

Системный подход к изучению нефтегазоносных пластов

Комплексная геологическая модель

Лекция 4

Казахский Национальный Исследовательский
Технический Университет,
Кафедра “Геофизики”

Комплексная геологическая модель

Литологическая модель

Структурные и стратиграфические модели пласта дают представление об основных особенностях геометрии месторождения.

Следующая первостепенная по значимости задача – заполнение базовой геометрической модели данными по литологии пласта и характеру её изменения. Подробная литологическая модель представляет собой мощный инструмент для изучения распределения петрофизических свойств, так как в большинстве случаев литологические фации и петрофизические характеристики пласта тесно взаимосвязаны.

Этот подход исходит из предпосылки, согласно которой литологическая изменчивость является более предсказуемой, чем прямое распределение петрофизических свойств.

В большинстве случаев литологическая модель пласта строится за счет интеграции концептуального представления (седиментологическая модель), стадии классификации (определение фаций) и вероятностного подхода к распределению литологии (стохастическая модель).

Концептуальная седиментологическая модель

Седиментологическое изучение пласта включает в себя две основные стадии.

- **Описание и классификация лиофаций.** Эта работа проводится на имеющимся керновом материале и имеет своей целью классификацию пород по литолого-седиментационным признакам. Определяемые на данной стадии фации часто становятся основными элементами пласта. Родственные дисциплины – биостратиграфия, палинология, минералогия, ФЕС и геохимия являются источником дополнительной информации о возрасте пород, обстановке седиментации, геометрии системы пор, наличия и влияния постседиметационных процессов и т.д.
- **Построение модели осадконакопления.** Предполагает определение условий осадконакопления пласта (речные, дельтовые, мелководно-морские), а также соответствующих процессов (сильные или слабые течения, лавинное осадконакопление) в результате которых сформировался данный пласт. Анализ текстуры и внутренней структуры породы также позволяет понять процесс образования трещин и деформаций.

Комплексная геологическая модель

Седиментологическая модель пласта строится в процессе тщательного анализа имеющихся образцов керна, интерпретация ГИС, данные сейморазведки и результаты изучения обнажений.

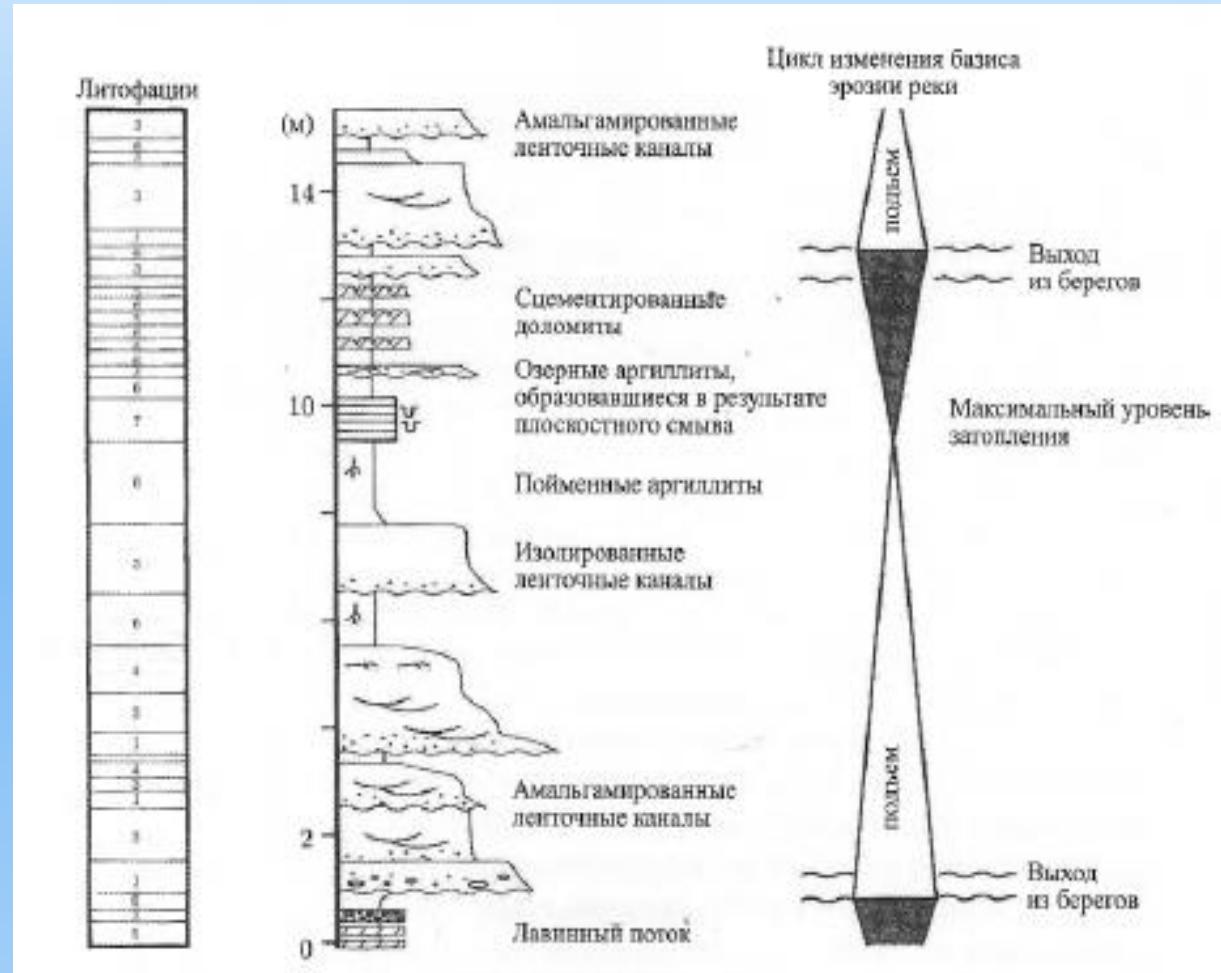


Рис.4.1: Седиментологическая модель и классификация фаций

Комплексная геологическая модель

На рис. 4.1. показан пример седиментологической модели, полученный из описаний керна и сведенный в классификационную схему, где номер каждой фации (левая колонка) соотносится с определенными литологическими свойствами и типами осадконакопления. Также следует отметить связь со сиквенс-стратиграфией (правая колонка).

Классификация фаций

Фация- это основная структурная единица геологического моделирования. В прошлом детальное описание фаций по скважинам было сложно распространить на весь пласт, так как для подобной экстраполяции не было иных методов, кроме детерминистической корреляции по скважинам. Поэтому схема классификаций фаций оставалась хорошим теоретическим основанием.

С появлением 3D стохастического моделирования роль фаций возросла. Возможность создания 3D модели распределения фаций позволяет более реалистично представить литологическую сложность месторождения, а также с большей степенью достоверности определить распределение петрофизических свойств на различных участках.

