

ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



На правах рукописи

Таныкова Наталья Геннадьевна

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КЕРОГЕНА В ПОРОДЕ МЕТОДАМИ
ИК-СПЕКТРОСКОПИИ И ИК-МИКРОСКОПИИ**

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

1.4.2 – Аналитическая химия

Томск – 2024

Работа выполнена на кафедре химии Института естественных и технических наук бюджетного учреждения высшего образования Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут.

Научный руководитель:

Петрова Юлия Юрьевна

канд. хим. наук, доцент, директор
Института естественных и технических
наук БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский
государственный университет»

Официальные оппоненты:

Бакибаев Абдигали Абдиманатович

д-р. хим. наук, профессор, ведущий
научный сотрудник лаборатории
органического синтеза ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский
Томский государственный университет»

Бурмистрова Наталия Анатольевна

д-р. хим. наук, доцент, профессор кафедры
общей и неорганической химии ФГБОУ
ВО «Саратовский национальный
исследовательский государственный
университет имени Н.Г. Чернышевского»

Защита состоится «24» июня 2024 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ДС.ТПУ.08 Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634050, г. Томск, проспект Ленина 43а.



С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Томского политехнического университета и на сайте dis.tpu.ru при помощи QR-кода.

Автореферат разослан «___» _____ 20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
ДС.ТПУ.08



Дорожко Е.В.
канд. хим. наук, доцент

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Поиск и освоение нетрадиционных запасов углеводородов (УВ) является стратегической задачей нефтегазовой промышленности, направленной на расширение и развитие сырьевой базы РФ. Кероген представляет собой нерастворимое макромолекулярное органическое вещество, содержащееся в осадочных породах в рассеянном состоянии, и ключевой источник УВ. Для оценки потенциала и выбора технологии разработки месторождений необходима надежная химическая информация о распределении и структурно-групповом составе керогена. Основная проблема состоит в отсутствии системного подхода при использовании разнообразных, зачастую дублирующих методов и ориентировании исследования только на структурно-групповые характеристики керогена без учета распределения вещества в породе. Существует ряд физико-химических методов, включающий в себя программируемый пиролиз, хромато-масс-спектрометрию, газовую хроматографию, рентгеноструктурный анализ и ЯМР-спектроскопию, которые требуют длительной пробоподготовки и исследуют кероген, отдельно выделенный из содержащей его породы.

Спектральные методы такие, как ИК-спектроскопия и ИК-микроскопия, могут быть применены в рамках единого подхода для экспрессного полуколичественного определения содержания и оценки структуры керогена. ИК-микроскопия зарекомендовала себя как надежный неразрушающий метод исследования органического вещества на поверхности пород с возможностью получения информации о неоднородности распределения как минералов, так и органического вещества. Однако метод требует оптимизации способов пробоподготовки поверхности образцов пород, а также верификации на примере образцов пород с различным минералогическим составом, и различным типом керогена. Кроме того, остаются нерешенными задачи количественного определения керогена, связанные с отсутствием стандартных образцов керогенсодержащих пород, которые необходимы в методах ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии, а также нелинейным характером зависимости интенсивности полос поглощения от концентрации в спектрах отражения.

Разработка способов совместного использования ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии с другими физико-химическими методами позволит существенно расширить и детализировать информацию о структурно-групповом составе керогенсодержащих пород, характере и степени распределения керогена в породе, а также определить содержание керогена и количество УВ, которое он способен сгенерировать в процессе своего термического преобразования.

Цель настоящего исследования – разработка способа исследования распределения, состава и содержания керогена на основе методов ИК-

спектроскопии и ИК-микроскопии, который включает количественное определение керогена в глинисто-карбонатно-кремнистых породах.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- Идентифицировать полосы поглощения инфракрасного диапазона, надежно характеризующие структурно-групповой состав керогена, в том числе находящегося в глинисто-карбонатно-кремнистых породах, для дальнейшего их использования в количественном определении;
- Обосновать возможность определение керогена непосредственно в породе методом ИК-спектроскопии, тем самым минимизировать пробоподготовку, исключая стадию выделения керогена;
- Предложить способ количественного определения керогена методом ИК-спектроскопии по нормированным полосам поглощения алифатических и ароматических групп в глинисто-карбонатно-кремнистых породах;
- Предложить способ определения структурно-группового состава и распределения керогена на поверхности глинисто-карбонатно-кремнистых пород методом ИК-микроскопии;
- На основе объединения предложенных способов обосновать преимущества их совместного использования для определения керогена и установления характера и степени его распределения в глинисто-карбонатно-кремнистых породах.

Объектом исследования является кероген глинисто-карбонатно-кремнистых пород переменного состава.

Предмет исследования. Способы полуколичественного и количественного определения структуры, состава и содержания керогена, распределения его алифатических и ароматических фрагментов на поверхности пород.

Методы исследования. В работе использованы современные методы исследования: ИК-спектроскопия и ИК-микроскопия с Фурье преобразованием, программируемый пиролиз по методу Рок-Эвал, дифференциальный термический анализ в инертных и окислительных условиях, рентгенофлуоресцентный анализ и элементный CHNS-анализ. Обработку спектров и картирование поверхности образцов проводили с использованием программных продуктов «LabSolutions» (v.2.25) и «AIMsolution» (v.1.24).

Научная новизна. Методом ИК-микроскопии впервые предложен способ полуколичественного определения керогена и установления характера и степени распределения его алифатических и ароматических фрагментов на поверхности керогенсодержащих пород переменного минералогического состава (глинистых, карбонатных, кремнистых и др.).

Методом ИК-спектроскопии впервые предложен способ количественного определения керогена по нормированным ИК-спектрам с использованием коэффициентов поглощения полос функциональных групп

его алифатических и ароматических фрагментов непосредственно в образцах глинисто-карбонатно-кремнистых породах.

Показана возможность минимизации пробоподготовки за счет кислотной обработки пород с высоким содержанием карбонатных минералов и исключения стадии выделения керогена.

Практическая значимость. Доказана эффективность применения метода ИК-микроскопии для полуколичественного определения керогена и метода ИК-спектроскопии для его количественного определения непосредственно в породах, что позволяет сократить трудоемкость эксперимента с одновременным повышением информативности.

Разработанный способ исследования распределения, состава и содержания керогена на основе методов ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии, в глинисто-карбонатно-кремнистых породах позволяет заменить существующий набор рутинных методов, поскольку определяемое соотношение содержания алифатических и ароматических фрагментов закономерно соответствует структурно-групповому составу керогена.

Минимизация стадии пробоподготовки посредством исключения стадии предварительного выделения керогена из пород позволяет сократить время эксперимента и отказаться от токсичных растворителей (хлороформа, гексана, спиртобензольных смесей, плавиковой кислоты и др.).

Практическая значимость исследования подтверждена патентом на изобретение «Оценка содержания органического вещества в нефтематеринских породах, содержащих кероген II типа» (№ 2769531 от 01 апреля 2022 г.). Результаты диссертационного исследования использованы в работе лаборатории Центра добычи углеводородов АНОО ВО «Сколковский институт науки и технологий» (г. Москва), а также внедрены в учебный процесс кафедры химии Института естественных и технических наук Сургутского государственного университета (г. Сургут).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Минимизация пробоподготовки за счет исключения стадии выделения керогена и проведения его определения непосредственно в породе методом ИК-спектроскопии;
2. Способ полуколичественного определения содержания и состава керогена методом ИК-спектроскопии по нормированным полосам поглощения функциональных групп, в том числе находящегося в породах;
3. Способ количественного определения алифатических и ароматических фрагментов керогена методом ИК-спектроскопии с использованием их коэффициентов поглощения;
4. Способ одновременного определения соотношения алифатических и ароматических фрагментов и распределения керогена на поверхности пород методом ИК-микроскопии;
5. Результаты апробации совокупности предложенных способов для повышения точности определения керогена и установления характера его распределения в реальных объектах.

Личный вклад автора заключается в сборе, анализе и переработке литературных данных по теме исследования, в проведении экспериментальных работ, обработке полученных результатов и их обобщении, выработке практических рекомендаций, подготовке научных статей и тезисов конференций по материалам диссертации.

Достоверность и обоснованность результатов. Достоверность экспериментальных данных обеспечивается использованием современного научно-исследовательского оборудования и методов исследования, стандартных методик и методов статистической обработки, а также контролем погрешностей на всех этапах анализа.

Внедрение результатов исследования. Диссертационная работа была выполнена в рамках государственного задания 2021-2023 гг. при финансовой поддержке Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (приказ от 04.09.2020 № 10-П-1308), проект «Комплексные геохимические исследования и цифровые технологии, направленные на повышение эффективности бурения при разработке низкопроницаемых и нетрадиционных коллекторов (Цифровой двойник бурового раствора)».

Результаты диссертационного исследования также использованы в научно-исследовательских работах Центра химического инжиниринга Сургутского государственного университета (г. Сургут).

Апробация результатов исследования. Основные результаты, полученные при работе над диссертацией, были представлены в виде устных и стендовых докладов на конференциях различного уровня: XX EuroAnalysis (Стамбул, 2019); XXI Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (Санкт-Петербург, 2019); XI Международной конференции для молодых ученых по химии «Менделеев 2019» (Санкт-Петербург, 2019); I Северной Международной конференции «Цифровая жизнь и цифровая индустрия» (Сургут, 2019); Международной научно-практической конференции «Новые идеи в геологии нефти и газа 2019» (Москва, 2019); VI Международной (XIV Всероссийской) научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия» (Москва, 2019); III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем» SPRS-2020 (Москва, 2020); VII Всероссийской конференции молодых ученых «Наука и инновации XXI века» (Сургут, 2020); VII Международной (XV Всероссийской) научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия» (Москва, 2020); Совместном семинаре EAGE/SPE 2021 «Наука о сланцах: Новые вызовы» (Москва, 2021); Всероссийской конференции-конкурсе студентов и аспирантов «Актуальные проблемы недропользования 2021» (Санкт-Петербург, 2021); VIII Международной (XVI Всероссийской) научно-практической конференции «Нефтепромысловая химия» (Москва, 2021); I Международном научно-практическом семинаре «Экспериментальные методы исследования пластовых систем: проблемы и решения» (Москва, 2021); XXV юбилейной научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового

потенциала Западной Сибири» (Ханты-Мансийск, 2021); 25-ой конференции по вопросам геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2023» (Геленджик, 2023); XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия и химическая технология в XXI веке» (Томск, 2023); Всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии – 2023» (Иркутск, 2023); IV Всероссийской конференции по аналитической спектроскопии с международным участием (Краснодар, 2023).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 23 работы, из них: 5 статей в российских и международных журналах, в т.ч. индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science; 18 публикаций в российских и международных сборниках трудов и материалов научных конференций.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (приказ от 04.09.2020 № 10-П-1308) в рамках государственного задания 2021-2023 гг., проект «Комплексные геохимические исследования и цифровые технологии, направленные на повышение эффективности бурения при разработке низкопроницаемых и нетрадиционных коллекторов (Цифровой двойник бурового раствора)».

Структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 148 страницах машинописного текста и включает 4 главы, 38 рисунков, 32 таблицы, список литературы, состоящий из 121 источника, и трех приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** представлена актуальность диссертационной работы, определены цели и задачи, научная новизна и практическая значимость проведенного научного исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** представлен обзор современных методов исследования, в частности ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии с Фурье преобразованием, а также термических методов анализа, применяемых для получения химической информации о составе нефтематеринских пород, содержащих рассеянное органическое вещество, в т.ч. в виде керогена. Отмечены недостатки и нерешенные вопросы, связанные с выбором способов регистрации спектров пропускания и/или отражения, оптимизации условий, способов пробоподготовки образцов, в частности для ИК-микроскопии, подбором стандартных образцов минералов и керогена, которые необходимы для количественного определения.

Во **второй главе** приведено описание объектов, аппаратуры и методов исследования. Представлена подробная геохимическая характеристика исследуемых образцов керогена и керогенсодержащих пород из месторождений баженовской и тюменской свит Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна, полученная методами программируемого

пиролиза Рок-Эвал, рентгенофлуоресцентного анализа, элементного CHNS-анализа. Исследуемые образцы пород характеризуются высоким содержанием общего органического углерода (ТОС от 2 до 16 масс. %), содержат зрелое органическое вещество (T_{\max} 430-455°C), которое преимущественно представлено керогеном II типа (аквагенной природы). Процесс нефтегенерации находится в активной стадии (PI 0.1-0.4), что обуславливает наличие УВ в породе.

Представлены результаты исследования керогена и керогенсодержащих пород методом дифференциального термического анализа (ДТА) как одним из методов для комплексного изучения структуры и содержания керогена в изучаемых объектах. Исследования методом ДТА проводили в трех режимах: в инертной (азотной) среде, в окислительной (воздушной) среде и в условиях программируемого пиролиза. Содержание керогена в деминерализованных образцах и образцах пород, найденное методом ДТА при различных условиях, пересчитали (с использованием поправочных коэффициентов) на общее содержание органического углерода (ТОС_{ДТА}) и сравнили с пиролитическим параметром ТОС по методу Рок-Эвал. Относительная погрешность определения ТОС_{ДТА} для образцов керогена не превышает 18% как для окислительных, так и для условий аналогичных методу Рок-Эвал, а для образцов пород – не более 16 и 24% в условиях окислительной и инертной среды соответственно.

Описаны методики пробоподготовки образцов: хлороформная экстракция пород, выделение керогена, кислотная обработка пород с высоким содержанием карбонатных минералов. Также приведены подробные методики исследования образцов методами ИК-спектроскопии (пропускания и НПВО), ИК-микроскопии и дифференциального термического анализа, определения коэффициентов поглощения алифатических и ароматических фрагментов керогена.

В третьей главе подробно представлены результаты полуколичественного и количественного определения керогена в породе, полученные нормированием ИК-спектров, определения коэффициентов поглощения его алифатических и ароматических фрагментов, а также способы минимизации пробоподготовки при исследовании керогена в породах методами ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии.

Подробно описаны результаты исследования структурно-группового состава образцов керогена и керогенсодержащих пород методами ИК-спектроскопии на пропускание и НПВО. В образцах керогена органическому веществу соответствуют полосы поглощения в нескольких областях ИК-спектра: 3100-3000 см^{-1} – валентные колебания связей С–Н ароматических фрагментов; 3000-2800 см^{-1} – валентные колебания связей СН_x алифатических фрагментов (асимметричные колебания метильной группы (СН_3) при $\sim 2955 \text{ см}^{-1}$, асимметричные и симметричные колебания метиленовой группы (СН_2) при ~ 2923 и $\sim 2852 \text{ см}^{-1}$ соответственно.); 1800-1650 см^{-1} – валентные (С=О, С–О–С) и деформационные (О–Н) колебания

кислородосодержащих групп; 1650–1550 см^{-1} – валентные колебания связей $\text{C}=\text{C}$ ароматического кольца; 1500–1300 см^{-1} – деформационные колебания связей $\text{C}-\text{H}$ в алифатических фрагментах; 900–700 см^{-1} – внеплоскостные деформационные колебания $\text{C}-\text{H}$ в ароматических фрагментах.

