

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геофизики

**«Стохастическое моделирование локальных структур по геофизическим
данным»**

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 261 группы
направление 05.04.01 Геология
геологического ф-та
Андрусенко Максима Сергеевича

Научный руководитель

К. г.-м.н., доцент

подпись, дата

В.Ю. Шигаев

Зав. кафедрой

К. г.-м.н., доцент

подпись, дата

Е.Н. Волкова

Саратов 2021

Введение. В работе рассмотрены возможности вариативного (стохастического) моделирования, которое применяется при построении геологической модели залежи.

Актуальность выбранной темы связана с рядом проблем в области геологоразведочных работ, в частности на этапах разведки и опытно – промышленной эксплуатации месторождений. На этих этапах набор геологической информации очень ограничен (малое количество скважин, сейсмические данные с ограниченной разрешающей способностью и др.). В результате, при попытках оценить запасы выявленных структур, геологи сталкиваются с большой неопределенностью исходных данных. Стохастическое многовариантное моделирование позволяет учесть такие неопределенности и оценить влияние исходных данных на итоговый результат.

Целью выпускной квалификационной работы является построение геологической модели Учебного месторождения с применением стохастического моделирования, с использованием вероятностной оценки запасов. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- проанализировать литературу по тематике работы.
- изучить геологическое строение Учебного месторождения;
- изучить теоретические основы методики стохастического моделирования;
- выполнить построение геологической модели Учебного месторождения;
- сравнить два подхода к оценке запасов углеводородов.

Материалами для исследования и построения геологической модели послужили наборы структурных карт, полученные по сейсмическим данным, результаты интерпретации данных геофизических исследований скважин, информация о геологической изученности Учебного месторождения.

Выпускная квалификационная работа состоит из трех разделов:

геологическая часть, теоретическая часть и практическая часть. В первом разделе приведены общие сведения об изучаемом объекте, история разведки, информация о литолого-стратиграфическом разрезе, тектоническое строение, а также краткие сведения о газоносности разреза.

В разделе о теоретических основах работы описаны основные термины, касающиеся геологического моделирования и этапов построения модели. Приведена информация о стохастическом моделировании и источниках неопределенностей при построении моделей. Плюсы и минусы разных методов оценки неопределенности и их анализ.

Третий раздел представляет из себя практическую часть работы. Здесь описаны два основных этапа подготовки геологической модели, и третий дополнительный – применения метода Монте-Карло при подсчете запасов свободного газа Учебного месторождения. Последний этап является ключевым во всей работе, т.к. представляет собой нестандартный подход к подсчету запасов. Основными отличиями этого метода от классического является большое количество вариантов подсчета и соответственно большой набор результатов.

Научная значимость и новизна работы связана с проблемой решения обратной задачи, которая является одной из основных в областях геофизики и геологии. При построении геологической модели нет верного способа построения. При помощи стохастического моделирования возможно построить набор моделей, при помощи которого возможно выбрать оптимальный набор параметров, подходящих под конкретную геологическую ситуацию. Данный метод дает более точные результаты по сравнению со стандартным детерминистическим моделированием.

Основное содержание работы. Учебное месторождение открыто в 1989 году, по результатам бурения скважин 30, в которых был получен промышленный приток газа.

В 2016 г. в пределах Учебного месторождения были выполнены полевые широкоазимутальные сейсморазведочные работы 3D. Полученные результаты наряду с материалами прошлых лет и результатами исследования скважин позволили уточнить геологическое строение месторождения

Сводный литолого-стратиграфический разрез территории месторождения изучен до глубины 2996 м по материалам бурения скважины № 1, вскрывшей евлановско-ливенские отложения. В геологическом строении месторождения принимают участие породы девонского, каменноугольного, пермского, юрского, мелового, палеогенового и четвертичного (квартер) возрастов.

Учебное месторождение открыто в пределах Алешниковской структуры, входящей в состав Добринско-Иловлинской системы рифов.

Геологическое строение Учебного поднятия закартировано по отражающим горизонтам RC2pd, C2b1, C1tl, C1bb, C1t, D3el, D3ev-lv, D3vr, D3sm2, D3tm.