Следует отметить, что выделяются различные виды фаций: литофации или петрофации (определение по керну), электрофации (определяемые по ГИС), сейсмофации (по данным сейсморазведки), типы горных пород и литотипы (группы фаций).

Определение и классификация фаций

Разграничение между фациями коллектора и неколлектора основывается на граничном значении. В сложных случаях на базе анализа керна и ГИС может быть выделено большое количество фаций, которые затем распределяются по всему месторождению при помощи стохастических моделей.

Самым простым способом определения схемы классификации фаций является анализ ГИС, когда для продуктивных и непродуктивных выбирают граничные значения по стандартизованному набору каротажных диаграмм. В простых песчано-глинистых пластах этот метод позволяет быстро и эффективно выделять фации (рис.6.2).

Комплексная геологическая модель

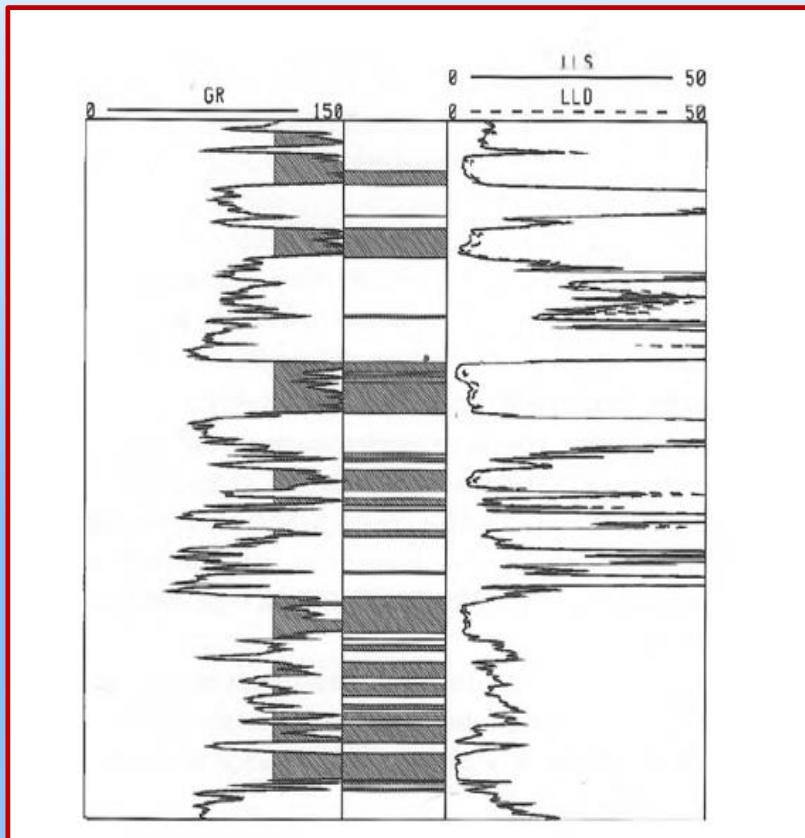


Рис. 4.2. Выделение фаций по каротажу с применением граничного значения

При наличии высококачественных данных (комплекса ГИС и керна) можно применить более сложный подход, основанный на многопараметрической статистической обработке данных. В этом случае стандартная процедура классификация фаций распадается на следующие основные этапы (рис.4.3).

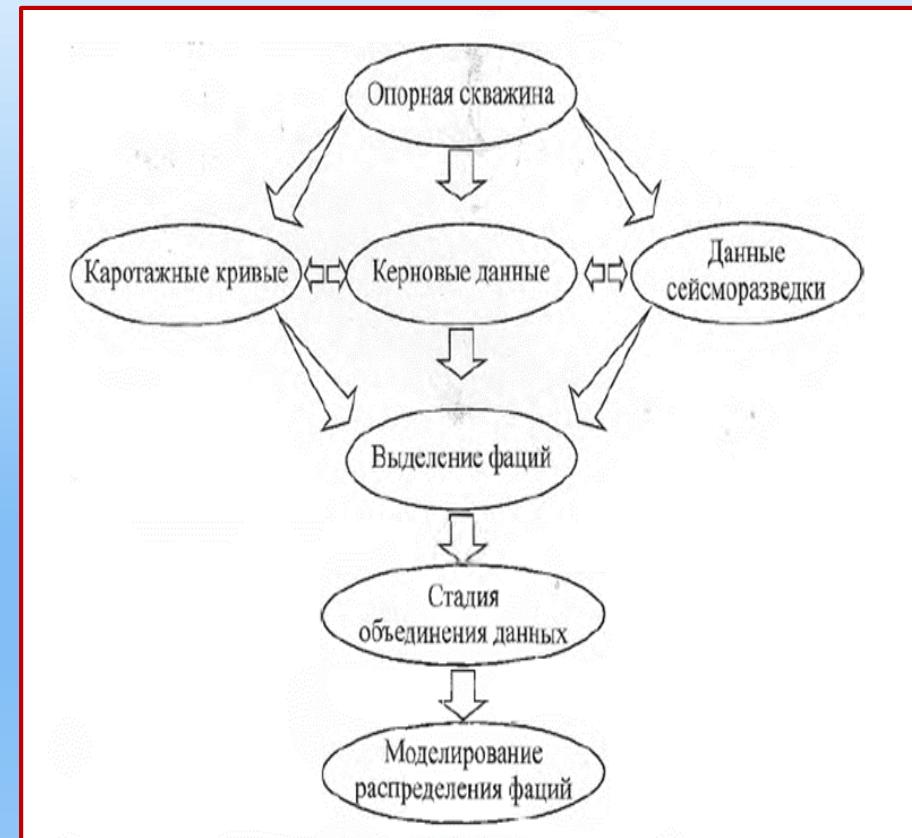


Рис.4.3. Упрощенная схема процесса классификации фаций

Комплексная геологическая модель

Определение опорных скважин. Классификация составляется с учетом ограниченного числа опорных скважин, для которых имеются данные керна, качественный и полный комплекс ГИС и которые пробурены на представительных участках пласта.

Классификации фаций. Фации выделяются по литологическим, седиментологическим и петрофизическим данным. Затем эта схема классификации увязывается с данными ГИС, где каждому виду фаций соответствует определенная форма кривой. Возможен и другой путь, когда фации выделяются по каротажу, а затем уточняются путем точного сопоставления с керном. При таком подходе обычно используют такие статистические алгоритмы, как кластерный анализ

Следующий шаг предполагает уменьшение количества фаций путем сведения к литотипам. Преимущество такого подхода заключается в более простом описании геологической модели, что облегчает стохастическое моделирование.

Объединение данных по оставшимся скважинам. Окончательная схема классификаций может распространяться на оставшиеся скважины, по которым обычно имеется более старый или неполный комплекс ГИС. Интерпретация этих скважин предполагает определенную процедуру выделения фаций по имеющимся кривым ГИС.