Керогенсодержащие сланцевые породы неоднородны и имеют сложный многокомпонентный состав. Большинство полос, которые находятся в средней инфракрасной области спектра, относятся к неорганическим компонентам. Так, полосы в области ~1400, 876, 712 см^{-1} соответствуют асимметричным валентным, деформационным внеплоскостным и плоскостным колебаниям связей карбонат-иона CO_3^{2-} соответственно, которые подтверждают наличие карбонатных минералов таких, как кальцита, доломита и др. в исследуемых образцах. Практически во всех ИК-спектрах анализируемых образцов обнаружена широкая полоса различной интенсивности в области 1200–900 см^{-1} , соответствующая валентным колебаниям связей $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ кремнистых и глинистых минералов таких, как каолинит, иллит, смектит и др. Для кварца характерно присутствие дублетной полосы валентных колебаний SiO_2 в области 800–700 см^{-1} . Полосы поглощения в области 600–400 см^{-1} относятся к деформационным колебаниям связей $\text{Si}-\text{O}$ и $\text{Al}-\text{O}$ глинистых и кремнистых минералов.

В ИК-спектрах керогенсодержащих пород полосы, характеризующие органическое вещество керогена, можно идентифицировать в двух областях 3000–2800 см^{-1} (валентные колебания $\text{C}-\text{H}$ алифатических фрагментов) и 1700–1600 см^{-1} (валентные колебания $\text{C}=\text{C}$ ароматических фрагментов керогена), которые не перекрываются полосами поглощения функциональных групп минеральной матрицы.

В спектрах отражения (НПВО) образцов керогена и пород наблюдали те же полосы поглощения минералов и керогена, но их интенсивность значительно ниже, по сравнению со спектрами пропускания. Так, в ИК-НПВО-спектрах алифатические полосы валентных колебаний $\text{C}-\text{H}$ практически незаметны в образцах, у которых ТОС ниже 3 масс. %.

Таким образом, метод ИК-НПВО-спектроскопии более удобен для экспрессной качественной характеристики сложного многокомпонентного состава горных пород, но интенсивность полос поглощения значительно ниже, по сравнению с ИК-спектрами пропускания, а, следовательно, ниже чувствительность обнаружения фрагментов керогена.

Содержание компонентов рассчитывали как отношение оптической плотности соответствующих полос к сумме оптических плотностей полос минералов и керогена, при этом содержание керогена рассчитывали как сумму содержаний алифатических (AL) и ароматических (AR) фрагментов (таблица 1). При нормировании использовали значения интенсивности полос поглощения, относящиеся к кварцу (797 см^{-1}), глинистым (1100–1000 см^{-1}), карбонатным (1450–1400 см^{-1}) минералам, а также ароматическим (1630 см^{-1}) и алифатическим (2925 см^{-1}) связям во фрагментах керогена.

Таблица 1 – Примеры интервалов содержания (масс. %) керогена и минералов в образцах глинисто-карбонатно-кремнистых пород до и после (ex) экстракции битумоидов (n=3-5, P=0.95)

№	Интервал содержания компонента, масс. %			
	Кварц	Глинистые минералы	Карбонатные минералы	Кероген
1	16-28	35-72	9-17	8-15
1 _{ex}	16-26	27-50	23-43	6-9
2	21-37	37-64	4-7	12-18
2 _{ex}	27-50	29-52	5-9	11-17
3	30-49	38-64	0-2	6-11
3 _{ex}	28-49	39-65	0-2	7-12
4	30-50	35-72	0-1	4-9
4 _{ex}	18-31	52-90	0-1	3-6
5	30-56	29-61	6-10	3-6
5 _{ex}	21-42	40-75	5-9	2-7
6	29-51	38-63	0-2	7-10
6 _{ex}	16-28	35-72	9-17	8-15

Оценку содержания керогена и минералов проводили для образцов пород как до, так и после экстракции битумоидов хлороформом. Важно отметить, что в процессе экстракции из породы в основном выделяются алифатические УВ, которые находятся в микропорах и образуются в результате термического разложения керогена. Вследствие этого в большинстве анализируемых образцов содержание керогена в экстрагированных породах несколько меньше, чем до экстракции.

Основным методом сравнения в работе является программируемый пиролиз с последующим газохроматографическим определением отходящих газов. Принципом пиролиза по методу Рок-Эвал является 2-х стадийность эксперимента. На первом этапе проводят пиролиз образца в инертной среде до 650°C и определяют УВ с использованием ПИД-детектора, на втором этапе – процесс сжигания оставшегося углерода в присутствии воздуха от 300 до 850°C до СО и СО₂. Основным пиролитическим параметром является общее содержание органического углерода (ТОС, масс. %), по которому определяют генерационный потенциал исследуемых керогенсодержащих пород. В программируемом пиролизе при расчете общего органического углерода есть допущение, что углерод составляет 85% от массы генерируемых углеводородов при термической деструкции и окислении керогена. Применяя это же допущение к сумме алифатических и ароматических фрагментов керогена, можно вычислить сопоставимое значение общего органического углерода по методу ИК-спектроскопии (ТОС_{ИК}) с относительной погрешностью до 50% по сравнению с пиролитическим параметром ТОС (таблица 2). Однако погрешность определения ТОС_{ИК} резко возрастает (более 50%) в случае анализа пород с

содержание карбонатных минералов от 30 масс. %.

Таблица 2 – Сравнение значений полуколичественного определения ТОС_{ИК} с данными пиролиза Рок-Эвал (n=3-5, P=0.95)

№	ИК-спектроскопия		Пиролиз Рок-Эвал	
	ТОС _{ИК} , масс. %	s _r , %	ТОС, масс. %	s _r , %
1	10±3	13.2	10.2±0.6	2.4
2	13±2	7.4	13.8±0.8	
3	7±2	13.0	6.4±0.4	
4	5±2	15.8	3.6±0.2	
5	4±1	13.4	3.4±0.2	
6	7±1	8.1	6.5±0.4	
7	17±6	14.8	4.4±0.3	
8	17±6	15.0	3.3±0.2	

В современной технологии исследования керогена основополагающим является комплекс пиролиз – экстракция битумоидов – пиролиз и выделение керогена из нефтематеринской породы с использованием различных органических растворителей (хлороформ, спиртобензол и др.) и минеральных кислот (соляная, плавиковая и др.). Каждая стадия экстракции занимает продолжительное время, что связано с особенностями минерального состава и строения пород. В частности, для пород баженовской свиты экстракция продолжается месяцами, т.к. постоянно происходит процесс высвобождения новых порций УВ из «керогеновых» пор. Методы ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии предоставляют возможность получить информацию о распределении, структуре и составе органического вещества за более короткий период времени, т.к. исключают стадии экстракции пород и выделения керогена (рисунок 1).

