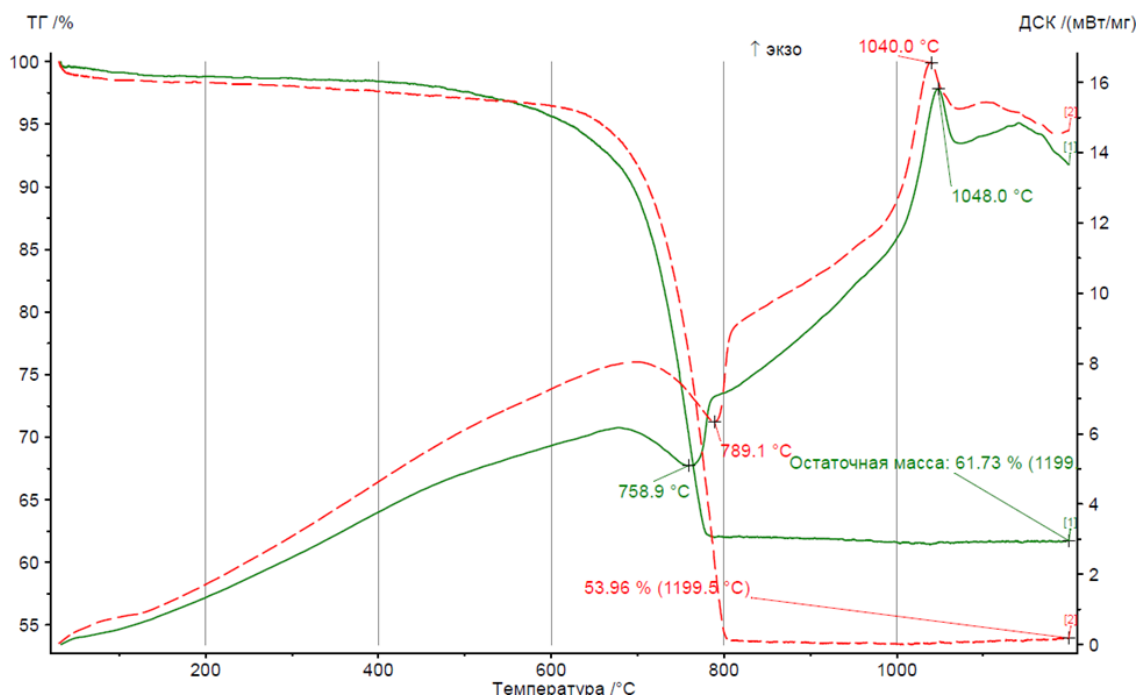


Рис. 1. ДСК/ТГ-кривые нагрева двух образцов кальцита (Пшевловский и др., 2025)

Методы термического анализа позволяют изучать даже такое неоднородное по своему составу природное образование, как каличе, которое представляет собой горную породу, являющуюся вторичным горизонтом аккумуляции карбоната кальция (Синицина и др., 2019). Так, в данной работе коллектив исследователей при помощи метода синхронного термического анализа установил, что каличе сложено в основной своей массе карбонатом кальция, также в его составе отмечены примеси кварца, полевых шпатов, слюд и глин.

По характеру термических эффектов возможно не только изучение минерального состава и состава примесей, но и интерпретация происхождения некоторых образцов, что отлично продемонстрировано в статье под авторством коллектива турецких исследователей (Alver et al., 2010). Применение метода термического анализа в рамках комплексного изучения природных цеолитов, отобранных из двух разных месторождений, позволило явно разграничить образцы разных месторождений за счет различной потери массы во время процесса нагрева. Механизмы термических преобразований и дегидратации способны открывать нам знания о более глобальных геологических процессах, в том числе механизмах субдукции (Dabiri et al., 2009; Gürtekýn et al., 2006). Так, результаты термического исследования антигорита (минерал подкласса слоистых силикатов, группы серпентина) позволяют наиболее точно установить температурные условия, в которых данный минерал переходит в иные минералы, а также выявить условия термической стабильности минерала (Gürtekýn et al., 2006).

В рамках исследований минерального состава, а также в исследованиях литологической и петрографической направленности отдельного внимания заслуживает изучение глин различного состава (Белоусов и др., 2015; Нгуен и др., 2019; Pires, 2024). Для таких объектов исследования ДСК/ТГ-метод позволяет изучить количество сорбированной и кристаллизационной воды, состав

исследуемых образцов как в виде кристаллических, так и аморфных минералов, а также, что наиболее важно, учитывая сложный состав глин, разнообразные примеси, которые оказывают заметное влияние на протекание термических эффектов в изучаемых образцах. Так, результат термического анализа бентонитовых глин позволяет выявить не только наличие свободной и физически связанной воды, но и состав обменных катионов, а также термическую стабильность минерала, зависящую от соотношения алюминия, железа и магния в октаэдрических слоях решетки (Белоусов и др., 2015). Если же останавливаться на изучении свойств воды в глинах (рис. 2), то на основании опытных исследований можно заключить, что термический анализ позволяет выявлять не только общее количество воды в разных состояниях, но и четко разделить воду по конкретным классам, а именно: рыхлосвязанная, прочносвязанная формы воды, вода поверхности минералов, вода кристаллической решетки минералов (Середин и др., 2021).

