

# ОСНОВЫ ГЕОСТАТИСТИКИ

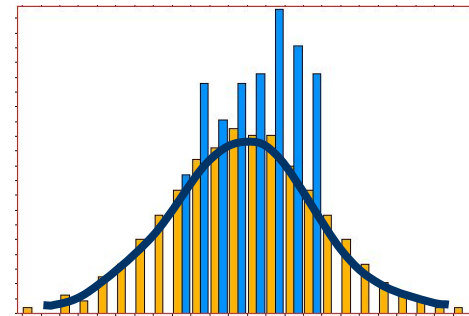
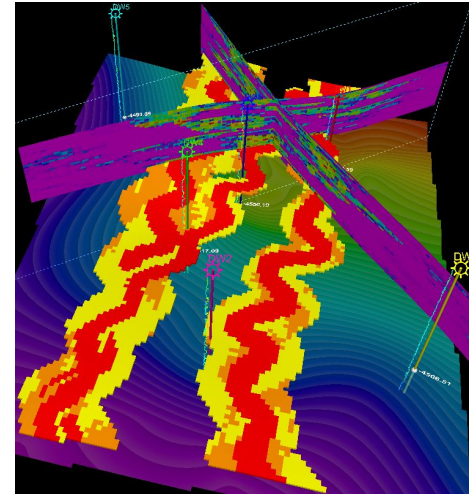
## что такое геостатистика?

- **Геостатистика** – это раздел прикладной статистики, с акцентом на геологический контекст данных и на пространственные отношения между данными
- **Геостатистические навыки** являются важной частью управления коллекторских свойств, так как позволяют оптимизировать время и ресурсы

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Почему используют Геостатистику при моделировании?

- Малое количество непосредственных наблюдений
- Пространственное отношение переменных и их корреляция
- Описывает неоднородность коллектора
- Обеспечивает последовательное распространение 3D модели
- Систематический подход описания и управления неопределенности коллектора



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Определения

**Вероятность** - описывает **вероятность** события. (Измеряется в процентах).

**Дисперсия** - величина, показывающая, на сколько **отличны** представители совокупности друг от друга. (Измеряется в тех же единицах, что и представители совокупности).

**Корреляция** - мера **зависимости** двух совокупностей. (Измеряется в процентах).

**Анизотропия** - характеристика отображающая зависимость параметров распределения от **направления**. (Измеряется азимут и степень неоднородности).

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Определения

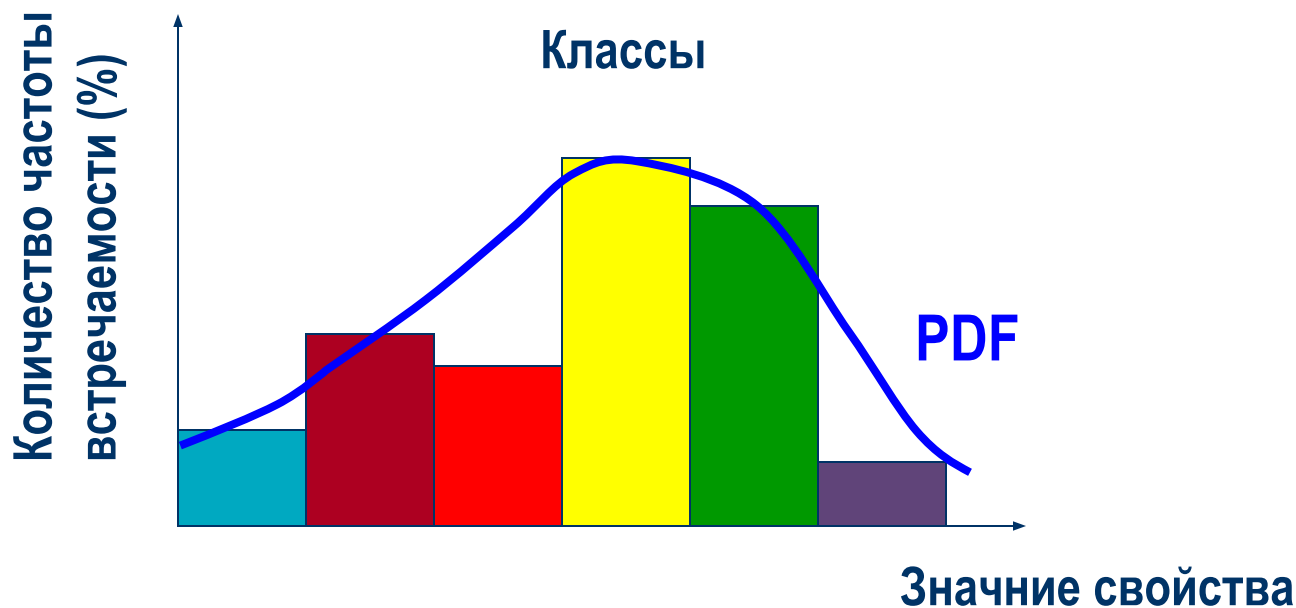
**Стационарность** – это предположение, делающееся исходя из **характеристик свойства**, анализируемых с помощью геостатистических инструментов.