Структурный план по отражающему горизонту C1bb представляет собой изометричную антиклинальную складку, простирающуюся с северо-запада на юго-восток. Размер структуры по замыкающей изогипсе минус 1620 м составляет 1,68 x 1,34 км, площадь 1,55 кв. км, амплитуда 49 м.

Структурный план по отражающему горизонту D3liv_r представляет собой брахиантиклинальную складку, простирающуюся с северо-запада на юго-восток, и тектонически экранированную с востока. Размер структуры по замыкающей изогипсе минус 2480 м составляет 4,60 x 2,34 км, площадь 6,96 кв. км, амплитуда 202 м

Пласт C1bb бобриковского горизонта представлен комплексом переслаивания аргиллитов, алевролитов и песчаников. Преобладают, составляя до 75 % от общего объема пород, светло-серые песчаники, равномерно неправильно буровато пятнистые, средне-мелкозернистые,

сложенные средне-сортированным угловатым и слабоокатанным материалом кварцевого состава. Отмечаются слойки и прослои аргиллитов углистых, темно-серых, до черных.

Пласт D3ev-D3lv евлановско-ливенского горизонта представлен доломитами светло-буровато-серыми, вишнево-светло-серыми, буровато-светло-серыми, светло-серыми с вишневым оттенком, скрытокристаллическими, с реликтовой детритово-биоморфной, биоморфной (цианофитной или мелкокомковатой), биогермной (водорослевой и водорослево-коралловой) и строматопоро-водорослевой структурами, с неясной субгоризонтальной слойчатостью, плотными, крепкими.

Теоретические основы и понятие геологической модели. Под моделированием понимается реально или мысленно созданная структура, воспроизводящая или отражающая изучаемый объект. Моделирование – это процесс, при котором специалист использует модель для получения информации, на базе которой он может принять разумное решение. Моделирование не заменяет изучение объекта, но может помочь понять основные взаимосвязи происходящих в нем процессов.

В настоящее время ни один проектно-технологический документ на разработку месторождения не выполняется без использования моделирования. Научными организациями ведется большая работа по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей, которые используются для непрерывного мониторинга и оперативного принятия решения по разработке месторождения, планирования буровых работ, сложных и дорогостоящих мероприятий.

Размерность геологических моделей определяется областью их практического использования, детальностью исследования. Различают одномерные (1D), двухмерные, двух с половиной мерные (2.5D) и трёхмерные слоистые и 3D полнообъёмные модели. Ограничимся описанием наиболее применяемых размерностей в настоящее время – одно-, двух- и трёхмерных моделей. На рисунке 1 показана трехмерная геологическая модель.