На рис.4.4. показан типичный кросс-плот плотностного и нейтронного каротажей для определенной группы опорных скважин на котором области точек были выделены с помощью кластерного анализа. Эта методология позволяет создать фациальные колонки для каждой скважины, основываясь на данных каротажа. В свою очередь, такие фациальные колонки лягут в основу последующего 3D моделирования пласта.

Выделение фаций

Стадия выделения ставит цели определения типичных литологических, седиментологических и петрофизических параметров для каждой фации. Для этого могут быть использованы все доступные данные, минералогический состав, осадочные структуры и текстуры, диагенетические эффекты, гранулометрия и механические свойства, вид и степень трещиноватости, а также другие свойства горной породы, такие как коэффициент цементации, функции насыщенности и т.д.

Комплексная геологическая модель

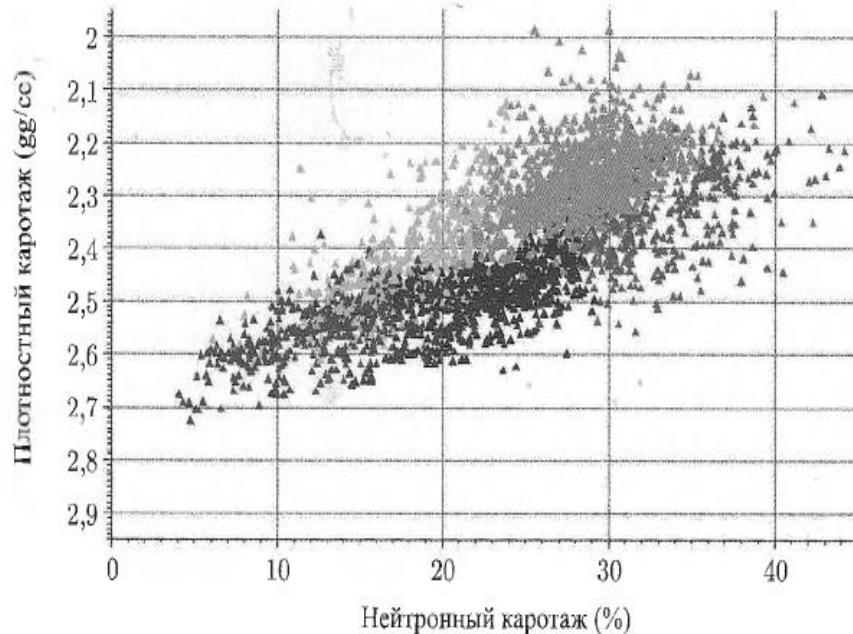


Рис.4.4. Выделение фаций по кросс-плоту плотностного и нейтронного каротажей

Однако такая детальная характеристика может осуществляться только на уровне керна и при попытке переноса на уровень каротажа она в значительном объеме теряется.

Некоторые из свойств, которые использовались для выделения фаций на уровне керна просто не различимы на каротажных диаграммах из-за недостаточной разрешающей способности и ограничений, связанных с применением скважинного прибора.

В любом случае, чем больше в наличии каротажных кривых и чем выше их качество тем меньше информации будет потеряно на стадии выделения тем более подробной будет получившаяся схема классификаций фаций. Например, когда доступны только кривые ПС и устаревшие методы удельного электрического сопротивления, единственная информация, которую мы можем перенести с уровня керна на уровень ГИС – это простое литологическое разделение на песок и глину.

Комплексная геологическая модель

Однако, когда существуют более современные методы, такие как плотностной, нейтронный, акустический и фотоэлектрический каротажи стадия выделения фаций может быть более детальной, и в этом случае будут объединять информацию о значимых, литологических и петрофизических свойствах горных пород.

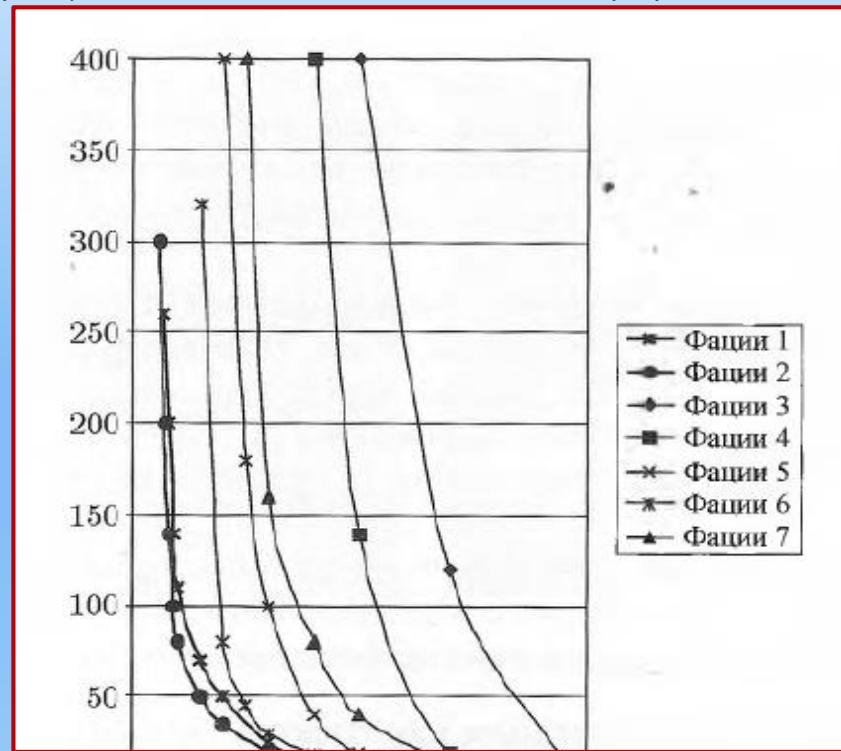


Рис.4.5. Кривые водонасыщенности относительно глубины для различных фаций

На рис. 4.5 представлен пример выделения фаций, когда для каждой из них были определены соответствующие капиллярные кривые. Эти кривые могут использоваться при последующих стадиях изучения, обычно при расчете геологических запасов нефти и для использования кривых капиллярного давления при построении гидродинамической модели.

Комплексная геологическая модель

Понятие фации

Принципиальная значимость понятия фация состоит в том, что это позволяет объединить все пластовые макромасштабные данные в простую, гибкую и всеобъемлющую систему классификаций. Соответственно в данном контексте фация может считаться **элементарной практически значимой единицей объема пласта** и представляет собой базовый элемент для 3D геологического моделирования.

Понятие фация особенно удобно для комплексного изучения ФЕС коллекторов. Как только составлена схема классификации и выявлены все фации посредством объединения данных керна, каротажа, данных сейсморазведки, эти фации могут использоваться на нескольких стадиях типичного исследования:

- ❖ **Трехмерное моделирование.** Фации могут применяться в трехмерном описании пласта для геологического моделирования, наиболее типичный случай применения понятия фации.
- ❖ **Количественная интерпретация каротажных данных.** Для каждой фации или группы фаций может быть создана особая модель интерпретации с применением минералогических (плотность скелета) и/или параметров насыщенности (m,n). Затем эти модели могут применяться при количественной интерпретации данных всех скважин, позволяя таким образом подробно и последовательно оценить петрофизические свойства пласта.
- ❖ **Ремасштабирование.** Выделение фаций дает основание для операций ремасштабирования. При переходе от масштаба геологической к масштабу гидродинамической модели выделение фаций может свести к минимуму возникающий эффект сглаживания, так как геометрия гидродинамической модели может основываться на мелкомасштабной трехмерной схеме распределения фаций.

Чем более однородным является распределение фаций в пределах одного гидродинамического слоя, тем менее критичным будет процесс осреднения петрофизических свойств при ремасштабировании. Эта также позволяет гарантировать, что при увеличении масштаба геологические и петрофизические особенности пласта будут сохранены. В этом процессе могут применяться такие инструменты, как геолого-статические разрезы (ГСР).

- ❖ **Определение типов пород.** Хотя применительно к фациям (которые являются дискретными переменными) нельзя использовать процедуру ремасштабирования, схема распределения фаций может применяться как образец при создании гидродинамической модели для того, чтобы определить основные зоны для соотнесения определенных параметров функций насыщенности (относительная проницаемость и капиллярное давление. Эта стадия именуется определением типов пород.

Комплексная геологическая модель

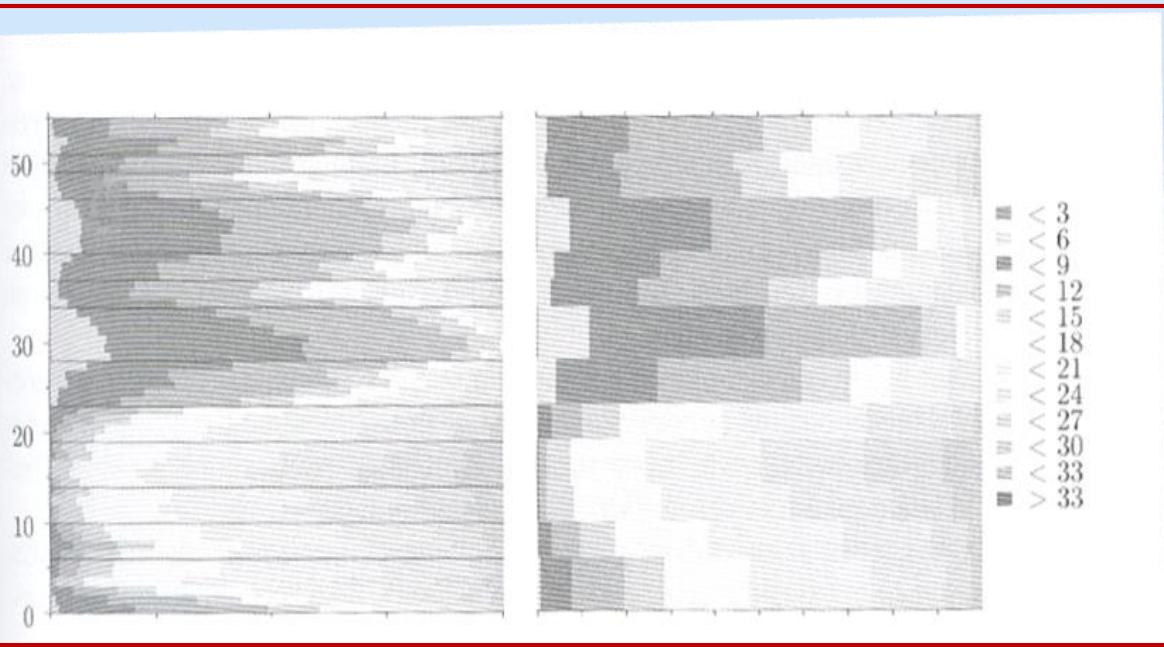


Рис. 4.6. Ремасштабирование с использованием ГСР (геологостатического разреза)

Порода может быть определена и полностью описана в мелком масштабе, и эта система классификации может применяться на различных этапах проекта. С этой точки зрения фация может считаться инструментом для переноса геологических данных через различные стадии работ, вплоть до построения гидродинамической модели. Точно передавая геологические и петрофизические параметры, фация позволяет обеспечить последовательность технологического процесса изучения пласта.

Распределение фаций

После составления схемы классификации фаций и получения описания скважин с вертикальным распределением фаций, следующая стадия предполагает создание 3D моделей распределения фаций применительно к пласту. Геометрическим основанием для этой модели является стратиграфическая сетка 3D модели распределения фаций основываются на стохастическом моделировании.

Комплексная геологическая модель

Стохастический подход

По стохастическим моделям понимается создание комплексных геологических структур и/или распределение петрофизических свойств которые адаптируются к имеющейся количественной (точной) и качественной (условной) информации о пласте.

Эти модели позволяют получить неуникальные, равновероятностные реализации, которые обладают общими статическими свойствами и воспроизводят возможные изображения геологической сложности пласта. Изучение статической изменчивости различных изображений, осуществленное на значительном количестве реализаций, позволяет установить меру неопределенности, присущую геологическому описанию.

Во всех случаях стохастическое моделирование представляет собой наиболее подходящий подход для комплексного изучения пласта, поскольку он позволяет объединить большую часть доступной информации. При этом следует выделить следующие моменты:

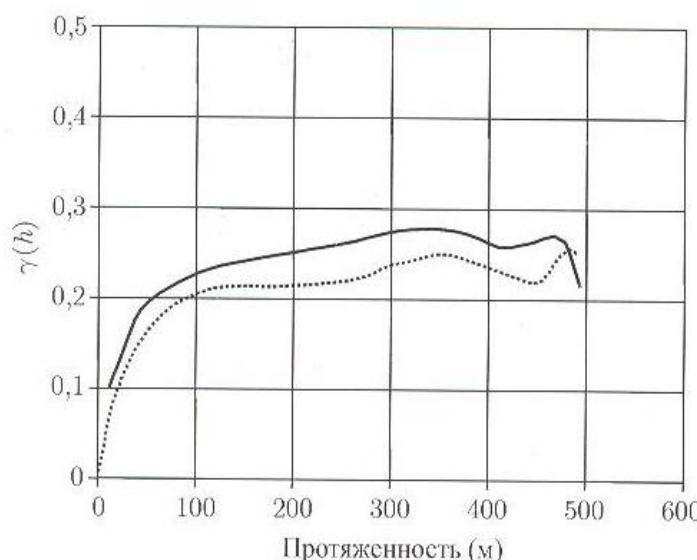


Рис.4.7. Экспериментальные вариограммы для двух фаций

Комплексная геологическая модель

Геологическая информация. В стохастической модели пространственное распределение геологических единиц создается с помощью функций распределения различных фаций (например, ГСР и вариограмм, рис.4.7). Эти функции определяют средние протяженности по вертикали и латерали каждой из фаций, а также их взаимоотношения, они строятся с применением качественных скважинных данных.

