

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Галкина Сергея Владиславовича  
на диссертационную работу Белозерова Ивана Павловича  
«Разработка технологии цифрового моделирования керна для определения  
фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4.  
Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

Разработка технологических решений по цифровому моделированию керна является актуальной и востребованной темой, поскольку существующие методы проведения исследований керна не всегда способны решить проблему исследований рыхлых, слабосцементированных и других горных пород, сложных с точки зрения возможности проведения физических экспериментов. В ряде случаев керна нет. Особенную актуальность технология цифрового моделирования керна принимает при исследованиях низкопроницаемых пород-коллекторов нефти, например, пород Баженовской свиты, особенно в качестве дополнительного инструмента, с помощью которого возможно снизить неопределенности и повысить достоверность результатов при исследованиях керна из таких месторождений.

### **2. Структура и содержание работы**

Структура и содержание диссертационной работы Белозерова Ивана Павловича соответствуют поставленной цели исследования, основные выводы в полном объеме отражены в содержании диссертационной работы.

Диссертация изложена на 118 страницах машинописного текста; состоит из введения, четырех глав, выводов и списка литературы; включает 7 таблиц, 19 рисунков и 2 приложения. Библиографический список содержит 149 наименований, в том числе 59 иностранных.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость. В первой главе представлен аналитический обзор результатов исследований, достигнутых при разработке технологий цифрового моделирования керна. На

основании представленного обзора автор делает вывод о том, что на сегодняшний день развитие технологии цифрового моделирования керна позволяет говорить о ней как об альтернативном источнике информации, позволяющем получить относительно качественные результаты исследований горных пород в случае недостатка кернового материала.

Во второй главе излагается научная концепция по созданию основ цифровой модели керна терригенных коллекторов и дальнейшему определению их фильтрационно-емкостных свойств; затрагиваются вопросы применения результатов геофизических исследований скважин и другие результаты, которые могут быть получены без использования кернового материала для цифрового моделирования керна.

Третья глава посвящена анализу полученных автором результатов экспериментальных исследований по оценке литолого-петрографических и фильтрационно-емкостных характеристик терригенных коллекторов и результатов цифрового моделирования керна. Установлена сходимость результатов определения абсолютной газопроницаемости цифровой модели керна с результатами определения абсолютной газопроницаемости физических образцов керна лабораторными методами исследований.

В четвертой главе проведено установление ряда зависимостей «кern-ГИС» по пяти месторождениям Тимано-Печорской провинции с целью их дальнейшего применения при цифровом моделировании керна, проведена оценка возможностей использования данных ГИС при цифровом моделировании керна. В заключении представлены основные выводы, подтверждающие решение поставленных задач. В приложениях приведены акты о внедрении результатов диссертационного исследования в образовательный процесс САФУ имени М.В. Ломоносова (направление 21.03.01 «Нефтегазовое дело») и в практическую деятельность, связанную с исследованиями кернового материала при выполнении хозяйственных работ с нефтегазовыми предприятиями в Инновационно-технологическом центре арктических нефтегазовых лабораторных исследований САФУ имени М.В. Ломоносова.

#### **Публикации, отражающие основное содержание работы**

Основное содержание диссертационной работы отражено в 16 научных

трудах, в том числе в 3-х статьях из перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 6-ти статьях в изданиях, включенных в международную реферативную базу цитирования Scopus.

Объем опубликованного материала достаточен для применения технологий, разработанных автором диссертационной работы.

### **3. Степень достоверности и обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе Белозерова Ивана Павловича, в достаточной степени обоснованы путем подробного анализа опубликованных работ российских и зарубежных авторов, сравнительным анализом полученных результатов, применением известных методов физического и математического моделирования.

В работе в достаточной степени обоснована технология определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов методами математического моделирования на цифровой модели зерна, основанная на применении методов стохастической упаковки и молекулярной динамики. На представительном объеме данных выполнено обоснование методов стохастической упаковки и молекулярной динамики для формирования структуры порового пространства цифровой модели зерна терригенных коллекторов.

Также в диссертационной работе показана целесообразность (возможность) применения основ теории перколяции и метода электродинамической аналогии течения электрического тока и движения газа для симуляции определения абсолютной газопроницаемости цифровой модели зерна терригенных коллекторов. Результаты определения абсолютной газопроницаемости цифровой модели зерна, в целом показали достаточную сходимость с результатами, полученными по образцам реальных пород-коллекторов терригенного песчаника.

Сравнительный анализ результатов определения фильтрационно-емкостных свойств на эталонных образцах зерна терригенного коллектора Berea Sandstone, которые широко применяются в мировой практике, с результатами, полученными на цифровой модели зерна показывает их хорошую сходимость, что подтверждает достоверность основных выводов диссертационной работы. Кроме того, в работе представлены результаты исследований по созданию цифровых моделей зерна

терригенных пород-коллекторов нефти Тимано-Печорской провинции с дальнейшим определением по ним открытой пористости и абсолютной газопроницаемости. Результаты показали также хорошую сходимость.

Представленные в диссертационной работе результаты неоднократно обсуждались на международных научно-практических конференциях и семинарах, опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, и в изданиях, включенных в международную реферативную базу цитирования Scopus.

#### **4. Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна работы не вызывает сомнений и состоит в следующем:

- Обосновано применение методов стохастической упаковки для математического моделирования структуры порового пространства цифровой модели кернa терригенных пород-коллекторов нефти.

