

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Попова Евгения Юрьевича «Развитие экспериментальной базы тепловой петрофизики для изучения пород месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность темы диссертационной работы. Объект и предмет исследований.

Диссертационная работа Попова Е.Ю. посвящена повышению эффективности экспериментальных методов тепловой петрофизики при поисках, разведке и разработке месторождений углеводородов, что особенно важно в настоящее время для месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов. Работы в этом направлении требуют совершенствования методов и средств измерений комплекса тепловых свойств пород при исследованиях полноразмерного керна и стандартных образцов пород. Развитие экспериментальной базы тепловой петрофизики и внедрение теплофизического каротажа на керне позволит тепловым свойствам, относящимся к базовым физическим свойствам пород, играть важную роль не только в качестве исходных данных при бассейновом и термогидродинамическом моделировании, но и позволит играть самостоятельную роль при разведке месторождений в совокупности с методами исследований скважин. В этой связи тема диссертационной работы Попова Е.Ю., направленная на развитие и совершенствование экспериментальной базы для получения детальных данных о тепловых свойствах горных пород по разрезам месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов, имеет существенное значение для развития нефтегазовой промышленности и науки и безусловно является актуальной. Безусловным подтверждением актуальности работы Попова Е.Ю. является и тот факт, что разработанные ее автором и описанные в диссертации новые методы и средства тепловой петрофизики получили быстрое и достаточно широкое внедрение в работах крупных нефтяных компаний страны.

Цель и задачи исследований.

Основной целью работы являлось 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.

Диссертация Попова Е.Ю. состоит из Введения, 5 глав и Заключения. Содержание работы изложено на 256 страницах текста с 102 рисунками и 18 таблицами. Список литературы включает 184 наименований и хорошо отражает как предысторию развития тепловой петрофизики, так и новейшие ее достижения как в нашей стране, так и за рубежом.

В первой главе работы автор характеризует основные тенденции в развитии современной тепловой петрофизике применительно к задачам поиска, разведки и разработки месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов. Показано, что повышение эффективности бассейнового моделирования, проектирования и оптимизации тепловых методов добычи тяжелых нефтей, исследований месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов требует увеличения объема и повышения качества измерений комплекса тепловых свойств пород с учетом их анизотропии и разномасштабной неоднородности, что делает необходимым развитие экспериментальной базы тепловой петрофизики и развитие подходов к теплофизическим исследованиям пород. Достаточно убедительно обосновывается, что совершенствование метода оптического сканирования является актуальным направлением работ и должно включать в себя оптимизацию параметров режима измерений и подготовки образцов пород к измерениям, разработку новых приборов оптического сканирования для расширения спектра решаемых актуальных задач с обеспечением высокоточных массовых измерений на полноразмерном керне и стандартных образцах, с характеристикой неоднородности и анизотропии пород.

Обосновывается необходимость создания нового для практики тепловой петрофизики метода экспрессного непрерывного теплофизического профилирования полноразмерного керна с высоким пространственным разрешением. В главе раскрываются перспективы комплексирования непрерывного теплофизического профилирования керна со скретч-тестированием и гамма-спектрометрическим каротажем на керне. Показаны возможности повышения эффективности комплекса петрофизических работ путем интегрирования теплофизического каротажа на керне с результатами геофизических исследований скважин. Автор характеризует новые возможности тепловой петрофизики для обеспечения регистрации распределения общего содержания органического вещества пород баженовской свиты и доманиковой формации вдоль скважин по результатам высокоразрешающего профилирования теплопроводности. В главе обосновывается необходимость создания новых подходов для определения тепловых свойств минеральной матрицы пород, важных для бассейнового и термогидродинамического моделирования, создания основ анализа ориентации неизометричного пустотного пространства пород и систематического контроля изменений свойств образцов в процессе лабораторных петрофизических исследований. Автором ставится задача быстрого внедрения новых разработок для повышения объема и

качества информации о тепловых свойствах месторождений высоковязкой нефти, получения представительной информации о тепловых свойствах пород баженовской свиты и доманиковой формации, комплексирования результатов высокоразрешающего теплофизического профилирования керна с данными ГИС для повышения эффективности решения актуальных задач нефтегазовой науки и техники.