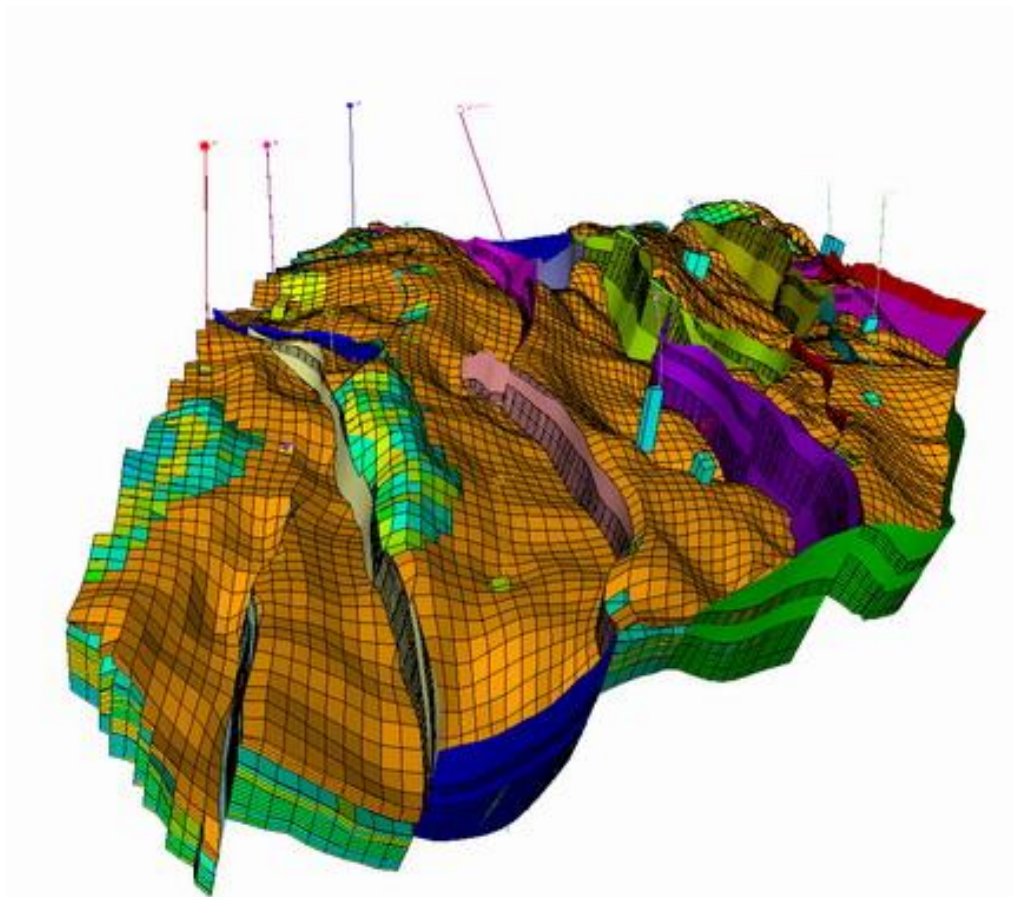


Рисунок 1 – Трехмерная геологическая модель

Основными источниками неопределенности геологических моделей, которая оценивается с помощью технологий стохастического моделирования с оценкой неопределенности (uncertainty assessment), являются:

- неопределенность, связанная с различиями геологических концепций строения месторождения и корреляционных построений;
- неопределенность, связанная с качеством (погрешностями) исходных данных и их интерпретации;
- неопределенность, связанная с различиями алгоритмов построения модели и их установками;
- неопределенность, связанная с эквивалентностью геологических моделей.

На первом этапе были подготовлены все исходные данные необходимые для построения геологической модели. Все эти данные внесены в проект программного комплекса RMS. Следующим этапом была подготовлена двухмерная модель, представляющая собой набор структурных карт и карт

газонасыщенных толщин. На основе этих карт, с помощью формулы 1 объемного метода, были подсчитаны запасы свободного газа по двухмерной модели.

$$Q_z = F \cdot h_{\text{эф}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{г}} \cdot T \cdot \left[\frac{p_0 \cdot \alpha_0 - p_{\text{ост}} \cdot \alpha_{\text{ост}}}{p_{\text{ст}}} \right], (1)$$

где Q_z - начальные геологические запасы свободного газа, млн. м³;

F - площадь залежи, тыс. м²;

$h_{\text{эф}}$ - эффективная газонасыщенная толщина, м;

$K_{\text{п}}$ - коэффициент открытой пористости, дол. ед.;

$K_{\text{г}}$ - коэффициент газонасыщенности, дол. ед.;

T - поправка на температуру;

p_0 - начальное пластовое давление, МПа;

$p_{\text{ост}}$ - остаточное давление, устанавливающееся в залежи, когда давление на устье добывающих скважин будет равно стандартному, МПа;

$p_{\text{ст}}$ - давление при стандартных условиях, принимается равным 0,1 МПа;

$\alpha_0, \alpha_{\text{ост}}$, - поправки на отклонение от закона Бойля-Мариотта, при соответствующих давлениях.

После построения двухмерной модели необходимо выполнить процесс структурного моделирования. Структурное моделирование в программном комплексе RMS используется только в тех случаях, когда залежи осложнены тектоническими нарушениями. Этот процесс позволяет настроить взаимоотношения разломных поверхностей и поверхностей кровли и подошвы пластов.

На основе структурной модели была построена трехмерная геологическая модель, состоящая из большого количества ячеек, которым в процессе моделирования были присвоены параметры пористости, насыщенности, литологии и др. Распределение перечисленных параметров происходило на основе скважинных данных.

