УТВЕРЖДАЮ:
Врио директора ФГБУН
Институт геофизики
им. Ю.П.Булашевича
Уральского отделения РАН
к.г.-м.н. И.А.Козлова

_____

«30» декабря 2019г.

О Т З Ы В

ведущей организации о диссертации Попова Евгения Юрьевича «Развитие экспериментальной базы тепловой петрофизики для изучения пород месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 25.00.10 Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертационная работа Е.Ю.Попова посвящена развитию метода оптического сканирования теплофизических свойств образцов горных пород (теплопроводности, температуропроводности, объемной теплоемкости) и его адаптации для исследований керна, представляющего неоднородные и анизотропные породы небольшой мощности. В первую очередь речь идет о нетрадиционных коллекторах углеводородов – породах баженовской свиты и доманиковой формации. Сам автор обозначил **цель исследования** несколько шире: «*Повышение надежности результатов решения таких важных задач, как термогидродинамическое моделирование тепловых методов добычи углеводородов, бассейновое моделирование, петрофизическое обеспечение работ по поиску, разведке и разработке месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными ресурсами углеводородов путем повышения качества экспериментальных данных о свойствах пород*».

Актуальность, научная и практическая значимость исследования.

В России запасы нефти, сосредоточенные в нетрадиционных слабопроницаемых коллекторах, огромны. Только в породах баженовской свиты они могут достигать 1,2 трлн. баррелей при извлекаемых запасах 74 млрд. (по данным US EIA). По мере истощения традиционных месторождений привлекательность «сланцевой» нефти будет возрастать. Однако освоение этих месторождений требует новых методов разведки и технологий добычи, доступ к которым из-за санкций

США и ЕС сейчас ограничен. В этих условиях своевременной и актуальной является разработка отечественных технологий разведки и добычи, к которым относится и экспериментальная база тепловой петрофизики, защищаемая Е.Ю.Поповым.

Значительная часть углеводородов баженовской свиты представляет собой кероген, для извлечения которого применяются термические методы. В свою очередь, эффективное применение термических технологий требует хорошего знания тепловых свойств пород-коллекторов. Технические решения, представленные в диссертации, делают метод оптического сканирования, адаптированный для решения задачи оперативного комплексного теплофизического анализа кернов пород баженовской свиты и доманиковой формации, практически безальтернативным. Практическая значимость подтверждается большим объемом исследований керна (30 месторождений, 13875 образцов из 44 скважин), выполненных по договорам с ведущими нефтедобывающими компаниями РФ.

Данные о теплофизических свойствах пород, полученные с помощью разработанного метода, имеют важное научное значение для бассейнового моделирования, для оценки плотности геотермического теплового потока, при палеоклиматической интерпретации данных скважинной геотермии.

Новизна полученных в диссертации результатов

Новые научные результаты получены в ходе исследований по адаптации метода оптического сканирования для исследований керна пород баженовской свиты и доманиковой формации и повышению информативности теплофизических данных. Они включают:

- теоретическое обоснование методики оптического сканирования на необработанном керне с сохранением исходных свойств кернового материала;
- аппаратурные разработки (автономный лазерный модуль комплексного непрерывного теплофизического, гамма-спектрометрического и скретч-профилирования керна, мобильная лазерная установка оптического сканирования);
- метод изучения трещиноватости пород по данным теплофизических исследований;
- метод оценки содержания органического вещества в породах баженовской свиты и доманиковой формации по данным теплофизических исследований;
- методы экспериментальной оценки тепловых свойств минеральной матрицы пород на основе комплексного анализа данных теплофизического профилирования и ГИС;
- базы данных о теплофизических свойствах пород баженовской свиты и доманиковой формации.

Новизна полученных результатов подтверждается публикациями в ведущих российских и зарубежных научных журналах, патентами на изобретения.

Краткое содержание диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 256 страниц текста, 102 рисунка, 18 таблиц и библиографию из 184 наименований.

Во **Введении** сформулированы актуальность, цель и задачи исследований, защищаемые научные положения.

В **первой главе** на основе тщательного анализа литературных данных обоснованы выбор метода оптического сканирования для изучения образцов керна нетрадиционных месторождений нефти и необходимость совершенствования аппаратурно-методической базы метода.

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию методики оптического сканирования на необработанном керне с сохранением исходных свойств кернового материала. Обоснована методика профилирования керна без его предварительного покрытия, оценены возникающие при этом погрешности измерений. Важным теоретическим выводом является доказательство отсутствия такого влияния на измерения температуропроводности. Для снижения теплового воздействия на образцы во избежание недопустимых изменений органического вещества, фазовых переходов и активных конвективных процессов предложено заменить традиционное круговое нормально-распределенное пятно нагрева на эллиптическое. Доказано, что такой переход позволяет существенно снизить температуру нагрева без ухудшения метрологических характеристик.

