

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования «Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина»

(РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина)

119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1, телефон: (499) 507-88-88 (многоканальный)
ОКПО 02066612; ОГРН 1027739073845; ИНН/КПП 7736093127/773601001
E-mail: com@gubkin.ru; <http://www.gubkin.ru>

УТВЕРЖДАЮ



И.о. проректора по научной работе

д.э.н., профессор

П. Ф. Анисимов

П. Ф. Анисимов 20 25г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу

“Математическое моделирование эффективных упругих свойств пород
доманиковой формации с использованием теории эффективных сред”

Окуневича Всеволода Станиславовича,

представленную на соискание ученой степени кандидата технических
наук по специальности 1.6.9 «Геофизика».

Актуальность темы исследования

В настоящее время во всем мире растет объем разведочных работ на нефть и газ. Большинство традиционных месторождений уже открыто и эксплуатируется. Поддерживать рост объемов добычи и разведки только за счёт традиционных месторождений становится с каждым годом труднее, поэтому, в настоящее время наибольший интерес вызывают месторождения с

нетрадиционными коллекторами углеводородов. Проблема поиска и добычи нефти из низкопористых и малопроницаемых коллекторов стоит все более остро.

Одним из наиболее перспективных типов нетрадиционных коллекторов в нашей стране можно назвать доманиковые отложения Волго-Уральской и Тимано-Печорской нефтегазоносных провинций. Данные отложения богаты органическим веществом, а также являются нефтематеринскими. Данные отложения могут участвовать в накоплении и миграции жидких углеводородов. Надежные знания о физических и геологических свойствах таких пород необходимы для их поиска и увеличения объемов добычи нефти из уже известных месторождений с подобным типом коллекторов. Поэтому изучение и создание математических моделей свойств этих объектов является актуальной задачей.

Основные результаты работы

1. В диссертации построены базовые петроупругие модели керогеносодержащих пород доманиковой формации в масштабе керна.

2. На основе построенных базовых моделей создана разномасштабная модель упругих свойств доманиковых пород и оценено влияние на них микроструктурных параметров.

3. Изучены факторы, которые вызывают анизотропию упругих свойств пород доманиковой формации (ориентированные линзы минералов, керогена, ориентированная трещиноватость – в микромасштабе, слоистость – в макромасштабе) и показана необходимость учета анизотропии при построении разномасштабных петроупругих моделей.

4. Разработан комплекс компьютерных программ для реализации построенных моделей и выполнены расчеты на примере реальных скважинных данных.

5. Рассмотрена обратная задача по определению микроструктурных параметров пород по данным геофизических исследований скважины.

Научная новизна и практическая значимость работы

Созданы разномасштабные петроупругие модели пород доманиковой формации, учитывающие различные факторы, влияющие на их упругие свойства, которые включают содержание керогена в породе, его пористость, трещиноватость, степень связности включений керогена в породе.

Построенные петроупругие модели доманиковых пород и полученные с их помощью закономерности изменения их упругих свойств могут быть использованы для повышения качества интерпретации данных скважинных и наземных сейсмических исследований.

Результаты данного исследования являются основой для создания методики прогноза упругих свойств доманиковых и подобных им отложений на различных масштабах геофизических исследований не только для улучшения качества интерпретации наземных сейсмических исследований, но и для выделения потенциально-перспективных интервалов для добычи горючих полезных ископаемых.

Созданные анизотропные петроупругие модели доманиковых пород могут быть использованы для создания скоростных моделей, используемых с целью локации микроземлетрясений, возникающих при проведении гидроразрыва пласта.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа В.С. Окуневича “Математическое моделирование эффективных упругих свойств пород доманиковой формации с использованием теории эффективных сред” содержит 163 страницы, включая текст, 91 рисунок, 12 таблиц, список литературы из 99 библиографических источников и 2 приложений.

Оглавление диссертационной работы включает введение, 6 глав, заключение, список сокращений и условных обозначений, список литературы и список приложений.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель, задачи и защищаемые положения, отражены новизна и практическая значимость исследования.

Глава 1 посвящена описанию объекта исследования, а именно, литологическим особенностям состава и строения отложений доманиковой формации; подходам петроупругого моделирования, его базовым понятиям и особенностям, определению места петроупругого моделирования в разномасштабном моделировании и способам перехода между различными масштабами геофизических исследований. Затем обсуждается научная новизна предложенных в диссертации подходов петроупругого моделирования керогеносодержащих пород доманикового типа в сравнении с другими исследованиями.

В главе 2 рассматривается построение базовых петроупругих моделей для керогеносодержащих пород доманикового типа, выполнена оценка упругих свойств самого керогена, модули сжатия и сдвига которого сильно варьируются в зависимости от его состава и пористости. На основе комплексных данных была разработана иерархическая петроупругая модель с использованием методов теории эффективных сред, в частности метода самосогласования Берримана, показавшего наилучшее соответствие с экспериментальным данным. На завершающем этапе была построена сейсмогеологическая модель пласта, позволившая прогнозировать изменение упругих свойств пород в зависимости от концентрации и пористости керогена. Моделирование продемонстрировало, что эти изменения уверенно проявляются даже на масштабе наземной сейсмики, что подтверждает значительный вклад керогена в упругие свойства пород и важно для поиска углеводородов.