Применение ДСК/ТГ-анализа в области изучения каустобиолитов нефтяного и угольного рядов

В исследованиях, сосредоточенных на изучении каустобиолитов нефтяного ряда, главенствующую роль играет прикладная направленность работ, связанная с эффективностью поиска и добычей данной группы природных ресурсов. Однако при изучении рассеянного органического вещества неизбежно возникают сложности, связанные с многокомпонентностью данных систем, соответственно, следует уделять особое внимание разделению компонентов (Коробкин и др., 2022). Метод ДСК/ТГ-анализа также находит широкое применение при анализе углеводородов, что связано с четким температурным диапазоном, в котором наблюдается окисление и улетучивание компонентов смеси углеводородов (твердых парафинов, масел, смол и асфальтенов) (Коробкин и др., 2022).

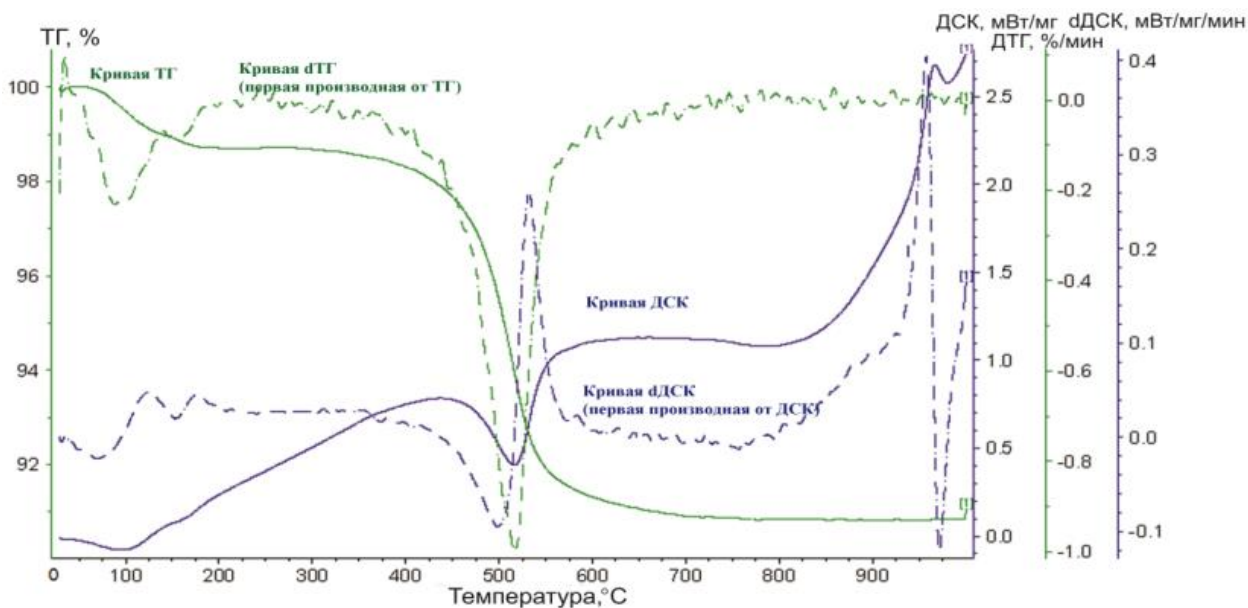


Рис. 2. ДСК/ТГ-кривые образца каолиновой глины (Середин и др., 2021)

Метод синхронного термического анализа позволяет оценить возможный нефте- и газосный потенциал и, как следствие, спрогнозировать наличие нефтематеринских толщ на определенной территории, в том числе и в нетрадиционных коллекторах (Петрова и др., 2022; Шишкин, 2009; Labus, Matyasik, 2019). Данный метод находит свое место и при моделировании процессов, происходящих как с углеводородами в отдельности, так и с пластом-коллектором (Репях и др., 2012; Wanfen et al., 2015). Так, на примере нефтебитуми-

нозных пород месторождения Иманкара (Западный Казахстан) (Репях и др., 2012) доказана эффективность методов ультразвуковой обработки пород для извлечения экстрактов битумов. Проведено изучение как самих нефтебитуминозных пород (до обработки), так и извлеченных после обработки экстрактов битумов. В данном конкретном исследовании метод синхронного термического анализа позволил изучить фракционный состав извлеченных экстрактов, а также долю высокомолекулярных парафиновых углеводородов.

