

## **Методика построения геологической модели двойной среды. Неопределенности в оценке объема трещиноватого коллектора и пути решения**

А.А. Трунова<sup>1</sup>, А.А. Гребенюк<sup>1</sup>, К.К. Каримова<sup>1</sup>, А.А. Зелёная<sup>2</sup>, А.Р. Минязева<sup>1</sup>  
(<sup>1</sup>АО «ИГИРГИ»)  
(<sup>2</sup>ООО «РН-БВК»)

### **Цель:**

В рамках данной работы рассмотрена методика построения геологической модели двойной среды, используемая для подсчета запасов, а также ставшая основой для дальнейших расчетов прогнозных технологических параметров вариантов разработки на трехмерной гидродинамической модели.

Основная неопределенность при выборе стратегии разработки и оценки экономической эффективности разработки сложных трещиноватых коллекторов связана с пониманием доли начальных геологических запасов трещинной среды, характеризующейся высокой степенью продуктивности.

Помимо геолого-геофизических методов оценки доли трещин в рамках представленной работы также были использованы:

- данные разработки (время появления воды в продукции добывающих скважин);
- результаты интерпретации данных ГДИС.

Именно эти данные стали способом верификации входных данных, а также результатов, полученных после моделирования.

### **Метод:**

Целевые отложения в пределах месторождения сложены карбонатными породами. Структура пустотного пространства сложная, многокомпонентная, представлена межкристаллическими порами, кавернами, каналами, а также многочисленными трещинами. В связи с этим выделение коллекторов в скважинах выполнялось на основе стандартных и специальных методов ГИС с привлечением данных ГТИ, ПГИ, испытаний, керна. Коллектора с учетом типа емкостного пространства были выделены в несколько этапов:

1. Порово-каверновый тип – коллектора выше граничного значения пористости по объемной модели;
2. Трещинный тип – коллектора, выделенные по данным электрических микроимиджей, а также по приращению волн Лэмба-Стоунли;
3. Трещинно-каверново-поровый тип – интервалы пересечения порово-кавернового и трещинного типов.

Для моделирования данного геологического разреза, с его сложным строением пустотного пространства, и для дальнейшего использования модели в гидродинамических расчетах была выбрана модель двойной среды. Методика моделирования наследует общую схему интерпретации данных ГИС (Рисунок 1).

Так, построение геологической модели было выполнено в два независимых этапа (Рисунок 2).

1. На первом этапе выполнялось классическое моделирование первичного коллектора и его свойств.

К первичному отнесен коллектор, выделенный по граничному значению коэффициента пористости. Его свойства в большей степени определяются обстановками осадконакопления.

Моделирование первичного коллектора и его свойств выполнялось по стандартной схеме, преимущественно стохастическими методами с использованием результатов интерпретации данных ГИС в качестве входных параметров, дополнительно, в качестве трендов, были привлечены результаты регионального лито-фациального анализа.

Можно выделить основные шаги при построении модели первичного коллектора:

- моделирование куба первичного коллектора;
- моделирование куба пористости первичного коллектора;
- моделирование куба нефтенасыщенности первичного коллектора;
- расчет куба проницаемости первичного коллектора.

