

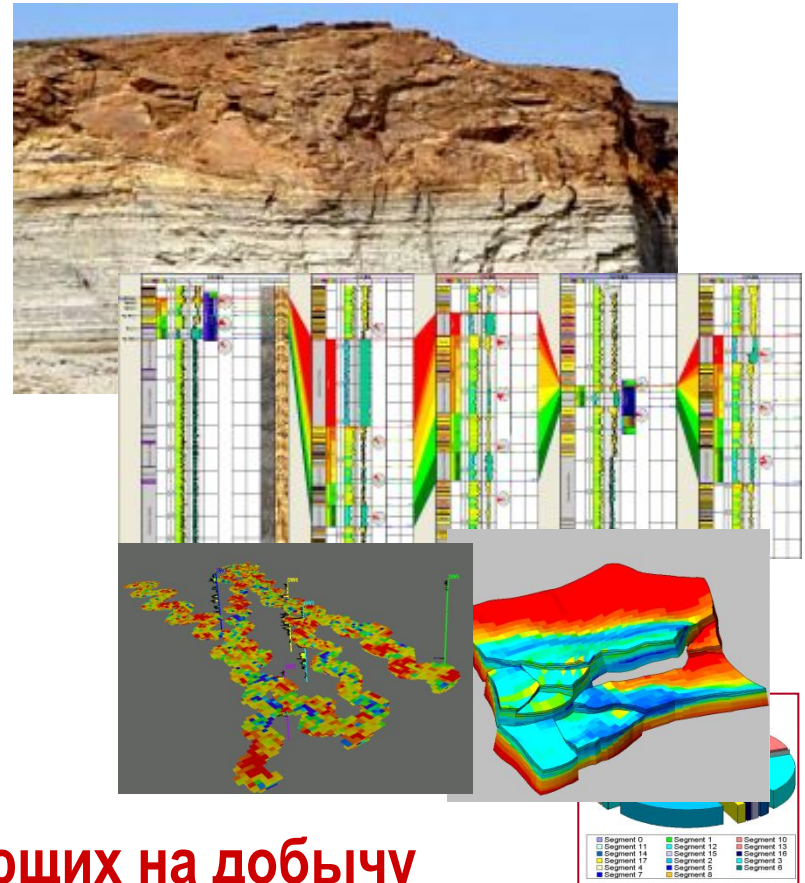
# Моделирование фаций

## Обзор



### Зачем строить фациальную модель?

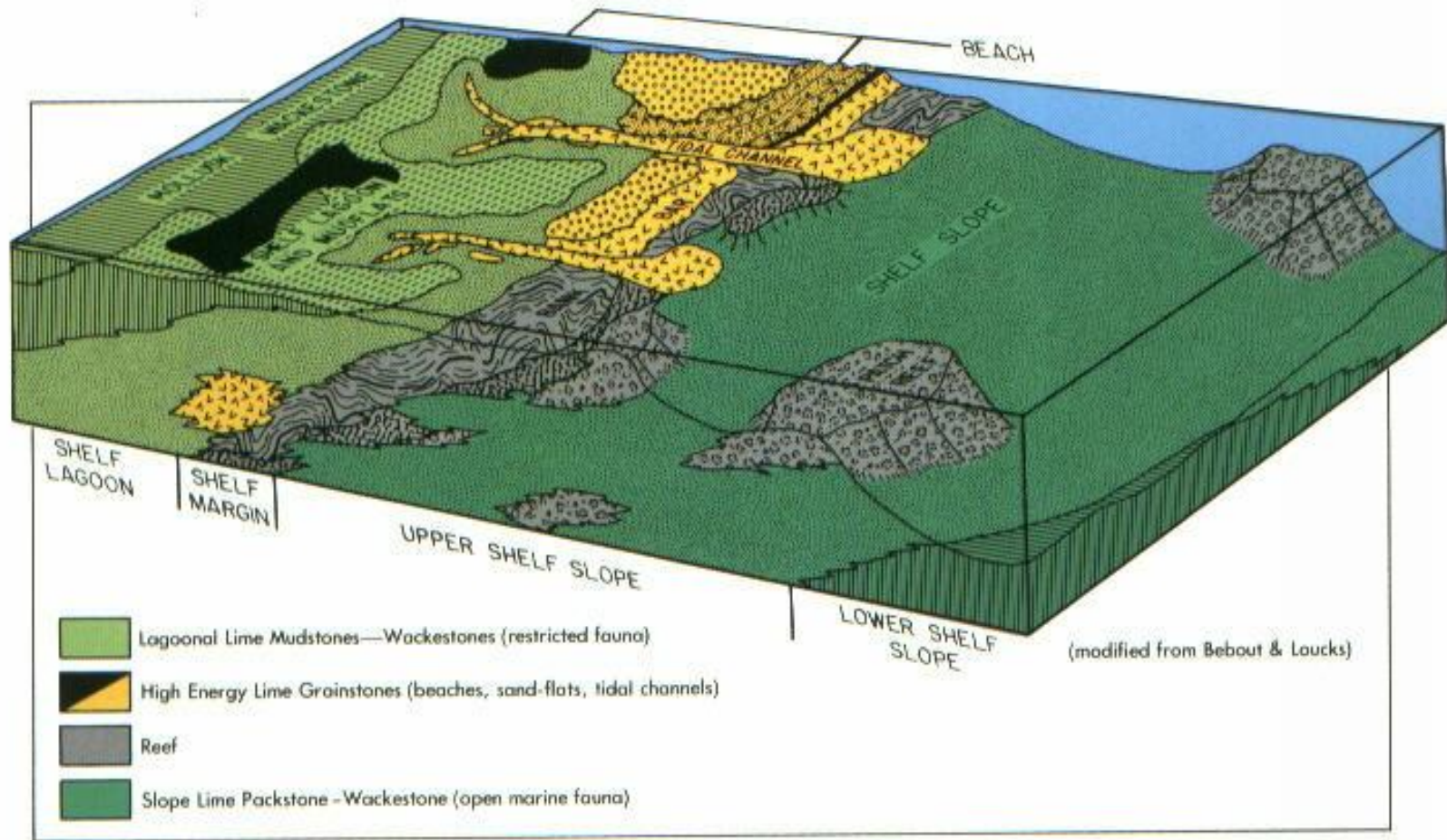
- Понимание геологических процессов
- Отображение строения фаций – связность резервуаров и высокая степень неоднородности
- Опирается на наглядную фациальную информацию: форма, размер, ориентация, пропорции, распределение, статистика...