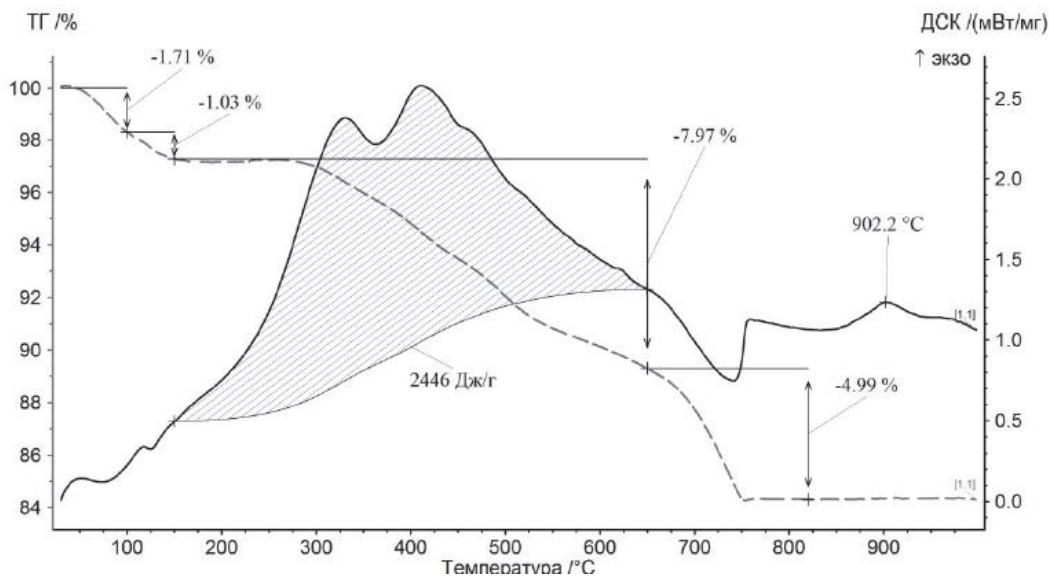


Рис. 3. Термогравиметрическая (ТГ) кривая и кривая дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), полученная при сжигании горючих сланцев (Бариева и др., 2016)

При изучении каоустобиолитов угольного ряда основная направленность исследований сосредоточена на оценке качества сырья при его непосредственном применении (сжигании). ДСК/ТГ-анализ дает возможность оценить качество сырья, его теплоемкость, влияние примесей на процесс сжигания, что актуально как для углей, так и для горючих сланцев (рис. 3) (Бариева и др., 2016; Nasrid et al., 2022; Iordanidis et al., 2001).

Методы термического анализа применимы и при рассмотрении методик, связанных с переработкой горючих полезных ископаемых непосредственно под землей, а именно с переработкой горючих сланцев в газ (Мартемьянов, 2013). Использование синхронного термического анализа необходимо и при планировании безопасной добычи угля, т.к. этот метод применим при оценке способности угля к самовозгоранию (Kumar Mohalik et al., 2022).

Применение ДСК/ТГ-анализа в области переработки минерального сырья, производственной безопасности и экологии

В сфере переработки минерального сырья основное внимание исследователей больше сосредоточено на измерении и интерпретации не «геологических» характеристик изучаемых объектов, а на параметрах, применимых в производственном процессе. В связи с этим ДСК/ТГ-анализ находит место при изучении свойств, проявляющихся в процессе нагревания образцов, а именно для оценки возможности переработки базальтов и габбро в каменное волокно и сварочные материалы соответственно (Блинов и др., 2015; Игнатова и др., 2010; Меньшикова и др., 2012), для оценки возможности модифицирования цеолитов и опок при производстве сорбентов (Лыгина и др., 2015), для исследования влияния висмута и сурьмы на термические свойства золото-серебряных руд (Миронова и др., 2017). Вышеупомянутый анализ также применим при оценке качества обогащения каолинового сырья при производстве керамической плитки и огнеупоров (Сергиевич, 2017). Также синхронный термический анализ применяют при оценке возможности переработки урансодержащих руд (Ходжиев и др., 2017). На примере данных руд показана воз-

можность посредством метода ДСК/ТГ-анализа выявить минералы-примеси в урансодержащей руде, а именно каолинита, кварца, слюд и доломита, которые характеризуются появлением специфических эффектов на термических кривых ДСК и ТГ.

В области производственной безопасности ДСК/ТГ-анализ дает возможность произвести оценку самовозгорания различного сырья, например сульфидов (Ибламинов и др., 2014). При этом метод не позволяет в полной мере имитировать подземные условия нахождения природного сырья, что необходимо учитывать при оценке подобного опасного производственного явления (Рыльникова и др., 2020).

Термический анализ также находит применение в области экологического мониторинга для оценки термической стабильности фульвокислот и гуминовых кислот в почвенном покрове (Voguta et al., 2017). Практика авторов по исследованию образцов почв в воздушной среде показывает, что они характеризуются серией последовательных термических эффектов, связанных с дегидратацией сорбированной из воздуха влаги: эндотермический эффект с потерей массы с пиком эффекта в диапазоне от 55 до 77° С экзотермическим эффектом разложения термолабильных компонентов почвенного органического вещества (главным образом углеводов и алифатических соединений, с пиком эффекта в диапазоне от 311 до 380° С); экзотермическим эффектом деструкции термостабильных компонентов (в основном лигнина и ароматических соединений, с пиком эффекта в диапазоне от 367 до 495° С); экзотермическим эффектом окисления черного углерода (диапазон протекания реакции от 439 до 725° С).

Заключение

Таким образом, ДСК/ТГ-анализ находит широкое применение в практике геологических исследований, однако использование данного метода крайне требовательно к условиям и методике эксперимента, а также к грамотной интерпретации и обработке полученных результатов, что, в свою очередь, повышает требования к квалификации исследователя.

Библиографический список

- Бариева Э.Р., Королёв Э.А., Ескин А.А. Стадийность термического преобразования органоминерального вещества горючих сланцев Среднего Поволжья при сжигании // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18, № 5 (3). С. 411–414. EDN: YVDLEQ
- Белашев Б.З., Горьковец В.Я., Раевская М.Б. Опыт изучения структурных и магнитных свойств железистых кварцитов Южно-Корпангского участка Костомукшского рудного поля // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2012. Т. 1, № 8. С. 46–51. EDN: PKVVTN
- Белусов П.Е., Бочарникова Ю.И., Боева Н.М. Аналитические методы диагностики минерального состава бентонитовых глин // Вестник РУДН. Серия Инженерные исследования. 2015. № 4. С. 94–101. EDN: VBJUUT
- Ибламинов Р.Г., Казымов К.П., Меньшикова Е.А., Осовецкий Б.М. Методические подходы к оценке взрывоопасности сульфидной пыли // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2014. № 17. С. 291–294. EDN: SEGIJJ
- Игнатова А.М., Наумов С.В., Игнатов М.Н. Оценка пригодности и доступности базальтоидных и габброидных комплексов Западного Урала (Пермский край) для производства сварочных материалов // Вестник ПНИПУ. Машиностроение и материаловедение. 2010. № 4. С. 104–116. EDN: MUJOBV
- Исаева Г.А., Меньшикова Е.А. Применение термического анализа при изучении соляных пород // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2014. № 14. С. 33–36. EDN: SGNPHR
- Коробкин В.В., Саматов И.Б., Тулемисова Ж.С. Данные изучения минерального состава и рассеянного органического вещества в породах каменноугольно-пермского разреза юго-западной части Шу-Сарысуского бассейна // Геология и охрана недр. 2018. № 2 (67). С. 17–29. EDN: XQXGWD
- Лыгина Т.З., Михайлова О.А., Наумкина Н.И., Губайдуллина А.М., Гревцев В.А., Сучкова Г.Г., Михайлов А.А., Гордеев А.С. Рациональный комплекс методов изучения состава и свойств природных сорбентов как основа выбора инновационных технологий переработки и перспективных направлений использования минерального сырья // Георесурсы. 2015. № 4 (63). С. 56–62. EDN: VLIYCD
- Мартемьянов С.М. Моделирование подземного нагрева горючих сланцев: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Томск, 2013. 23 с. EDN: SUTSXX
- Меньшикова Е.А. Характеристика гипсового сырья Соколино-Саркаевского месторождения с применением синхронного термического (ДСК/ТГ) анализа // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2016. № 19. С. 337–341. EDN: VQVAPL
- Меньшикова Е.А., Казымов К.П., Исаева Г.А. (и др.) Исследование пород Пермского края для оценки их пригодности как сырья для производства базальтового волокна // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. 620 с. EDN: TODTGN
- Минерально-сырьевая база Пермского края для производства базальтового волокна: справочник / С.М. Блинов, С.С. Ваганов, И.В. Векслер (и др.). Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2015. 269 с. ISBN: 978-5-7944-2537-6 EDN: KJGDJ
- Миронова Е.В., Юргенсон Г.А., Лимберова В.В., Филенко Р.А. Влияние висмута и сурьмы на термические свойства руд месторождений золота Забайкальского края // Вестник ЗабГУ. 2017. № 6. С. 20–30. EDN: ZEWCLP
- Нгуен Н.Н., Лай Т.Б., Фам Д.А. Оценка эффективности методов рентгеноструктурного анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии при анализе глинистых минералов // Науки о Земле и недропользование. 2019. № 42 (2). С. 221–229. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-221-229 EDN: DVWDCK
- Петрова Ю.Ю., Таныкова Н.Г., Спасенных М.Ю., Козлова Е.В., Леушина Е.А., Костина Ю.В. Комплексная оценка содержания органического вещества в породах методами ИК-спектроскопии, термического анализа и пиролиза // Актуальные вопросы исследований пластовых систем месторождений углеводородов. 2022. № 3 (52). С. 109–116. EDN: CZTROY
- Пшевлодский М.А., Меньшикова Е.А., Мусакулова С.В. Некоторые практические результаты термического (ДСК/ТГ) анализа карбонатных пород // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2025. № 28. С. 156–161. DOI: 10.17072/chirvinsky.2025.156 EDN: LALOLJ
- Ренях Н.А., Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Бишимбаев В.К., Баширцева Н.Ю. Использование метода термического анализа для оценки эффективности действия ультразвуковой обработки на нефтебитуминозные породы // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 6. С. 170–173. EDN: OWNQIV
- Рыльникова М.В., Айнбиндер Г.И., Митишова Н.А., Гаджиева Л.А. Исследование закономерностей возгорания сульфидных руд и пород при комбинированной разработке месторождений // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2020. С. 341–356.
- Сергеевич О.А. Комплексное исследование каолинов республики Беларусь и керамические