Практически это означает, что общее **среднее** свойства (например, средняя пористость) является **константой** и **различия** от этого среднего составляют небольшие **локальные изменения**.

Эта идея заложена в Геостатистические алгоритмы и связана со **Стандартным Нормальным отклонением** (через **Преобразование к нормальному распределению**)

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

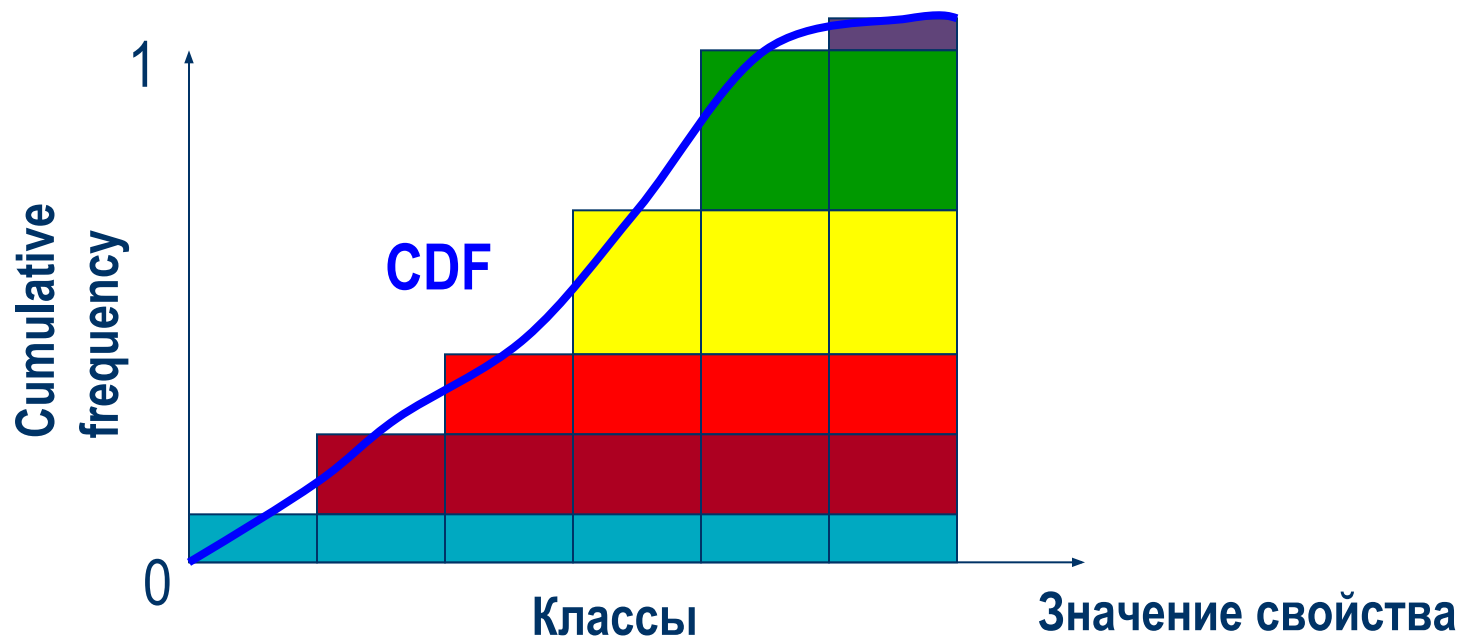
## Функция распределения вероятностей (PDF)



**Гистограмма** это графическое представление распределения вероятности выбранной переменной

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Кумулятивная функция распределения (CDF)