Модель осадконакопления пласта – еще одно средство, позволяющее вывести протяженность фации (например, радиус вариограмм) или усредненные размеры единиц в условиях дефицита точных данных. Обосновано предположение, опирающееся на изучение аналогов или обнажений пласта, могут сыграть известную роль при определении таких величин протяженности.

Структурная модель. Мегамасштабные структурные особенности, такие как основные разломы определяются детерминистически по данным сейсморазведки, макромасштабные особенности, такие как второстепенные разломы и трещины могут воспроизводится стохастическим моделированием. Характерные для этих особенностей параметры, такие как плотность и ориентация, определяются по данным кернового анализа и каротажу, а затем экстраполируются по всему пласту при помощи различных вероятностных подходов (рис. 4.8).

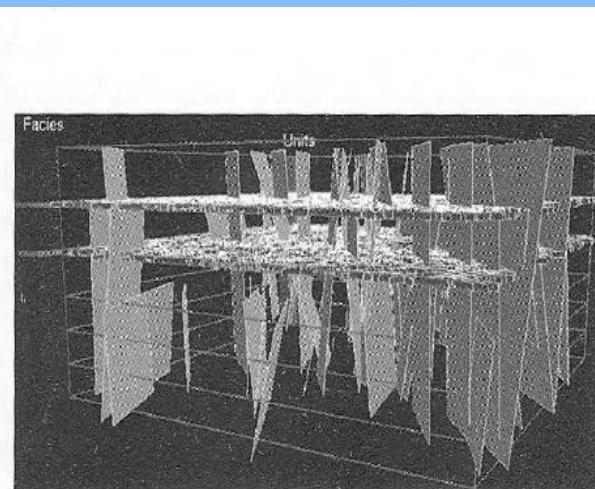
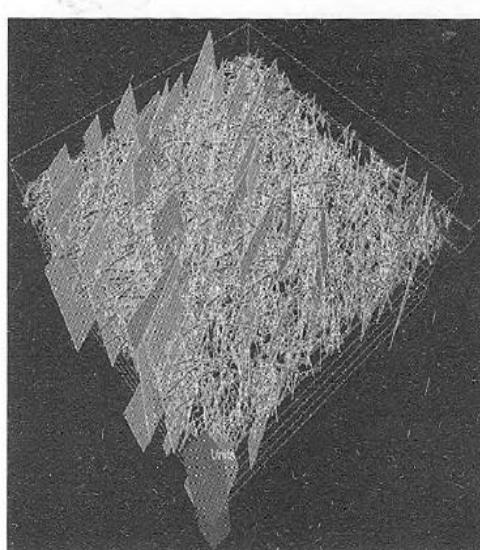


Рис.4.8: Масштабные детерминистические разломы и мелкомасштабные вероятностные стилолиты

Комплексная геологическая модель

- **Петрофизическая модель.** Петрофизическая модель коллектора может распространяться на пласт путем стохастического моделирования. Это может быть сделано за счет присваивания средних петрофизических свойств или функций распределений вероятностей каждой фации. В случаях, когда литология относительно равномерно распределяется по месторождению, этап распределения фаций может быть пропущен, и стохастическое моделирование может производиться прямо на основании петрофизических свойств.
- **Данные сейсморазведки.** Преимущество сейсморазведки- получение представлений о латеральном распределении геологических тел. Интеграция сейсмических данных может осуществляться разными способами, от простого расчета поведения пространственного распределения фаций по времени, амплитуды или импеданса и до непосредственного объединения этих данных в фактический алгоритм моделирования.
- **Динамические данные.** Интеграция динамических данных (испытаний скважин и данных добычи) представляет собой самую сложную область вероятностных методов, потому , что являются источниками информации о движении флюидов в крупном масштабе, которая играет огромную роль в построении достоверной модели пласта.

Возможность объединения всех имеющихся видов пластовых данных делает метод стохастического моделирования мощным инструментом описания пласта.

Моделирование, основанное на пиксельном (или непрерывном) и объектно-ориентированном (или булевом) подходе

В модели, основанной на пиксельном алгоритме, предполагается что моделируемая переменная является реализацией непрерывной случайной функцией, распределение которой часто характеризуются фиксированными пороговыми значениями, которые идентифицируют различные фации или имеют различные диапазоны петрофизических данных. Самыми популярными из них являются усеченные гауссовые случайные функции и индикаторный крикинг.

Лучше всего данный метод работает при наличии комплексов фаций, которые изменяются по всему месторождению в незначительных пределах (дельтовые и мелководно-морские коллектора). Никакие предположения о форме осадочных тел не делается. В случаях, когда общий коэффициент песчанистости является высоким, этот подход предпочитают объектному (рис.4.9).

Комплексная геологическая модель

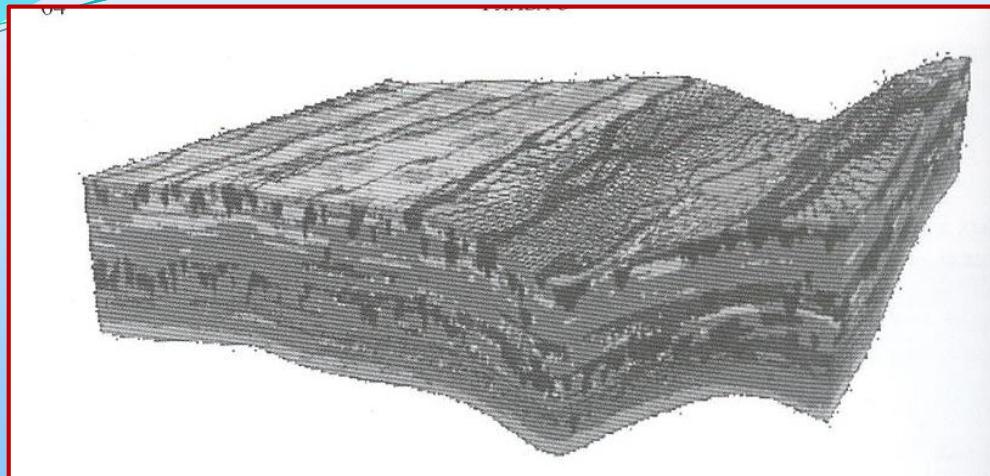


Рис.4.9. Модель дельтового пласта на
Основе усеченных гауссовых случайных
функций



Рис. 4.10. Объектная модель дельтовых
отложений (с разрешения Beicip-Franlab)

Рис. 3.19. Объектная модель дельтовых отложений (с разрешения Beicip-Franlab)

Комплексная геологическая модель

Объектно-ориентированные алгоритмы создают модели пространственного распределения осадочных тел за счет совмещения простых геометрических форм, таких как плоскости, круги, синусоиды, которые обычно моделируются в пределах глинистых фаций.

Параметры этих объектов (ориентация, извилистость, длина, ширина....) могут определяться на основе предполагаемой седиментологической модели, данных сейсморазведки, аналогии с обнажениями или интерпретации данных испытаний.