- Установлены экспериментальные зависимости проницаемостей по флюиду, определенные на кернах материала, от пористости по ГИС, которые методически используются для прогнозирования проницаемости терригенных коллекторов по нефти при цифровом моделировании кернa, а также для калибровки модели.

- Разработан междисциплинарный подход для реализации процессов создания и функционирования технологии определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов методами математического моделирования, основанного на объединении нескольких программных продуктов в единый программно-аппаратный комплекс, в котором полученные результаты цифрового моделирования сопоставимы с результатами лабораторных исследований образцов керна материала.

#### **5. Значимость для науки и практики полученных результатов**

В научной и практической деятельности результаты, полученные Белозеровым И.П., позволяют:

- частично решить вопросы исследования рыхлых, слабосцементированных и других горных пород, «проблемных» с точки зрения возможности проведения физических экспериментов;

- эффективно уточнять и дополнять расчетные параметры при лабораторных исследованиях керна, снижая вероятность ошибки в получаемых результатах;

- оценивать абсолютную газопроницаемость цифровых моделей керна при малом количестве исходных данных.

## **6. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Полученные в диссертационной работе Белозерова И.П. результаты в виде технологии создания цифровой модели керна, при использовании которой полученные результаты цифрового моделирования сопоставимые с результатами лабораторных исследований, могут быть использованы в организациях, специализирующихся на комплексных исследованиях кернового материала нефтеносных пород, а также в учебном процессе в образовательных учреждениях.

## **7. Соответствие диссертации паспорту научной специальности**

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 25.00.17 (2.8.4.) - Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений (технические науки), а именно п. 1 «Промыслово-геологическое (горно-геологическое) строение залежей и месторождений углеводородов и подземных хранилищ газа, пластовых резервуаров и свойства насыщающих их флюидов с целью разработки научных основ геолого-информационного обеспечения ввода в промышленную эксплуатацию месторождений углеводородов и подземных хранилищ газа» и п. 5 «Научные основы компьютерных технологий проектирования, исследования, эксплуатации, контроля и управления природно-техногенными системами, формируемыми для извлечения углеводородов из недр или их хранения в недрах с целью эффективного использования методов и средств информационных технологий, включая имитационное моделирование геологических объектов, систем выработки запасов углеводородов и геолого-технологических процессов».

## **8. Замечания и рекомендации по диссертационной работе**

1. Из работы не вполне понятно какова реальная технологическая эффективность при реализации разработок автора. В работе недостаточно представлена оценка эффективности разработанной технологии в числовом выражении.

2. Автору следовало бы более развернуто показать (стр. 79) проведение расчетов на цифровой модели керна, в том числе, необходимы дополнительные пояснения по методологии принятия в модели граничных условий при использовании метода молекулярной динамики.

3. Автором в диссертации приводится сопоставление значений абсолютной газопроницаемости, определенных расчетным путем на цифровой модели керна и на керновом материале. Отклонение в среднем составляет 11,7 %, что представляется достаточно высоким показателем. В диссертации было бы целесообразно оценить статистическую значимость полученного отклонения данных оценок методом сравнения средних t-Стьюдента или другими статистическими методами.

Следует отметить, что приведенные выше замечания не снижают значимость личного вклада автора в решение рассмотренных задач по разработке актуальных технологических решений, предназначенных для цифрового моделирования керна. В целом работа выполнена на высоком научном уровне, имеет научную новизну, теоретическую и практическую значимость, а обоснованность и достоверность полученных результатов, сформулированных защищаемых положений и выводов не вызывает сомнений.

## **9. Заключение по диссертационной работе**

Анализ содержания диссертационной работы, научных положений и методологии исследования позволяет сделать вывод о достаточном уровне теоретической и практической подготовки автора.

Считаю, что диссертационная работа Белозерова Ивана Павловича «Разработка технологии цифрового моделирования керна для определения фильтрационно-емкостных свойств терригенных коллекторов» является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей решения актуальных задач, связанных с применением цифрового моделирования керна при комплексной оценке фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов нефти, что имеет существенное значение для развития нефтегазовой отрасли страны. Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертационной работы и её основные результаты.

Диссертационная работа соответствует критериям пп. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, Постановлением Правительства РФ от 21 апреля 2016 г. № 335, а её автор – Белозеров Иван Павлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.4. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Я, Галкин Сергей Владиславович, даю своё согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

декан горно-нефтяного факультета ФГАУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 –  
«Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений», профессор по специальности «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»

Сергей Владиславович Галкин

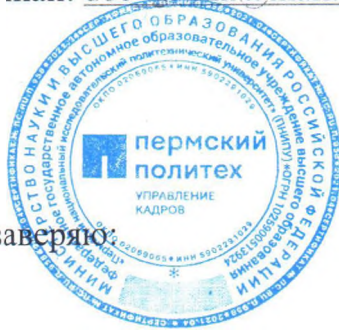
Сергей Владиславович Галкин, д-р геол. – мин. наук по специальности 25.00.12 –  
«Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»  
ФГАУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ)

Почтовый адрес: Пермский край, 614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, глав. корпус.

тел.: +7 342 219 81 18; e-mail: [doc\\_galkin@mail.ru](mailto:doc_galkin@mail.ru)

Подпись Галкина С.В. заверяю:

Специалист по персоналу УК  
Р.И. Мисбахова



«9» февраля 2022 г.