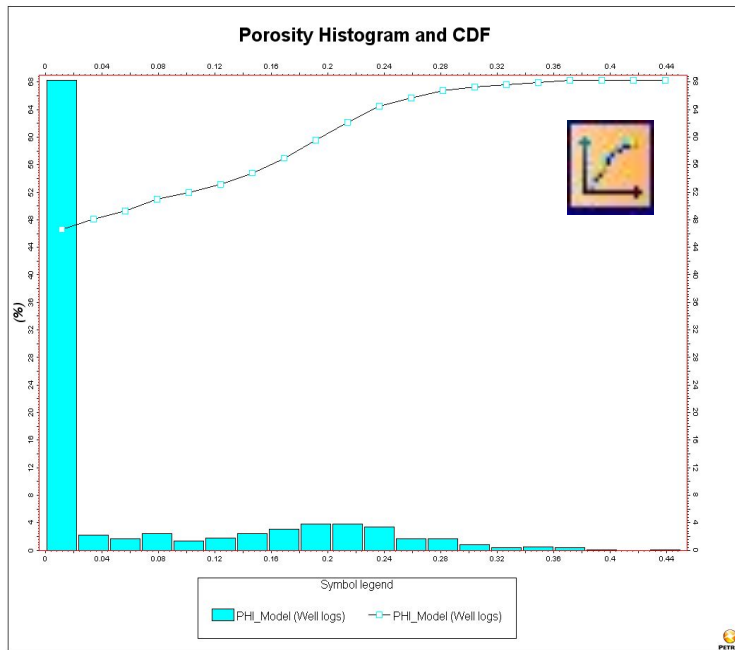
Классы гистограммы упорядочены в порядке возрастания и отображены в виде **кумулятивной функции**

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## PDF и CDF в Petrel (Гистограммы)

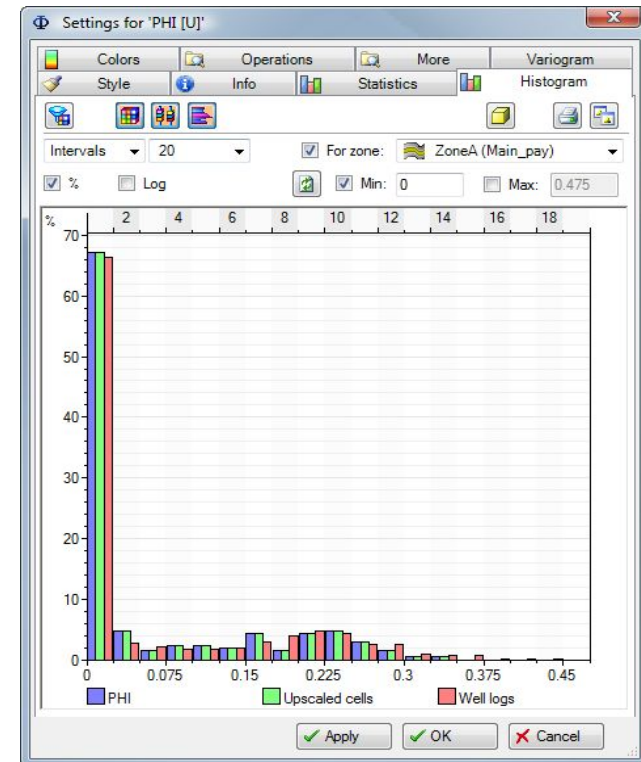
### Гистограмма и CDF в окне Histogram

1. Откройте окно **Histogram**
2. Выберите **свойство** для отображения
3. Выберите иконку **Show cdf curve**
4. Используйте фильтры, если необходимо