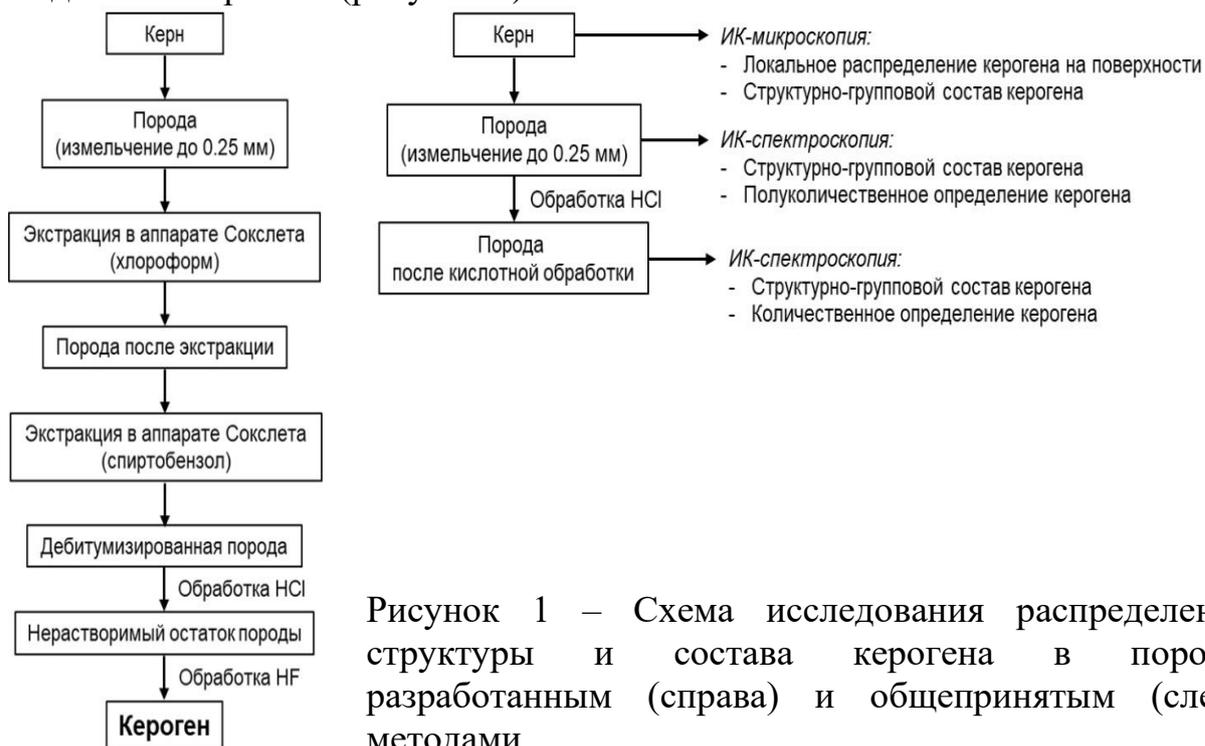
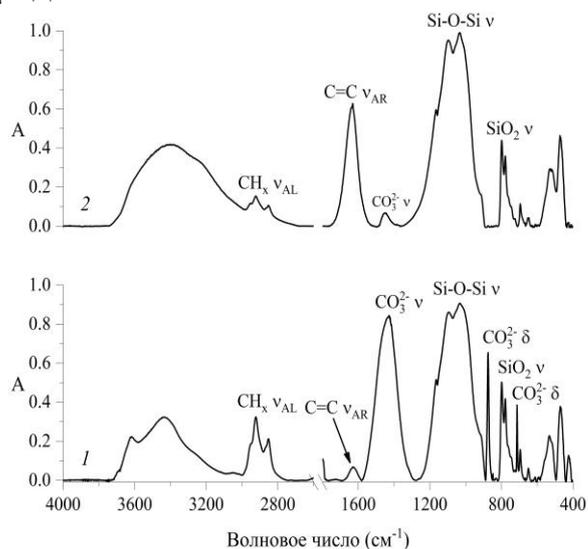
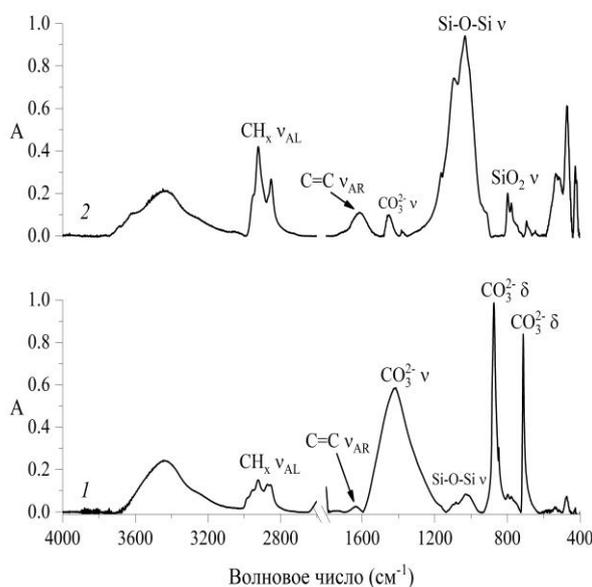


Рисунок 1 – Схема исследования распределения, структуры и состава керогена в породах разработанным (справа) и общепринятым (слева) методами

Для исследования структуры и состава керогена методом ИК-спектроскопии на пропускание в таблетках бромида калия требуется измельчение породы до размера частиц ~ 200 меш (или ~ 0.074 мм). Возможно исследовать как измельченные неэкстрагированные, так и породы после экстракции битумоидов для определения количества УВ, сгенерированных в процессе термического преобразования керогена и находящихся в порах породы.



а



б

Рисунок 2 – ИК-спектры пород с различным содержанием карбонатных минералов до (1) и после (2) кислотной обработки: а – глинисто-карбонатно-кремнистые породы; б – кремнисто-карбонатные породы

От минералогического состава породы зависит вид ИК-спектра (рисунок 2): полосы поглощения функциональных групп кремнистых, глинистых, а также карбонатных минералов (до 30 масс. %) минералов не перекрываются с полосами поглощения алифатических и ароматических структур керогена в выбранных для их определения спектральных диапазонах 3000-2800 и 1700-1600 см^{-1} . Однако, при высоком содержании карбонатных пород (более 30 масс. %) полоса поглощения валентных колебаний карбонат-иона CO_3^{2-} может частично перекрывать полосу поглощения валентных колебаний $\text{C}=\text{C}$ ароматических колец. При содержании более 60 масс. % также появляются обертоны полосы при 1400 см^{-1} в области 3000-2800 см^{-1} , интенсивность которых накладывается на интенсивность полос валентных колебаний CH_x связей алифатических фрагментов керогена, что приводит к искажению содержания керогена в породах в сторону увеличения при нормировании ИК-спектров. Кислотная обработка концентрированной

соляной кислотой измельченных пород позволяет уменьшить интенсивность

обертонов и увеличить величину полезного сигнала, а, следовательно, уменьшить погрешность определения.

Вид ИК-спектров до и после кислотной обработки кремнисто-глинистых пород не изменяется. Для пород, содержащих карбонатные минералы, вид ИК-спектров может сильно отличаться в зависимости от количества карбонатных минералов в исходной породе. Так, для глинисто-карбонатно-кремнистых пород характерно (рис. 2а): уменьшение интенсивности полосы поглощения валентных колебаний карбонат-иона CO_3^{2-} ($\sim 1400 \text{ см}^{-1}$); увеличение интенсивности полос поглощения валентных C-H и C=C связей органического вещества ($3000\text{-}2800$ и $1700\text{-}1600 \text{ см}^{-1}$ соответственно), а также увеличение интенсивности полос поглощения функциональных групп глинистых и кремнистых минералов (Si-O-Si $1200\text{-}900 \text{ см}^{-1}$; SiO_2 $800\text{-}700 \text{ см}^{-1}$). Для кремнисто-карбонатных пород изменения в спектрах более значимые (рисунок 2б): сильно уменьшаются полосы поглощения для валентных ($\sim 1400 \text{ см}^{-1}$) и деформационных (876 и 712 см^{-1}) колебаний карбонат-ионов CO_3^{2-} ; сильно увеличиваются интенсивности полос поглощения связей Si-O-Si ($\sim 1000 \text{ см}^{-1}$) и SiO_2 (799 и 777 см^{-1}) для глинистых и кремнистых минералов; увеличиваются полосы поглощения валентных C=C связей ароматических колец в области $1700\text{-}1600 \text{ см}^{-1}$; в области $3000\text{-}2800 \text{ см}^{-1}$ меняется форма полос поглощения вследствие значительного уменьшения интенсивности обертонов карбонат-ионов, при этом в целом интенсивность полос поглощения, характеризующих алифатические фрагменты органического вещества, может как уменьшаться, так и увеличиваться.