**Определение свойств фаций, влияющих на добычу**

# Моделирование фаций

## Основные типы фаций – Карбонаты

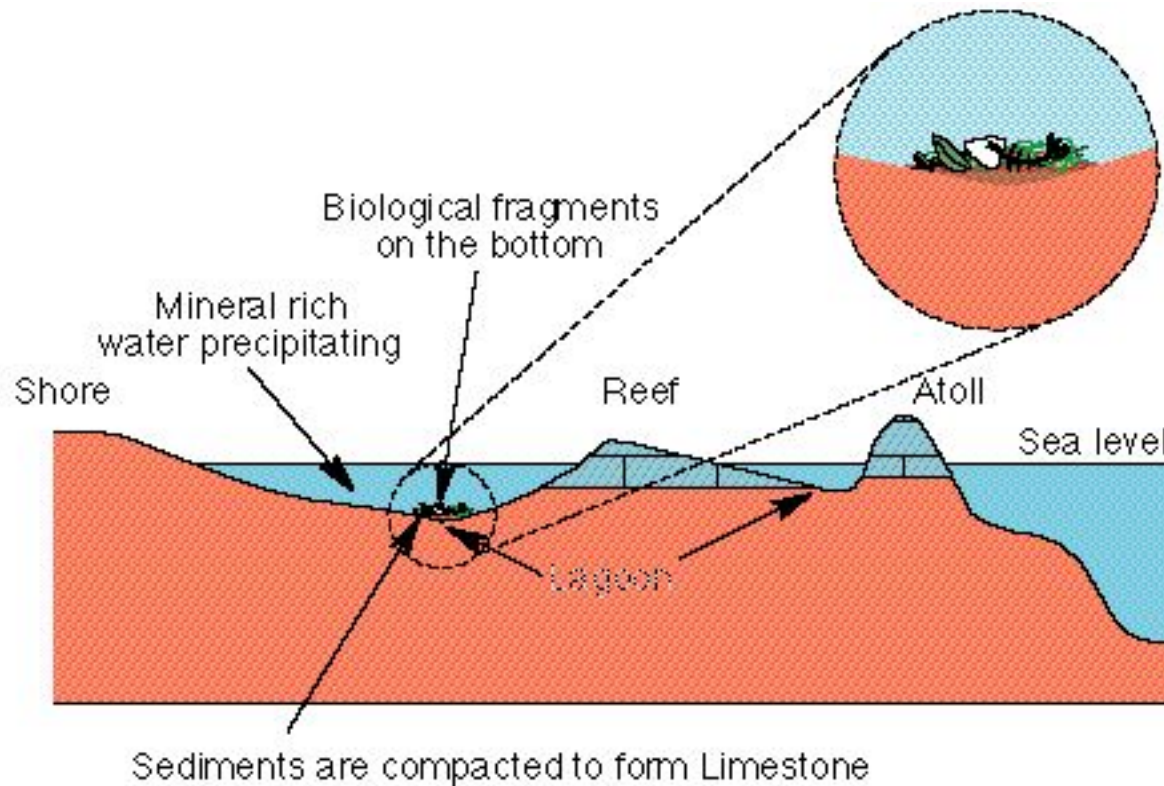


# Моделирование фаций

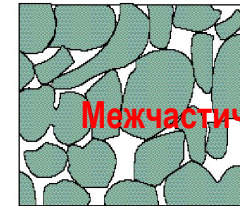
## Условия осадконакопления - Карбонаты



**Карбонаты** формируются в неглубоких морях, содержащих такие особенности как рифы, лагуны, отмели.



### Пористость в карбонатах



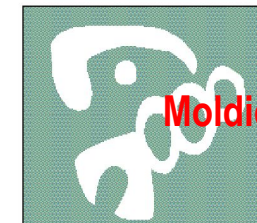
Межчастичная пористость



Межгранулярная пористость



Межкристаллическая пористость

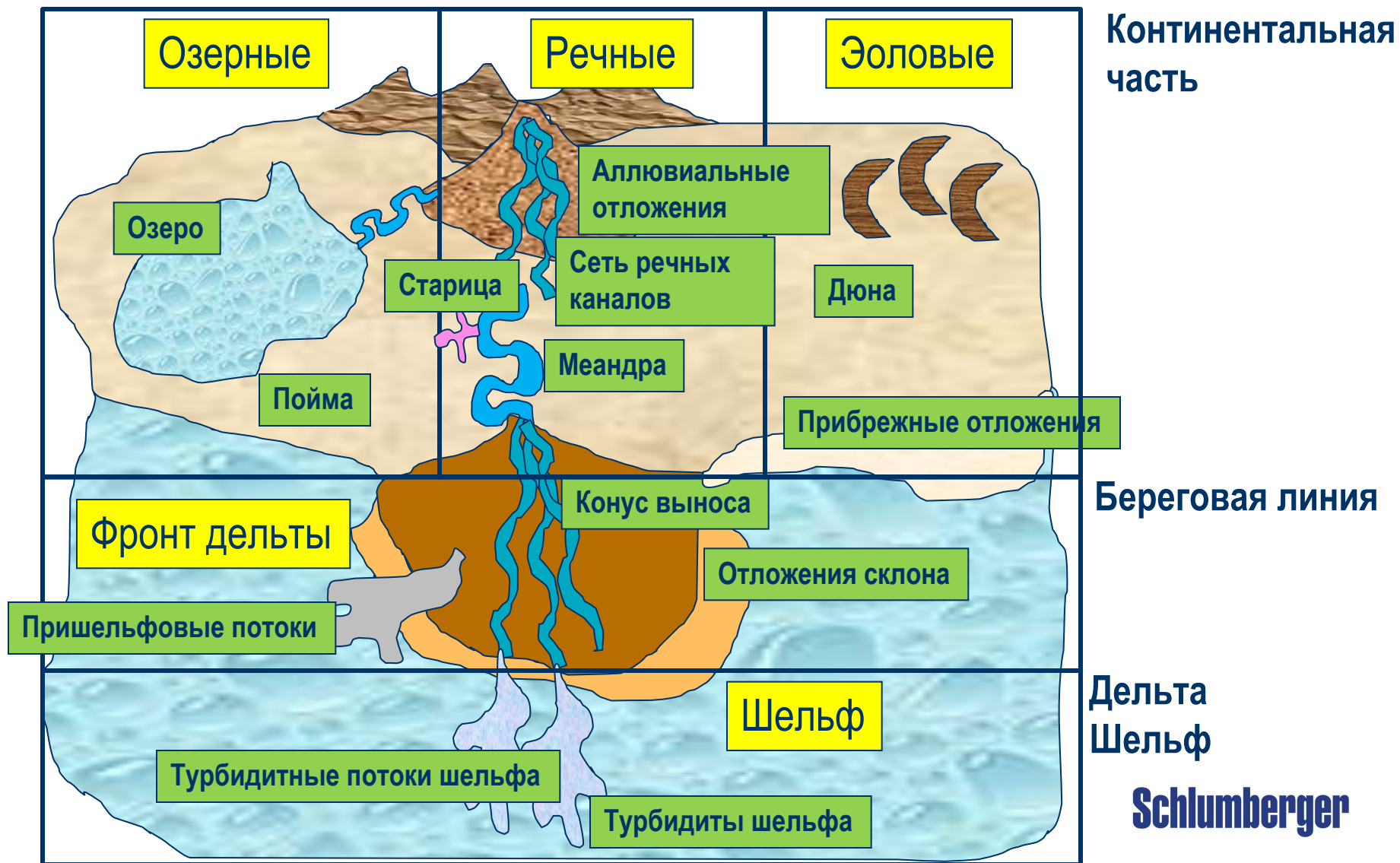


Moldic porosity



# Моделирование фаций

Типы фаций – Обломочные породы