В главе 3 развивается методика петроупругого моделирования керогеносодержащих пород с трещинами, заполненными нефтью, образующимися в процессе созревания керогена. Степень зрелости керогена моделировалась путем введения в породу флюидонасыщенных трещин, а не

только изометричных пор, что характерно для поздних стадий катагенеза. Добавление в модель трещинной пористости и связанной с ней анизотропии представляет собой важный исследовательский этап. Показано, что содержание керогена, его пористость и степень связности являются определяющими факторами для упругих свойств доманиковых отложений.

Глава 4 посвящена построению разномасштабных петроупругих моделей пород доманиковой формации, имитирующих свойства на масштабе скважинных измерений. Для этого использовались четыре модели, каждая из которых представляла собой совокупность статистически однородных прослоев жесткой карбонатной породы и керогеносодержащих слоев, отличающихся своим внутренним строением.

Глава 5 посвящена расчету коэффициентов отражения для анизотропной среды в рамках простой двухслойной модели. В основе исследований лежала ранее использованная сейсмогеологическая модель, однако упругие свойства керогеносодержащего слоя были уточнены на основании результатов, полученных в четвертой главе. Показано, что вариации состава и внутреннего строения пород, смоделированные на предыдущих этапах, оказывают прямое и значимое влияние на упругое поле в масштабе наземных сейсмических исследований, что подтверждает необходимость использования предложенных усовершенствованных петроупругих моделей.

В главе 6 разработанные методы разномасштабного моделирования применяются к реальным скважинным данным. Представлена стратегия прогнозирования упругих свойств на различных масштабах и выделения перспективных интервалов по параметрам микроструктуры. Ключевым методологическим результатом является переход от литотипов к петротипам, что критически важно для количественной интерпретации на масштабе сейсмических данных. Результаты подтверждают, что неучет анизотропии может приводить к значительным искажениям сейсмических амплитуд. Совокупность результатов обосновывает возможность определения по

данным ГИС и сейсморазведки содержания керогена, его пористости и степени связности, а также демонстрирует влияние ориентированных трещин, линз минералов и переслаивания на анизотропию упругих свойств.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Достоверность результатов диссертации подтверждается тем, что в работе используется подход, основанный на методах теории эффективных сред, давно применяемых в геофизике; построенные петроупругие модели основаны на результатах лабораторных экспериментов, а полученные и их использованием оценки упругих свойств на масштабе геофизических исследований и сейсмических работ, соответствуют реальным значениям.

Апробация результатов работы и основные публикации.

Результаты диссертационной работы опубликованы в трех статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, и были представлены на восьми конференциях.

В целом, публикации автора отражают содержание диссертации.

Основные замечания по диссертационной работе

1. В работе не представлены альтернативные подходы к математическому моделированию петроупругих свойств сланцевых коллекторов и их сравнение с методами теории эффективных сред, а именно, не обоснованы преимущества методов теории эффективных сред для пород доманиковой формации.

2. В диссертации приводятся примеры уже существующих петроупругих моделей, но в работе нет четкого ответа на вопрос, чем существующие петроупругие модели сланцевых коллекторов принципиально отличаются от модели автора. Следовало бы более подробно остановиться на верификации полученных результатов и их сравнении с фактическими данными и расчетами на основе других моделей.

3. В диссертации представлены результаты решения обратной задачи по определению микроструктурных свойств пород по данным геофизических

исследований, однако не показано, как при этом должен определяться выбор петроупругой модели из четырех предложенных в работе, не рассматривается вопрос неединственности получаемого решения. Следовало бы более подробно остановиться на рекомендациях для корректного применения разработанного подхода при его тиражировании на другие объекты.

Заключение

Диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием на актуальную тему. Полученные результаты обладают научной новизной, имеют теоретическую и практическую значимость.

Автореферат полностью и точно отражает содержание, результаты и выводы диссертационного исследования.

Диссертация Окуневича Всеволода Станиславовича “Математическое моделирование эффективных упругих свойств пород доманиковой формации с использованием теории эффективных сред” соответствует критериям, установленным п.9 Положения “О порядке присуждения ученых степеней” (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, с изменениями и дополнениями) и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности “1.6.9 Геофизика”, а ее автор Окуневич Всеволод Станиславович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по этой специальности.

Диссертационная работа Окуневича Всеволода Станиславовича “Математическое моделирование эффективных упругих свойств пород доманиковой формации с использованием теории эффективных сред”, автореферат и отзыв были рассмотрены на расширенном заседании кафедры прикладной математики и компьютерного моделирования с приглашением

специалистов кафедры разведочной геофизики и компьютерных систем (протокол № 3 от 25 сентября 2025 года).

Отзыв подготовлен зав. кафедрой, д.т.н., проф. Р.Д. Каневской и к.т.н., доц. Е.А. Роженовым.

Заведующая кафедрой
прикладной математики и
компьютерного моделирования,
д. т. н. 01.02.05 «Механика жидкости,
газа и плазмы», профессор

Каневская
Регина Дмитриевна
02.10.2025

Телефон: +7 (499) 507-86-19

Адрес электронной почты: kanevskaya.r@gubkin.ru

Доцент кафедры разведочной
геофизики и компьютерных систем,
к.т.н. 1.6.9 «Геофизика».

Роженов
Евгений Алексеевич
02.10.2025

Телефон: +7 (499) 507-83-36

Адрес электронной почты: rozhenkov.e@gubkin.ru

Подпись Р.Д. Каневской, Е.А. Роженова
заверяю:

Начальник отдела кадров

Ю.Е. Ширяев