

**Отзыв официального оппонента  
на диссертационную работу Карсаниной Марины Владимировны  
«Моделирование и реконструкция структуры и свойств пористых сред с помощью  
корреляционных функций», представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика,  
геофизические методы поисков полезных ископаемых**

**Структура и объем представленного материала**

На отзыв представлена диссертационная работа “Моделирование и реконструкция структуры и свойств пористых сред с помощью корреляционных функций” и автореферат. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (148 наименования). Работа изложена на 137 страницах машинописного текста, включая 57 рисунков и 10 таблиц.

Автореферат работы изложен на 28 страницах и содержит 13 рисунков.

**Актуальность темы диссертационной работы**

Диссертационная работа посвящена разработке новых методов описания и реконструкции трехмерных пористых сред на основе корреляционных функций. В отличие от существующих трехмерных методов исследования структуры пористых сред предлагаемый метод гораздо менее затратный с точки зрения вычислительных ресурсов и времени расчета. Развитие эффективных методов описания и реконструкции трехмерных пористых сред крайне важно для активно развивающегося направления цифровой петрофизики, которое на основе трехмерных стохастических реконструкций позволяет значительно повысить точность информации о структуре породы, также обуславливает актуальность темы диссертации.

С другой стороны, в последние десятилетия в связи с резким сокращением запасов нефти в недрах земли возрастает интерес к разработке трудно извлекаемых запасов, среди которых, в силу больших запасов углеводородов и сложности строения, отдельный интерес представляют породы бажендовской свиты. Возможности лабораторного исследования образцов таких горных пород сильно ограничены трудностью извлечения кернового материала и рисками разрушения структуры образцов при экстракции. Предложенная в работе трехмерная модель керогена в сланцеподобных горных породах позволяет оценить его некоторые физические свойства, в частности, рассчитывать газопроницаемость.

Таким образом, избранная соискателем тема диссертационного исследования представляется актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

### **Научная новизна полученных результатов**

Ряд результатов, полученных в ходе проведенных исследований по теме диссертационной работы, обладают несомненной научной новизной.

В первую очередь к таким результатам можно отнести следующие положения и выводы:

1. Метод описания и реконструкции двухфазных структур с помощью корреляционных функций, рассчитанных по ортогональным и диагональным направлениям, и метод стохастической оптимизации имитации «отжига» с упрощенным пересчетом корреляционных функций впервые сделали возможным применение данных подходов для анизотропных структур
2. Проведен численный анализ влияния используемого набора корреляционных функций на качество реконструкций и обнаружена необходимость «уравновешивания» корреляционных функций во время реконструкции согласно их информационной значимости
3. Предложен универсальный метод расчета коэффициентов корреляционных функций и обоснована его эффективность
4. Более точно проведено определение эффективных физических свойств пористых материалов по двумерным и трехмерным данным об их строении с помощью стохастической реконструкции на основе корреляционных функций и последующего моделирования в масштабе пор
5. Впервые выполнен расчет газопроницаемости керогена в отложениях баженовской свиты.
6. Впервые было предложено использовать корреляционные функции для описания и реконструкции структуры почвогрунтов.

Перечисленные научные результаты диссертационной работы являются новыми и вносят ощутимый вклад развитие методов описания и реконструкции пористых сред на основе корреляционных функций, также процедуры верификация разработанных методов для реальных геофизических объектов.

### **Практическая ценность полученных результатов**

Практическая значимость работы не вызывает сомнений и подтверждается, в частности, значительным улучшением точности по сравнению с предыдущими работами, разработанного метода расчета корреляционных функций в ортогональных и диагональных направлениях.

Предложенная в работе трехмерная модель керогена в сланцеподобных горных породах может быть использована на практике для расчета газопроницаемости, тогда как применимость обычных лабораторных методов, в силу трудности извлечения кернового материала и рисками разрушения структуры образцов при экстракции, значительно ограничена.

### **Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Достоверность результатов численного моделирования и стохастических реконструкций подтверждена путем их сопоставлением с данными лабораторных экспериментов на широком наборе фактического материала, а также многократной повторяемостью и воспроизводимостью полученных результатов и их верификацией на аналитических решениях. Результаты находятся в соответствии с результатами, полученными другими авторами.

### **Оценка качества оформления диссертации**

Диссертационная работа Карсаниной М.В. четко структурирована, хорошо оформлена, характеризуется научной строгостью и последовательностью изложения материала. Текст диссертации хорошо иллюстрирован цветными графиками, фотографиями и таблицами. Автореферат с достаточной полнотой отражает основные положения диссертации, выдержан по форме и объему.