Нормированием ИК-спектров, используя основные полосы поглощения минералов (глинистых $\sim 1100 \text{ см}^{-1}$ и кварца $\sim 800 \text{ см}^{-1}$) и керогена (AL $\sim 2923 \text{ см}^{-1}$ и AR $\sim 1630 \text{ см}^{-1}$ фрагментов), определили содержание $\text{TOS}_{\text{ИК}}$ до и после кислотной обработки пород (таблица 3). В расчетах учитывали количество выделившегося CO_2 для учета содержания карбонатов в исходной породе, используя допущение, что основным минералом является кальцит с формулой CaCO_3 .

Таблица 3 – Значения $\text{TOS}_{\text{ИК}}$ для пород с различным содержанием карбонатных минералов до и после кислотной обработки (HCl , 36% p-p)

№	До кислотной обработки		После кислотной обработки		$F_{\text{эксп}}$
	$\text{TOS}_{\text{ИК}}$, масс. %	S_r , %	$\text{TOS}_{\text{ИК}}$, масс. %	S_r , %	
1	10 ± 3	13.2	10 ± 2	9.3	1.9
7	17 ± 6	14.8	5 ± 1	11.1	24.7
8	17 ± 6	15.0	5 ± 2	19.0	6.7
10	12 ± 3	10.6	4 ± 1	14.0	6.5
19	9 ± 4	15.3	9 ± 2	10.9	2.1
20	7 ± 3	15.5	7 ± 3	17.6	0.7

*значение критерия Фишера $F_{\text{эксп}}$ ($n = 3\text{-}5$; $P = 0.95$; $F_{\text{крит}} = 19.2$)

Значения $TOS_{ИК}$ для образцов пород с высоким содержанием карбонатов (особенно, кремнисто-карбонатных) сильно уменьшились, т.к. благодаря кислотной обработке уменьшилось аддитивное влияние обертонов на интенсивность полос поглощения алифатических фрагментов в области 3000-2800 $см^{-1}$. Для пород с низким содержанием карбонатных минералов значения практически не изменились.

В породах с содержанием карбонатов менее 10 масс. % (согласно методу ИК-спектроскопии), $TOS_{ИК}$ до и после кислотной обработки практически не меняется, что можно объяснить низкой интенсивностью полосы в области ~ 1400 $см^{-1}$ по сравнению с интенсивностью полос поглощения функциональных групп всех минералов и керогена. В образцах пород, для которых содержание карбонатов, найденное методом ИК-спектроскопии, составило от 14 до 40 масс. % (образцы 1 и 19-24), значения $TOS_{ИК}$ и их доверительные интервалы до и после обработки соляной кислотой практически не меняются. По критерию Фишера рассчитанный $F_{эксп}$ (от 0.7 до 2.1) не превышает критического значения 19.2, следовательно выборки до и после кислотной обработки для этих образцов можно считать однородными. Для образцов пород с содержанием карбонатов более 40 масс. % (образцы 7, 8 и 10) значения $TOS_{ИК}$ уменьшается в 2-4 раза, что подтверждает гипотезу о том, что интенсивность обертонов карбонат-анионов CO_3^{2-} в области 3000-2800 $см^{-1}$ складывается с интенсивностью полос колебаний связей С-Н алифатических фрагментов. Некоторые рассчитанные $F_{эксп}$ (от 3.1 до 26.0) превышает критическое значение, следовательно, результаты до и после обработки пород соляной кислотой имеют значимое расхождение по воспроизводимости.

Состав керогена для каждого месторождения уникален. Поэтому не представляется возможным точно идентифицировать строение и структуру керогена. Но для геохимических исследований нефтяных месторождений ценную информацию представляет соотношение алифатических и ароматических фрагментов, что в свою очередь может указывать на тип керогена, находящегося в породе нетрадиционного коллектора, и на степень его преобразования.

Для определения содержания алифатических и ароматических фрагментов в породе методом ИК-спектроскопии, применяя закон светопоглощения Бугера-Ламберта, необходимо использовать коэффициенты поглощения полос колебаний их функциональных групп в области 3000-2800 $см^{-1}$ и 1600-1500 $см^{-1}$ соответственно. Коэффициенты поглощения С-Н и С=C связей определяли методом градуировочного графика в монокомпонентных смесях модельных соединений, имеющих в своей структуре связи С-Н в алифатических группах и С=C в ароматических группах. В качестве таких модельных соединений были выбраны D-глюкоза ($C_6H_{12}O_6$), содержащая связи С-Н в CH_2 - и СН-группах, и нафталин ($C_{10}H_8$) – связи С=C в конденсированной ароматической структуре (рисунок 3 и 4).

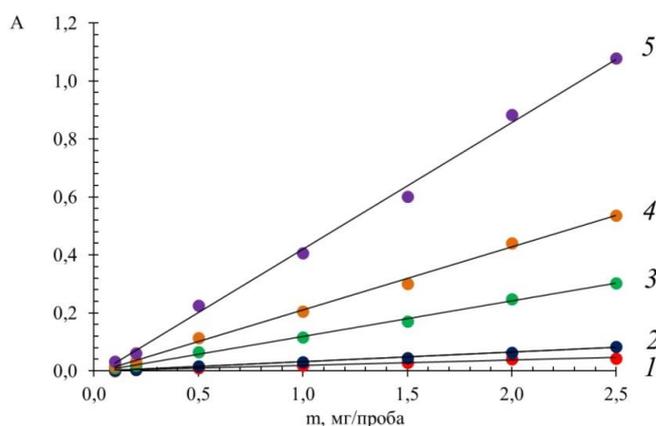


Рисунок 3 – Зависимость оптической плотности (A) от содержания D-глюкозы в таблетке (m, мг/таб) при волновых числах: 1 – 2845; 2 – 2877; 3 – 2891; 4 – 2914 и 5 – 2944 cm^{-1}

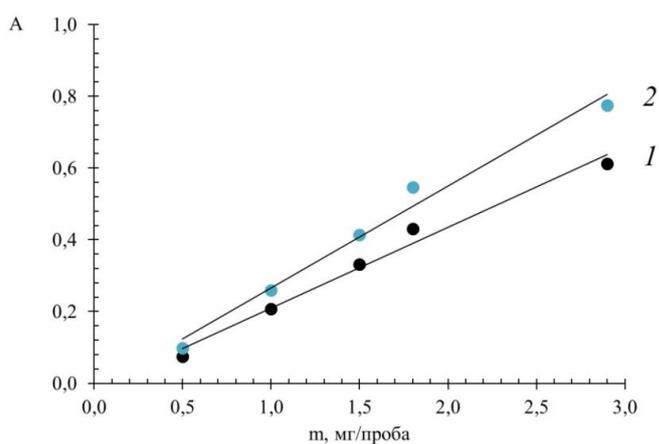


Рисунок 4 – Зависимость оптической плотности (A) от содержания нафталина в таблетке (m, мг/таб) при волновых числах: 1 – 1505; 2 – 1593 cm^{-1}

Таблица 4 – Коэффициенты поглощения алифатических (валентные колебания C–H) и ароматических (валентные колебания C=C) фрагментов (n=15-18, P=0.95)

Волновое число, cm^{-1}	2845	2877	2891	2914	2944	1505	1593
$k \pm \Delta$, $\text{mm}^{-1} \cdot \text{mg}^{-1}$	0.032 ± 0.001	0.050 ± 0.003	0.194 ± 0.010	0.341 ± 0.019	0.677 ± 0.039	0.337 ± 0.035	0.428 ± 0.044
ϵ^* , %	4	6	5	6	6	10	10

* ϵ , % – относительная ошибка среднего результата, найденное как отношение доверительного интервала ($\pm \Delta$) к среднему значению

Для алифатических фрагментов керогена выбрали пять полос поглощения (2845, 2877, 2891, 2914 и 2944 cm^{-1}) в области 3000-2800 cm^{-1} , а для ароматических фрагментов – две полосы (1505 и 1593 cm^{-1}) в области 1500-1600 cm^{-1} .