В ряде случаев, особенно в меандрирующих руслах, песчаные каналы – это главный объект изучения пласта, эти модели могут давать очень достоверные изображения распределения фаций. Наиболее успешным применение этого метода оказывается при низких значениях песчанистости. (рис.4.10).

Оценка геологической неопределенности

Играет ключевую роль при определении геологических запасов нефти. При этом комбинация нескольких реализаций различных геологических параметров позволяет получить представление о возможных вариациях объема содержащейся в пласте нефти.

На рис. 4.11 приведен пример нескольких интегральных функций распределения геологических запасов нефти, полученных с использованием различных методов геологического описания данного пласта. Заметьте, что значительное колебание среднего значения в данном случае связано с ограниченным числом имеющихся в наличии скважин.

Очень важный момент — это фактическая область неопределенности исследуемого объекта. Применительно к типичной геологической модели можно выделить четыре основных источника неопределенности:

1. Неопределенность, связанная с качеством данных и интерпретации.

Мы знаем, что исходные данные о пласте изначально имеют некоторую долю ошибки, однако мы крайне редко пытаемся определить, какое влияние это оказывает на конечные результаты. Когда заходит речь об оценке неопределенности, эти данные считаются безошибочными. То же самое характерно и для стадии интерпретации.

Комплексная геологическая модель

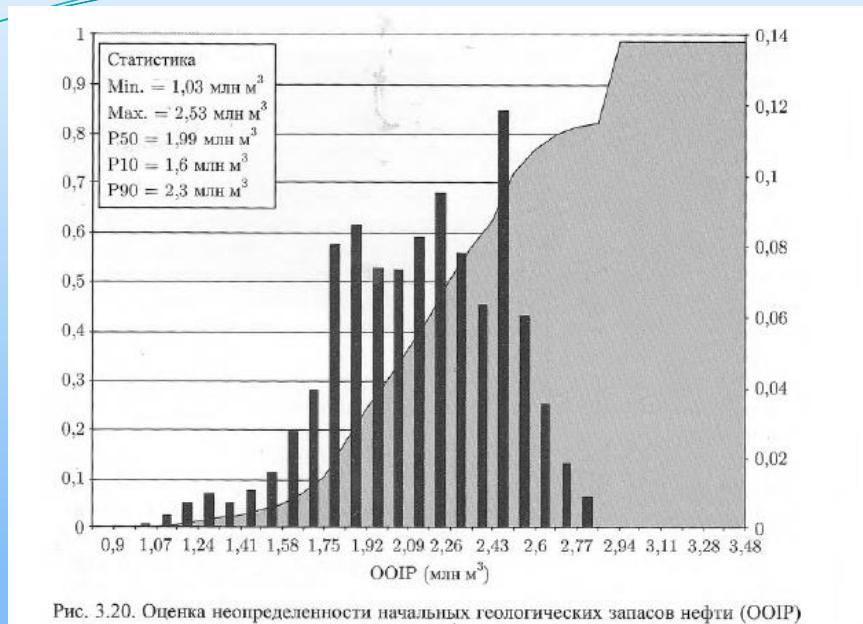


Рис. 3.20. Оценка неопределенности начальных геологических запасов нефти (OOIP)

Неопределенность, связанная со стохастической моделью и ее параметрами.

Хотя известно, что структурная интерпретация месторождения в значительной мере является неопределенной. Построение структурной модели практически всегда осуществляется с применением детерминистского подхода, который не позволяет учесть неопределенность.

Неопределенность стратиграфической модели связана, главным образом, с достоверностью детерминистически коррелируемых поверхностей, проведенных по скважинам, поэтому ее влияние зависит от числа скважин и особенностей осадконакопления в данном пласте.

Одна и та же геологическая единица может быть представлена посредством различных стохастических моделей, например, методом индикаторным моделированием. Применение каждой стохастической модели приводит к различным результатам, и, как таковая, каждая модель дает представление об определенной части области неопределенности (хотя области, охваченные при применении различных алгоритмов, должны в значительной степени пересекаться). Выбор в пользу той или иной модели зависит от взглядов геолога, проводящего моделирование, потому что никаких особых правил в данном случае не существует.

Неоднородность коллекторов

4. Неопределенность, связанная с равновероятностными реализациями.

Этот вид неопределенности обычно встречается при стохастическом моделировании. В общем случае влияние неопределенности, связанной с различными реализациями некоторой случайной функции, незначительно по сравнению с обсуждавшимися до этого факторами.

Вывод: Всесторонняя оценка неопределенности, характерной для определенной геологической модели, должна учитывать большое число параметров. Хотя на практике не имеет смысла это применять, важно понимать, что то, что мы обычно называем оценкой неопределенности, на самом деле представляет собой лишь ограниченное видение проблемы.

Неоднородность пласта

- Неоднородности пласта — это мелко- и крупномасштабных геологические особенности, которые в действительности оказывают большое влияние на движение флюидов.
- Воздействие неопределенности пласта связано с негеологическими параметрами, такими как отношение подвижности флюидов, PVT-свойства, объем водоносного горизонта и стратегия разработки. Другими словами, одна и та же степень неоднородности пласта может быть значимой когда пласт нефтенасыщен, и не быть таковой, если речь идет о газонасыщенном коллекторе.

С этой точки зрения отношение между неоднородностью пласта и динамическими параметрами месторождения является одним из ключевых вопросов комплексного изучения.

Классификация неоднородностей коллектора

Любой пласт изначально является неоднородным. Различия в литологии, текстуре и сортировке, а также наличие трещин, разломов, экранов и диагенетические эффекты различной природы являются основными факторами возникновения того, что мы называем общим термином неоднородность пласта.

Наличие этих особенностей влияет на движение флюидов на разных уровнях, от микро- до мегамасштаба. В частности, они в значительной мере влияют на эффективность процесса вытеснения и, соответственно, на показатели остаточной нефтенасыщенности и конечный коэффициент нефтеотдачи 17

Неоднородность коллекторов

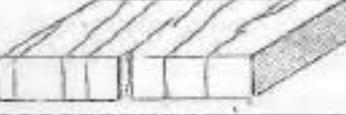
Тип неоднородности коллектора	
Непроводящий разлом Полупроводящий разлом Проводящий разлом	 Нефть
Границы генетических образований	
Зональность проницаемости в рамках генетических образований	
Экраны внутри генетических образований	
Слоистость, косая слоистость	
Микроскопическая неоднородность, вид текстуры, минералогия	
С залеченными трещинами, с открытыми трещинами	

Рис. Классификация типов неоднородности коллектора

Поэтому при разработке и эксплуатации месторождения правильная оценка неоднородности пласта является существенным моментом при создании гидродинамической модели пласта.

Классификация видов неоднородностей пласта основывается на масштабе, генезисе и влиянии на потоки пластовых флюидов (рис.).

В зависимости от масштаба может быть выделено семь основных типов неоднородностей стратиграфического структурного генезиса.