материалы с их использованием: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Минск, 2017. 26 с. EDN: TJEEFI

Середин В.В., Ядзинская М.Р., Андрианов А.В. Классификация форм связанной воды в каолини-товых глинах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 6. С. 73–81. DOI: 10.18799/24131830/2021/6/3237 EDN: FULUOP

Синица С.М., Филенко Р.А., Василенко Е.А., Вильмова Е.С. Первая находка голоценового каличе в Забайкалье // Вестник ЗабГУ. 2019. № 2. С. 34–43. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-2-34-43 EDN: YZIWUH

Свивак Л.В., Наумов В.А., Плюснина К.И., Щепина Н.Е. Дифференциальная сканирующая калориметрия природного золота // Вестник Пермского университета. Серия Физика. 2022. Вып. 1. С. 44–48. DOI: 10.17072/1994-3598-2022-1-44-48 EDN: ХОТСТН

Филенко Р.А. Рожденные подземным пожаром // Наука из первых рук. 2014. № 3–4 (57–58). С. 208–213. EDN: STBSDP

Ходжиев С.К., Назаров Х.М., Хочиён М.М., Ахмедов М.З., Баротов Б.Б., Пулатов М.С., Мирсаидов И.У. Возможности переработки урансодержащих руд месторождения «Центральный Таджикистан» // Доклады Академии наук республики Таджикистан. 2017. Т. 60, № 3–4. С. 168–172.

Шишкин Ю.Л. Определение количества и качества органического вещества пород, генетического потенциала керогена термическими, оптическими и механическими методами // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2009. С. 39–49. EDN: LOZWMZ

Alver B.E., Sakizci M., Yörükoğullari E. Investigation of clinoptilolite rich natural zeolites from Turkey: a combined XRF, TG/DTG, DTA and DSC study // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2010. No. 100. P. 19–26. DOI: 10.1007/s10973-009-0118-0 EDN: QQVSWA

Boguta P., Sokolowska Z., Skic K. Use of thermal analysis coupled with differential scanning calorimetry, quadrupole mass spectrometry and infrared spectroscopy (TG-DSC-QMS-FTIR) to monitor chemical properties and thermal stability of fulvic and humic acids. PLoS ONE. 2017. No. 12 (12). e0189653 DOI: 10.1371/journal.pone.0189653

Dabiri R., Karimi Shahraki B., Mollaei H., Ghaf-fari M. Thermal treatment investigation of natural lizardite at the atmospheric pressure, based on XRD and DTA/TG analysis methods // Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy. 2009. Vol. 17, No. 3. P. 395–404.

Gürtekyñ G., Albayrak M. Thermal reaction of antigorite: a XRD, DTA-TG work. Mineral Res. Exp., Bull. 2006. No. 133. P. 41–49.

Hassid A., Klinger M., Krzack S., Cohen H. TGA–DSC Combined Coal Analysis as a Tool for QC (Quality Control) and Reactivity Patterns of Coals. ACS Omega. 2022. No. 7 (2). P. 1893–1907. DOI: 10.1021/acsomega.1c05296 EDN: ELIDIV

Iordanidis A., Georgakopoulos A., Markova K., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A. Application of TG–DTA to the study of Amynteon lignites, northern Greece. Thermochemica Acta. 2001. Vol. 371, Iss. 1–2. P. 137–141. DOI: 10.1016/S0040-6031(01)00418-X EDN: AMWZAP

Kostova B., Petkova V., Kostov-Kytin Vl., Tzvetanova Y., Avadeev G. TG/DTG-DSC and high temperature in-situ XRD analysis of natural thaumasite. Thermochemica Acta. 2021. Vol. 697. DOI: 10.1016/j.tca.2021.178863 EDN: TYGGWA

Kumar Mohalik N., Mandal S., Kumar Ray S., Mobin Khan A., Mishra D., Krishna Pandey J. TGA/DSC study to characterise and classify coal seams conforming to susceptibility towards spontaneous combustion // International Journal of Mining Science and Technology. 2022. Vol. 32, Iss. 1. P. 75–88. DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.12.002 EDN: NLDIY

Labus M., Matyasik I. Application of different thermal analysis techniques for the evaluation of petroleum source rocks // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2019. No. 136. P. 1185–1194. DOI: 10.1007/s10973-018-7752-3

Labus M., Lempart M. Studies of Polish Paleozoic shale rocks using FTIR and TG/DSC methods // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2018. Vol. 161. P. 311–318. ISSN 0920-4105. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.11.057 EDN: YDTVET

Pires J. Simultaneous Thermogravimetry-Differential Scanning Calorimetry (TG-DSC) in Nanoporous Materials: Examples of Data for Zeolites, Metal–Organic Frameworks (MOFs), Clay Based and Mesoporous Solids // Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials. 2024. No. 34. P. 3346–3359. DOI: 10.1007/s10904-024-03048-w EDN: DNOQXB