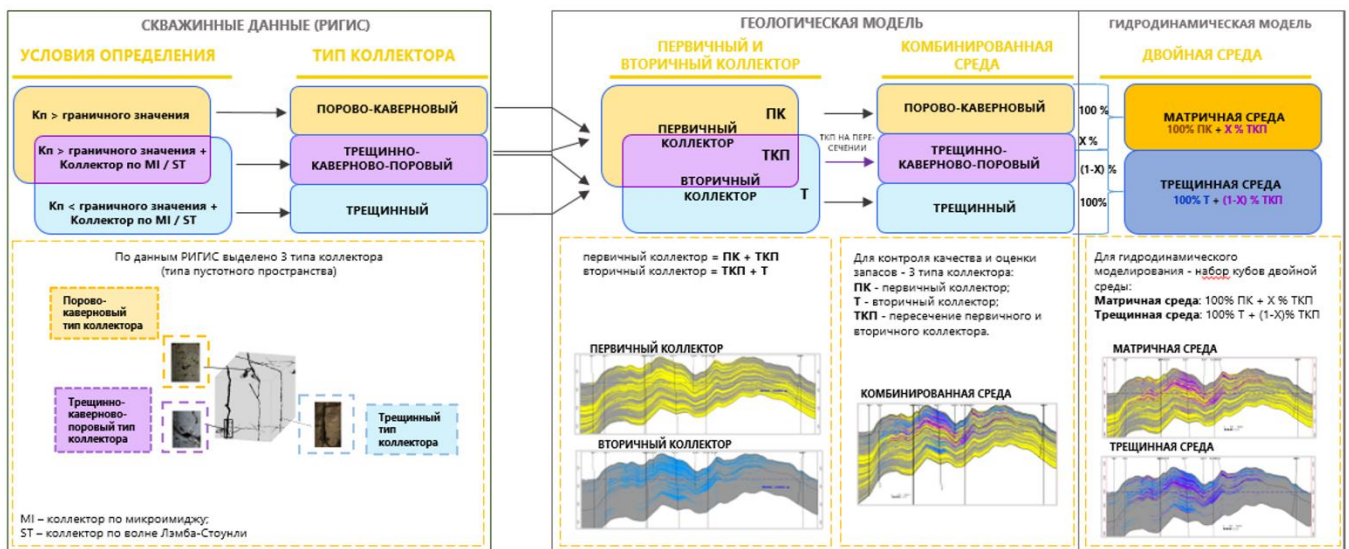


Рисунок 1. Методика моделирования

2. На втором этапе было выполнено моделирование вторичного коллектора и расчет его фильтрационно-емкостных свойств.

К вторичному коллектору отнесены трещины, выделенные по электрическим микроимиджам и/или волне Лэмба-Стоунли. Свойства данного коллектора определяются вторичными изменениями первичного коллектора – постседиментационными преобразованиями и тектоническими процессами, происходившими при развитии территории.

Основными исходными данными на втором этапе построения модели являются результаты интерпретации микроимиджей.

Можно выделить следующие шаги при построении модели вторичного коллектора:

- построение куба вторичного коллектора на основе моделирования интенсивности трещиноватости (P32). Коллектор определяется по граничному значению интенсивности трещин исходя из соответствия скважинным данным;
- создание модели трещин в неявном виде (IFN). В данном случае трещины описаны статистически, моделируются в виде осредненных свойств трехмерного грида.

Входными данными для построения модели трещин стали:

- кубы интенсивностей трещиноватости (P32), определяющие плотность трещин;
- параметры геометрии трещин (длины), принятые по результатам анализа данных наземных съемок;
- параметры ориентации (углы и азимуты падения) и апертур трещин, оцененные и принятые по данным интерпретации микроимиджей, данных компьютерной томографии керна и наземной съемки;
- расчет фильтрационно-емкостных свойств на основе построенной модели трещин.

Итоговый (комбинированный) куб типов коллектора (типов пустотного пространства) является результатом совмещения кубов первичного и вторичного коллектора. Комбинированный куб учитывает 3 типа коллектора, соответствующие выделяемым по данным РИГИС:

- порово-каверновый (ПК) – коллектор, выделенный по граничному значению коэффициента пористости (часть ячеек первичного коллектора);
- трещинный (Т) – коллектор, выделенный по микроимиджам и волне Лэмба-Стоунли (часть ячеек вторичного коллектора);
- трещинно-каверново-поровый (ТКП) – интервалы (ячейки) пересечения первичного и вторичного коллекторов (Рисунок 2).

Комбинированный куб типов коллектора позволяет выполнить контроль качества построенной модели в части соответствия скважинным данным (данным РИГИС).



Рисунок 2. Подход к построению модели двойной среды

### Основные неопределенности в оценке объема вторичного коллектора и пути решения Прогнозные карты интенсивности трещиноватости (P32).

В рамках проекта была выполнена работа по обобщению и комплексному анализу разномасштабных данных по исследованию трещиноватости: керна, микроимиджей, наземной съемки, истории тектонического развития территории, а также информации о направлении развития региональных стрессов. Выполненный анализ позволил сформировать концептуальное представление о развитии систем трещин района работ. Концептуальная модель позволила из большого количества сейсмических атрибутов выбрать тот, что отражает закономерности распределения свойства трещиноватости по площади, а не только ориентируясь на наличие корреляционных связей с параметром трещиноватости (P32) по скважинным данным.

Таким образом, результатом выполненной работы стали прогнозные карты интенсивности трещиноватости (P32), используемые для контроля распределения свойств в межскважинном пространстве при моделировании вторичного коллектора.

#### Определение доли коллекторов трещинной среды.

Основная неопределенность, несмотря на освещенность скважин специальными методами ГИС (такими как электрические микроимиджи и АКШ), заключается в оценке запасов, приуроченных к трещинной среде. При реализации геологического моделирования, данная задача сводится к определению принадлежности коллекторов к матричной или трещинной среде. В этом случае необходимо применение детального комплексного (мультидисциплинарного) подхода к анализу данных.