Зависимости оптической плотности каждой полосы от содержания модельного соединения в таблетке бромида калия (для D-глюкозы – от 0.1 до 2.5 мг/таб; для нафталина – от 0.5 до 2.9 мг/таб) имеют линейный характер и могут быть использованы в качестве градуировочных в соответствии с законом светопоглощения.

По формуле Бугера-Ламберта $A = klm$ рассчитали коэффициенты поглощения выбранных полос поглощения для D-глюкозы и нафталина (таблица 4), которые могут быть использованы для определения алифатических и ароматических фрагментов керогена.

Для проверки правильности определения количества алифатических и ароматических фрагментов приготовили серии двухкомпонентных смесей, в которых меняли концентрации одного модельного соединения относительно другого (от 0.5 до 2 мг в таблетке). Ошибка определения содержания D-глюкозы по волновым числам 2876, 2891, 2914 и 2944 см⁻¹ не превышает 10%. Погрешность определения содержания нафталина для полосы при 1504 см⁻¹ составила до 15%, а для полосы при 1593 см⁻¹ – от 7 до 11%. Для количественного определения алифатических фрагментов керогена были выбраны коэффициенты поглощения при волновых числах 2876, 2891, 2914 и 2944 см⁻¹, а для ароматических при 1593 см⁻¹.

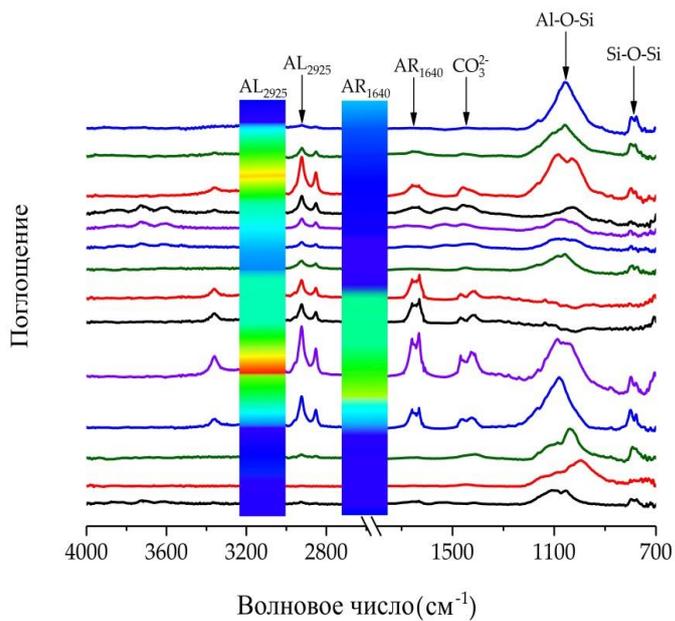
Полученные коэффициенты поглощения полос алифатических и ароматических фрагментов керогена использовали в расчете поправочных коэффициентов для дальнейшего их применения в формуле расчета общего содержания органического углерода (ТОС_{ИК}, масс. %) нормированием ИК-спектров (таблица 5).

Таблица 5 – Дисперсии (s^2) для двух выборок (ТОС_{ИК} и ТОС) и рассчитанное значение критерия Фишера ($F_{\text{эксп}}$)

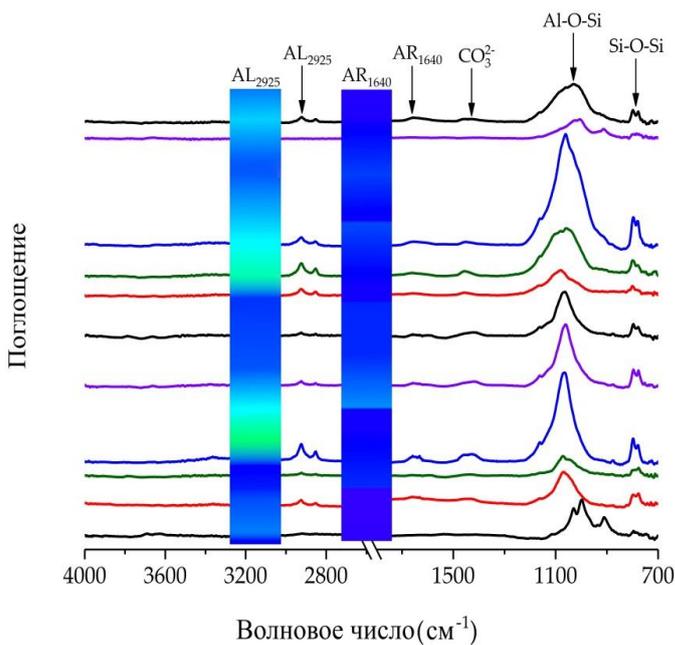
№	ИК-спектроскопия			Пиролиз Рок-Эвал			$F_{\text{эксп}}$
	ТОС _{ИК} , масс. %	s_r , %	s^2	ТОС, масс. %	s_r , %	s^2	
1	10.4±0.8	2.9	0.09	10.2±0.6	2.4	0.06	1.6
2	13.4±0.9	2.8	0.14	13.8±0.8		0.11	1.2
3	6.7±0.5	3.1	0.04	6.4±0.4		0.02	1.8
4	4.0±0.4	4.4	0.03	3.6±0.2		0.01	4.3
5	3.2±0.3	4.1	0.02	3.4±0.2		0.01	2.6
6	6.3±0.5	3.1	0.04	6.5±0.4		0.02	1.5

Выборки результатов определений ТОС_{ИК} и ТОС, полученные методами ИК-спектроскопии и программируемого пиролиза, сравнили по критерию Фишера. В таблице 24 показано, что рассчитанные значения F-критерия не превышают критическое значение ($F_{\text{крит}} = 19.2$) при доверительной вероятности 0.95 для трех параллельных измерений. Следовательно, расхождение результатов, полученных методами ИК-спектроскопии и пиролиза, не значимо.

В четвертой главе приведены результаты исследования поверхности некоторых образцов глинисто-карбонатно-кремнистых пород переменного состава методом ИК-микроскопии. Для исследования локального распределения органического вещества, в т.ч. керогена, на поверхности породы методом ИК-микроскопии (в режиме НПВО) достаточно провести шлифовку скола образца исследуемой породы.



а



б

Рисунок 5 – ИК-спектры и картирование поверхности слоистого образца по алифатическим (2925 см⁻¹) и ароматическим (1640 см⁻¹) фрагментам керогена: а – светлые слои; б – темные слои

интенсивность полос поглощения алифатических фрагментов в области 3000-2800 см⁻¹ намного ниже, чем в светлых, а интенсивность полос ароматических фрагментов (область 1600 см⁻¹) стремится к нулю. Для полос

Слоистый образец представляет собой скол породы размером 0.9×1.3 см с чередующимися темными и светлыми слоями породы, толщиной 1.0-3.5 мм, которые можно увидеть невооруженным глазом. В ИК-спектрах слоистого образца (рисунок 5) наблюдали сильное отличие интенсивностей полос поглощения для основных функциональных групп керогена и минералов в светлых и темных слоях породы.

Так, в светлых слоях идентифицированы следующие полосы поглощения: широкая полоса высокой интенсивности в области 1100-1000 см⁻¹, соответствующая валентным колебаниям Si-O и Al-O-Si кремнистых и глинистых минералов; широкая полоса переменной интенсивности с вершиной в области 1400 см⁻¹ – валентным колебаниям карбонат-анионов CO₃²⁻ карбонатов; дублетная полоса поглощения с максимумами при 796, 777 см⁻¹ характеризует валентные колебания SiO₂ кварца; интенсивные полосы поглощения при 1650 см⁻¹ – валентные колебания C=C ароматических фрагментов керогена; интенсивные полосы поглощения в области 3000-2800 см⁻¹ – валентные колебания C-H алифатических фрагментов керогена. В темных слоях

поглощения функциональных групп глинистых и кремнистых минералов ($1100-1000\text{ см}^{-1}$), а также кварца ($800-700\text{ см}^{-1}$) наоборот наблюдается увеличение интенсивности.

Цветное картирование (рисунок 5) по интенсивности полос алифатических и ароматических фрагментов керогена показало больше красно-зеленых (с высокой интенсивностью полос) областей в светлых слоях по сравнению с темными, где преобладают синие (с низкой интенсивностью полос) зоны.

Таким образом, можно судить о переменном характере распределения керогена в образце: светлые слои представлены породой с высоким содержанием алифатических и ароматических фрагментов керогена, а темные в основном глинистыми и кремнистыми минералами породы.

Полуколичественная оценка содержания керогена и минералов подтверждает данные локального распределения и картирования поверхности образца: в светлых слоях содержание алифатических (AL) фрагментов может достигать 44 масс. %, а ароматических (AR) – 50 масс. %, в то время как в темных слоях значения не превышают 18 и 5 масс. % соответственно. Содержание кварца варьирует до 26 масс. % в светлых слоях и до 22 масс. % в темных. Глинистые и кремнистые минералы распределены неоднородно в светлых слоях – их содержание варьирует до 72 масс. %, и более однородно в темных – от 59 до 86 масс. %. Содержание карбонатных минералов в два раза больше в светлых слоях (до 16 масс. %), чем в темных (до 7 масс. %).

Метод ИК-микроскопии позволяет изучать локальное распределение минералов и керогена на поверхности пород. Метод является неразрушающим, что предоставляет возможность проводить анализ повторно или использовать образец для других исследований. Однако метод крайне зависим от качества получаемых спектров, а они, в свою очередь, от поверхности образца и его состава. Поэтому требуется оптимизация пробоподготовки поверхности образцов. Мы полагаем, что с использованием коэффициентов поглощения полос функциональных групп алифатических и ароматических фрагментов ИК-микроскопия позволит получать более точную информацию о полуколичественном содержании керогена на поверхности пород.

Результаты проведенного исследования показали возможность использования аналитического способа исследования распределения и состава керогена на основе методов ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии, который включает количественную оценку его содержания в глинисто-карбонатно-кремнистых породах.

Благодаря минимизации пробоподготовки возможно сокращение продолжительности анализа за счет исключения стадии экстракции битумоидов и выделения керогена, проводимых с применением токсичных растворителей (хлороформа, гексана, спиртобензольных смесей, плавиковой кислоты и др.). Для пород с высоким содержанием карбонатных минералов

требуется дополнительная обработка соляной кислотой. Использование поправочных коэффициентов для расчета алифатических и ароматических фрагментов керогена способствует его количественному определению с погрешностью соизмеримой с общепринятым количественным методом программируемого пиролиза Рок-Эвал.

Выводы:

1. Предложен способ полуколичественной оценки содержания керогена в породе методом ИК-спектроскопии, используя нормирование ИК-спектров по полосам поглощения функциональных групп: 2925 и 1630 см^{-1} – алифатические и ароматические фрагменты органического вещества соответственно; 796 см^{-1} – кварца; область 1000-1100 см^{-1} – глинистые минералы; 1400 см^{-1} – карбонатные минералы. Оценка общего содержания органического углерода методом ИК-спектроскопии ($\text{ТОС}_{\text{ИК}}$) соответствует пиролитическому параметру ТОС с погрешностью до 50%; Содержание алифатических фрагментов в керогене (AL) соответствует данным метода пиролиза с относительной погрешностью оценки до 33%.

2. Показана возможность минимизации пробоподготовки при оценке содержания и распределения керогена в образцах глинисто-карбонатно-кремнистых пород без стадии выделения керогена с кислотной обработкой.

3. Предложен способ количественного определения керогена методом ИК-спектроскопии с использованием коэффициентов поглощения алифатических и ароматических фрагментов керогена на примере модельных соединений D-глюкозы и нафталина (коэффициенты поглощения соответственно 0.677 ± 0.039 и 0.428 ± 0.044 $\text{мм}^{-1} \cdot \text{мг}^{-1}$ соответственно) с относительной погрешностью 13%. Предложенный способ соответствует реализуемым в настоящее время методам программируемого пиролиза Рок-Эвал, рентгенофлуоресцентного и элементного CHNS-анализа.

4. Предложен способ оценки локального распределения и соотношения алифатических и ароматических фрагментов керогена на поверхности пород методом ИК-микроскопии. Показана неоднородность структуры и неравномерность распределения керогена в исследованных породах.

5. Использование совокупности предложенных способов приводит к количественному определению и локализации керогена на основе методов ИК-спектроскопии и ИК-микроскопии, которая существенно увеличивает химическую информацию о распределении и составе керогена. Критериями применимости данного подхода является минимальная пробоподготовка (пришлифовка, измельчение, дополнительная обработка соляной кислотой от карбонатных минералов) и регистрации в ИК-области неперекрывающихся полос поглощения алифатических и ароматических фрагментов керогена.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Петрова, Ю.Ю. Возможности метода ИК-спектроскопии в оценке нефтегенерационного потенциала нефтяных сланцев / Ю.Ю. Петрова, **Н.Г. Таныкова**, М.Ю. Спасенных, Е.В. Козлова // Вестник Московского

- университета. Серия 2: Химия. – 2020. – Т. 61. – № 1. – С. 34-42.
2. **Tanykova, N.** Study of Organic Matter of Unconventional Reservoirs by IR Spectroscopy and IR Microscopy / N. Tanykova, Yu. Petrova, J. Kostina et al. // *Geosciences*. – 2021. – V. 11 – № 7. – Art. № 277.
 3. Петрова, Ю.Ю. Комплексная оценка содержания органического вещества в породах методами ИК-спектроскопии, термического анализа и пиролиза / Ю.Ю. Петрова, **Н.Г. Таныкова**, М.Ю. Спасенных и др. // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2022. – № 3 (52). – С. 109-116.
 4. **Таныкова, Н.Г.** Оценка минералогического состава и содержания органического вещества пород нефтяных сланцев методом ИК-микроскопии / **Н.Г. Таныкова**, Ю.Ю. Петрова, М.Ю. Спасенных и др. // *Геохимия*. – 2023. – Т. 68. – № 3. – С. 315-324.
 5. **Tanykova N. G.** Applications of FTIR spectroscopy in comprehensive analysis of sedimentary rocks / N. G. Tanykova, Yu.Yu. Petrova, M.Yu. Spasennykh et al. // *Journal of Analytical Chemistry*. – 2023. – V. 78. – № 12. – P. 1620-1629.

