

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Савицкого Яна Владимировича

«Изучение особенностей структуры пустотного пространства коллекторов методом рентгеновской томографии керна», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Актуальность тематики диссертационной работы.

Петрофизические исследования керна играют решающую роль в понимании свойств пород-коллекторов нефти и газа, и в этом контексте, использование новых методов становится крайне актуальным. В частности, метод рентгеновской томографии предоставляет уникальную возможность исследовать внутреннюю структуру пород на микроуровне. Этот метод не только позволяет визуализировать поровое пространство, но и предоставляет количественные данные о пористости, трещинах и кавернах, что важно для оценки емкости коллекторов.

Применение метода компьютерной томографии позволяет более детально изучать свойства пород-коллекторов разных типов, что, в свою очередь, способствует повышению эффективности при выборе оптимальных стратегий добычи нефти и газа.

В условиях постоянного изменения технологического прогресса и поиска эффективных методов, новые петрофизические подходы, такие как рентгеновская томография, приобретают особую актуальность. Эти методы не только повышают точность исследований, но и позволяют расширить представление о геологических особенностях месторождений нефти и газа.

Применение таких технологичных методов для исследований керна, в том числе, актуально и для месторождений Пермского края, поскольку доля коллекторов со сложным строением в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции неуклонно растет. Это требует применения более совершенных методов, позволяющих не только определять количественные характеристики на керновом материале, но и визуализировать микроструктуру пустотного пространства. Стоит отметить, что наибольший интерес представляет применение данной технологии при тестировании технологий повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи на керне.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Диссертация представляет собой законченное исследование, серьезный анализ, с использованием современных методов, основанных на компьютерной рентгеновской томографии. Исследование включало в себя анализ более 300

образцов керна, представляющих собой как карбонатные, так и терригенные породы.

Метод компьютерной рентгеновской томографии был применен с использованием высокоточного оборудования (Nikon Metrology XTH 225), а обработка данных проводилась с использованием программного комплекса Avizo, что подчеркивает высокий технологический уровень исследования. Для создания цифровых моделей керна использовались скрипты на языке программирования Python, что свидетельствует о широком спектре примененных методологических подходов.

Автором выдвинуты следующие положения:

1. В работе установлено, что исследования, выполненные методом рентгеновской томографии, позволяют оценить неоднородность емкостного пространства с учетом пустот различных типов.

2. В диссертации разработана методика визуализации порового пространства моделей керна, созданных методом компьютерной рентгеновской томографии для пород-коллекторов с межзерновым типом пористости.

3. Автором обоснована необходимость применения метода рентгеновской томографии для изучения изменений структуры пустотного пространства при воздействии на керн различных технологий.

Данные защищаемые положения работы не только устанавливают, что рентгеновская томография предоставляет возможность эффективной оценки неоднородности емкостного пространства с учетом пустот различных типов, но и предлагают новые подходы, такие как методика визуализации порового пространства моделей керна для пород-коллекторов с межзерновым типом пористости.

Основные выводы и результаты исследования подчеркивают, что метод рентгеновской томографии требует индивидуального подхода в зависимости от литологического типа коллектора. Карбонатные породы, например, оказываются более эффективно исследованными с использованием данного метода, что позволяет выявить поры, каверны и трещины среднего и крупного размера. Кроме того, метод рентгеновской томографии продемонстрировал свою ценность, как дополнительный метод, при оценке эффективности технологий, направленных на интенсификацию добычи, в рамках лабораторных экспериментов на керновом материале. С учетом вышеизложенного основные положения работы и ее выводы являются научно обоснованными, подтвержденными значительным количеством экспериментов.

Научная новизна диссертационного исследования.

В рамках диссертации была создана база рентгеновских моделей керна, специфичная для месторождений Пермского края. Автором разработаны

методики оценки пустотного пространства в керне карбонатных и терригенных пород с использованием рентгеновской томографии. Эти методики представляют собой перспективный подход к анализу характеристик пористости и трещиноватости в породах, что до сих пор не имело широкого распространения.