Третья глава описывает создание двух новых установок оптического сканирования на основе полупроводникового лазера PUMA-970-10. Их применение позволяет проводить комплексные теплофизические и скретч-тестирования керна, значительно расширяет выбор параметров режима измерений, дает возможность проводить исследования в кернохранилищах, в условиях повышенной запыленности. Оценены метрологические характеристики новых установок. Здесь же приведены данные теплофизических исследований на большой выборке стандартных образцов, описана установленная зависимость между теплопроводностью и содержанием органического вещества.

Четвертая глава посвящена исследованиям керна Усинского месторождения тяжелой нефти с помощью разработанного метода. Всего было исследовано около 3000 образцов керна, установлены тесные корреляционные связи между вариациями теплофизических параметров, с одой стороны, и пористостью, скоростями продольных упругих волн, плотностью, содержанием органического вещества – с другой. На основании этих исследований предложены новые подходы к совместной интерпретации результатов теплофизического профилирования и ГИС.

В **пятой главе** приведены результаты теплофизических исследований (ок. 11 тыс. образцов) пород баженовской свиты и доманиковой формации из 29 месторождений. Приведены данные о пространственных вариациях теплопроводности, объемной

теплоемкости, коэффициента тепловой анизотропии и неоднородности пород. Анализ результатов теплофизического профилирования и данных ГИС (акустического, гамма-гамма плотностного и гамма-каротажа) позволил установить тесные корреляции между ними и содержанием органического вещества.

В **заключении** перечислены основные результаты проделанной работы.

Замечания

1. Метод оптического сканирования, несомненно, обладает всеми теми преимуществами (перед традиционными контактными методами теплофизики), которые автор отмечает в **первой главе**. Действительно, по своей производительности и детальности сканирования, возможности осуществлять массовые измерения комплекса тепловых свойств у него нет конкурентов. Но лишь при нормальных условиях. Метод не позволяет проводить теплофизические измерения при повышенных температурах и давлениях – в пластовых условиях. Для решения этой важной задачи традиционные контактные методы пока заменить нечем. Оценка теплофизических свойств при нормальных и пластовых условиях – это не две независимых задачи, как представляет себе автор. Необходимо было хотя бы обозначить пути ее решения, определив, к примеру, оптимальный комплекс методов.

2. Во **второй главе** предложено методическое решение, призванное обеспечить оптическое сканирование керна без предварительной его обработки (покрытия эмалью). Оно предусматривает «*разбиение изучаемой коллекции образцов пород на группы, для каждой из которых поверхность образцов характеризуется стабильными оптическими характеристиками*». При этом разбиение и оценка оптической однородности проводятся оператором «на глаз». Какие погрешности можно ожидать в этом случае? И как быть, если в пределах одного куска керна оптические свойства меняются?

3. Не рассмотрен вопрос о погрешностях, связанных с шероховатостью поверхности. При покрытии поверхности эмалью эта проблема, возможно, не столь актуальна, но в отсутствии покрытия на отдельных участках поверхности могут возникать аномальные отражения.

4. **Третья глава** чересчур объемна (более 50 страниц диссертации). На наш взгляд, следовало разделить вопросы разработки аппаратуры, методики измерений и результаты измерений больших коллекций образцов по различным главам.

5. **Терминология**. Словосочетание «спектральный гамма-каротаж на керне» не кажется нам удачным. Кроме того, оно противоречит этимологии слова «каротаж», предполагающего опускание прибора (морковки) в скважину. Более удачные - теплофизическое и петрофизическое (гамма-спектрометрическое) профилирование керна.

Заключение

Диссертация **Попова Евгения Юрьевича** выполнена на

актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение задачи развития метода оптического сканирования для исследований керна неоднородных анизотропных пород небольшой мощности. Решение этой задачи имеет важное значение для разведки и добычи нетрадиционных, «сланцевых», углеводородов, обеспечения надежными теплофизическими данными процедуры геотермического моделирования осадочных бассейнов, палеоклиматического анализа данных скважинной термометрии. Все защищаемые положения диссертации доказаны. Высказанные замечания нисколько не умаляют ценности и качества проделанной работы, результатов которой хватило бы на несколько диссертаций.

Диссертация соответствует специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых. Автореферат в достаточной степени раскрывает содержание диссертации.

Диссертация соответствует критериям, установленным ***п. 9*** Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук, а её автор Е.Ю.Попов заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по научной специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв составил:
Главный научный сотрудник
лаборатории геодинамики ИГФ УрО РАН,
доктор геолого-минералогических наук Дмитрий Юрьевич Демежко

Отзыв рассмотрен и обсужден на заседании лаборатории геодинамики, основными научными направлениями которой являются геотермические и петрофизические исследования **26 декабря 2019 г.,** протокол № 6, и одобрен в качестве официального отзыва ведущей организации

Заведующий лабораторией геодинамики
ИГФ УрО РАН,
кандидат геолого-минералогических наук Анатолий Константинович Юрков

Подписи Д.Ю.Демежко и А.К.Юркова удостоверяю……

Подпись Юркова А.К., Демежко Д.Ю.
ЗАВЕРЯЮ Конарева
«30» декабря 2019 г.