Мелкомасштабные неоднородности

В реально существующих системах осадочных пород мелкомасштабные неоднородности практически всегда могут быть определены по имеющемуся керновому материалу.

В масштабе пор (микромасштаб) неоднородности связаны с наличием различных видов пор. Это четко прослеживается в карбонатных системах, где часто существуют различные виды первичной и вторичной пористости.

В масштабе керна (макромасштаб) неоднородности часто бывают связаны со слоистостью и косой слоистостью. Фактически, с точки зрения осадконакопления, единственным осадочным образованием, которое может считаться внутренне однородным, является слой.

Являясь продуктом мгновенного с точки зрения геологии события осадконакопления, слой не содержит внутри себя сколько-нибудь значительных неоднородностей.

Однако слои являются очень тонкими (толщиной от нескольких миллиметров до 1-2 сантиметров).

Неоднородность коллекторов

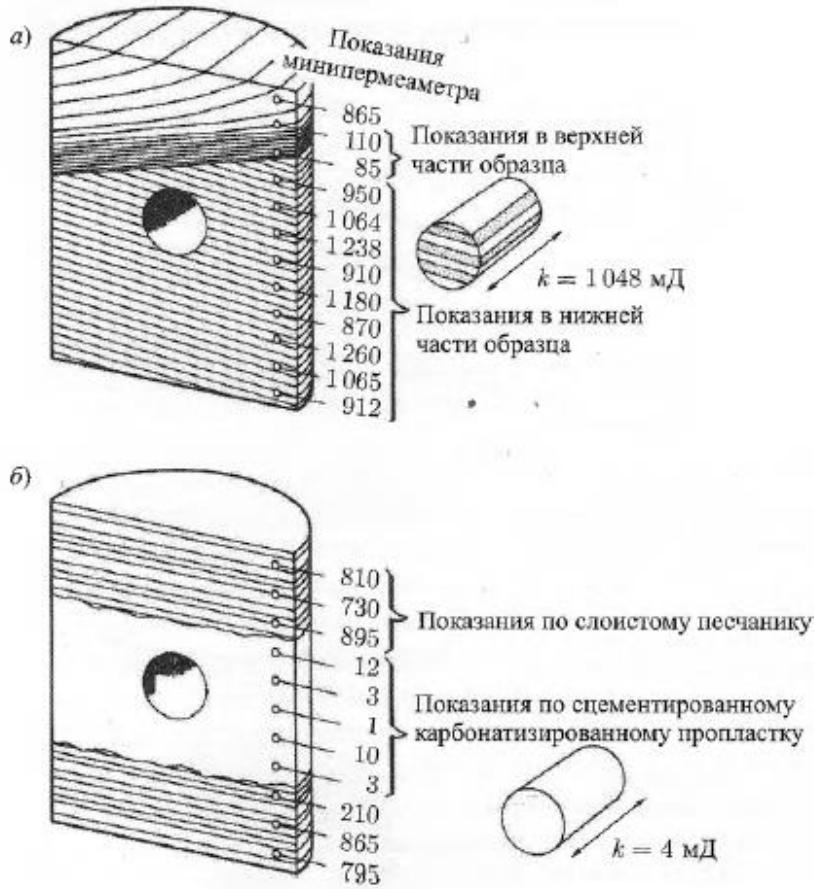


Рис. Мелкомасштабные неоднородности в образце керна: а) образец песчаника с фестончатым переслаиванием; б) баровый образец песчаника с карбонатизированным пропластком

Совокупности слоев, которые являются генетическими образованиями более высокого порядка, могут характеризоваться значительной степенью неоднородности.

На образцах керна обычно измеряют различия в проницаемости на одном уровне или даже между отдельными слоями.

На рис. изображен пример мелкомасштабных неоднородностей в образце керна, обусловленных различиями в текстуре осадочной породы и наличием карбонатных прослоев..

Очевидно, что эти мелкомасштабные особенности оказывают значительное воздействие на микроскопическую эффективность потока, а следовательно, и на коэффициент нефтеотдачи вследствие капиллярных эффектов.

В идеале мелкомасштабные неоднородности должны учитываться, а для сохранения в более крупном масштабе влияния таких неоднородностей на движение флюидов необходимо применять соответствующие процедуры ремасштабирования.

Однако эти процедуры занимают много времени и громоздки при численном моделирования. На практике это применяется очень редко, а описание фаций производится в макромасштабе с применением усредненных петрофизических.¹⁹

Неоднородность коллекторов

значений. Поэтому существует неявное предположение, в соответствии с которым в мелком масштабе порода может считаться однородной.

Крупномасштабные неоднородности

Крупномасштабные (мегамасштабные) неоднородности являются самыми значительными видами внутренней прерывистости пласта. В одних случаях они могут препятствовать движению флюида, в других - могут являться предпочтительными путями движения флюидов относительно однородных низкопроницаемых вмещающих пород.

В обоих случаях их воздействие на динамику пласта может решающим образом сказываться на продуктивности месторождения, поэтому их выявление и оценка являются непременной составляющей любого изучения коллекторских свойств пласта.

Главными видами крупномасштабных неоднородностей являются разломы, проводящие или непроводящие, границы литофаций, пропластки с высокой или низкой проницаемостью и глинистые экраны.

Трещины, либо открытые, либо залеченные, представляют собой еще один важный вид неоднородности пласта.

A. Разломы

Разломы являются типичными видами структурной прерывистости и могут быть непроводящим, частично проводящим и проводящим и поэтому может представлять собой преграду, препятствие или канал для движения флюидов.

С теоретической точки зрения было выявлено четыре основных механизма формирования непроводящих разломов .

Неоднородности коллекторов

- 1. Наложение пород.** Коллекторы откладываются на породы с низкой проницаемостью, то есть глины.
- 2. Глинистое загрязнение.** Попадание глины в плоскость разлома, ведущее к образованию поверхности с низкой проницаемостью.
- 3. Катализис.** Измельчение зерен песка, вследствие чего образуется мелкозернистая поверхность с высоким входным капиллярным давлением.
- 4. Диагенез.** Преимущественная цементация, которая создает преграду на пути потока жидкости, полностью или частично заполняя первичную пористость.

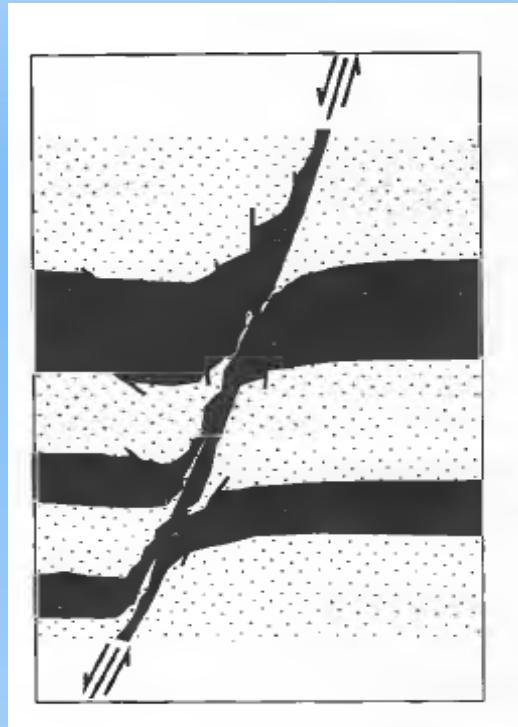


Рис. Механизм формирования глинистого загрязнения

Однако эти методы сложно применить, потому что в большинстве случаев геометрия поверхности разлома слишком сложна и не может быть определена с должной точностью.