Значимость полученных результатов для науки и практики.

Научный вклад разработанных способов оценки характеристик пустотного пространства керна, основанных на рентгеновской томографии, является достаточно весомым. Метод компьютерной томографии предоставляет новые инструменты для анализа пористости и трещиноватости в карбонатных и терригенных породах. Применение предложенных подходов существенно дополняет общее понимание характеристик пустотного пространства и влияния технологий воздействия на породы.

Вклад автора заключается в применении разработанных методик для оценки воздействия различных технологий на керне в целях повышения эффективности нефтеотдачи пластов. Эта часть представляет собой значимый вклад в область тестирования технологий повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи на керне, применяя инновационные методы анализа, основанные на рентгеновской томографии.

Оценка содержания диссертации, степени ее завершенности и качества оформления.

Содержание диссертации на должном уровне структурировано и последовательно изложено во введении, четырех главах и заключении.

Во введении акцентируется актуальность проблемы, формулируются цели, задачи, защищаемые положения, а также подчеркивается новизна и практическая значимость исследования.

В первой главе рассмотрен принцип работы КТ, описаны исторические аспекты его применения в геологии, включая нефтяную геологию. Проанализирована универсальная система томографии Nikon Metrology XTH225, предоставляющая возможность исследования образцов различных размеров в макро- и микрофокусных режимах.

Глава включает в себя также обзор основных современных систем томографии и принципов обработки трехмерных изображений, полученных методом КТ. Отдельное внимание уделено анализу артефактов и способам их устранения на первичном этапе обработки рентгеновских изображений.

Подробно рассмотрена проблема оценки первичной пористости в терригенных и карбонатных породах. Выведены ограничения метода, связанные с разрешающей способностью, и подчеркнута его эффективность в оценке каверн в карбонатных породах. Представлено сопоставление значений коэффициентов пористости, полученных газоволюметрическим методом и методом КТ.

Главным выводом исследования в первой главе является необходимость применения различных подходов в оценке емкостного пространства различных литологических образцов керна.

Вторая глава посвящена оценке структуры емкостного пространства карбонатных пород через рентгеновскую томографию керна. Выделены различные уровни детализации – макроуровень (полноразмерный керн), микроуровень (стандартный керн) и наноуровень (образцы менее 30 мм), которые использовались для последовательного изучения пористости и структуры пустотного пространства. Типизация образцов керна по емкостному пространству позволила выявить связь нефтегазоносности с типом пористости.

Сравнение пористости на образцах разного размера подтвердило высокую корреляцию результатов. Также отмечено, что рентгеновская томография эффективна для выделения и анализа трещин в образцах различных размеров, что важно для пород со сложной структурой пустотного пространства.

Третья глава представляет собой описание методов и результатов исследования пористости и структуры терригенных пород с использованием рентгеновской томографии. Автор проводит анализ эффективности метода для различных типов пород, особенно выделяя проблемы выделения пор в глинистых породах. Детально описывается процесс томографических исследований, включая бинаризацию и проведение операции трешхолдинга для определения структуры породы в трехмерном изображении. Отмечается, что размер пор, определенный с помощью рентгеновской томографии, часто ниже, чем пористость, оцененная другими методами.

В данной главе предлагается алгоритм для выбора граничного значения при проведении отсечки (трешхолдинга) и обсуждает результаты вычислительного эксперимента. Утверждается, что предложенная процедура выбора отсечки эффективна для томографирования образцов терригенных коллекторов и позволяет исследовать структуру капиллярных и сверхкапиллярных пор диаметром более 10-7 мкм.