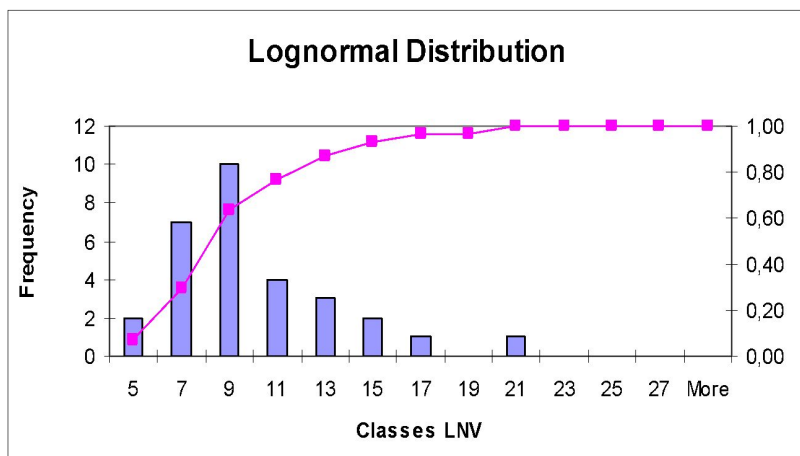
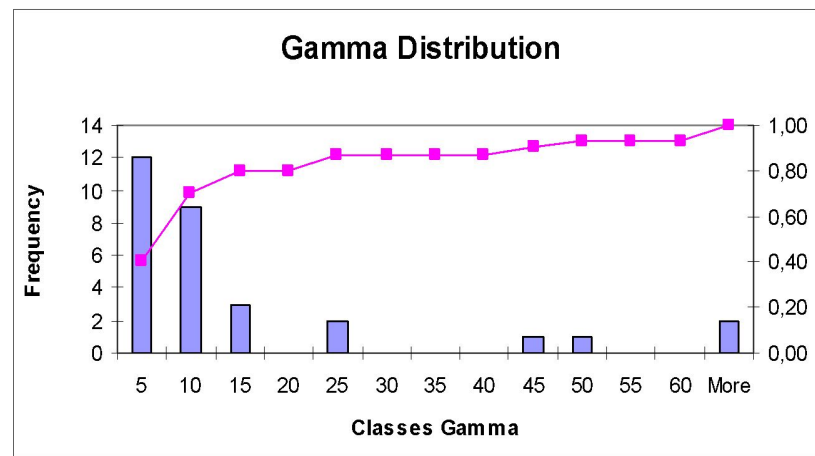
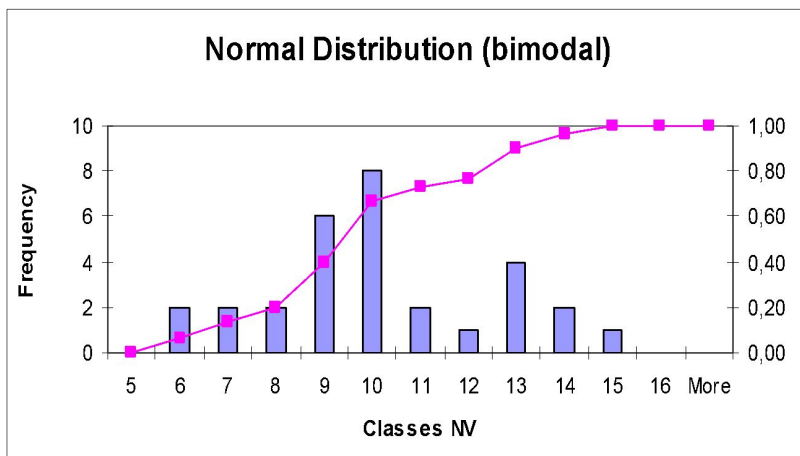
### Гистограмма в настройках объекта

1. Откройте окно **Settings** для объекта
2. Перейдите на закладку **Histogram**
3. Используйте фильтры и интервалы/инкременты, если необходимо