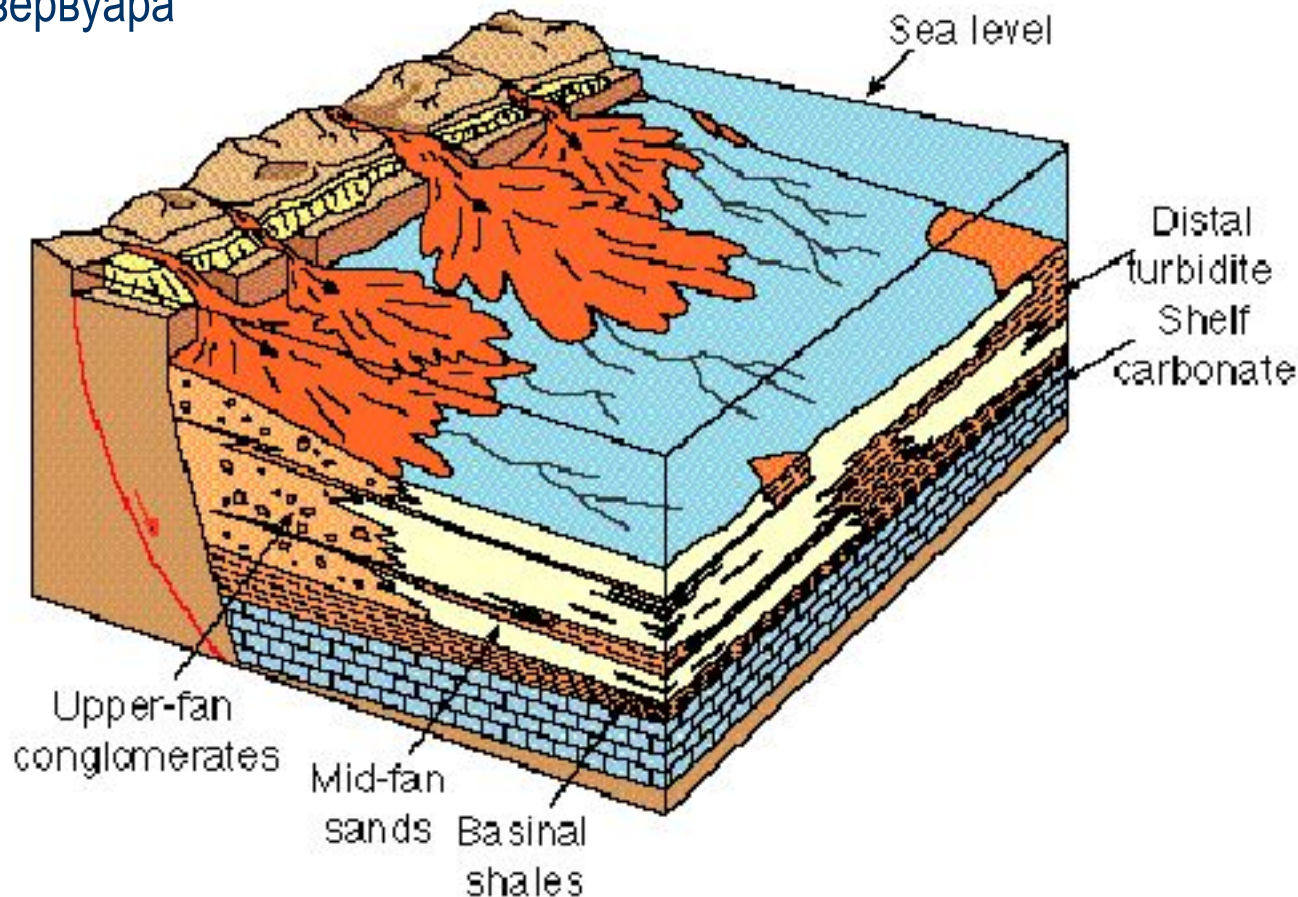


# Моделирование фаций

## Условия осадконакопления



**Среда осадконакопления** может быть озерной или континентальной, глубоководной или мелководной. Среда определяет набор характеристик резервуара



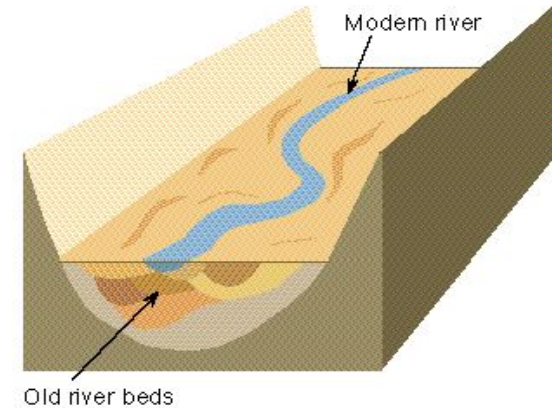
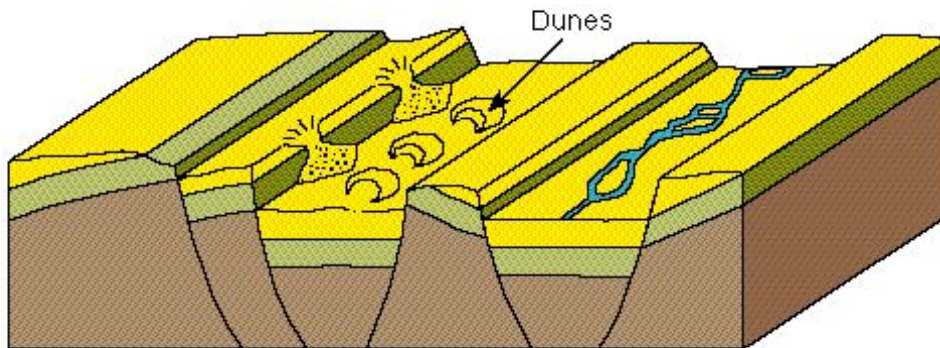
# Моделирование фаций

## Среда осадконакопления

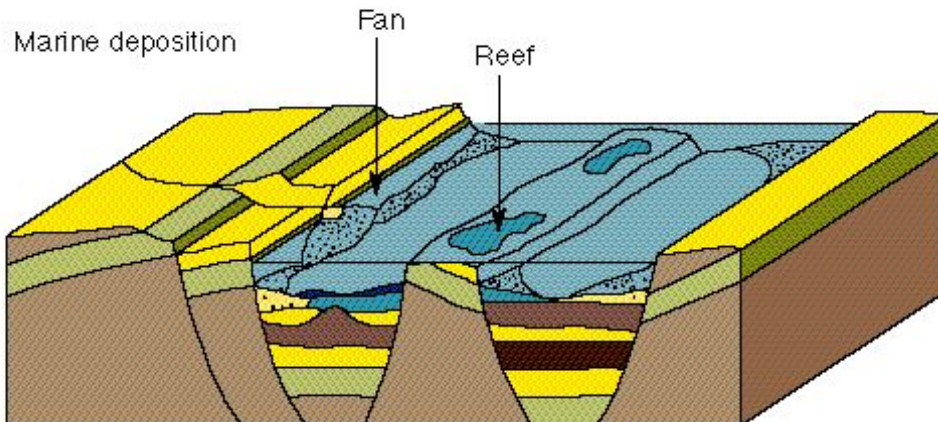


- К континентальным отложениям относятся песчаные дюны, аллювиальные конусы и т. д.
- В мелководных средах присутствует турбулентность, поэтому частицы разного размера. Могут содержать карбонаты и эвапориты.

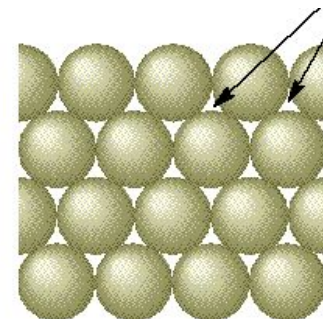
Continental deposition



Marine deposition



Sandstone porosity



**Schlumberger**



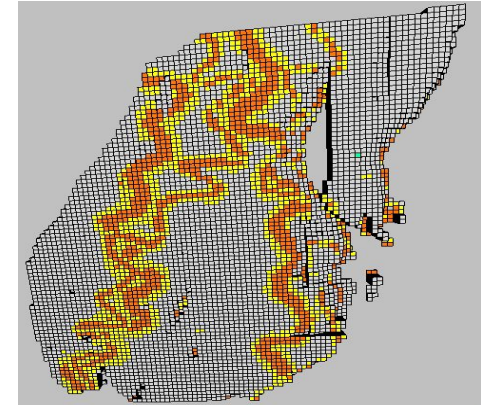
# Моделирование фаций



## На что обратить внимание при моделировании фаций

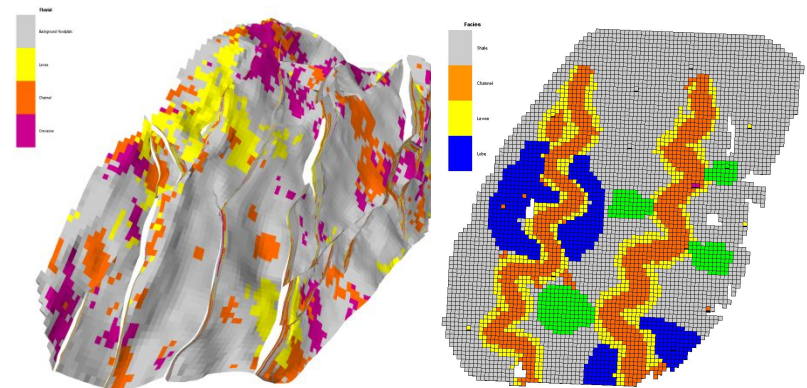
- **Цели:**

- Отображение неоднородности в большой области
- Моделирование структуры фаций (гидравлически связанные элементы и экраны)



- **Методы моделирования:**

- Детерминистический или стохастический
- Стохастический: основанный на объектах или ячейках



**Schlumberger**

# Моделирование фаций



Какой метод нужно использовать в моделировании фаций?

- Если каротажи перемасштабированы, их можно использовать в **детерминистическом и стохастическом** моделировании
- Если нет скважинных данных, то детерминистические алгоритмы (кроме калькулятора, интерактивного рисования и Assign values) применять нельзя. Тогда используются безусловные **стохастические** методы.
- **Детерминистические методы**
  - Обычно применяются при **плотных** входных данных (много скважин, скважины+сейсмика)
  - Дают единственный результат
- **Стохастические методы**
  - Обычно используются, если мало входных данных
  - Могут дать несколько равновероятных реализаций



# Моделирование фаций

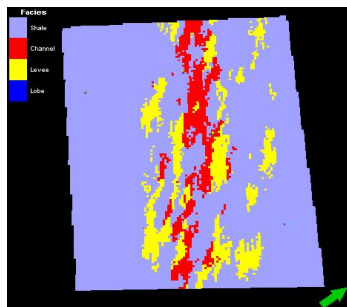
## Методы моделирования дискретных свойств в Petrel



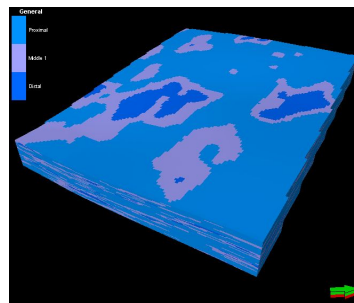
- Стохастические методы

Основанные на ячейках: описываются вариограммами, трендами и т. д.