Материалы конференций

1. **Таныкова, Н.Г.** Исследование органического вещества нефтяных сланцев методом ИК-спектроскопии // Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова // В сборнике: Новые идеи в геологии нефти и газа. Сборник научных трудов. Ответственный редактор А.В. Ступакова. – 2019. – С. 473-476.
2. **Tanykova, N.G.** Structural-group analysis of oil source rock organic matter / Tanykova N.G., Petrova Yu.Yu. // *Mendeleev 2019. Book of abstracts XI International Conference on Chemistry for Young Scientists*. – 2019. – С. 488.
3. **Таныкова, Н.Г.** Структурно-групповой анализ органического вещества нефтематеринских пород / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова // В книге: XXI Менделеевский съезд по общей и прикладной химии. Тезисы докладов. В 6-ти томах. Санкт-Петербург, 2019. – С. 116.
4. Petrova, Yu.Yu. Structural-group analysis of oil shale organic matter by infrared spectroscopy / Yu.Yu. Petrova, **N.G. Tanykova** // *XX Euroanalysis. Abstracts & Proceedings*. – Istanbul, 2019. – P. 367-369.
5. **Таныкова, Н.Г.** Комплексное исследование органического вещества нефтяных сланцев методами ИК-спектроскопии и пиролиза / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова, Е.В. Козлова // Нефтепромысловая химия. Материалы VI Международной научно-практической конференции (XIV Всероссийской научно-практической конференции). Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – С. 108-109.
6. Ефремова, П.А. Структурно-групповой анализ минералов пород нетрадиционных коллекторов методом ИК-Фурье-спектроскопии и ИК-Фурье-микроскопии / П.А. Ефремова, **Н.Г. Таныкова** // В книге: Наука 60-й параллели. Тезисы докладов XXIV Молодежной конференции им. Г. И. Назина. Департамент образования и молодежной политики Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, БУ ВО «Сургутский

- государственный университет». Сургут, 2020. – С. 18-19.
7. **Таныкова, Н.Г.** Структурно-групповой и распределительный анализ пород нетрадиционных коллекторов методом ИК-Фурье-микроскопии / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова // Нефтепромысловая химия Материалы VII Международной научно-практической конференции (XV Всероссийской научно-практической конференции). Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – С. 135-137.
 8. Петрова, Ю.Ю. Оценка состава и распределения минералов и органического вещества в породах методом ИК-Фурье-микроскопии / Ю.Ю. Петрова, **Н.Г. Таныкова**, М.Ю. Спасенных, Е.В. Козлова // В книге: Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем (SPRS-2020). Тезисы докладов III Международной научно-практической конференции. Москва, 2020. – С. 47.
 9. **Таныкова, Н.Г.** Оценка содержания органического вещества пород баженовской свиты Западной Сибири методом термического анализа / Н.Г. Таныкова // В книге: Актуальные проблемы недропользования. Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов. Санкт-Петербург, 2021. – С. 161-163.
 10. **Таныкова Н.Г.** Комплексное исследование карбонатов в породах методами ИК-спектроскопии, термического анализа и пиролиза Рок-Эвал / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова, Д.А. Лазарев и др. // Нефтепромысловая химия Материалы VIII Международной научно-практической конференции (XVI Всероссийской научно-практической конференции). Москва: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2021. – С. 108-109.
 11. Петрова, Ю.Ю. Комплексная оценка содержания органического вещества в породах методами ИК-спектроскопии, термического анализа и пиролиза / Ю.Ю. Петрова, **Н.Г. Таныкова**, М.Ю. Спасенных и др. // В книге: Экспериментальные методы исследования пластовых систем: проблемы и решения. Тезисы докладов I Международного научно-практического семинара. Москва, 2021. – С. 54.
 12. **Таныкова, Н.Г.** Исследование керогена баженовской свиты методом ИК-спектроскопии / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова, М.Ю. Спасенных, Е.В. Козлова // В книге: Наука о сланцах: новые вызовы. Материалы совместного семинара EAGE/SPE 2021. Москва, 2021. – С. 9.
 13. Петрова, Ю.Ю. Оценка минералогического состава пород нефтяных сланцев методом ИК-микроскопии / Ю.Ю. Петрова, **Н.Г. Таныкова** // В сборнике: Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири. Материалы XXV научно-практической конференции. Под редакцией Э.А. Вторушиной, Е.Е. Оксенойд, С.А. Алёшина, Н.Н. Захарченко, Е.В. Олейник, Т.Н. Печёрина. Ханты-Мансийск, 2022. – С. 329-333.
 14. Чудова, Е.С. Структурно-групповой анализ и оценка содержания органического вещества в породах баженовской свиты методом ИК-спектроскопии / Е.С. Чудова, С.М. Болотская, **Н.Г. Таныкова**, Ю.Ю. Петрова // Сборник материалов 25-ой конференции по вопросам

- геологоразведки и разработки месторождений нефти и газа «Геомодель 2023», Россия, Геленджик, 4-7 сентября 2023 г. – Статья № 5752.
15. Болотская, С.М. Оценка содержания и зрелости органического вещества пород баженновской свиты методом ИК-спектроскопии / С.М. Болотская, **Н.Г. Таныкова**, Ю.Ю. Петрова // В сборнике: Химия и химическая технология в XXI веке. Материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 85-летию со дня рождения профессора А. В. Кравцова. Томск, 2023. – С. 373-374.
16. Чудова, Е.С. Разработка количественной методики определения органического вещества в породах методом ИК-спектроскопии / Е.С. Чудова, **Н.Г. Таныкова**, О.С. Сутормин, Ю.Ю. Петрова // В сборнике: Химия и химическая технология в XXI веке. Материалы XXIV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых имени выдающихся химиков Л. П. Кулёва и Н. М. Кижнера, посвященной 85-летию со дня рождения профессора А. В. Кравцова. Томск, 2023. – С. 465-466.
17. **Таныкова, Н.Г.** Изучение структуры и состава органического вещества пород нетрадиционных коллекторов методами ИК-фурье-спектроскопии / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова, М.Ю. Спасенных // Современные проблемы геохимии. – 2023: Материалы конференции молодых ученых (Иркутск, 11–16 сентября 2023 г.) – Иркутск: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 2023. – С. 132-135.
18. **Таныкова, Н.Г.** Методы ИК-спектроскопии в исследовании органического вещества нефтяных сланцев / Н.Г. Таныкова, Ю.Ю. Петрова, М.Ю. Спасенных // Материалы IV Всероссийской конференции по аналитической спектроскопии с международным участием, Россия, Краснодар, 24-30 сентября 2023 г. – С. 86.

Автор выражает искреннюю признательность руководителю Центра добычи углеводородов Сколковского института науки и технологий, канд. хим. наук Спасенных Михаилу Юрьевичу и сотрудникам Центра канд. геол.-минерал. наук Козловой Елене Владимировне и канд. хим. наук Леушиной Евгении Андреевне за активное содействие и плодотворное обсуждение полученных результатов, а также ученому секретарю Института нефтехимического синтеза имени А.В. Топчиева РАН, д-ру хим. наук Костиной Юлии Вадимовне за ценные советы при планировании экспериментальных работ и обработке результатов.