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Теоритические распределения



**Гистограмма** – графический помощник для нахождения формы распределения (нормальное, логонормальное или гамма)

**Распределения** различаются **формами** и **параметрами**

**Форма кривой CDF** зависит от формы гистограммы



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Нормальное распределение

Выражение для  
Нормального  
распределения

$$p(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

**Математическое ожидание:**

- Описывает локализацию распределения

**Дисперсия:**

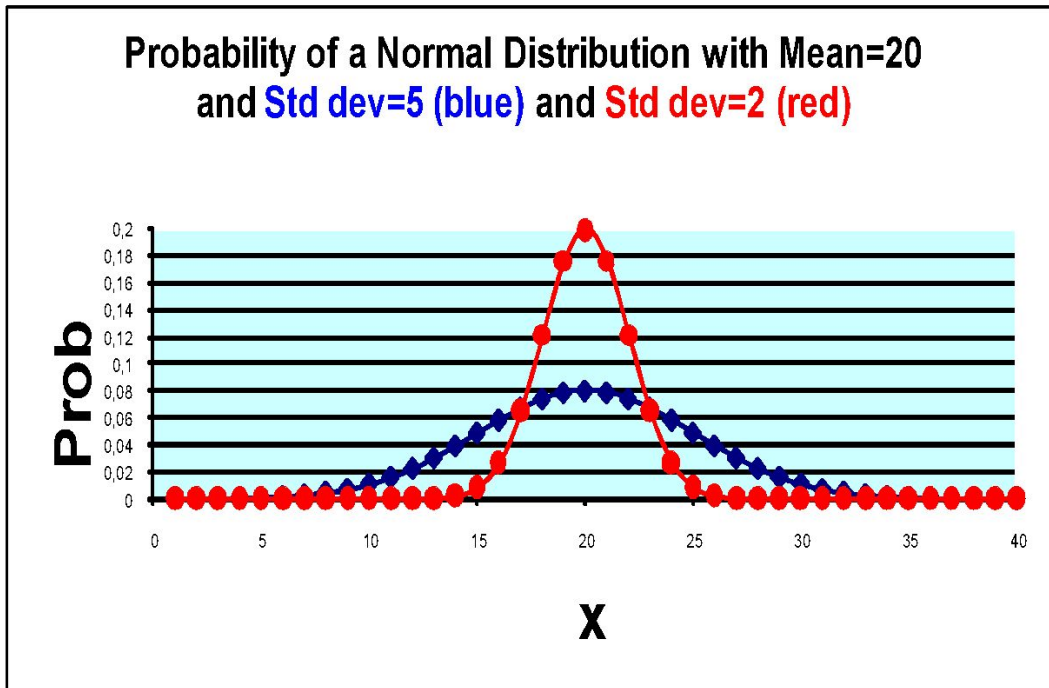
- **Разброс** (средне квадратичное расстояние) данных от ожидаемой величины (Среднее)

- **Единица** = квадрат от исходных данных

**Стандартное отклонение:**

- Квадратный корень из дисперсии (положительный)

- **Единица**= та же величина, что и у исходных данных



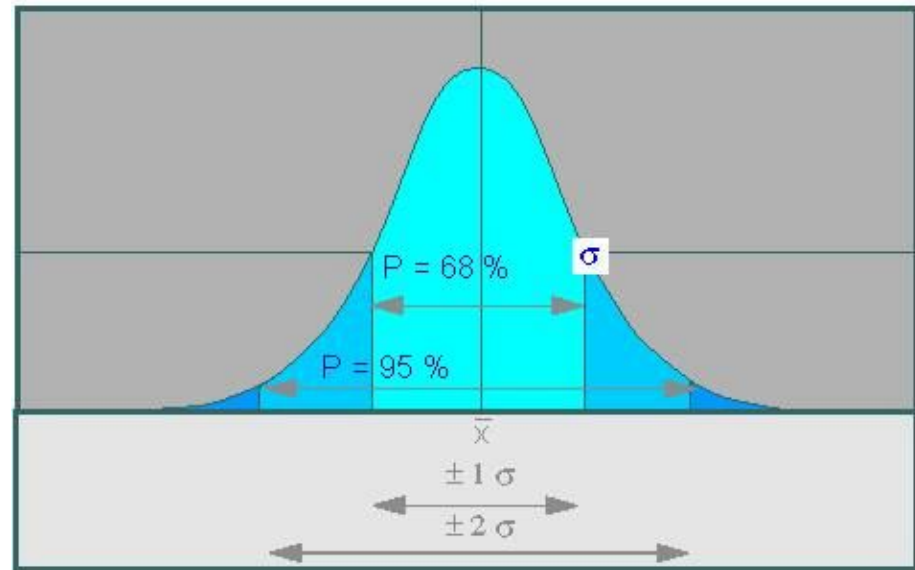
**Нормальное распределение** переменной создает **Симметричную форму**. Это обеспечивает последовательное использование в математических алгоритмах, но может быть чувствительно к выбросам.

