

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**доктора геолого-минералогических наук наук Закревского Константина**  
**Евгеньевича на тему: «Повышение геологической достоверности**  
**цифровых моделей месторождений углеводородов (с коллекторами**  
**порового типа) на основе системного анализа»**  
**по специальности 25.00.12 – «Геология, поиски и разведка**  
**нефтяных и газовых месторождений»**

Диссертация К.Е.Закревского представляет собой обобщение многолетнего практического опыта, результатов труда и исследований автора по систематизации подходов к построению цифровых геологических моделей месторождений. Актуальность и практическая значимость работы определяются уже состоявшимся широким применением ЦГМ в практике исследования и разработки месторождений, а также – общим трендом на цифровизацию всех процессов в нефтегазовой отрасли. В рамках концепции цифрового месторождения ЦГМ отводится центральное место интегратора всей информации о строении и состоянии объекта. Поэтому вопросы системного подхода к созданию и оценке качества ЦГМ – являющиеся центральными в диссертации – точно соответствуют задачам текущего этапа.

Работа сочетает общий анализ принципов построения и оценки качества ЦГМ с большим количеством практических примеров успешного применения разработанных автором методов и подходов к экспертизе и созданию конкретных цифровых геологических моделей. Эти примеры подтверждают обоснованность выводов и результатов диссертации. Важно, что авторские разработки внедрены на самых разных уровнях: от государственных нормативных документов, утверждаемых ГКЗ, до корпоративных стандартов множества нефтегазодобывающих компаний: Лукойл, ТНК-ВР, Роснефть.

Первая глава диссертации носит обзорный характер. Здесь весьма подробно рассматривается как история развития трехмерного цифрового геологического моделирования, так и современное состояние проблемы в России и за рубежом. Отдельное внимание уделяется вопросам контроля качества ЦГМ. Рассмотрены конкретные программные пакеты, а также вопросы их тестирования.

В выводах к первой главе, в частности, указывается, что одним из основных методов контроля качества является сопоставление статистических характеристик свойств среды, трактуемых как случайные процессы (пористости, проницаемости и др.), оцениваемых по скважинам (первичная информация) и по данным из трёхмерной ЦГМ (результат моделирования). Критического анализа данного подхода не делается, что является определённым недостатком работы. Во-первых, под сравнением статистических характеристик подразумевается, как следует из текста, качественное сопоставление распределений, а также сравнение первых моментов: среднего, дисперсии и сравнение корреляционных свойств (функций). Между тем в математической статистике разработан детальный аппарат количественного сравнения статистических свойств случайных процессов, который учитывает массу важных факторов, недоступных для качественного анализа. Более важно, что в процессе моделирования искажение статистических характеристик процесса практически неизбежно. Это связано с процессом ремасштабирования (апскейлинга) при интерполяции, а также с переходом от двумерных данных по скважинам к трёхмерному распределению в модели. Соответствующие проблемы также разработаны в математической статистике, но до настоящего времени не внедрены в практику геологического моделирования, что даёт возможности для дальнейшего совершенствования методов.

Вторая глава является центральной в работе и посвящена собственно авторским разработкам в области оценки качества ЦГМ и программных пакетов для их создания.

Подробно рассматриваются все этапы экспертизы цифровой геологической модели – от анализа качества и достоверности исходных данных до экспертизы качества расчёта запасов и достоверности модели в целом. Очевидно, в данном ряду каждый последующий этап опирается на результаты предыдущего. Для каждого из этапов приводятся конкретные приёмы и примеры оценки модели экспертом. Не остаются без внимания технические аспекты создания модели: построение сетки, проведение ремасштабирования.

Особый интерес представляет раздел, касающийся экспертизы расчётов достоверности и неопределённости результатов моделирования. Автор проводит чёткое разграничение между понятиями качества и достоверности ЦГМ, что правильно и даёт пример чёткого определения понятий. Качество построения модели не зависит от фактического строения месторождения и определяется только качеством данных и применяемых алгоритмов. Достоверность зависит от сложности строения месторождения и детальности его изучения. Между тем, в названии табл. 2.1 указано: «Статистические характеристики параметров, характеризующих качество построения цифровой геологической модели». Но данная таблица содержит именно параметры, характеризующие достоверность модели, а не её качество в смысле данного определения. По-видимому, имеет место техническая ошибка.

При описании способов оценки достоверности вновь упоминается «анализ гистограмм и сопоставительных графиков (кросс-плотов) прогнозных и фактических величин ФЕС продуктивных пластов по вновь пробуренным скважинам». Замечания к данному подходу были изложены выше.

При оценке неопределённости автор предлагает полагаться на результаты «многовариантного стохастического моделирования». Важно понимать, что данный подход, сам по себе, чувствителен к способу его

применения. В самом деле, предполагается генерация набора реализаций, например – кубов ФЭС или иных свойств модели. Для этого необходимо определиться, как минимум, с: набором параметров, определяющих неопределённость задания свойств; статистическими свойствами случайного процесса, определяющего данное свойство; методом интерполяции. Каждый из перечисленных вопросов допускает не единственный ответ и требует отдельного исследования.

Одной из важнейших составляющих, определяющих научную новизну работы, является введённый в п. 2.2 «Комплексный параметр качества ЦГМ». Автор обращается к общим принципам управления качеством, в соответствии с которыми ставит задачу поиска способов количественной оценки как отдельных этапов созданий ЦГМ, так и модели в целом.