### **Публикации по теме диссертации**

По теме диссертации опубликовано 9 статей в научных изданиях, рекомендованных ВАК, а также доклады в сборниках трудов и тезисов международных конференций.

Научные материалы, опубликованные по теме диссертационного исследования, в достаточной степени раскрывают основное содержание представленной работы, отражают ее основные положения и результаты.

## Замечания по диссертационной работе

1. К сожалению, в тексте диссертационной работы присутствует ряд опечаток и неточностей, что затрудняет анализ полученных результатов
  - а. Выражение (2.19) для корреляционной функции не содержит параметра  $b$ , однако в параграфе 4.1 при моделировании структур пористых сред на основе этой функции используется данный параметр (см., например, рис. 4.1).
  - б. Страница 120, первый абзац, “Для образца 2 получено отличное совпадение всех характеристик двухфазного течения (рис.2.22)” – по-видимому, ссылка должна быть на рисунок (5.22)
  - в. На рис. 5.16 не приведена расшифровка легенды – что обозначает “S2”, “S2хyz”, “SL2хyz”. В тексте, при обсуждении представленных на данном графике результатов, расшифровка также отсутствует.
2. Для подтверждения вывода о схождении по расчетным трехмерным реконструкциям структуры керамики (параграф 5.2) полезно было бы представить таблицу с результатами расчетов по различным реконструкциям. Достаточно ли осреднения по трём повторяющимся реализациям?
3. В параграфе 5.3 при обсуждении реконструкции керогена в сланцеподобных образцах отмечено, что “Полученные численно значения проницаемости керогена оказались почти на порядок выше лабораторных значений (стр. 111)”, причем автор далее дает подробный анализ причин данного расхождения. Однако в выводах этого параграфа сказано, что “рассчитанные по стохастическим реконструкциям проницаемости керогена в образцах баженовской свиты хорошо согласовались с измерениями на керновом материале”. Какое из этих утверждений верно?
4. Не понятно, почему не проведено сравнение результатов моделирования (Табл. 5.5 на странице 117) проницаемости по результатам гибридной реконструкции песчаников трех различных песчаников Воробьевского горизонта Степновского месторождения с данными лабораторных измерений на этих образцах?
5. Указание физического масштаба на двух- и трехмерных изображениях реконструкций пористых материалов значительно упростило бы анализ результатов, в особенности, когда речь идет об исследовании сложной неоднородной структуры порового пространства пород баженовской свиты.
6. В диссертации не нашли отражения работы группы ученых компании Шлюмберже под руководством Динариева Олега Юрьевича по схожей теме (например, Svitelman V., Dinariev O. Geostatistical approach to the anisotropy analysis of 3D rock microtomographic models. Computer sand Geosciences. 2013. V. 57, pp. 116-123).

### Общая оценка работы.

Отмеченные в отзыве замечания не снижают общий научный уровень работы и не могут повлиять на положительную оценку работы.

Автореферат выполнен с соблюдением установленных требований и с достаточной полнотой отражает основные положения диссертации.

Основные положения диссертации прошли достаточную апробацию на международных конференциях и нашли отражение в 9 научных изданиях, рекомендованных ВАК.

В целом диссертация Карсаниной М.В. «Моделирование и реконструкция структуры и свойств пористых сред с помощью корреляционных функций» является законченной научно-квалификационной работой, имеющей научную и практическую ценность и отвечающей требованиям Положения 9 ВАК о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям.

В представленной работе содержится решение (разработан метод реконструкции двухфазных структур с помощью корреляционных функций, рассчитанных по ортогональным и диагональным направлениям и метод стохастической оптимизации имитации «отжига» с упрощенным пересчетом корреляционных функций), имеющее существенное значение для развития новых методов реконструкции трехмерных пористых сред, а также анализа их свойств. Тематика работы соответствует паспорту специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Автор диссертационной работы Карсанина Марина Владимировна заслуживает присуждения ему искомой учёной степени кандидата физико-математических наук.

старший научный сотрудник,  
Московский научно-исследовательский центр  
Шлюмберже (Schlumberger)

кандидат физико-математических наук

«26» апрель 2016 года

119285, г. Москва, ул. Пудовкина, 13  
Тел.: +7 495 935 82 00 доб. 6024067  
E-mail: DMikhailov2@exchange.slb.com

Дмитрий Николаевич Михайлов



Подпись к.ф.-м.н. Д.Н. Михайлова заверяю:

*Специалист СУП  
Лобская Наталья Викторовна  
Юр*