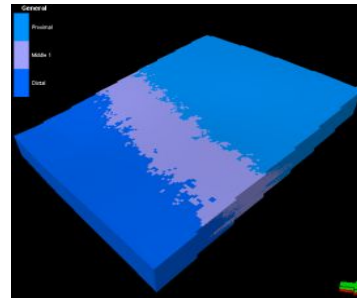
SISIM



TGSIM

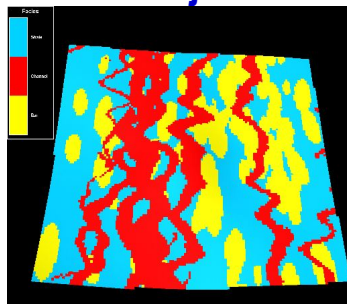


TGSIM with trends

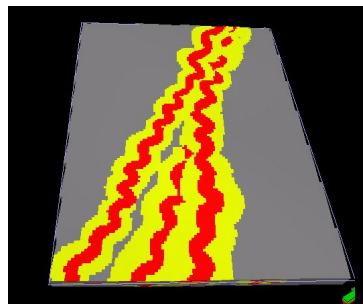


Основанные на объектах: задаются геометрическими объектами

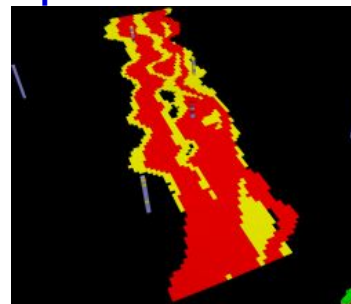
General object



Fluvial

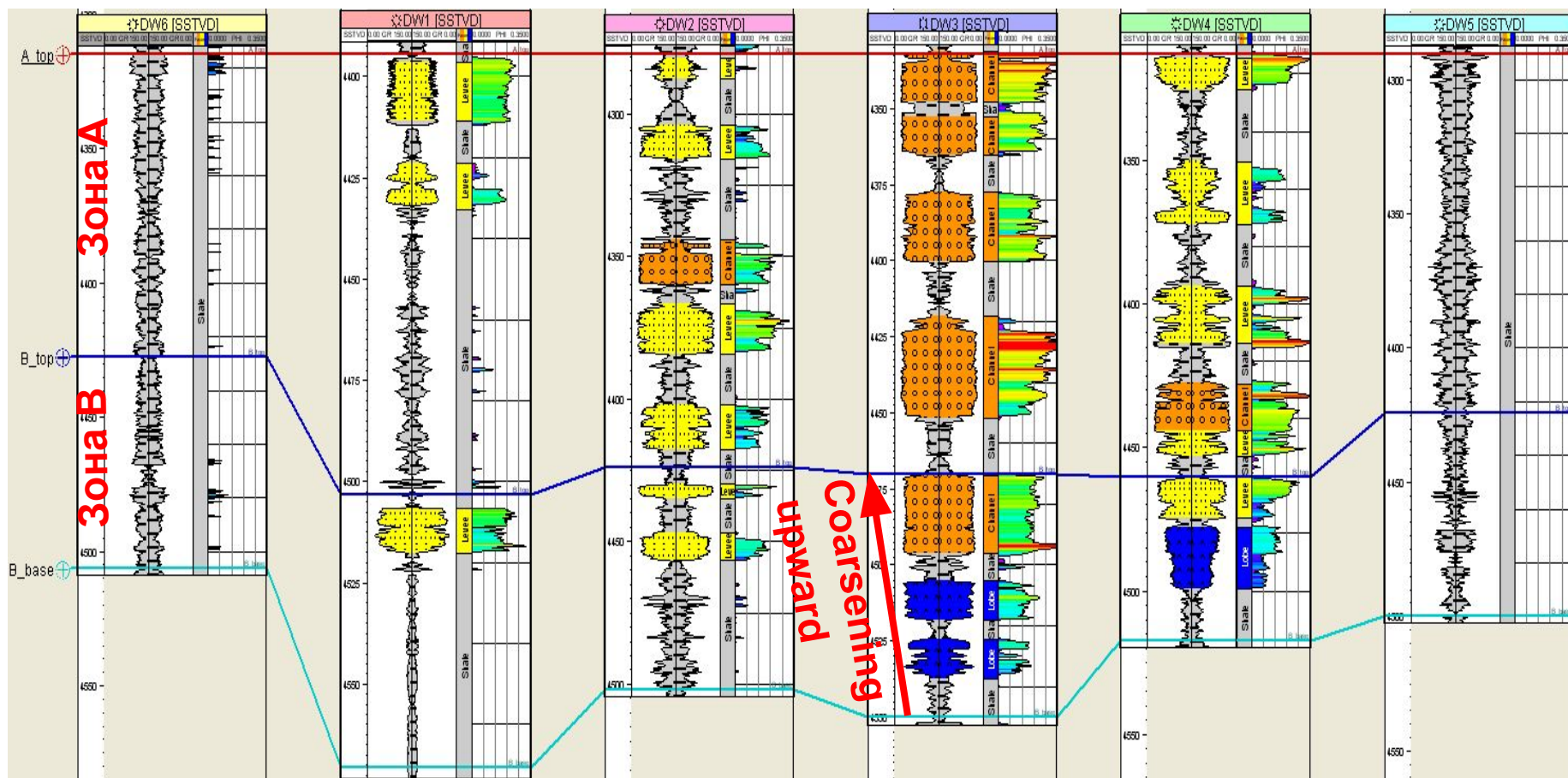


Adaptive Channel



# Моделирование фаций

Данные упражнения – корреляция скважин и интерпретация фаций



Off-axial

Осевая часть

Off-axial

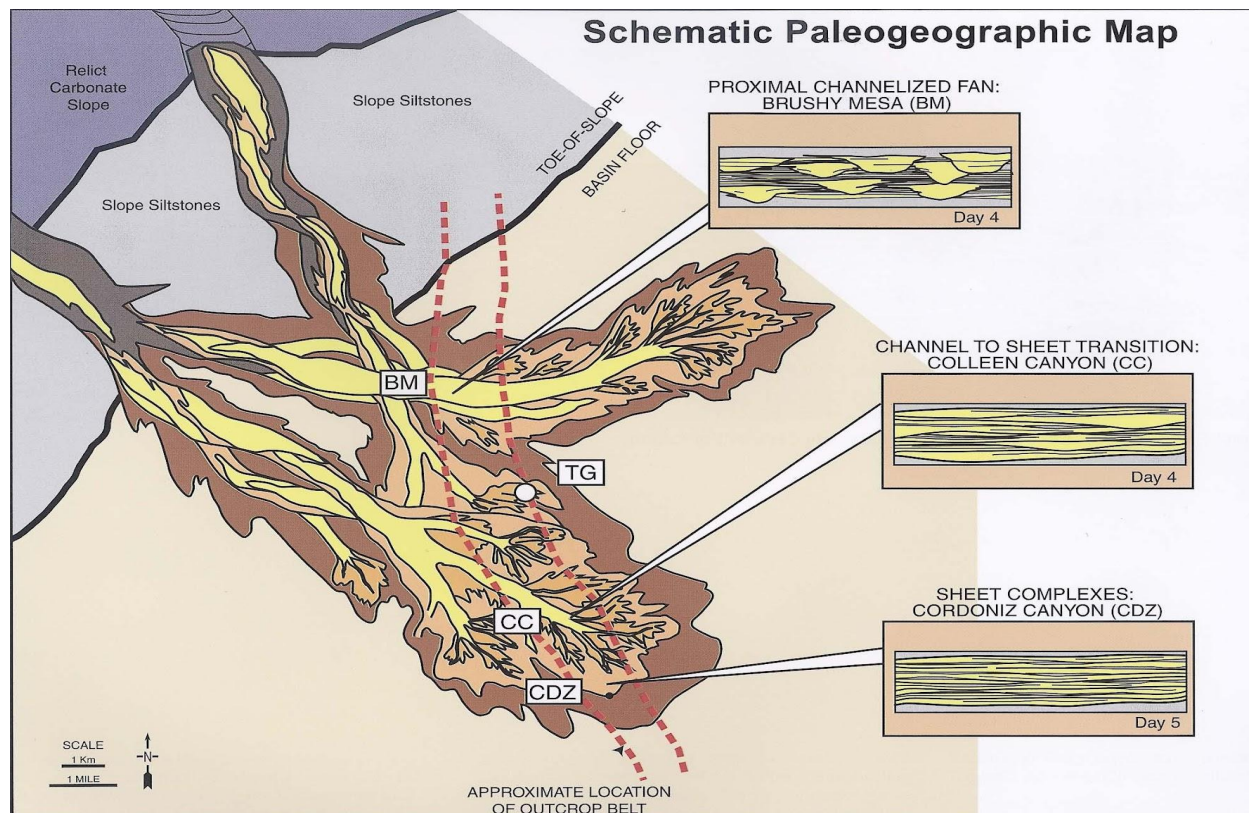
Schlumberger

# Моделирование фаций

Данные упражнения – глубоководные турбидитные фации



## Канал, прирусловой вал и впадины

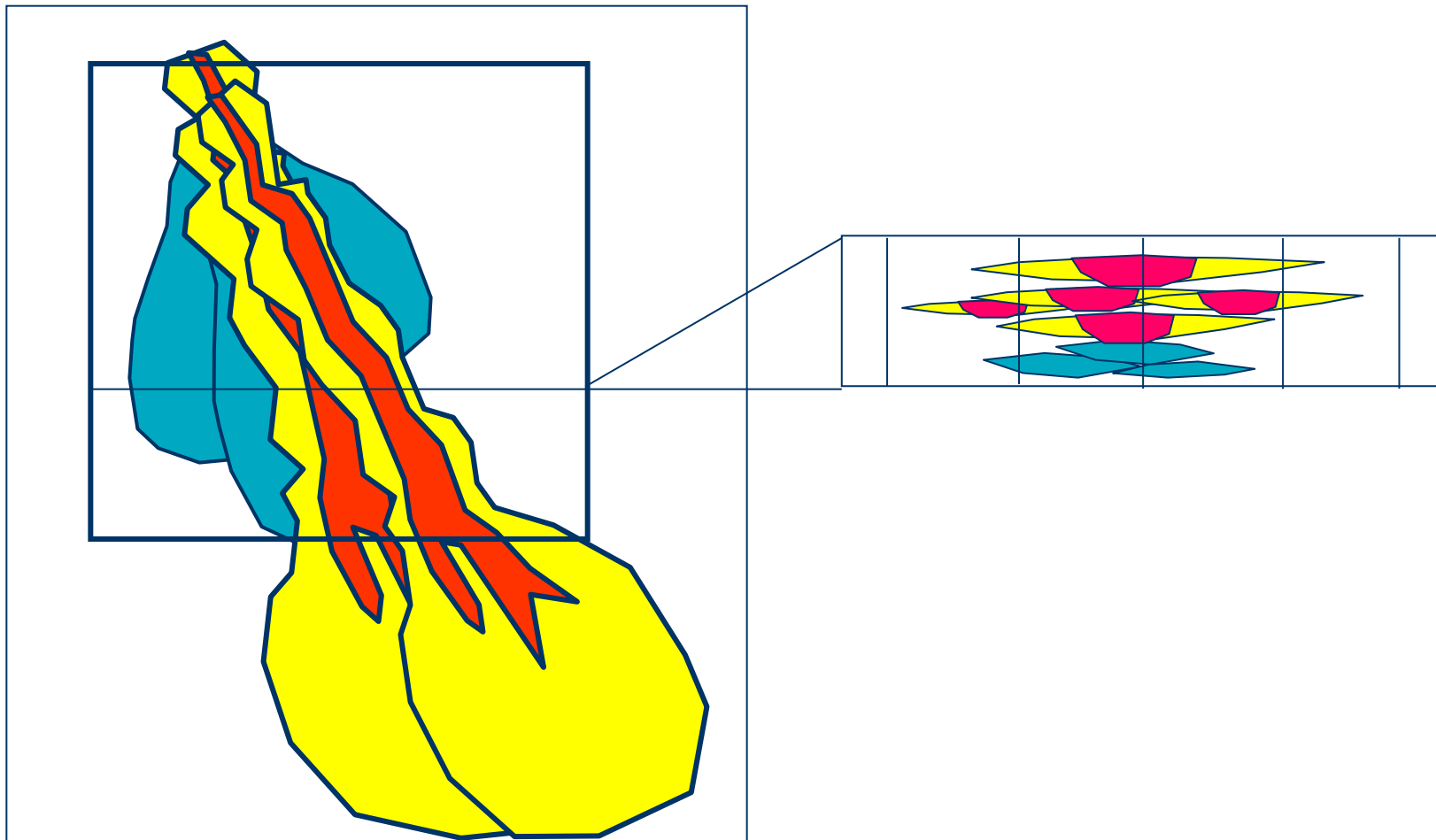


From Deep-Water Sandstones, Brushy Canyon Formation, West Texas, (Field Guide For AAPG Hedberg Field Research Conference - April 15-20, 1999)



# Моделирование фаций

Данные упражнения – абстрактная седиментологическая модель



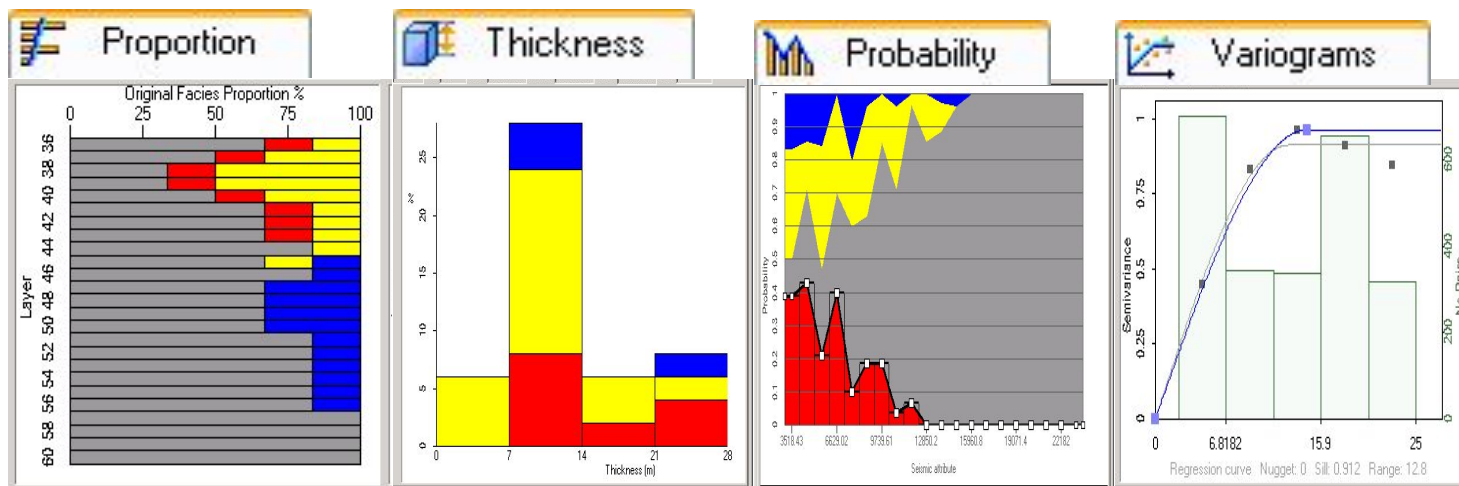
# Статистический анализ данных

## Анализ фациальных данных



**Data analysis** – это процесс для проверки качества данных, их анализа и подготовки для процесса Facies modeling.

- **Фациальное соотношение по вертикали:** вертикальное изменение фаций
- **Мощность фаций:** мощность отдельного фациального интервала
- **Фациальная вероятность:** калибровка с сейсмическим атрибутом
- **Дискретная вариограмма:** пространственная протяженность фаций

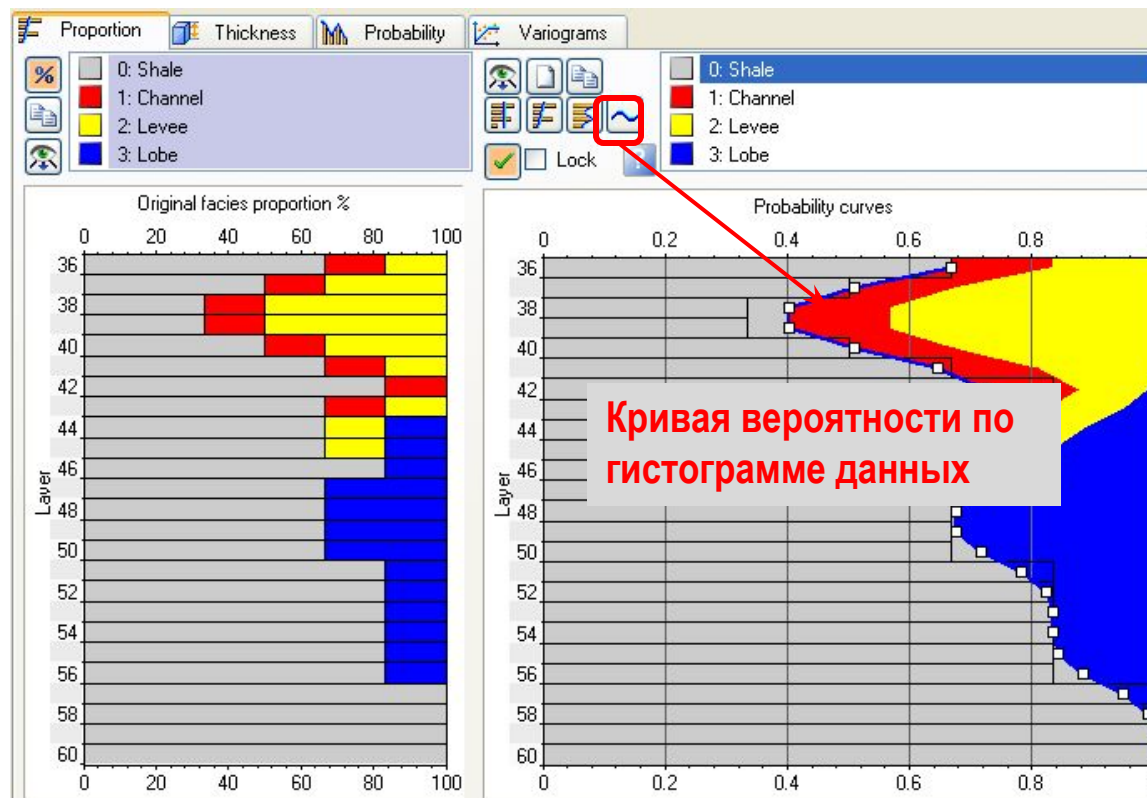


# Моделирование фаций



## Анализ фациальных данных – Соотношение фаций по вертикали

- Proportion:** Применяется как кривая вертикальной вероятности, построенная по исходному соотношению фаций в каждом К-слое. Кривая вероятности может быть вручную отредактирована.



Фации **русла** и **прируслового вала** представлены в верхней части интервала, тогда как **турбидиты** сконцентрированы в нижней части.