Автор анализирует различные подходы к оценке качества модели в целом и констатирует, что наилучшей оценкой будет та, которая согласована с целью моделирования. Поскольку целью моделирования можно считать расчёт запасов и оптимизацию разработки, то за такую оценку разумно принять достоверность модели с точки зрения воспроизводства истории разработки в гидродинамическом моделировании. Однако такая оценка может быть получена только тогда, когда истории разработки уже имеется на каком-то интервале времени. Но оценку качества модели необходимо выполнить раньше, до ввода месторождения в разработку. В частности, для того, чтобы отобрать модели для расчёта запасов. Исходя из этого, автор ставит задачу найти способ оценки качества модели на основе экспертных оценок качества отдельных этапов её построения.

Отметим, что здесь опять имеется определённая терминологическая путаница. Наилучший соответствие с историей разработки при гидродинамическом моделировании будет показывать наиболее достоверная, а не наиболее качественная модель в смысле избранных определений. Однако, данное замечание является техническим и не носит принципиального характера.

Поставленную задачу автор решает исходя из предположения об аддитивности качества на всех этапах создания модели, т.е. предполагая, что качество (вернее – достоверность) модели в целом – суть сумма оценок качества моделирования на отдельных этапах, взятых с некоторыми весовыми коэффициентами, которые определяют важность соответствующего этапа моделирования с точки зрения конечного качества результата. В качестве оценок качества этапов и модели в целом берутся экспертные оценки по пятибалльной шкале. Математически задача сводится к решению СЛАУ в смысле наименьших квадратов, в которой коэффициенты соответствуют экспертным оценкам, а неизвестные – весовым коэффициентам.

Проанализировав указанным образом более 100 ЦГМ, автор получил значения весовых коэффициентов, приведённые в табл. 2.3. Анализ данной таблицы приводит к весьма любопытным выводам, неплохо согласующимся со здравым смыслом. Закономерно оказывается, что качество исходных данных и петрофизическая основа в совокупности дают 35%-55% вклада в конечное качество. А вот сейсмические данные и концептуальная основа наиболее важны для полномасштабных гринфилд моделей (15%) и менее важны для секторных моделей (5%): в полномасштабных моделях критически важна интерполяция в межскважинное пространство, которая строится по сейсмическим данным с учётом геологической концепции. В случае секторных моделей мы имеем дело с разбуренным участком и сейсмические данные уже не столь принципиальны. Напротив, точность построения модели, оцениваемая по статистическим характеристикам, важна для секторных моделей (20%) и менее важна для полномасштабных гринфилд моделей (10%).

В целом, данный результат определённо носит прорывной характер и даёт геологам в руки инструмент оценки совокупного качества моделирования. Недостатком является то, что не приведены

неопределённости значений весовых коэффициентов, которые могут быть легко получены из решения СЛАУ, например методом *SVD*.

Тестирование алгоритмов, предназначенных для построения и анализа моделей, предлагается проводить с использованием простых геометрических форм: куполообразные поднятия моделируются полусферами, оценка точности определения объёма пластовой залежи проводится на основе модели из двух вложенных полусфер. Такой подход оправдан для получения общего представления о точности алгоритмов, но важно помнить, что реальные структуры обладают существенно более сложным строением и не преувеличивать значение оценок на простых объектах.

Раздел, касающийся апскейлинга, написан очень кратко и сводится к простому сопоставлению результатов осреднения с теоретической («эталонной») моделью, в качестве которой используется синусоида. Однако, проблема апскейлинга – более сложная. Если говорить о характеристиках, допускающих простое осреднение (например – плотности), то базисом для её решения должна служить теорема Котельникова, определяющая минимальный шаг (размер ячейки), достаточный для воспроизводства функции с заданной граничной частотой. Намного сложнее задача апскейлинга фильтрационно-емкостных свойств. Хорошо известно, что проницаемость большего объёма не равна средней проницаемости его составляющих. Данный вопрос в работе не рассматривается, что является её недостатком.

Третья глава носит методический характер и посвящена вопросу разработки «адресных» методических рекомендаций по созданию ЦГМ. Автор справедливо отмечает, что разнообразие типов месторождений углеводородов делает затруднительным создание общих рекомендаций по моделированию. «Адресные» рекомендации должны создаваться, в первую очередь, для приоритетных объектов – стратиграфических подразделений и месторождений с большой долей запасов.

В содержании данной главы нашёл отражение колоссальный опыт автора в создании и экспертизе ЦГМ для различных регионов и объектов, в первую очередь – терригенных отложений Западной Сибири. Автором впервые сформулирован перечень основных особенностей этих месторождений, определяющих методику и этапность трёхмерного цифрового геологического моделирования, что составляет, в частности, научную новизну работы.

Глава 4 посвящена описанию конкретных практических примеров оценки качества цифровых геологических моделей месторождений углеводородов, а Глава 5 – созданию ЦГМ с использованием разработанных адресных методических рекомендаций.

Впечатляет разнообразие типов и широта географии исследований: от Восточной Сибири до Северного Кавказа и Поволжья, а также зарубежные месторождения на шельфе Восточно-Китайского моря и в Венесуэле. По каждому из объектов приводится подробное описание процесса оценки качества, а также корректировок, внесённых в модель по результатам экспертизы.

Защищаемые положения подкреплены выводами, вытекающими из приведённых в тексте диссертации результатов исследований. Чрезвычайно важно, что диссертационная работа создана на основе практического опыта работы автора в нефтегазодобывающих компаниях, а все результаты уже внедрены в практику.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.12 – «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений» (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также

оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Закревский Константин Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.12 – «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
директор ФГБУН Института физики  
Земли им. О.Ю.Шмидта РАН