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Преобразование к нормальному распределению

$$p(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)} \longrightarrow p(x; 0, 1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\left(\frac{x^2}{2}\right)}$$

| Statistical confidence level<br>S= 1- α (%) | Risk α (%) | Factor in terms of standard deviation |
|---|------------|---------------------------------------|
| 1 68. )<br>3                                | 31.<br>7   | 1.00<br>0                             |
| 90.<br>0                                    | 10.<br>0   | 1.64<br>5                             |
| 95.<br>0                                    | 5.<br>0    | 1.96<br>0                             |
| 95.<br>5                                    | 4.<br>5    | 2.00<br>0                             |
| 99.<br>0                                    | 1.<br>0    | 2.57<br>6                             |
| 99.<br>7                                    | 0.<br>3    | 3.00<br>0                             |

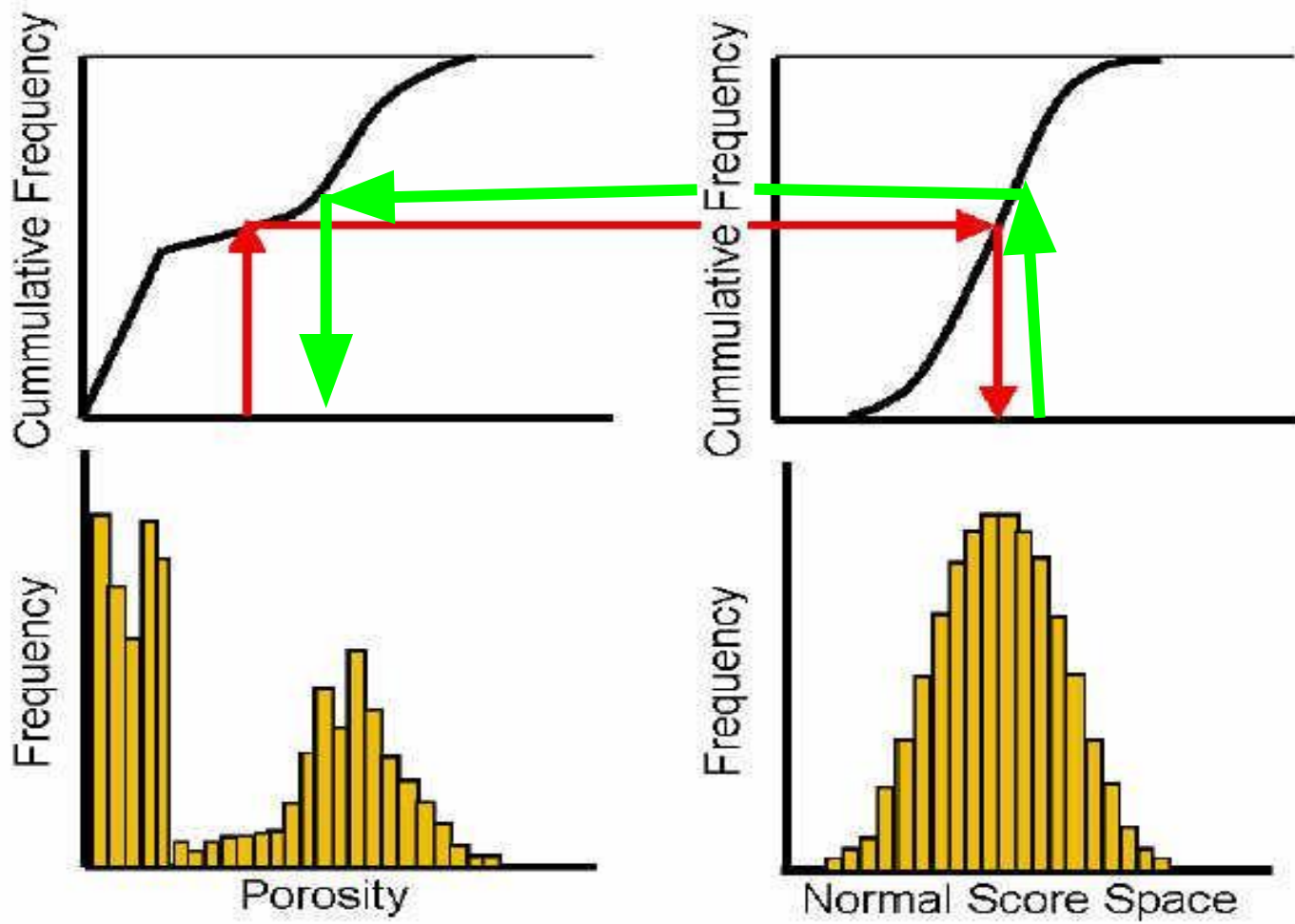


**Результат:** Таблица преобразования в  
обоих направлениях; данные  
преобразованы к **Стандартному**

**Нормальному распределению** Schlumberger

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

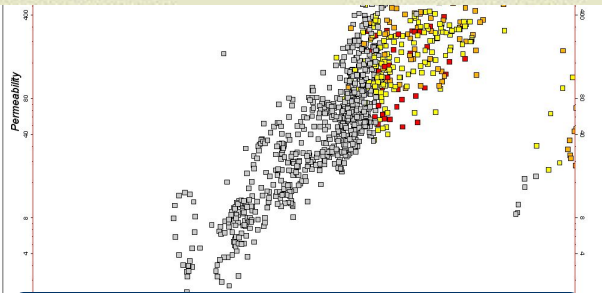
## Преобразование к нормальному распределению