Вероятностная оценка запасов методом Монте-Карло: в отличие от классического подхода, при проведении вероятностной оценки, для

вышеперечисленных параметров в формуле 1 объемного метода были заданы законы распределения в соответствии с историческими данными по изменению площади нефтеносности. Кроме того, учитывалась стандартная погрешность в определении коэффициентов пористости (3%) и нефтенасыщенности (5%).

Для проведения оценки запасов по классификации SPE был использован метод Монте-Карло. Он учитывает влияние нескольких параметров и их распределение на итоговый результат.

Входные данные. Для расчета запасов необходимо для каждого параметра задать тип распределения. Распределение вероятностей - это наиболее реалистичный способ описания неопределенности переменных в анализе рисков.

Рассмотрим вероятностные распределения, используемые при оценке методом Монте-Карло:

Нормальное распределение. Нормальное распределение вероятностей особенно часто используется в статистике. В данном случае задается среднее значение и стандартное отклонение. Такое распределение можно использовать для пористости, насыщенности и коэффициента пересчета;

Равномерное распределение полезно при описании переменных, у которых каждое значение равновероятно и принадлежит интервалу [a;b]. Требуется задать минимальное и максимальное значение. Равномерное распределение подходит для параметров: площадь, плотность, пересчетный коэффициент.

Треугольное распределение. Для расчета необходимо определить минимальное, наиболее подходящее и максимальное значения. Данное распределение можно использовать для любого параметра.

Показательное распределение часто используется для описания интервалов между последовательными случайными событиями, которые на обыденном языке можно назвать редкими.

Для толщины и площади был задан треугольный тип распределения, т.к.

разброс этих параметров связан с историческими данными о геометрии месторождения. Для коэффициентов насыщения и пористости задано нормальное распределение с величиной отклонения. Это связано с погрешностью в определении коэффициентов насыщения и пористости по методам ГИС. Коэффициент пересчета имеет минимальное отклонение, т.к. зависит от вполне определенных параметров, таких как пластовое давление, остаточное давление, атмосферное давление при стандартных условиях и др.

Влияние параметров. Применение метода Монте-Карло позволяет оценить степень влияния каждого параметра на итоговый результат. Ниже на рисунке 2 можно наглядно оценить влияние каждого параметра с помощью диаграмм типа торнадо.

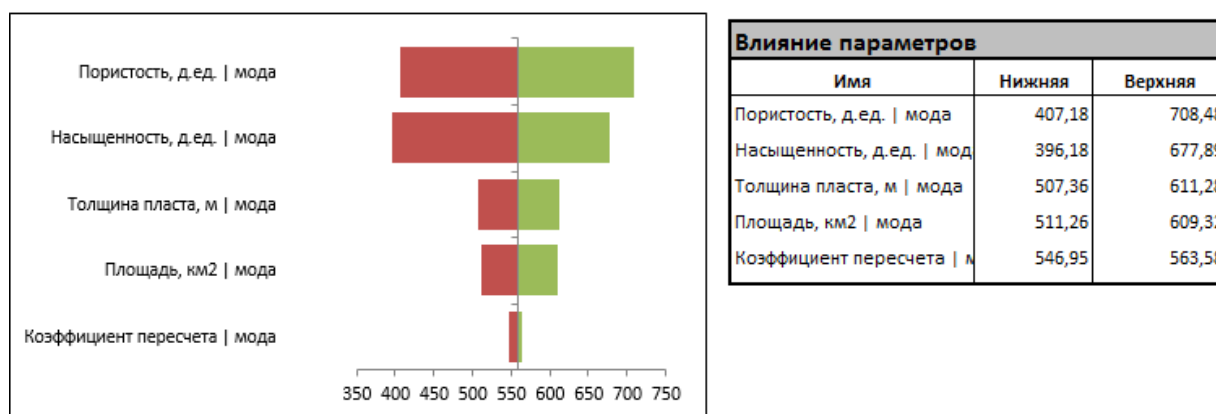


Рисунок 2 – Влияние исходных параметров на итоговую величину запасов газа залежи бобриковского горизонта

Оценив диаграммы, можно сделать вывод, что наиболее сильное влияние на итоговый результат оказывают коэффициенты пористости и газонасыщенности.

Полученные результаты. После расчета и перебора возможных значений исходных параметров, были получены запасы газа залежей по вероятностной модели.