Wanfen Pu, Shishi Pang, Hu Jia. Using DSC/TG/DTA techniques to re-evaluate the effect of clays on crude oil oxidation kinetics // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2015. Vol. 134. P. 123–130. DOI: 10.1016/j.petrol.2015.07.014

Zhuang D., Chen Z., Sun B. Thermal Decomposition of Calcium Carbonate at Multiple Heating Rates in Different Atmospheres Using the Techniques of TG, DTG, and DSC. Crystals. 2025. No. 15 (2). P. 108. DOI: 10.3390/cryst15020108 EDN: LNHAQA

Application of Thermal DSC/TG Analysis in Geological Research Practice

M.A. Pshevlodsky, E.A. Menshikova

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614068, Russia

E-mail: kahiro8000@gmail.com

This article examines aspects of the application of thermal analysis using the differential scanning calorimetry (DSK) and thermogravimetry (TG) methods based on the literature review of the large number of publications of domestic and international research teams. The main modern applications of the method include research in mineralogy, lithology, and petrography (detection of impurities in test samples, quantitative assessment of water forms, etc.), studies of caustobioliths of oil and coal series (study of dispersed organic matter, fractional composition of hydrocarbons, assessment of raw material quality, its heat capacity, and spontaneous combustion potential), research in the field of mineral processing, industrial safety (assessment of production process parameters, including spontaneous combustion of ores), and ecology (forms of soil organic matter).

Keywords: differential scanning calorimetry, thermogravimetry, mineralogy, petrography, lithology, caustobioliths, industrial safety, ecology.

Reference

Barieva E.R., Korolyov E.A., Yeskin A.A. 2016. Stadiynost termicheskogo preobrazovaniya organomineralnogo veshchestva goryuchikh slantsev Srednego Povolzhya pri szhiganii [Stages of thermal transformation of organic-mineral matter of oil shale of the Middle Volga region during combustion]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk.* T. 18.5(3):411-414 (in Russian).

Belashev B.Z., Gorkovets V.Ya., Raevskaya M.B. 2012. Opyt izucheniya strukturnykh i magnitnykh svoystv zhelezistykh kvartsitov Yuzhno-Korpanskogo uchastka Kostomukshskogo rudnogo polya [Experience of studying the structural and magnetic properties of ferruginous quartzites of the South Korpanskiy section of the Kostomuksha ore field]. *Uchyonye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta,* Dekabr, 8(1):46-51 (in Russian).

Belousov P.Ye., Bocharnikova Yu.I., Boeva N.M. 2015. Analiticheskie metody diagnostiki mineralnogo sostava bentonitovykh glin [Analytical methods for diagnostic of the mineral composition of bentonite clays]. *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya.* 4:94-101 (in Russian).

Iblaminov R.G., Kazymov K.P., Menshikova Ye.A., Osovetskiy B.M. 2014. Metodicheskie podkhody k otsenke vzrivoopasnosti sulfidnoy pyli [Methodological approaches to assessing the explosiveness of sulfide dust]. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnie chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo.* 17:291-294 (in Russian).

Ignatov A.M., Naumov S.V., Ignatov M.N. 2010. Otsenka prigodnosti i dostupnosti bazaltoidnykh i gabbroidnykh kompleksov Zapadnogo Urala (Permskii krai) dlya proizvodstva svarochnykh materialov [Assessment of the suitability and availability of basaltoid and gabbroic complexes of

the Western Urals (Perm Krai) for the production of welding materials]. *Vestnik PNIPU. Mashinostroyeniye i materialovedeniye.* 4:104-116 (in Russian).

Isaeva G.A., Menshikova Ye.A. 2014. Primeneniye termicheskogo analiza pri izuchenii solyanykh porod [Application of thermal analysis in the study of salt rocks]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala.* 14:33-36 (in Russian).

Korobkin V.V., Samatov I.B., Tulemisova Zh.S. 2018. Dannye izucheniya mineralnogo sostava i rasseyannogo organicheskogo veshchestva v porodakh kamennougolno-permskogo razreza yugozapadnoy chasti Shu-Saryuskiy basseyne [Data from the study of mineral composition and dispersed organic matter in the rocks of the Carboniferous-Permian section of the southwestern part of the Shu-Saryus basin]. *Geologiya i okhrana nedr.* 2(67):17-29 (in Russian).

Ligina T.Z., Mikhaylova O.A., Naumkina N.I., Gubaidullina A.M., Grevtsev V.A., Suchkova G.G., Mikhailov A.A., Gordeev A.S. 2015. Ratsionalnyy kompleks metodov izucheniya sostava i svoystv prirodnykh sorbentov kak osnova vybora innovatsionnykh tekhnologiy pererabotki i perspektivnykh napravleniy ispolzovaniya mineralnogo syr'ya [A rational methods set for studying the composition and properties of natural sorbents as a basis for selecting the innovative processing technologies, and promising areas of raw mineral materials usage]. *Georesursy.* 4(63):56-62 (in Russian).