В представленной работе были использованы фактические данные разработки, а именно, время появления воды в продукции добывающих скважин. В рамках выполнения работы до этапа построения геологической модели был выполнен анализ чувствительности времени появления пластовой воды от доли запасов трещинной системы. Появление пластовой воды в даты, соответствующие фактическим, было получено при доле запасов в трещинах, равной величине  $Y\%$ .

Параллельно была выполнена интерпретация данных ГДИС. В результате которой были получены значения параметра омеги – доли запасов трещинной среды от суммарных по обеим средам. Полученное значение хорошо сопоставляется с величиной  $Y\%$ , оцененной по данным разработки. Параметр омега в некотором приближении отображает объем (долю) коллектора трещинной среды в районе исследуемых скважин, поэтому может использоваться в качестве опорной доли при моделировании вторичного коллектора.

В качестве контроля выполнена верификация входных данных и результатов геологического моделирования методом сравнения оценки доли запасов трещинной среды с полученными расчетными данными омеги.

### *Трещинно-каверново-поровый тип коллектора.*

Как уже было сказано выше, интервалы пересечения первичного и вторичного коллекторов представляют собой трещинно-каверново-поровый тип (ТКП). При выполнении данной работы основной проблемой стала невозможность оценить долю трещинной и порово-каверновой составляющих данного типа на этапе интерпретации ГИС.

Таким образом, при создании массивов данных двух сред – матричной и трещинной, для последующих гидродинамических расчетов, в данной работе был рассмотрен подход разделения типа ТКП между средами в некоторых пропорциях.

Распределение объемов ТКП между матричной и трещинной средой стало одним из инструментов интегральной адаптации модели (включающей в себя настройку отборов и пластового давления) на этапе гидродинамического моделирования.

При долях типа ТКП, распределенного между средами по результатам интегральной адаптации гидродинамической модели, полученное значение омеги в целом по месторождению близко значению, полученному по данным разработки и интерпретации ГДИС.

Стоит отметить, что трещинно-каверново-поровый тип коллектора трещинной среды характеризуется повышенными емкостными свойствами первичного коллектора (данные РИГИС) и фильтрационными свойствами трещин (расчет по модели трещин, и калибровка на данные ГДИС) (Рисунок 3).

Параметр		Первичный коллектор		Вторичный коллектор	
Тип коллектора (тип пустотного пространства)	<b>COLL</b>	<b>ПК</b>	<b>ТКП</b>	<b>ТКП</b>	<b>Т</b>
Доля коллектора	<b>NTG</b>	1.0	X	(1-X)	1.0
Коэффициент пористости	<b>PORO</b>	РИГИС (объемная модель)		РИГИС (объемная модель)	модель трещин (Fracture Network)
Проницаемость	<b>PERM</b>	петрофизическая зависимость		модель трещин (Fracture Network)	
Коэффициент нефтенасыщенности	<b>SOIL</b>	РИГИС		РИГИС	константа

Рисунок 3. Кубы свойств двойной среды: данные для оценки запасов и ГДМ

### *Толщина (объем) вторичного коллектора.*

В результате первой итерации моделирования учитывались все трещины, выделенные по данным пластовых микросканеров. В этом сценарии модельное значение омеги оказалось значительно выше полученных по ГДИС.

Следующей итерацией выполнялась настройка количественных характеристик трещин на данные ПГИ. Уточнение граничного значения раскрытости продуктивных трещин по данным ПГИ позволило обосновать граничное значение апертуры трещин и привело к сокращению доли вторичного коллектора в модели. Как результат были получены значения омеги, сопоставимые с данными ГДИС.

Однако, стоит отметить, что используемая отсечка по апертуре применима при текущей изученности исследованиями ПГИ и может быть уточнена по мере появления новых данных.

### *Классы трещин.*

На стадии интерпретации данных ГИС (микроимиджи), используя детальный анализ кернового материала, выделенные трещины были разделены на 3 класса в соответствии с их генезисом, диагенетическими особенностями и влиянием на фильтрационно-емкостные свойства.

К первому классу отнесены крупные секущие трещины, характеризующиеся большей раскрытостью и наиболее существенно влияющие на проницаемость.

Ко второму классу отнесены внутрипластовые трещины и кливаж, а также трещины с развитием кавернозности. Их степень влияния на проницаемость можно оценить как среднюю.