Кроме того, другие происходящие процессы, такие как катализис или диагенез, распространены неравномерно, часто бывают взаимосвязанными и плохо поддаются количественной оценке.

Поэтому с практической, точки зрения эти методы уместнее применять в ходе разведки, когда информации мало.

В. Границы генетических образований

Границы генетических образований (литофаций) представляют собой стратиграфические перерывы с различной проводимостью, зависящей от ряда факторов (различия в литологии или петрофизических свойствах, наличие эрозионной поверхности или плотных пород...).

Изолированные бары или каналы, песок или линзы конгломератов в пределах глинистых отложений являются типичными примерами границ генетических образований, которые создают прерывистость пласта в аллювиальных обстановках с русловыми

Границы генетических образований

отложениями низкой извилистости, прибрежных каналах или в глубоководных оползневых отложениях

Детерминистическая корреляция каротажных диаграмм в таких условиях может оказаться затруднительной, поэтому применяют вероятностные модели для трехмерного моделирования этих геологических тел.

Однако даже при отсутствии значительного литологического контраста границы генетических образований в большинстве случаев являются границами для потока флюидов.

C. Глинистые и проницаемые пропластки

В терригенных пластиах по керну или каротажным диаграммам часто наблюдается наличие глинистых или алевритовых пропластков внутри основных лиофаций, протяженность которых зависит от условий осадконакопления. Так, например, в морских условиях латеральная протяженность этих пропластков может быть значительной, достигая межскважинного расстояния. Однако при других условиях осадконакопления, особенно в континентальных, протяженность этих глинистых тел может быть весьма ограниченной. В научной литературе такие пропластки часто обозначаются как случайные глины, так как их расположение в пласте не может быть определено с достаточной точностью.

Карбонатизированные пропластки представляют собой другой вид неоднородности, часто встречающийся внутри генетических образований. Их можно найти как в карбонатных системах, так и в терригенных пластиах, где их образование связано с процессами диагенеза. В обоих случаях они могут быть различной протяженности, хотя в целом значительная латеральная выдержанность встречается достаточно редко.

Глинистые и карбонатные пропластки главным образом влияют на вертикальное сообщение внутри пласта. При наличии таких неоднородностей, особенно когда их латеральная протяженность значительна, вертикальная проницаемость пластов может фактически сводиться к нулю. Поэтому когда их присутствие не определяется и не отражается в модели соответствующим образом, это неизбежно приводит к неверному представлению процесса вытеснения.

D. Естественные трещины

Естественные трещины являются особым видом неоднородности пласта. Они встречаются на всех уровнях от мелкомасштабных структур (микротрещины, стилолиты)

Естественные трещины

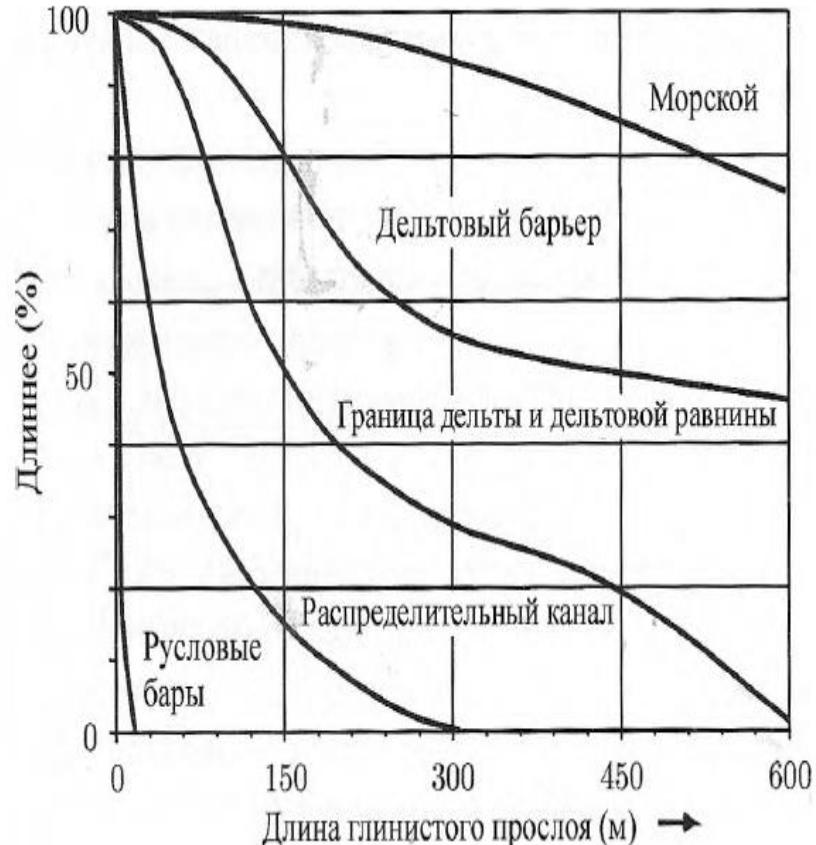


Рис. Протяженность глин в различных условиях осадкоакопления

и до уровня мегамасштаба (разломы, направление региональных трещин). Даже при том, что естественные трещины могут быть непроводящими и быть преградой на пути потока флюидов, в большинстве трещиноватых коллекторов они образуют сообщающуюся сеть, что повышает отдачу пласта.

Во многих случаях, например в карбонатных низкопористых коллекторах, динамическое поведение месторождения может полностью определяться системой трещиноватости, тогда как матрица играет второстепенную роль.

На таких месторождениях трещины уже не могут считаться неоднородностями пласта, так как основной целью геологического описания становится характеристика сети трещин с учетом таких аспектов, как распределение трещин, их плотность, раскрытие, пористость и проницаемость.

С другой стороны, в терригенных и пористых карбонатных пластах трещины могут встречаться на отдельных участках, например в виде изолированных скоплений, которые локально улучшают коллекторские свойства.

В таких трещиноватых областях гидравлическое поведение системы трещин может доминировать над второстепенным влиянием матрицы и может вызывать неравномерный охват пласта вытесняющим агентом. Особенно в тех случаях, когда активно реализуются проекты нагнетания в залежь газа или воды и закачиваемые флюиды могут преждевременно

Естественные трещины

прорваться в добывающие скважины через систему трещин.

В этих случаях естественные трещины могут с полным правом считаться неоднородностями пласта, так что необходимо учитывать их влияние на его совокупное поведение.