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

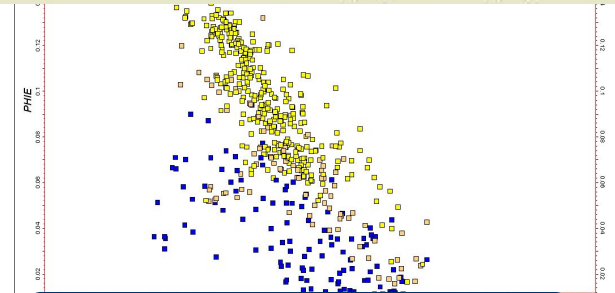
## График зависимости и корреляция

| Description        | Value                            |
|--------------------|----------------------------------|
| Correlation coeff: | 0.492465                         |
| Covariance:        | 0.012079                         |
| Linear function:   | $\log(Y) = 6.5167 * X + 1.00072$ |
| Name of function:  | Permeability_vs_Porosity         |



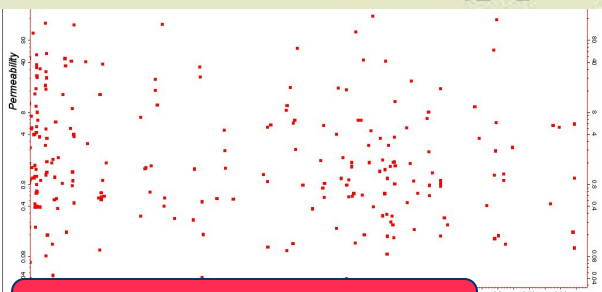
Положительная корреляция

| Description        | Value                            |
|--------------------|----------------------------------|
| Correlation coeff: | -0.808351                        |
| Covariance:        | -156.376                         |
| Linear function:   | $Y = -7.63048E-6 * X + 0.358419$ |
| Name of function:  | PHIE_vs_Acoustic_Impedance       |



Отрицательная корреляция

| Description        | Value                             |
|--------------------|-----------------------------------|
| Correlation coeff: | 0.089633                          |
| Covariance:        | 0.0130464                         |
| Linear function:   | $\log(Y) = 1.20293 * X - 1.00384$ |
| Name of function:  | Permeability_vs_Porosity          |