Вторая глава диссертации содержит описание предложенных автором решений по исключению влияния вариаций оптических характеристик образцов пород на результаты измерений тепловых свойств с целью избежать изменений свойств образцов пористых и трещиноватых пород, происходивших при прежней практике подготовки образцов к измерениям. Предложенные решения создают предпосылки для разработки метода непрерывного бесконтактного теплофизического профилирования керна. Интересной является установленная автором возможность измерений температуропроводности пород методом оптического сканирования без выравнивания оптических характеристик поверхности образцов. Важным для практики тепловой петрофизики является предложенный и обоснованный Е.Ю. Поповым переход к нагреву образцов источниками тепла с пятном нагрева, вытянутым в направлении сканирования и позволяющим снизить уровень нагрева образцов, что важно при исследованиях пород баженовской свиты и доманиковой формации и флюидонасыщенных пород. Для той же цели автором обосновывается переход к измерениям с повышением скорости сканирования, что обеспечивает снижение максимальной температуры нагрева образцов, создает условия для повышения производительности измерений методом оптического сканирования и обеспечивает повышение пространственной разрешающей способности профилирования до 0,2-1 мм при регистрации неоднородности пород. Последнее обстоятельство особенно важно при изучении высоконеоднородных пород баженовской свиты и доманиковой формации.

К достоинствам работы следует отнести то, что в ней серьезное внимание уделено решению проблемы обеспечения необходимого метрологического уровня измерений тепловых свойств. Важным итогом работ, результаты которых описаны во второй главе, является создание реальных условий для разработки технологии непрерывного теплофизического профилирования керна скважин, открывающей качественно новые возможности в нефтегазовой петрофизике.

Третья глава диссертации посвящена описанию двух новых разработанных лазерных приборов оптического сканирования и различным их приложениям для исследований тепловых свойств горных пород. Предложенный автором и запатентованный при его участии подход для профилирования тепловых свойств со сканированием образцов пород в двух противоположных направлениях с изменением параметров режима измерений для повторного профилирования лег в основу разработки автономного лазерного модуля

оптического сканирования, который может применяться в комплексе как с поточным скретч-тестированием керна при непрерывной регистрации неоднородности пород вдоль скважин, так и с поточным гамма-спектрометрическим профилированием полноразмерного керна. Очевидно, что такое комплексирование будет реализовано в самом ближайшем будущем в паре с гамма-спектрометрами, работающими с непрерывным движением образцов керна, из-за безусловной научной и практической значимости такого сочетания. Вторая описанная в главе разработка - мобильный лазерный прибор - обеспечивает массовые измерения комплекса тепловых свойств горных пород на стандартных образцах пород (цилиндры 30х30 мм) и мелких фрагментах керна с гибким регулированием параметров режима измерений в их широких диапазонах, что позволяет исследовать тепловые свойства образцов пород с вариациями глубины теплофизического зондирования и пространственной разрешающей способности, а также при малых размерах образцов (от 10 мм). В главе описаны результаты применения мобильного лазерного прибора для измерений тепловых свойств на стандартных образцах пород с целью определения теплопроводности и объемной теплоемкости минеральной матрицы пород, необходимых для бассейнового и гидродинамического моделирования.

Большой интерес представляет впервые осуществленное обоснование использования тесной связи между теплопроводностью пород и общим содержанием органического вещества для определения общего содержания органического вещества по результатам непрерывного профилирования тепловых свойств на керне. Оригинальной и эффективной является описанная в главе методика анализа микротрещиноватости пород, основанная на регистрации вариаций компонент теплопроводности вдоль и поперек напластования пород при изменении состояния изучаемых образцов от сухого до флюидонасыщенного. Научный и практический интерес представляет применение мобильного лазерного прибора для последовательных измерений тепловых свойств образцов пород при лабораторных исследованиях для контроля изменений свойств минеральной матрицы и пустотного пространства образцов пород на всех этапах лабораторного петрофизического цикла.