На рисунке 3 показан график, отражающий вероятность риска при определении количества запасов газа в залежи (5% - минимальный риск, 95% - максимальный).

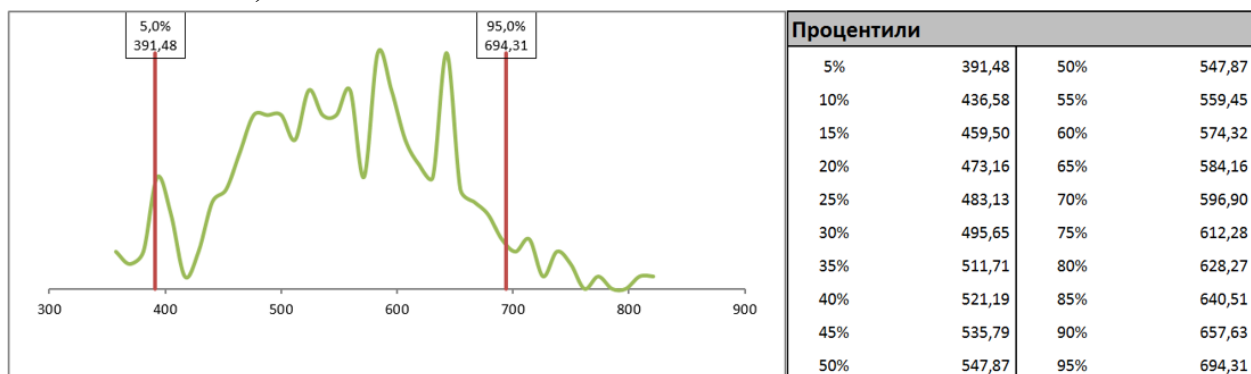


Рисунок 3 – Вероятность риска при определении величины запасов по залежи бобриковского горизонта

Для наглядного сравнения двух подходов к оценке запасов, ниже приведена таблица 3.

Таблица 3 Сравнение детерминированной и вероятностной оценки запасов

Залежь	Детерминированная оценка (млн. м³)	Вероятностная оценка с различной вероятностью риска (млн. м³)		
		10%	50%	90%
С1bb бобриковский горизонт	558	437	548	658
D3ev-D3lv евлановско-ливенский горизонт	4938	4063	4896	5869

Количество запасов по единственному варианту для двух залежей практически совпадает с 50% вариантом вероятностного подсчета, это значит, что с вероятностью в 50% данная величина запасов не подтвердится и будет в действительности меньше. В конечном итоге, в процессе разработки, залежь не отдаст рассчитанного числа запасов, и недропользователь будет вынужден ввести месторождение в консервацию. Или же подготавливать месторождение к списанию с государственного баланса УВ, что на сегодняшний день является трудоемким и затратным мероприятием. По моему мнению, наращивание

запасов по месторождению должно происходить постепенно и обосновано, одновременно с дополнительными геологоразведочными работами. Если недропользователи постепенно перейдут на такой путь, это принесет больше определенности и объективности для ресурсной базы страны, и в значительной степени сократит затраты в результате необъективной переоценки запасов.

Полученные материалы позволяют рекомендовать дальнейшее сравнение результатов подсчета запасов вероятностным и детерминированным методами на месторождениях УВ, расположенных в различных геологических условиях и находящихся на разных этапах эксплуатации и разработки.

Заключение. Практическое использование стохастических моделей возможно благодаря их представительной многовариантности. При этом если генерация нескольких реализаций (многовариантность) на любом этапе геологического моделирования не представляет серьезной проблемы, то получение именно представительного ансамбля часто является сложной задачей. Инженеру, занимающемуся построением модели, необходимо провести детальный анализ имеющихся исходных данных и определить, какие именно составляющие модели могут внести существенную неоднозначность в построении и применить для получения этих составляющих модели технологии многовариантного стохастического моделирования.

В настоящее время недоучет особенностей строения толщи приводит к ошибкам при подсчете запасов, построении традиционной трехмерной геологической модели и проектировании разработки. Таким образом, для принятия более обоснованных решений возрастает значимость достоверности геологической модели, позволяющей прогнозировать положение абсолютных отметок пласта и распространения геологических неоднородностей по площади.