К третьему классу отнесены трещины стилолитизации и растворения, частично залеченные трещины, а также хаотичные фрагментарные трещины. Данный класс характеризуется невысокой раскрытостью и, соответственно, меньшим влиянием на проницаемость.

Выделение отдельных классов трещин позволило гибко и независимо настраивать фильтрационно-емкостные характеристики трещин при построении модели двойной среды для дальнейшего использования в гидродинамическом моделировании.

#### *Коэффициент пористости.*

В исходном (историческом) варианте была построена модель трещин на основе одного класса. Ввиду отсутствия данных по обработке и интерпретации микроимиджей по всем скважинам, выполненных в едином ключе, статистические параметры апертур были определены и заданы по одной скважине. В результате трещинная пористость характеризовалась крайне низкими значениями, что не позволило воспроизвести фактические данные по добыче.

Поскольку для расчета пористости по модели трещин используется несколько параметров, были выбраны и протестированы 3 различных варианта:

- увеличение длины трещин: не показало влияние на ФЕС при моделировании трещин в неявном виде (IFN);
- увеличение раскрытости трещин: для получения требуемых значений пористости, необходимо задание физически необоснованных величин раскрытости;
- увеличение интенсивности трещин: было принято в качестве адаптационного параметра, интенсивность увеличена применением карты множителей.

Таким образом, хотя искусственное увеличение интенсивности трещиноватости позволило воспроизвести данные разработки на текущую дату, но также привело и к повышению значений коэффициента пористости (емкости) и, соответственно, запасов трещинной среды. В результате чего данный вариант геолого-гидродинамической модели не смог предсказать появление воды в добывающих скважинах – согласно расчетам, ее появление прогнозировалось на несколько лет позже.

В рамках текущей работы значения пористости, необходимые для воспроизведения данных по добычи на ГДМ, были получены без накрутки интенсивности в результате:

- интерпретации данных микроимиджей по всем скважинам, позволившей корректно оценить статистические параметры апертур трещин;
- применения граничного значения по апертуре: трещины малой раскрытости были отсечены, увеличив тем самым среднее значение апертуры, задаваемое при построении модели трещин;
- выделения и моделирования трех классов трещин: по встроенным алгоритмам Petrel пористость рассчитывается по каждому классу и затем суммируется.

#### *Проницаемость.*

Проницаемость не является подсчетным параметром, определяющим запасы трещин, однако, является ключевым параметром, влияющим на процесс разработки.

Также, проницаемость представляет собой свойство, характеризующееся высокой степенью неопределенности. Значения, полученные на образцах керна, характеризуются значительным разбросом данных, обусловленным, вероятнее всего, неоднородной структурой порового пространства. Определить значения проницаемости именно трещинной среды и оценить связь  $K_{пр}=f(K_p)$  можно лишь с высокой степенью условности. В текущей работе для понимания значений проницаемости, характеризующих трещинную среду использованы результаты интерпретации данных ГДИС.

При построении модели трещин расчет и распределение проницаемости было задано как функция от раскрытости (апертуры трещин). Однако, проницаемость, рассчитываемая по встроенным алгоритмам Petrel на основе модели трещин, характеризуется значениями на несколько порядков выше реально возможных. Так, для получения физических величин расчетные модельные значения проницаемости были откалиброваны на данные ГДИС.

#### **Результат:**

Результатом выполненной работы стала геологическая модель, на основе которой была выполнена оценка геологических запасов, как отдельно по типам коллектора (типам пустотного пространства), так и по средам (матрица / трещины). Массивы данных двойной среды стали также основой для дальнейших гидродинамических расчетов. В данной работе использован подход разделения типа ТКП (пересечение первичного и вторичного коллекторов) в долях, обоснованных по результатам интегральной адаптации гидродинамической модели.

При построении геологической модели был использован детальный комплексный анализ всех имеющихся геолого-геофизических данных, позволивший увязать разномасштабную информацию и получить представление о развитии трещиноватости в пределах района работ - прогнозные карты интенсивности трещиноватости.

Исходное понимание доли трещин, оцененной на основе интерпретации ГДИС и анализе фактических данных по разработке, стали способом верификации входных данных и результатов моделирования в условиях высокой степени неопределенности и неоднозначности интерпретации сложного геологического разреза.

Итоговая геолого-гидродинамическая модель (ГГДМ) позволила воспроизвести фактические данные разработки, в особенности настроить появление воды в продукции добывающих скважин и, таким образом, использовать данную модель для дальнейших расчетов прогнозных технологических параметров по вариантам разработки. Создание данной ГГДМ удалось выполнить с минимальным количеством итераций между геологической и гидродинамической моделями.