В четвертой главе диссертации автор описывает разработанный им новый метод изучения коллекторов, основанный на непрерывном профилировании теплопроводности, температуропроводности и объемной теплоемкости всего керна изучаемых скважин. Приведены примеры применения метода с последующей обработкой экспериментальных теплофизических данных совместно с результатами ГИС. Показано, что такой подход предоставляет новые возможности для повышения качества петрофизических данных о месторождениях с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными ресурсами. Так, выполненное впервые в практике геолого-геофизических работ теплофизическое профилирование полноразмерного керна двух оценочных скважин, пробуренных в пермо-карбоновой залежи

Усинского месторождения тяжелой нефти, позволило зарегистрировать существенные разномасштабные вариации комплекса тепловых свойств пород по разрезу в масштабе от 1 мм до десятков метров. Впервые осуществленное сочетание результатов непрерывного теплофизического профилирования керна с данными ГИС позволило разработать подход для регистрации вариаций теплопроводности минеральной матрицы пород, необходимой для гидродинамического моделирования, вдоль скважин. В главе описаны основы впервые созданной и представляющей значительный научный и практический интерес методики непрерывной регистрации распределения общего содержания органического вещества вдоль скважин, пробуренных в месторождениях с нетрадиционными запасами углеводородов, по данным о вариациях теплопроводности. Показано, что существенно более высокая разрешающая способность при регистрации вариаций теплопроводности, чем при регистрации вариаций пористости по ГИС, позволяет уточнить структуру порового пространства путем сравнения вертикальных вариаций теплопроводности и вертикальных вариаций пористости по данным ГИС.

Для практики нефтегазовой петрофизики важны результаты автора, обеспечивающие использование непрерывного профилирования тепловых свойств пород на керне для обоснованного отбора образцов полноразмерного керна для лабораторных исследований и определения участков для изготовления стандартных образцов пород для лабораторных исследований.

В пятой главе диссертации описаны результаты изучения отложений баженовской свиты и доманиковой формации путем непрерывного теплофизического профилирования на около 11000 образцах керна 42 скважин 29 нефтяных месторождений в отложениях сланцевых толщ. Уникальный объем измерений обеспечил условия для формирования представительной базы данных для бассейнового и гидродинамического моделирования резервуаров месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными ресурсами углеводородов. Результаты исследований позволили установить, что породы баженовской свиты и доманиковой формации характеризуются значительной степенью тепловой анизотропии и существенной тепловой неоднородностью. Совместная обработка результатов теплофизического профилирования керна с данными ГИС показала тесные связи теплопроводности со скоростями упругих волн, плотностью, естественной радиоактивностью пород баженовской свиты и доманиковой формации, связь между степенью тепловой и акустической анизотропией пород баженовской свиты. Установленные взаимосвязи тепловых и других свойств пород нефтесодержащих сланцевых толщ представляют несомненный интерес для научных и промышленных целей.

В целом, диссертационная работа Попова Е.Ю. представляет собой самостоятельную, завершённую научно-исследовательскую работу.

Сформулированные автором научные положения хорошо обоснованы содержанием диссертации.

Основные результаты работы Попова Е.Ю., представленные в его диссертации, достаточно полно отражены как в автореферате, так и в 10 научных статьях в журналах из списка ВАК, 4 статьях в зарубежных журналах, индексируемых в базах Web of Science и SCOPUS, 7 расширенных, индексируемых в базе SCOPUS тезисах докладов в сборниках трудов конференций EAGE, ARMA и ISRM, 2 патентах РФ, подготовленных как лично Поповым Е.Ю., так и с его участием.

Выводы и рекомендации, представленные в диссертации, хорошо основываются на содержании глав работы.

Сформулированная автором новизна работы обосновывается новизной полученных Поповым Е.Ю. научных результатов, описанных в его диссертации.

Практическая значимость работы является высокой, что подтверждается широким использованием новых, научно обоснованных технических решений и разработок Попова Е.Ю., описанных в диссертации, в ряде крупных нефтяных компаний РФ, а также в деятельности Центра по добыче углеводородов Сколковского института науки и технологий. Прямым подтверждением практической ценности диссертационной работы является и масштаб применения ее результатов, полученных при исследованиях 30-ти месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными запасами углеводородов, 44 скважин, 13875 образцов керна, и получение 2-х патентов на способы и устройство для измерений тепловых свойств.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов, представленных в диссертационной работе, определяется подробным и четким их описанием и обоснованием и не вызывает сомнений. Результаты подтверждаются: 1) проверкой разработанных технических решений и новой аппаратуры на полученных эталонных образцах тепловых свойств и в процессе экспериментальных исследований, 2) сравнением результатов оценки содержания органического вещества, полученных при помощи предложенных подходов его определения на основе результатов теплофизического профилирования, с результатами, полученными для тех же объектов с помощью общепринятой методики пиролиза RockEval, 3) совместным анализом тепловых и других физических свойств пород изучавшихся месторождений.