Исходные значения (фиксированы)    Вероятностная кривая (возможна редакция)

**Schlumberger**



# Моделирование фаций

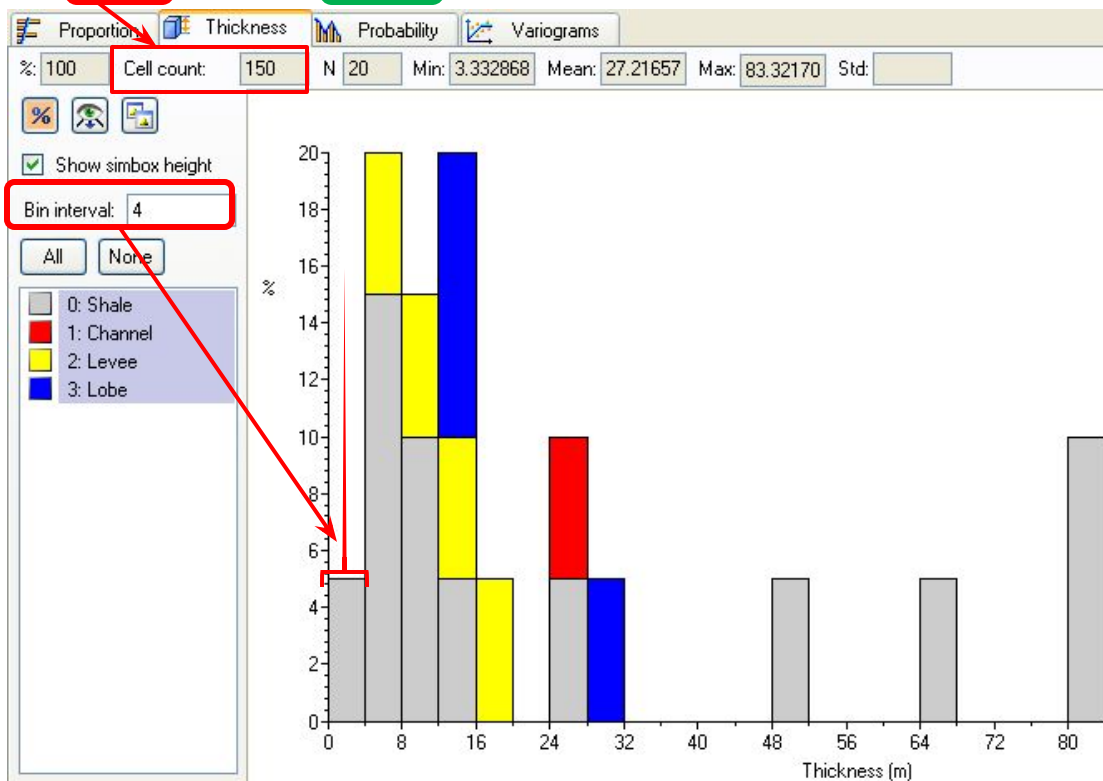


## Анализ фациальных данных – Мощность фациального слоя

- Thickness:** Представление в виде гистограммы распределения мощности фаций. Параметр **bin interval** используется для задание разрешения.

### Перемасштабированные/исходные каротажи

Добавить/убрать фациальные коды



Bin interval = 4 м:  
фации **русла** и  
**прируслового вала**  
между 4 и 28 м. Фации  
**турбидитов** от 12 до 32  
м.

# Моделирование фаций

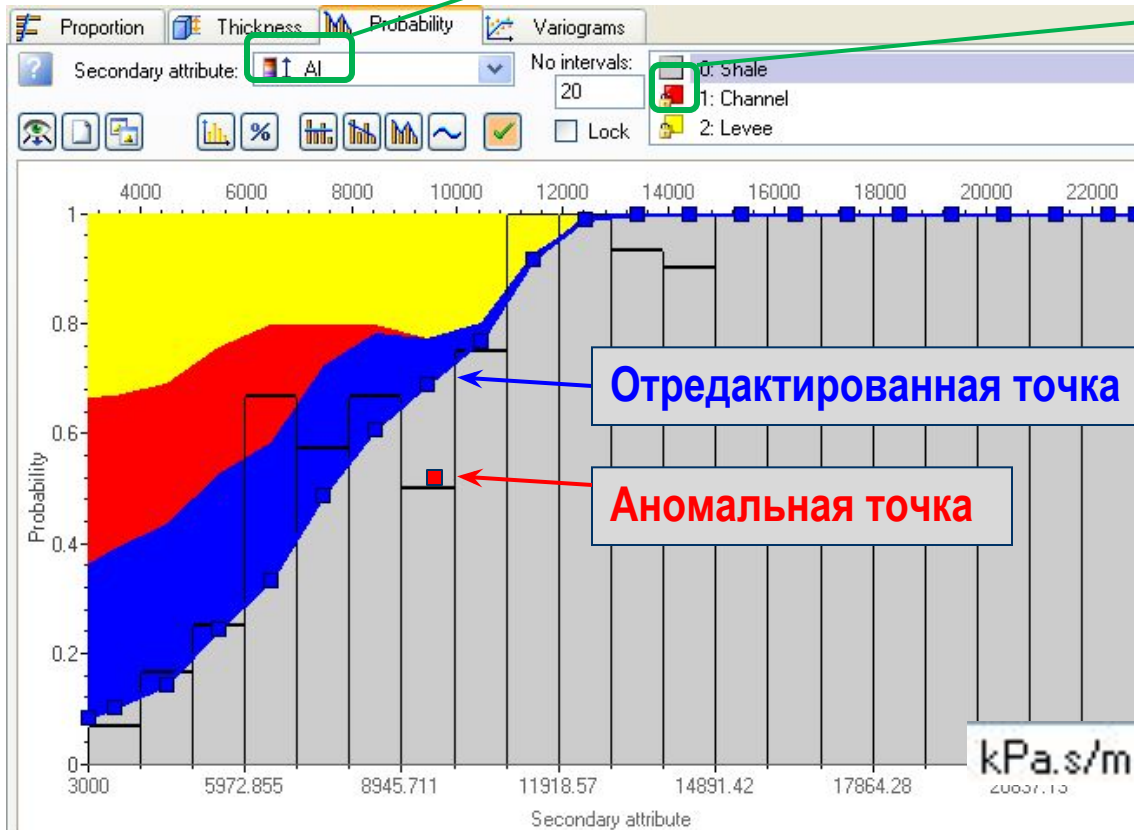
Анализ фациальных данных – Распределение, основанное на вторичных входных данных



- Probability:** Показывает отношение между исходными перемасштабированными фациями и вторичным атрибутом, который должен существовать во всех ячейках моделирования.



Вторичное свойство (здесь: Акустический импеданс)