В четвертой главе диссертации представлены примеры применения компьютерной рентгеновской томографии при тестировании на керне различных технологий, направленных на повышение нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи. Глава охватывает две основные группы исследований: первая связана с анализом образцов сухого, проэкстрагированного от углеводородов, керна, вторая - с исследованиями образцов керна, насыщенного различными флюидами. Метод успешно применялся при лабораторном моделировании механических воздействий, гидроразрыве пласта, и изучении эффективности полимеров при снижении обводненности пластов. Томография также использовалась для анализа флюидонасыщенности и определения смачиваемости.

Автор представил четкую методологию исследования, демонстрируя различные аспекты применения компьютерной рентгеновской томографии для расчета качественных и количественных характеристик керна. Сформулированные автором в диссертационной работе защищаемые положения, научно обоснованы и подтверждены экспериментально, что и определяет практическую значимость выполненного исследования.

Структура диссертации логична, и каждая глава взаимосвязана с общей целью исследования. Автор четко формулирует проблемы, описывает методологию и обосновывает результаты. Оформление диссертации также заслуживает положительной оценки, представление информации ясное, а логическая последовательность аргументов укрепляет качество работы.

В целом, диссертационная работа Савицкого Яна Владимировича является актуальной и завершенной научно-квалификационной работой, которая вносит вклад в область изучения пород нефтегазовых месторождений с использованием рентгеновской томографии.

Замечания.

Для полной характеристики работы можно привести следующие замечания:

1. В тексте диссертации термин «образец стандартного размера» употребляется в искаженном виде, а именно «стандартный образец».

2. В работе не представлены результаты определения фильтрационных характеристик на керне, а только емкостные, хотя одной из задач исследования (задача № 4) является: «определение методом рентгеновской томографии количественных фильтрационно-емкостных характеристик керна».

3. Так же автором упоминается возможность исследования проницаемости моделей порового пространства с помощью программы Avizo, используемой для анализа результатов томографии в диссертации. Однако в работе данный инструмент не был использован, чему стоило дать пояснение.

4. В диссертации неоднократно отмечается, что высокоразрешающая томография позволяет выделять поры размером в несколько микрометров. При этом основная часть, исследованных образцов керна, относится к образцам стандартного размера (диаметром 30 мм и длиной 30 мм), при котором разрешающая способность метода несколько ниже. Высокорастворимая томография проведена для ряда образцов миллиметровых размеров, но их количество существенно ниже и не представлено развернутых пояснений, по какому принципу была сформирована выборка образцов для проведения вышеуказанных исследований. Вместе с тем, автором упоминается, что существует возможность съемки образцов стандартного размера с более высоким

разрешением, используя лишь небольшой фрагмент внутри образца, но не объясняется почему данная методика была применена на ограниченном количестве образцов.

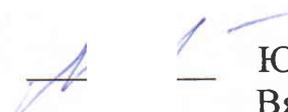
При этом, вышеперечисленные замечания, не снижают общую положительную оценку рассматриваемой диссертационной работы.

Заключение.

Диссертация «Изучение особенностей структуры пустотного пространства коллекторов методом рентгеновской томографии керна», представленная на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений, соответствует требованиям раздела 2 «Порядка присуждения учёных степеней в ПНИПУ» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», принятого на заседании Учёного совета ПНИПУ, протокол №3 от 25 ноября 2021 г. и утверждённого ректором ПНИПУ 09.12.2021 г., а её автор, Савицкий Ян Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.6.11. Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Официальный оппонент,

ведущий инженер Управления поддержки бизнеса по лабораторным исследованиям (г.Кунгур) Центра исследований керна и пластовых флюидов Филиала ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «ПермНИПИнефть» в г. Пермь, кандидат технических наук (25.00.12. Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений)


Юрьев Александр Вячеславович
«13» декабря 2023 г.

Согласен на включение персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Контактные данные:

Почтовый адрес организации – места работы:

614015, г. Пермь, ул. Пермская, 3а

тел: +73422336725

e-mail: permnipineft@pnn.lukoil.com

Подпись Юрьева Александра Вячеславович заверяю:



