

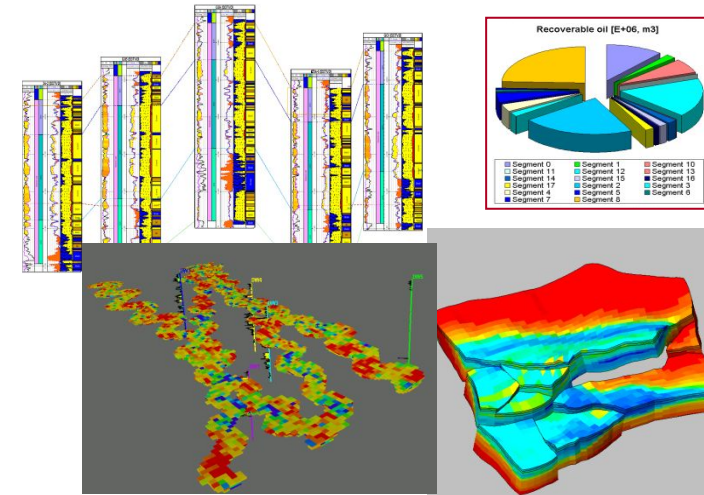
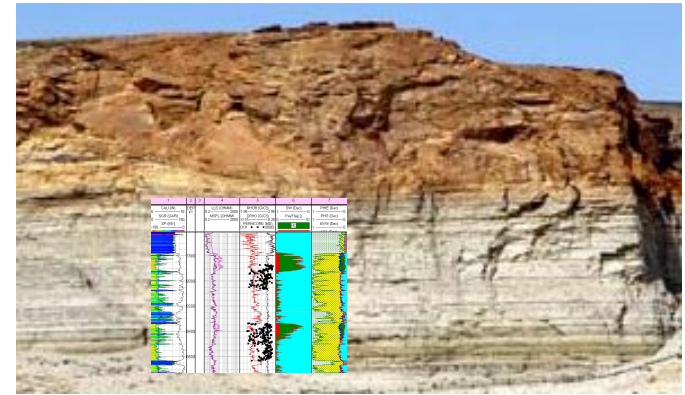
# Петрофизическое моделирование

## Обзор



## Ключевые моменты

- Различные распределения петрофизических свойств в различных фациях
- Различные тренды
- Пространственная вариация для каждого петрофизического параметра
- Корреляция между параметрами



**Создайте петрофизические свойства, важные для добычи**

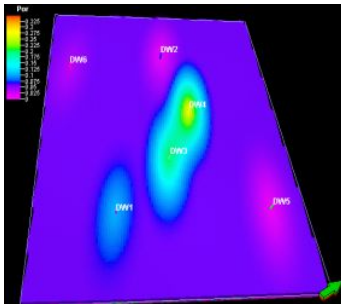
# Петрофизическое моделирование

## Методы моделирования непрерывных свойств в Petrel

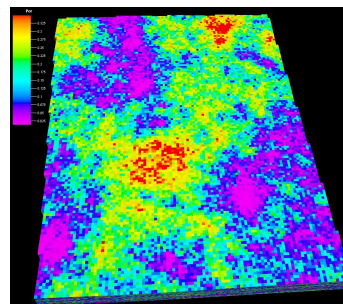
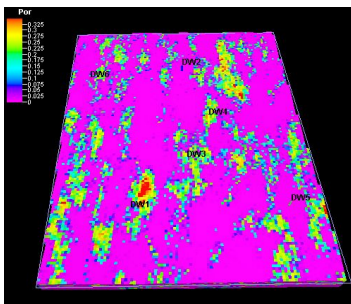


- Методы, рассматриваемые в курсе:

**Детерминистические:** Единственный результат  
**Кригинг**



**Стохастические:** Множество равновероятных реализаций  
**SGS**                      **GRFS**

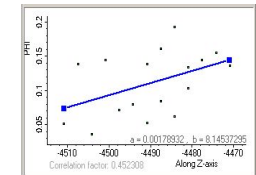
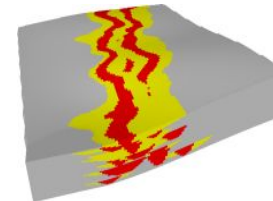
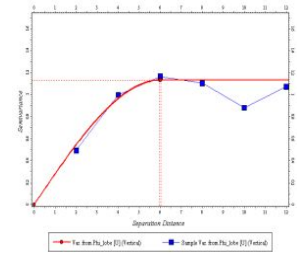
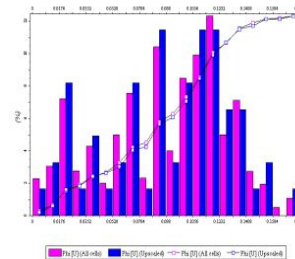
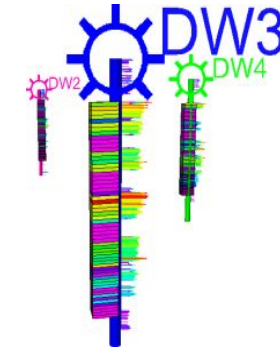


# Петрофизическое моделирование

## Входные данные для моделирования



- **Скважинные данные:** перемасштабированные каротажи
- **Распределение:** гистограмма
- **Вариограмма** (пространственная модель):
  - Направление, тип модели, наггет и плато
  - Три ранга вариограммы
- **Фациальная модель**
- **Пространственные тренды:** Из сеймики/аналогичных свойств и т.д.
- **Вторичный параметр**

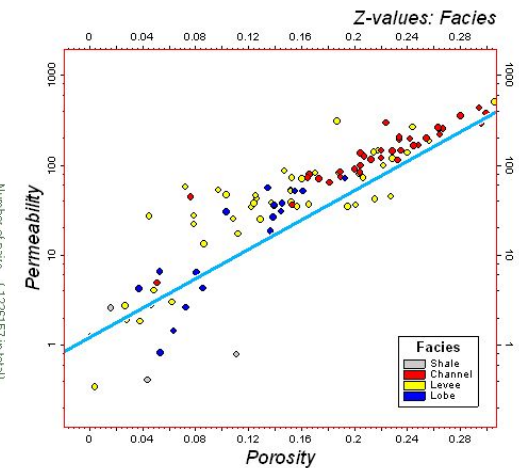
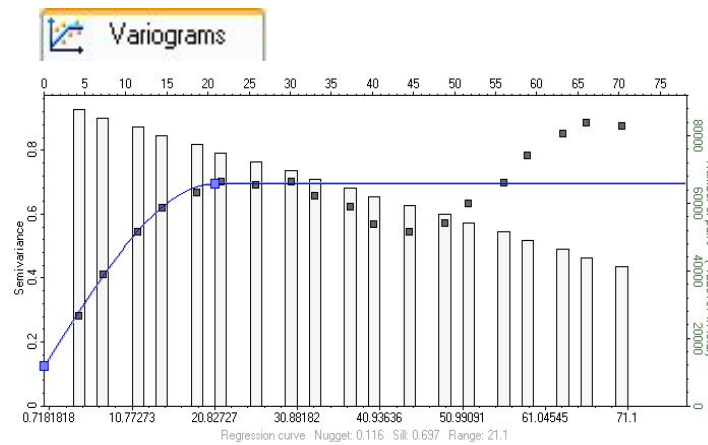
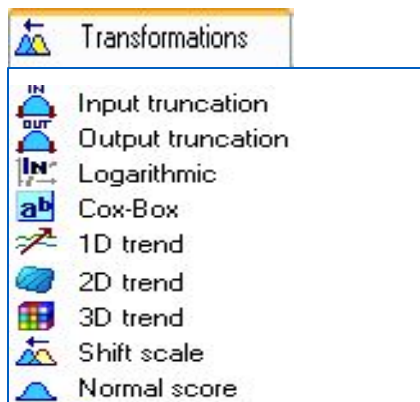


# Петрофизическое моделирование

## Статистический анализ данных – Непрерывные свойства



- **Преобразование данных:** распределение данных и пространственные тренды
- **Анализ вариограммы:** изменение в пространстве
- **Корреляция:** зависимость между параметрами
- **В интервалах (зонах) и фациях:** сохранение степени похожести и различия

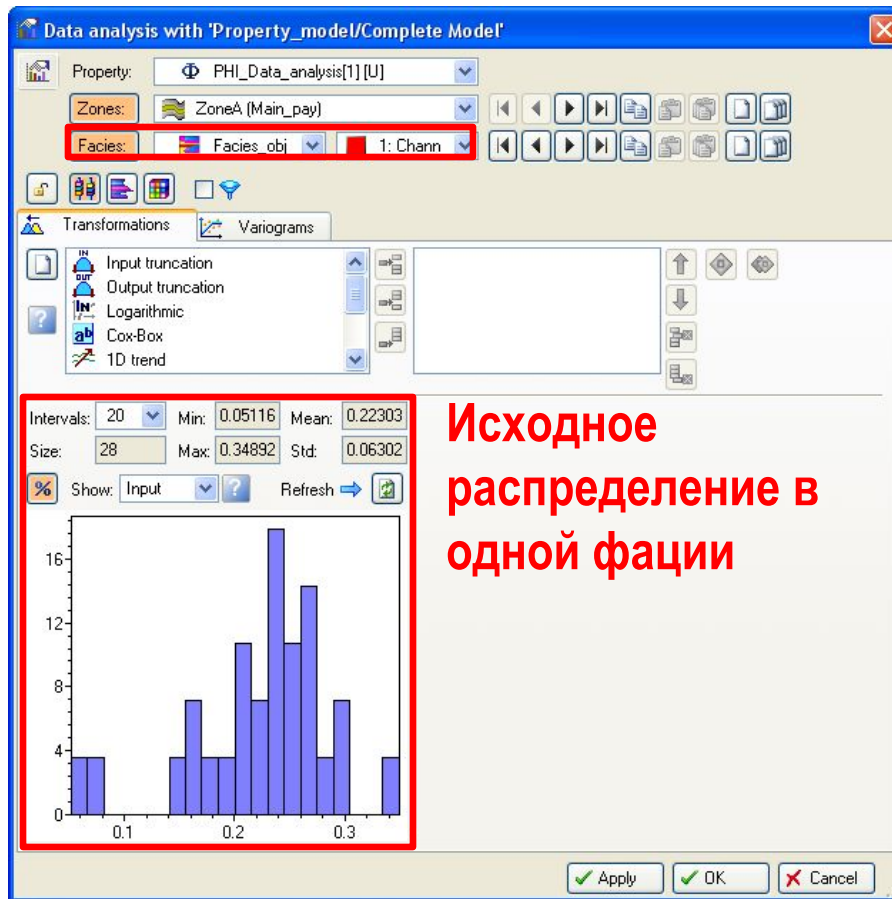


# Петрофизическое моделирование

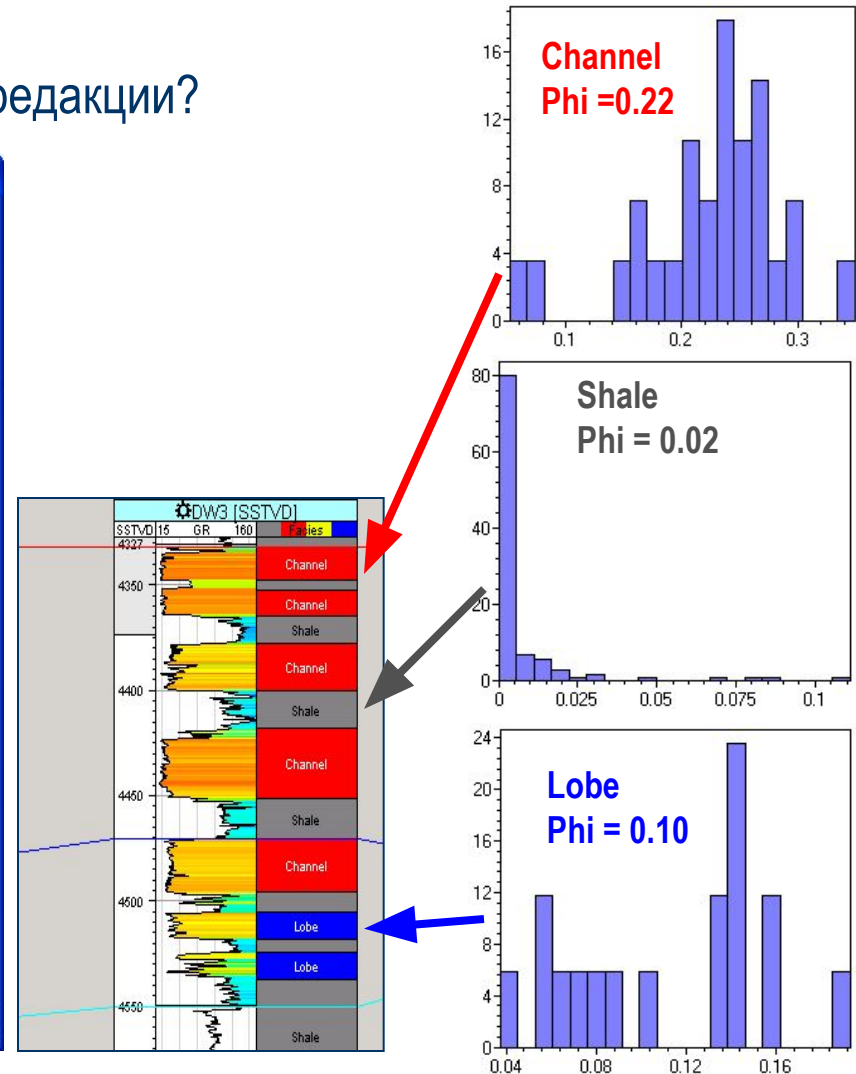


## Процесс Data analysis – Распределение (в отдельной фации)

- **Гистограмма для разных фаций:**  
Подходит гистограмма или нуждается в редакции?



**Исходное  
распределение в  
одной фации**

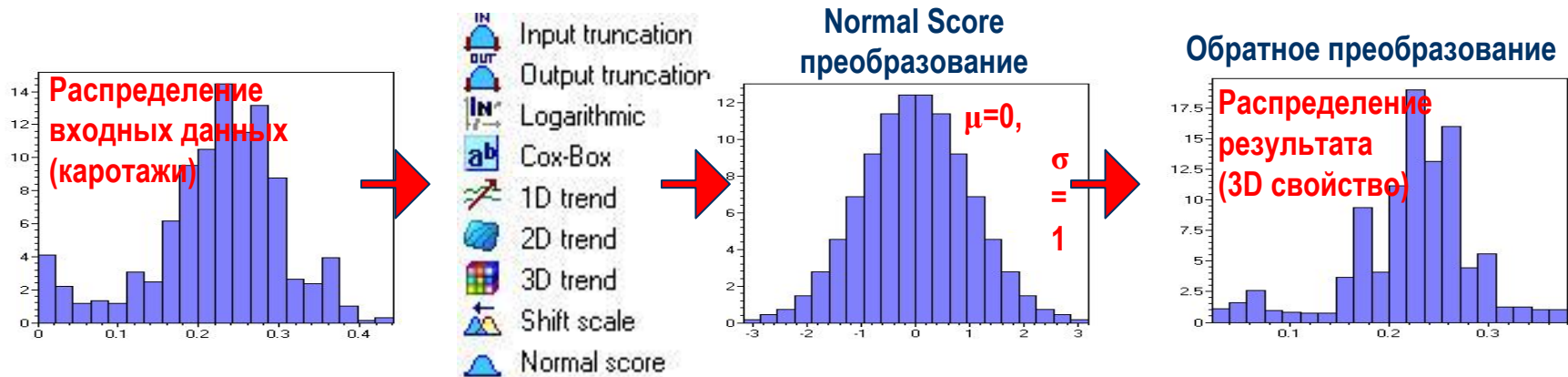


# Петрофизическое моделирование

## Что такое преобразование данных?



**Преобразование данных** – это трансформация реальных данных во внутренние. Последовательно могут быть произведены несколько преобразований. До запуска алгоритма моделирования используется преобразование к стандартному нормальному распределению (**Normal Score** Среднее =0, ст. отклонение=1.)



**Обратное преобразование** будет автоматически произведено в обратном порядке для сохранения пространственного тренда и исходного распределения данных в получившемся свойстве.

# Петрофизическое моделирование

## Процесс Data analysis – Преобразование (Распределение)



### Усечение исходного распределения

**Input truncation**

Minimum: 0.01  
Maximum: 0.35

Force outside values to the nearest bound.  
Outside values undefined

**Усекает исходное распределение для удаления нехарактерных значений или помещения их в соседний интервал**

**Аномальное распределение пористости в песке (цементирование)**

**Output truncation**

Minimum: 0  
Maximum: 0.35

**Усекает получившийся результат при обратном преобразовании данных для получения величин в желаемом интервале**

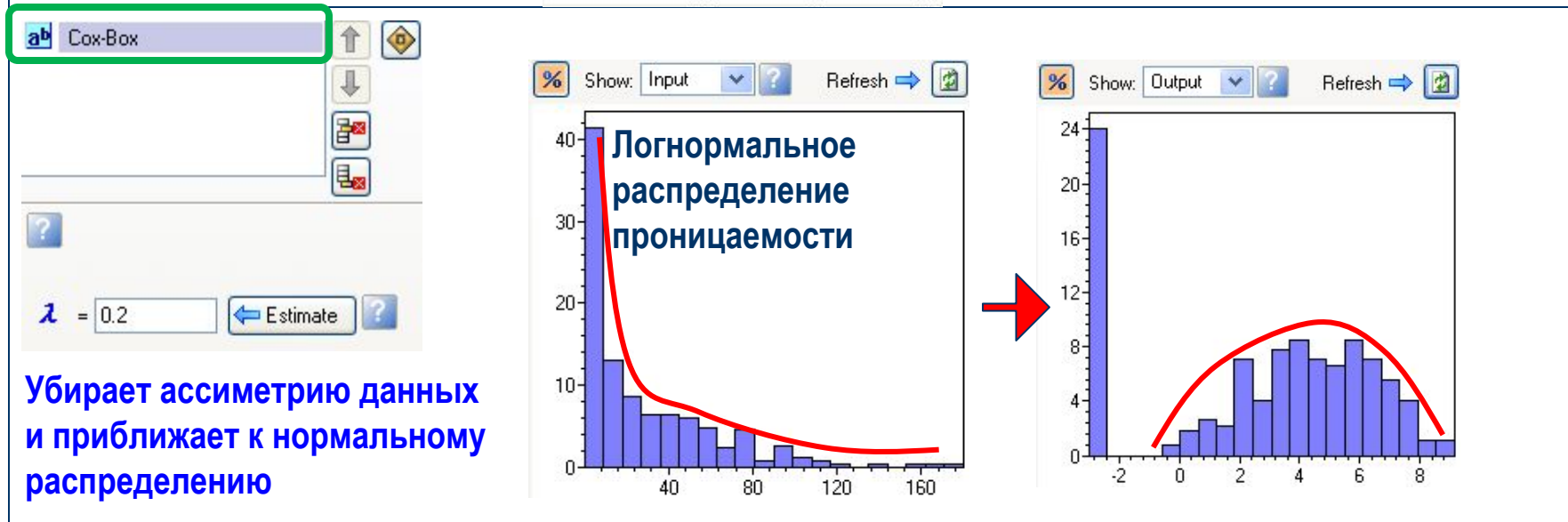
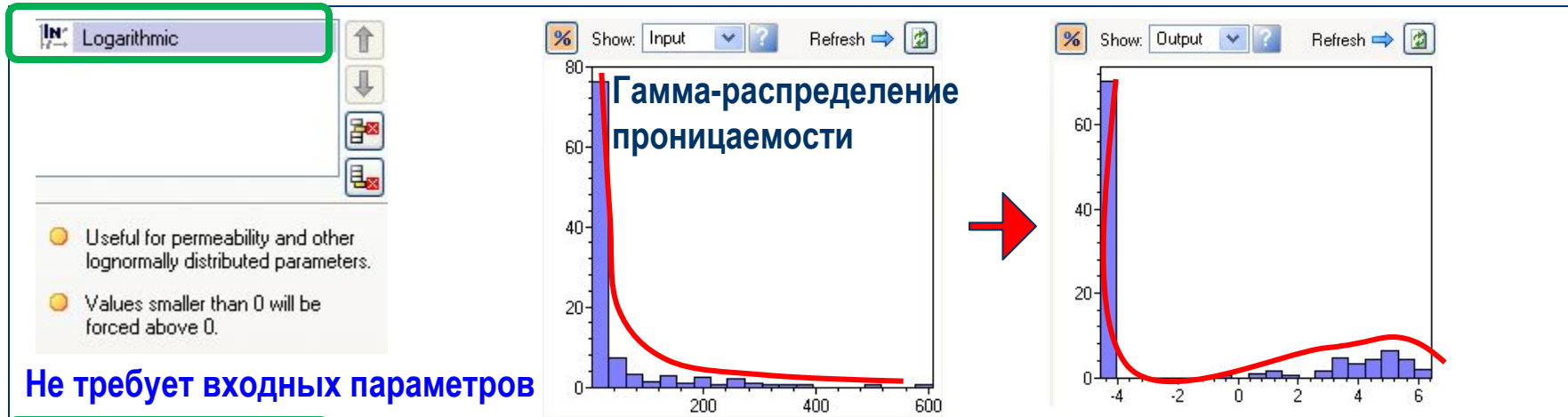
**Output truncation не отображается в виде гистограммы, так как применяется уже после моделирования как ограничение функции распределения**

# Петрофизическое моделирование

## Процесс Data analysis – Преобразование (Форма и шкала)



### Изменение формы распределения



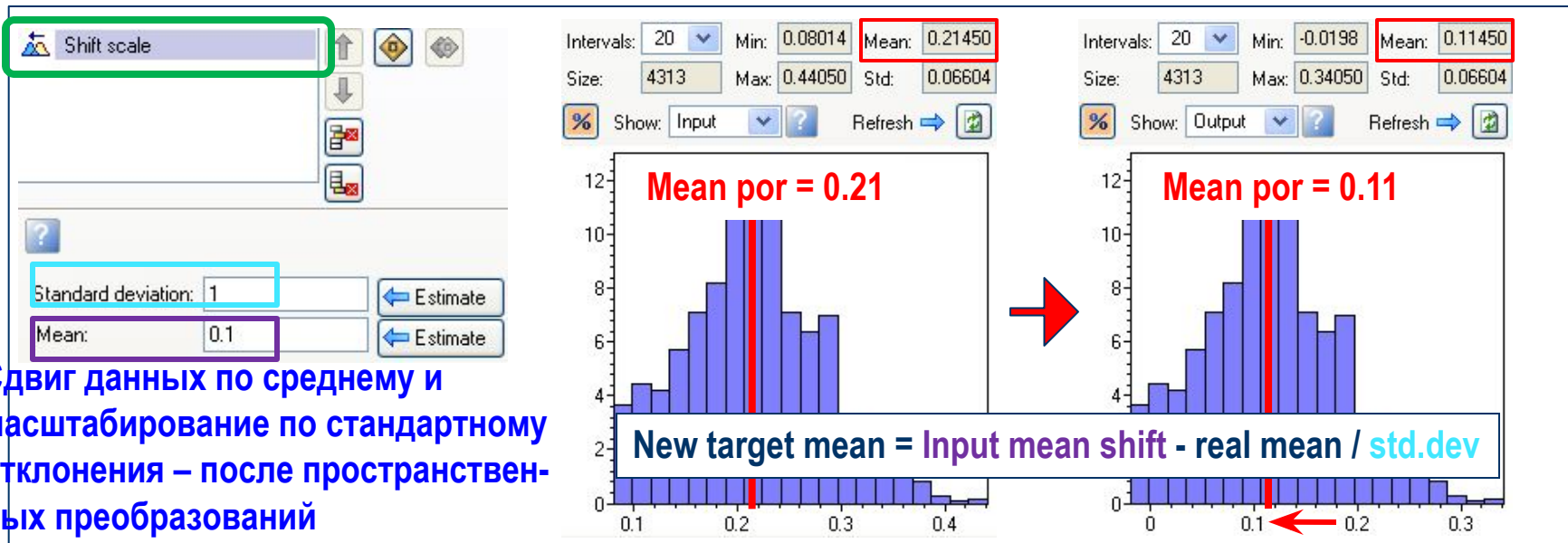


# Петрофизическое моделирование

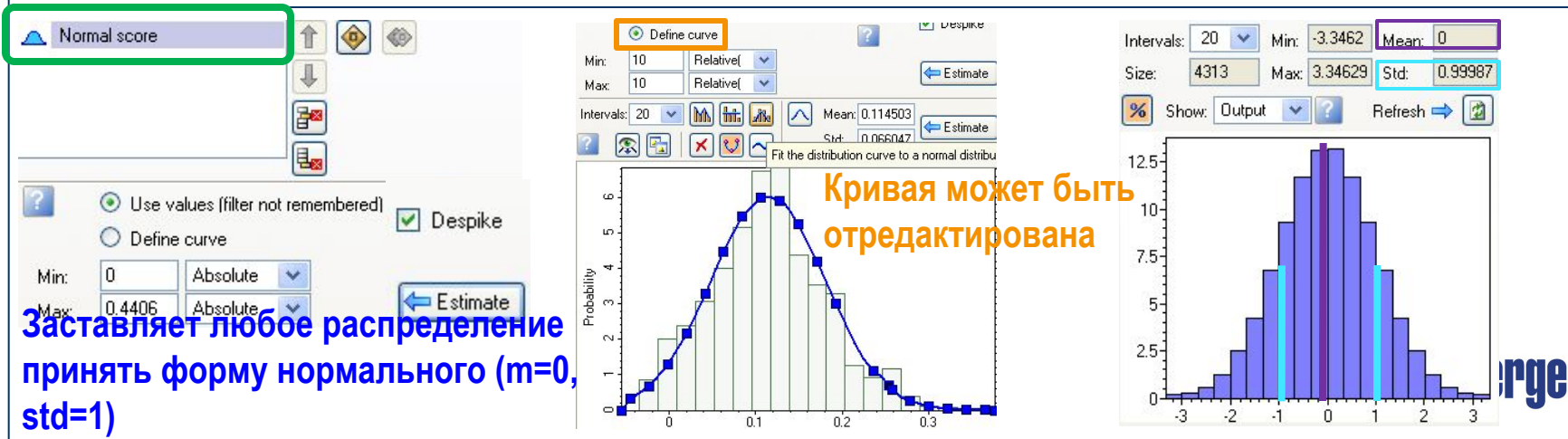
## Процесс Data analysis – Преобразование (Сдвиг/Шкала/Форма)



### Изменение интервала распределения и шкалы



Сдвиг данных по среднему и масштабирование по стандартному отклонению – после пространственных преобразований



Заставляет любое распределение принять форму нормального (m=0, std=1)

# Петрофизическое моделирование

## Процесс Data analysis – Преобразование (Тренды)

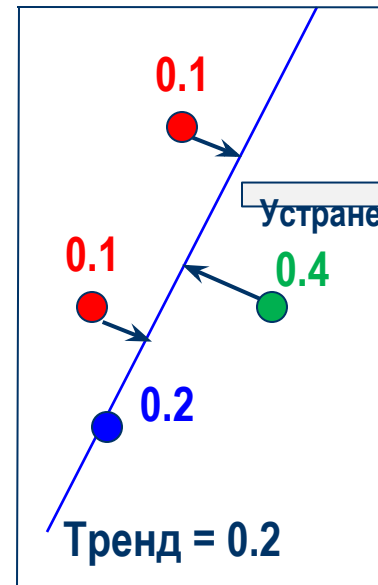


**Тренды** должны быть убраны из данных для того, чтобы обеспечить их стационарность. Они могут быть **1D** (вертикальные, связанные с влиянием глубины), **2D** (латеральное изменение фаций) или **3D** (другое свойство, коррелирующее с данным).

### Последовательность действий:

- Есть ли тренд?
- Если есть, вычтеть его из данных.
- Рассматривается остаточное свойство (исходное минус гладкий тренд).
- Моделируется остаточное свойство.
- Тренд добавляется к смоделированному свойству (во время обратных преобразований).

Пористость - Реальная  
Нет стационарности



Пористость - Остаточная  
Стационарность



Устранение тренда

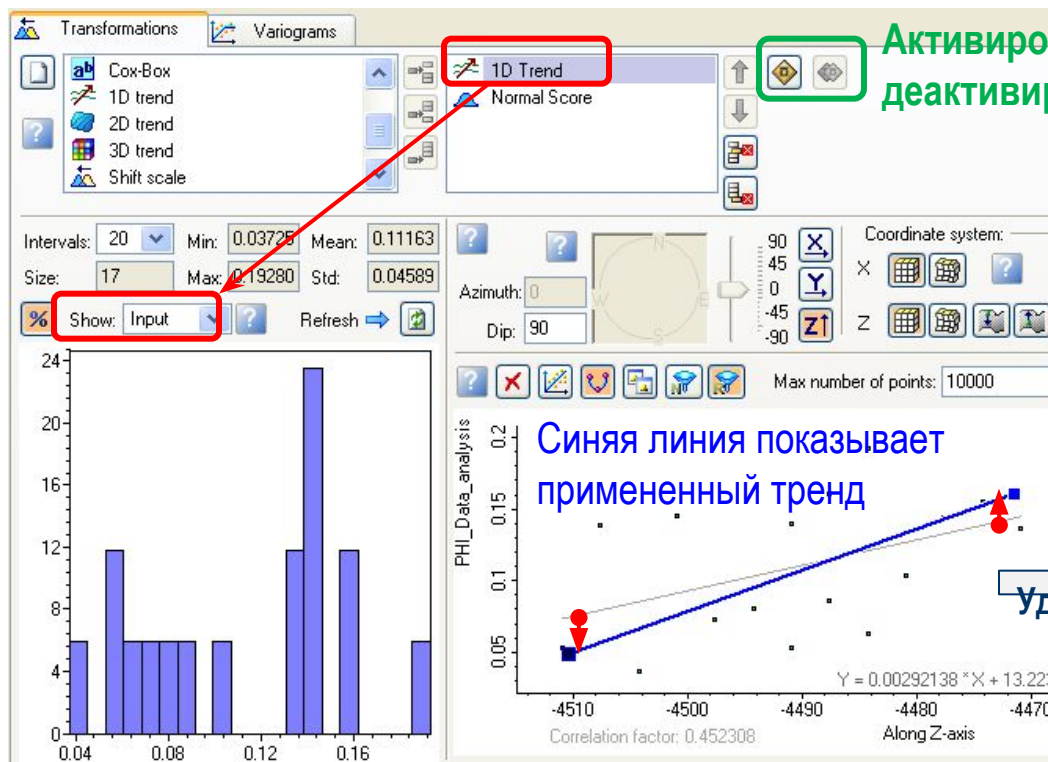
# Петрофизическое моделирование

## Как происходит 1D Trend преобразование в Petrel

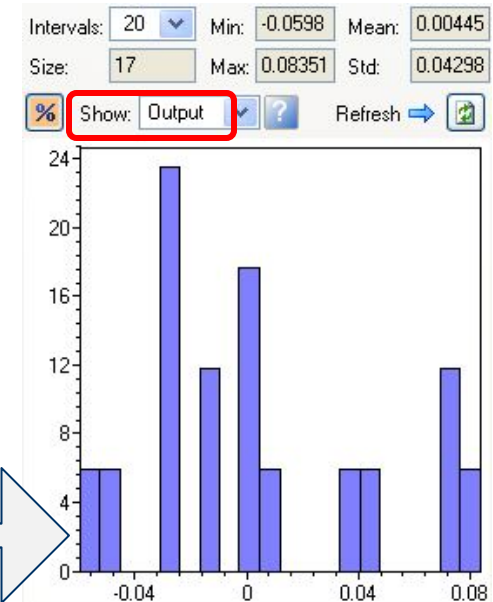


### Как использовать 1D Trend in the Data Analysis process:

- Закиньте **1D trend**, используя голубую стрелку и выберите **Show: Input**.
- Выберите в качестве тренда кривую регрессии или любую другую
- Выберите **Show: Output** для отображения распределения в **остаточном свойстве**



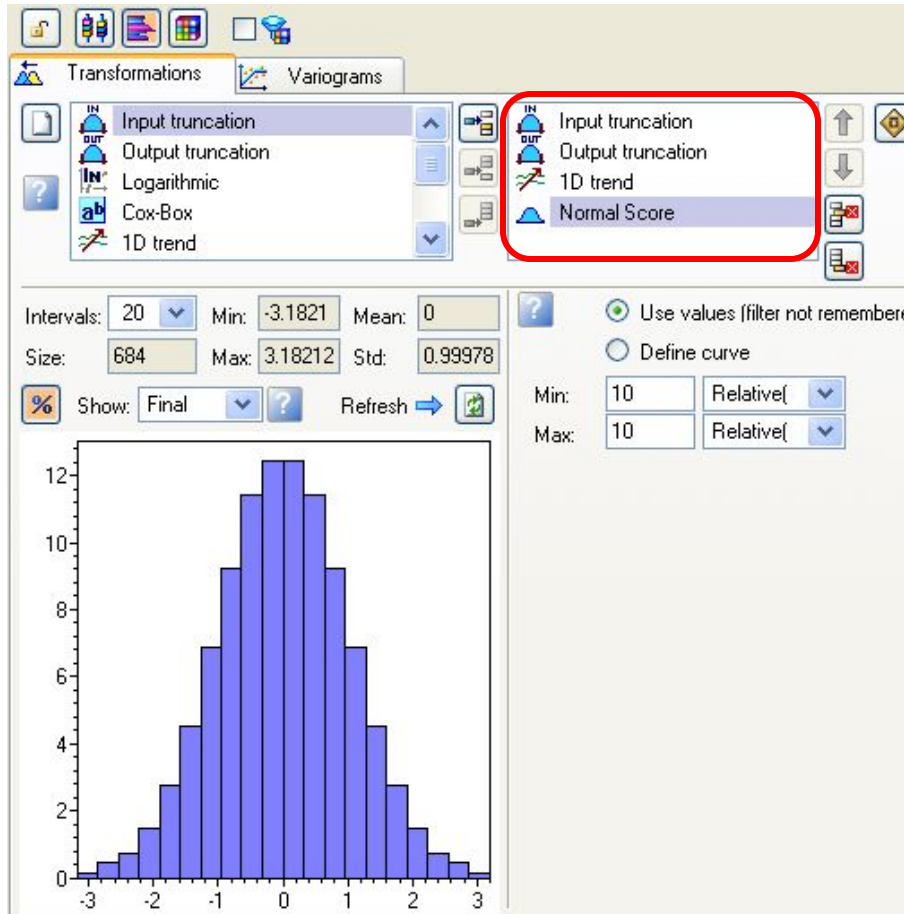
Исходное распределение



Полученное распределение

# Петрофизическое моделирование

## Пример последовательности преобразований



До моделирования Petrel выполнит следующее преобразование :

1. Усечение входного распределения (т.е. исключение выбросов)
2. Удаление 1D тренда (это необходимо при наличии тренда)
3. Преобразование данных к нормальному распределению (т.е. преобразование набора данных в распределение со средним 0, ст. кв. отклонением 1)

После моделирования: обратное преобразование данных:

1. Отмена преобразования к нормальному распределению
2. Добавление 1D тренда, который был удален
3. Усечение выходного распределения, соответствующее установкам, заданным в преобразовании Output Truncation.

# Петрофизическое моделирование

## Процесс Data analysis – Анализ вариограммы



**Вариограмма** рассчитывается на основе **преобразованных данных**. Измеряет изменчивость с расстоянием.

Рассчитывается в 3 направлениях:

- Горизонтальное главное
- Горизонтальное второстепенное
- Вертикальное

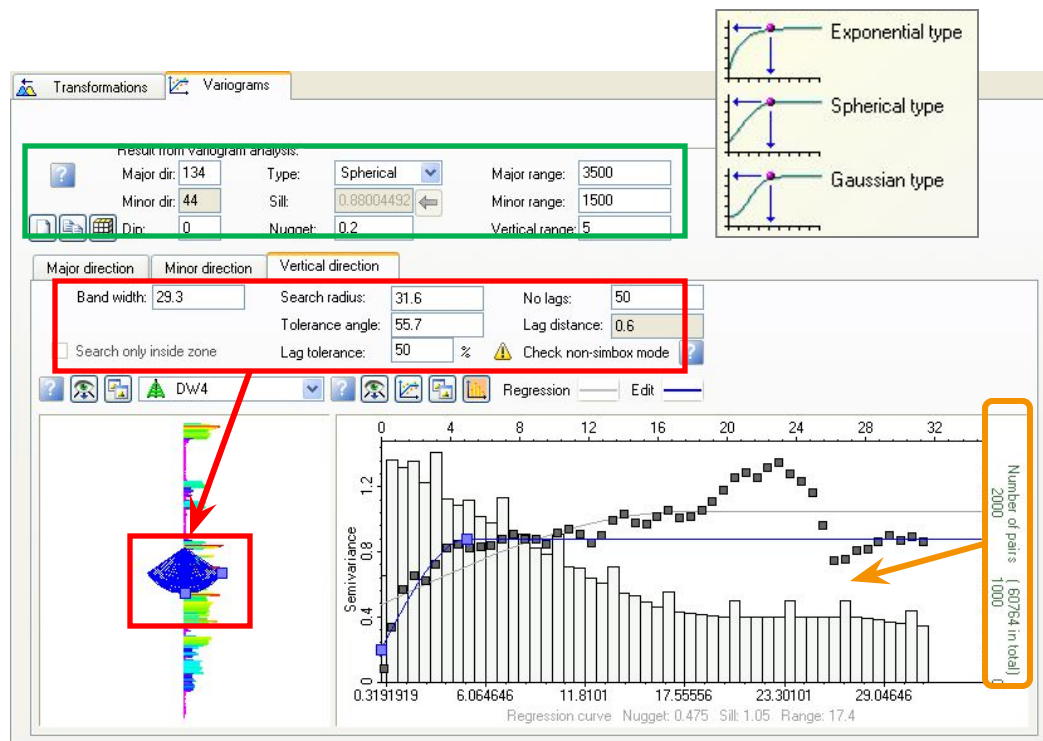
**Конус поиска** лагами определяет пары точек

**Точки** = Экспериментальная вариограмма

**Линия** = Кривая регрессии

**Линия** = Модельная вариограмма

**Гистограмма** = Количество пар



$$\gamma(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} ((\Phi_{(i+h)}) - (\Phi_i))^2$$

# Петрофизическое моделирование

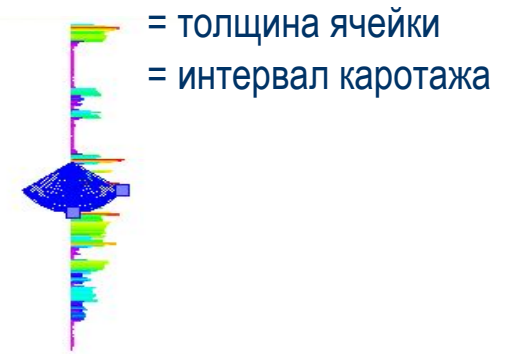
## Вариограмма – Конус поиска



Major direction	Minor direction	Vertical direction	
Band width: 29.3	Search radius: 31.6	No lags: 50	
<input type="checkbox"/> Search only inside zone	Tolerance angle: 55.7	Lag distance: 0.6	
	Lag tolerance: 50 %	Check non-simbox mode	

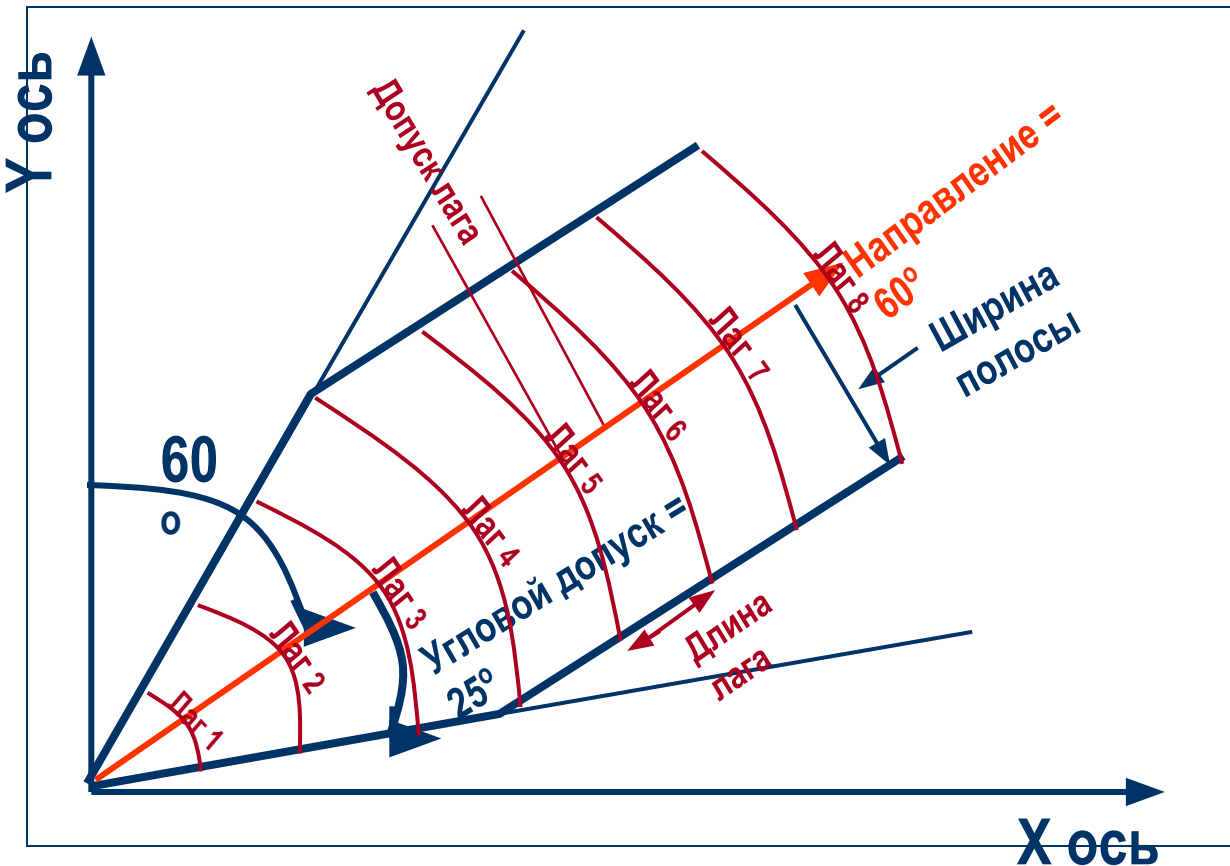
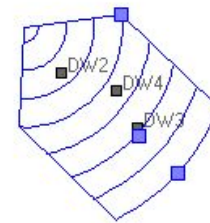
**Рекомендуемая длина лага:**

**Вертикальная**



**Пространственная**

= расстояние между скважинами



# Петрофизическое моделирование

## Процесс создания вариограммы



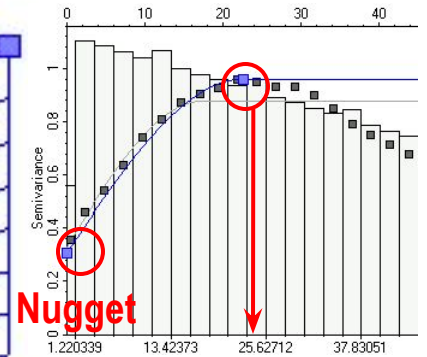
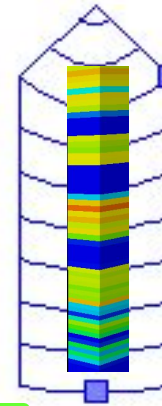
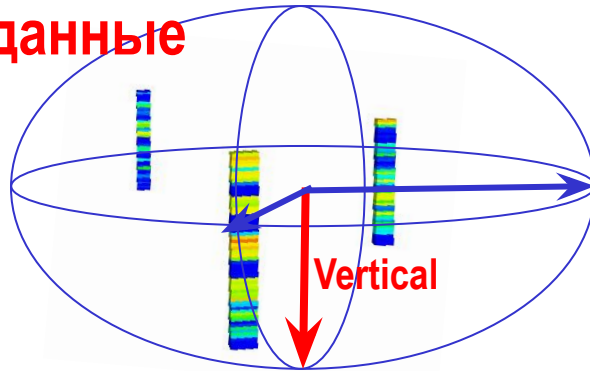
- **Вертикальная вариограмма**
  - большое количество данных
  - легко сделать оценку
- **Соответствие модели экспериментальной вариограмме**
  - сферическая, гауссовская, экспоненциальная
- **Горизонтальная вариограмма**
  - обычно мало данных, тяжело сделать хорошую вариограмму
  - Может быть:
    - основана на геологических знаниях
    - построена на основе коррелирующих данных

# Петрофизическое моделирование

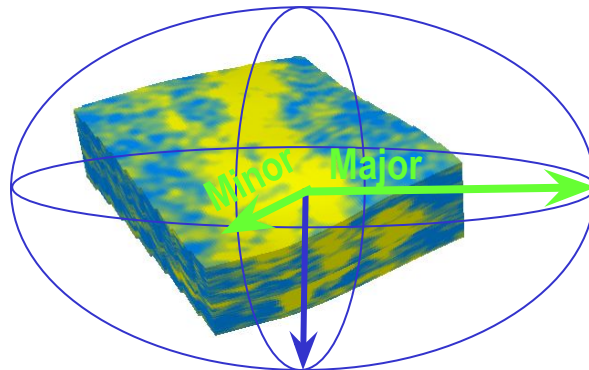
Вариограмма – Использование вторичных данных для построения горизонтальной вариограммы



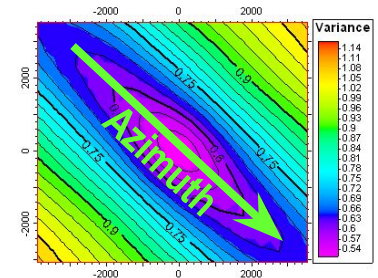
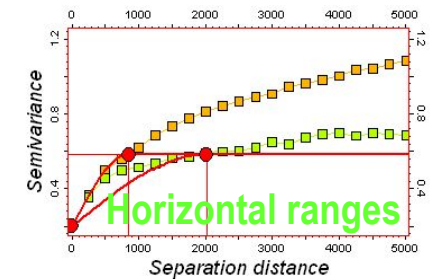
## Первичные данные



Major dir:	134	Type:	Spherical	Major range:	2100
Minor dir:	44	Sill:	1	Minor range:	950
Dip:	0	Nugget:	0.3	Vertical range:	24



## Вторичные данные







# Упражнение