Фации, запрещенные для редактирования

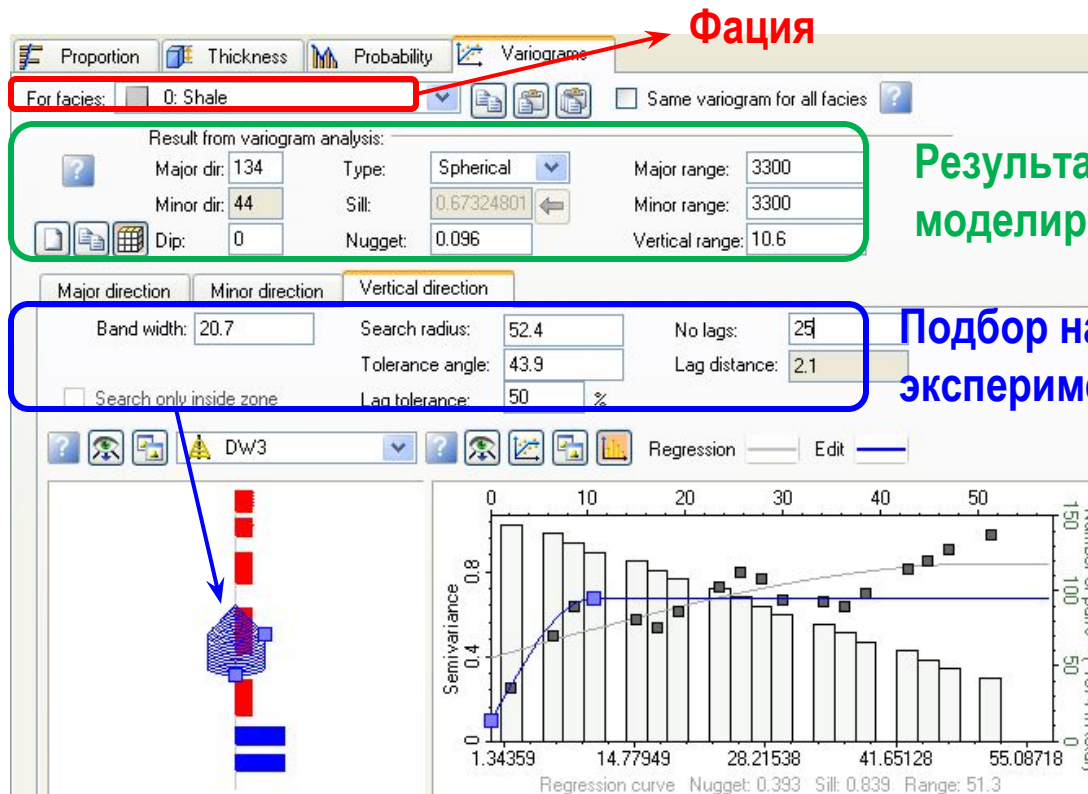
При низком акустическом импедансе фации **русла**, **прируслового вала** и **турбидитов** почти равновероятны. С возрастанием импеданса повышается вероятность появления **глины**.



# Моделирование фаций

## Анализ фациальных данных – Вариограмма

- **Variogram:** Вариограмма отображает изменение зависимости данных с увеличением расстояния. Должна быть смоделирована для каждой фации.



Результаты будут использованы в моделировании

Подбор настроек для создания экспериментальной вариограммы





### Процесс расчета:

1. Дискретные данные трансформируются как **бинарные переменные**. **Facies of interest** преобразуются в '1' а остальные фации в '0'.
2. **Классическая вариограмма** рассчитывается с использованием **бинарных кодов** для создания полудисперсии для каждого лага каждого дискретного значения :

$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} ((facies_{(i+h)}) - (facies_i))^2$$

3. **Функция распределения (pdf= F(z))** рассчитывается по формуле:

$$F(z_i) = \sum_{j=1}^{i-1} P(z_j)$$

Where :  $P(z_j) = \text{facies proportion}$

4. Дисперсия для дискретного свойства рассчитывается исходя из распределения ( $\text{Var} = F(z) * (1 - F(z))$ ).
5. **Классическая вариограмма** нормализуется  $\text{Var} = F(z) * (1 - F(z))$ :

$$\frac{(\gamma_{(h)})}{[F(z) * (1 - F(z))]}$$

### Пример:

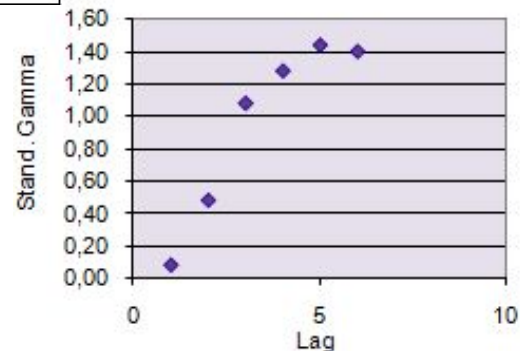
Code	Facies	Proportion	pdf=F(z)	F(z)*(1-F(z))
0	Shale	0,50	0,50	0,250
1	Sand	0,05	0,55	0,248
2	Silt	0,15	0,70	0,210
3	Fine Silt	0,20	0,90	0,090

### Индикаторная Вариограмма для **Shale**:

- **Shale** распознается как '1' а остальные фации как '0' для расчета вариограммы (полудисперсия)
- Вариограмма нормализуется фактором pdf

Shale		
Lag	Semivariance	Standardized
Lag1	0,02	0,08
Lag2	0,12	0,48
Lag3	0,27	1,08
Lag4	0,32	1,28
Lag5	0,36	1,44
Lag6	0,35	1,40

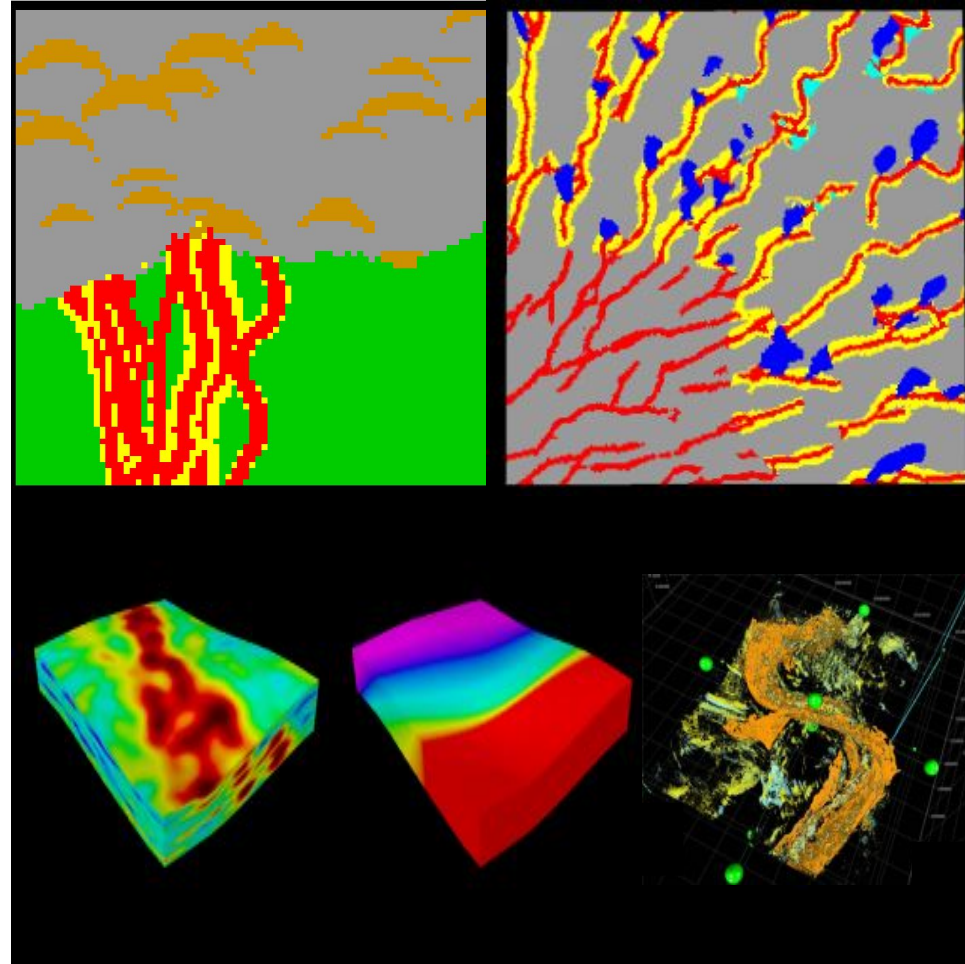
Standardized Indicator Variogram Shale



# Курс Advanced Property Modeling (2 дня)



- Теория многоточечной статистики
- Создание шаблонов
- Искусственные нейронные сети
- Geobodies
- Моделирование фаций
  - Многоточечное фациальное моделирование
- Петрофизическое моделирование
  - Анализ данных





# УПРАЖНЕНИЕ

Фациальное моделирование