Martemyanov S.M. 2013. Modelirovaniye podzemnogo nagreva goryuchikh slantsev [Modeling of underground heating of oil shale]. *Diss. kand. tekhn. nauk. Tomsk.* (in Russian).

Menshikova Ye.A. 2016. Kharakteristika gipsovogo syr'ya Sokolino-Sarkaevskogo mestorozhdeniya s primeneniem sinkhronnogo termicheskogo (DSK/TG) analiza [Characterization of gypsum raw

materials from the Sokolino-Sarkaevskoye deposit using synchronous thermal (DSC/TG) analysis]. Problemi mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo. 19:337-341 (in Russian).

Menshikova Ye.A., Kazimov K.P., Isaeva G.A., et al. 2012. Issledovanie porod Permskogo kraya dlya otsenki ikh prigodnosti kak syrya dlya proizvodstva bazaltovogo volokna [Study of the rocks in the Perm region to assess their suitability as raw material for the production of basalt fiber]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7641> (access date: 10.27.2025) (in Russian).

Mineralno-syrevaya baza Permskogo kraya dlya proizvodstva bazaltovogo volokna: spravochnik [Perm Krai mineral resource base for basalt fiber production: a reference book]. S.M. Blinov, S.S. Vaganov, I.V. Veksler et al. Perm. Permskiy gosudarstvenniy natsionalniy issledovatel'skiy universitet, p. 269. ISBN 978-5-7944-2537-6 (in Russian).

Mironova Ye.V., Yurgenson G.A., Limberova V.V., Filenko R.A. 2017. Vliyanie vismuta i surmy na termicheskie svoystva rud mestorozhdeniy zolota Zabaykalskogo kraya [The influence of bismuth and antimony on the thermal properties of ores of gold deposits in the Transbaykal Territory]. Vestnik ZabGU. 6:20-30 (in Russian).

Nguen N.N., Lai T.B., Fam D.A. 2019. Otsenka effektivnosti metodov rentgenostrukturnogo analiza i differentsialnoy skaniruyushchey kallorimetrii pri analize glinistyykh mineralov [Evaluation of the effectiveness of X-ray diffraction analysis and differential scanning calorimetry methods in the analysis of clay minerals]. Nauki o Zemle i nedropolzovanie. 42(2):221-229. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-221-229 (in Russian).

Petrova Yu.Yu., Tanikova N.G., Spasennykh M.Yu., Kozlova Ye.V., Leushina Ye.A., Kostina Yu.V. 2022. Kompleksnaya otsenka sodержaniya organiche-skogo veshchestva v porodakh metodami IK-spektroskopii, termicheskogo analiza i piroliza [Comprehensive assessment of organic matter content in rocks using IR spectroscopy, thermal analysis and pyrolysis methods]. Aktualnye voprosy issledovaniy plastovikh sistem mestorozhdeniy uglevodorodov. 3(52):109-116 (in Russian).

Pshevloдskiy M.A., Menshikova Ye.A., Musakulova S.V. Nekotorye prakticheskie rezultaty termicheskogo (DSK/TG) analiza karbonatnykh porod [Some practical results of thermal (DSC/TG) analysis of carbonate rocks]. Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii. Nauchnye chteniya pamyati P.N. Chirvinskogo. 28:156-161. DOI 10.17072/chirvinsky.2025.156 (in Russian).

Repyakh N.A., Ganeeva Yu.M., Yusupova T.N., Bishimbaev V.K., Bashkirtseva N.Yu. 2012. Ispolzovanie metoda termicheskogo analiza dlya otsenki effektivnosti deystviya ultrazvukovoy obrabotki na neftebituminoznye porodiy [Using the thermal analysis method to evaluate the effectiveness of ultrasonic treatment on oil-bituminous rocks]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 6:170-173 (in Russian).

Rylnikova M.V., Aynbinder G.I., Mitishova N.A., Gadzhieva L.A. 2020. Issledovanie zakonornostey vozgoraniya sulfidnykh rud i porod pri kombinirovannoy razrabotke mestorozhdeniy [Study of regularities of sulfide ores and rocks ignition during combined mining]. Izvestiya TulGU. Nauki o Zemle. 2:341-356 (in Russian).

Sergievich O.A. 2017. Kompleksnoe issledovanie kaolinov respubliky Belarus i keramicheskie materialy s ikh ispolzovaniem [A comprehensive study of kaolins of the Republic of Belarus and ceramic materials made using them]. Diss. kand.tekh.nauk. Minsk (in Russian).

Seredin V.V., Yadzinskaya M.R., Andrianov A.V. 2021. Klassifikatsiya form svyazannoy vody v kaolinitovykh glinakh [Classification of forms of bound water in kaolinite clays]. Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 332(6):73-81. DOI 10.18799/24131830/2021/6/3237 (in Russian).

Sinita S.M., Filenko R.A., Vasilenko Ye.A., Vil'mova Ye.S. 2019. Pervaya nakhodka golotsenovogo kaliche v Zabaykalye [The first discovery of Holocene caliche in Transbaykalya]. Vestnik ZabGU. 2:34-43 (in Russian).

Spivak L.V., Naumov V.A., Plyusnina K.I., Shchepina N.E. 2022. Differentsialnaya skaniruyushchaya kalorimetriya prirodnogo zolota [Differential scanning calorimetry of natural gold]. Vestnik Permskogo universiteta. Fizika. 1:44-48 (in Russian).

Filenko R.A. 2014. Rozhdennye podzemnym pozharom [Born of underground fire]. Nauka iz pervikh ruk. 3-4(57-58):208-213 (in Russian).

Khodzhiyev S.K., Nazarov Kh.M., Khochiyon M.M., Akhmedov M.Z., Barotov B.B., Pulatov M.S., Mirsaidov I.U. 2017. Vozmozhnosti pererabotki uransoderzhashchikh rud mestorozhdeniya «Tsentralniy Tadzhikistan» [Potential for processing uranium-containing ores from the Central Tajikistan deposit]. Doklady Akademii nauk respubliky Tadzhikistan. 60(3-4):168-172 (in Russian).

Shishkin Yu.L. 2009. Opredelenie kolichestva i kachestva organicheskogo veshchestva porod, geneticheskogo potentsiala kerogena termicheskimi, opticheskimi i mekhanicheskimi metodami [Determination of the amount of organic matter in rocks and the genetic potential of kerogen using thermal, optical

and mechanical methods]. *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*.3:39-49 (in Russian).

Alver B.E., Sakizci M., Yörükoğullari E. 2010. Investigation of clinoptilolite rich natural zeolites from Turkey: a combined XRF, TG/DTG, DTA and DSC study. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 100:19–26. DOI: 10.1007/s10973-009-0118-0.

Boguta P, Sokolowska Z, Skic K. 2017. Use of thermal analysis coupled with differential scanning calorimetry, quadrupole mass spectrometry and infrared spectroscopy (TG-DSC-QMS-FTIR) to monitor chemical properties and thermal stability of fulvic and humic acids. *PLoS ONE* 12(12):e0189653. DOI: 10.1371/journal.pone.0189653.

Dabiri R., Karimi Shahraki B., Mollaei H., Ghaf-fari M. 2009. Thermal treatment investigation of natural lizardite at the atmospheric pressure based on XRD and DTA/TG analysis methods. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*. 17(3):395–404.

Gürtekyn G., Albayrak M. 2006. Thermal reaction of antigorite: a XRD, DTA-TG work. *Mineral Res. Exp., Bull.* 133:41-49.

Hassid A., Klinger M., Krzack S., Cohen H. 2022. TGA–DSC Combined Coal Analysis as a Tool for QC (Quality Control) and Reactivity Patterns of Coals. *ACS Omega*.7(2):1893-1907. DOI: 10.1021/acsomega.1c05296.

Iordanidis A., Georgakopoulos A., Markova K., Filippidis A., Kassoli-Fournaraki A. 2001. Application of TG–DTA to the study of Amynteon lignites, northern Greece. *Thermochimica Acta*.371(1–2): 137-141. DOI: 10.1016/S0040-6031(01)00418-X.

Kostova B., Petkova V., Kostov-Kytin Vl., Tzvetanova Y., Avadeev G. 2021. TG/DTG-DSC and high temperature in-situ XRD analysis of natural

thaumasite. *Thermochimica Acta*.697: 178863, DOI: 10.1016/j.tca.2021.178863.

Kumar Mohalik N., Mandal S., Kumar Ray S., Mobin Khan A., Mishra D., Krishna Pandey J. 2022. TGA/DSC study to characterise and classify coal seams conforming to susceptibility towards spontaneous combustion. *International Journal of Mining Science and Technology*.32(1):75-88 DOI: 10.1016/j.ijmst.2021.12.002.

Labus M., Matyasik I. 2019. Application of different thermal analysis techniques for the evaluation of petroleum source rocks. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 136:1185–1194. DOI: 10.1007/s10973-018-7752-3.

Labus M., Lempart M. 2018. Studies of Polish Paleozoic shale rocks using FTIR and TG/DSC methods. *Journal of Petroleum Science and Engineering*.161:311-318. DOI: 10.1016/j.petrol.2017.11.057.

Pires J. 2024. Simultaneous Thermogravimetry-Differential Scanning Calorimetry (TG-DSC) in Nanoporous Materials: Examples of Data for Zeolites, Metal–Organic Frameworks (MOFs), Clay Based and Mesoporous Solids. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*. 34:3346–3359. DOI: 10.1007/s10904-024-03048-w

Wanfen Pu, Shishi Pang, Hu Jia. 2015. Using DSC/TG/DTA techniques to re-evaluate the effect of clays on crude oil oxidation kinetics. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 134:123-130. DOI: 10.1016/j.petrol.2015.07.014.

Zhuang D., Chen Z., Sun B. 2025. Thermal Decomposition of Calcium Carbonate at Multiple Heating Rates in Different Atmospheres Using the Techniques of TG, DTG, and DSC. *Crystals*.15(2):108. DOI: 10.3390/cryst15020108.