Положения и выводы, сформулированные в диссертации, получили квалифицированную апробацию на международных, российских научных конференциях и

семинарах. Достоверность подтверждается публикациями результатов исследований в рецензируемых научных изданиях, в том числе из перечня ВАК, а также двумя патентами.

По работе имеются следующие замечания.

- 1) К недостаткам первой главы следует отнести то, что автор не раскрывает возможности повышения эффективности традиционной аппаратурно-методической базы тепловой петрофизики, что важно в свете того, что традиционными методиками и средствами измерений обеспечены многие лаборатории в РФ и переход к новой аппаратурно-методической базе не может быть осуществлен быстро и повсеместно.
- 2) В той части первой главы, где отмечается вклад в развитие нефтяной тепловой петрофизики отечественных и зарубежных исследователей, отсутствуют ссылки на работы ученых Бриджмена П., Horai J., Alm O., Backstrom G., Hughes D.S., Savin F., которые внесли вклад в исследования тепловых свойств диэлектриков и горных пород в условиях высоких давлений и температур.
- 3) К недостаткам второй главы относится отсутствие описания четких критериев оптимизации параметров режима измерений методом оптического сканирования с совместной минимизацией случайной и систематической погрешностей измерений для конкретных исследовательских задач, решаемых методами тепловой петрофизики.
- 4) Описанная в третьей главе методика формирования двумерных распределений теплопроводности на основе оптического сканирования пока не применена для более наглядной демонстрации связи вариаций теплопроводности с вариациями органического вещества. Можно порекомендовать автору сделать это в ближайшем будущем.
- 5) К недостаткам четвертой главы официальный оппонент относит чрезмерную подробность изложения в некоторых частях главы, что несколько неоправданно увеличило объем данной главы.
- 6) К недостаткам пятой главы диссертации следует отнести отсутствие рекомендаций по сочетанию исследований тепловых свойств пород, осуществляемых с применением разработок автора при атмосферных условиях, с исследованиями свойств при пластовых температурах и давлении, что необходимо для формирования баз данных с целью их использования при бассейновом и гидродинамическом моделировании.

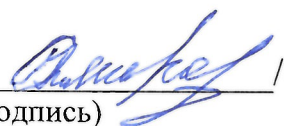
Отмеченные в отзыве официального оппонента недостатки не снижают в целом ценности и научного уровня работы Попова Е.Ю.

Выводы: Диссертация Попова Евгения Юрьевича выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и содержит решение такой важной задачи, как обеспечение надежности результатов моделирования тепловых методов добычи углеводородов, бассейнового моделирования, петрофизического обеспечения работ по поиску, разведке и разработке месторождений с трудноизвлекаемыми и нетрадиционными ресурсами углеводородов путем повышения качества экспериментальных данных о свойствах пород, что имеет существенное значение для повышения эффективности использования углеводородных ресурсов страны.

Рассматриваемая диссертация, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых (технические науки), соответствует критериям, установленным п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Попов Евгений Юрьевич достоин присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент:

Главный научный сотрудник лаборатории теплофизики геотермальных систем Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН, доктор технических наук, профессор

/  /
(подпись)

Эмиров Субханверди Нурмагомедович

Адрес: 367030, пр. И. Шамиля, 39а, Институт проблем геотермии Дагестанского научного центра РАН.

Телефон: 8 928 837 36 75

Электронная почта: wemirov@mail.ru

Подпись Эмирова С.Н. заверяю:



дата, должность, ФИО, подпись уполномоченного сотрудника



Я, Эмиров Субханверди Нурмагомедович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного Совета, и их дальнейшую обработку.