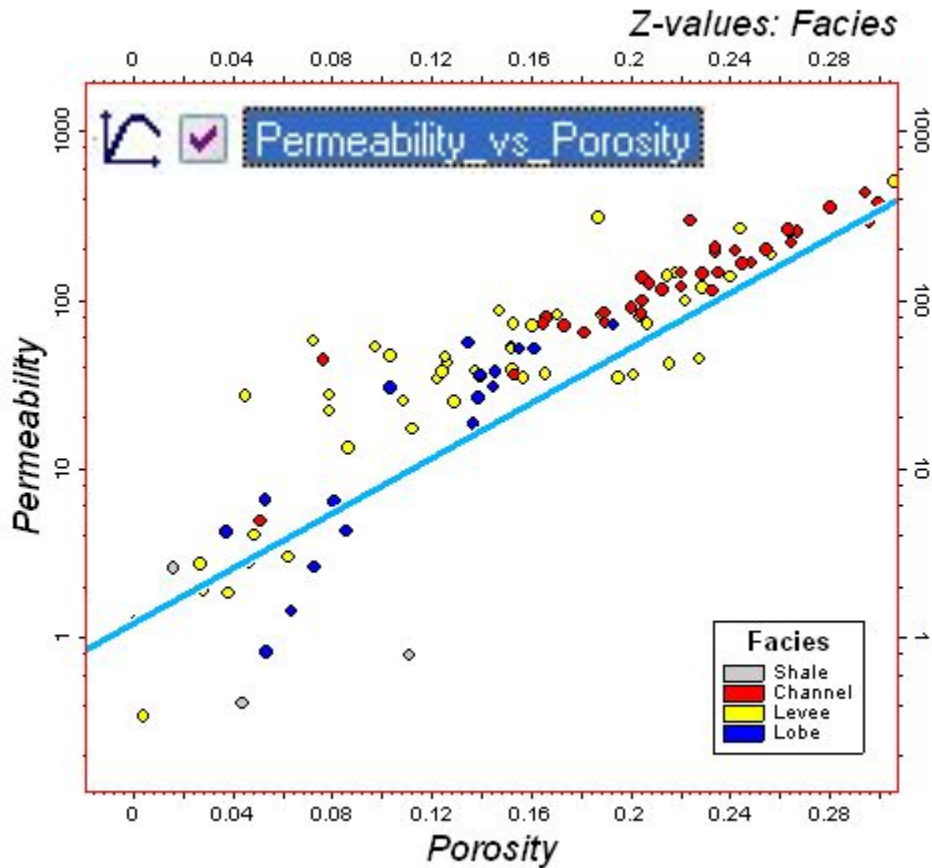
Отсутствие корреляции

### График зависимости

- Отображает значения двух переменных в одной и той же точке
- Показывает **Степень Корреляции** (от -1 до 1)

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Анализ Корреляции в Petrel (Функция окно)



Если два свойства хорошо коррелируются, то одно из них может быть использовано как вторичная переменная при моделировании, при маленькой плотности данных (например, только несколько скважин)

### Установка корреляции:

1. Откройте окно **Function**
2. Выберите **свойства** для построения графика зависимости; Три свойства могут быть выведены на одной диаграмме (x, y и z-цвет)

- $\Phi$  X Porosity [U]
- $k^*$  Y Permeability [U]
- Z Facies [U]



Log масштаб для одной или двух осей

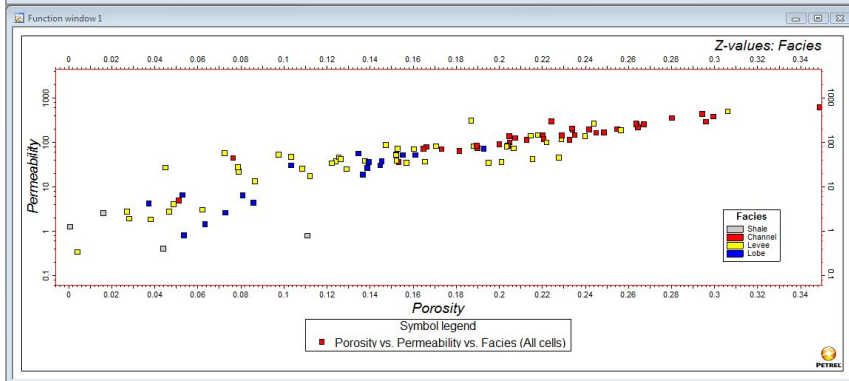
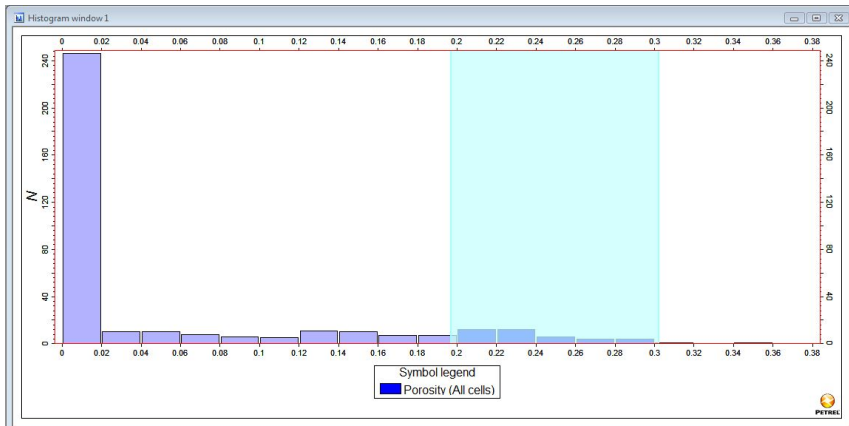
Выберите какие ячейки отображать: 3D грида, перемасштабированные и/или каротажа

Линейная регрессия и коэффициент корреляции

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

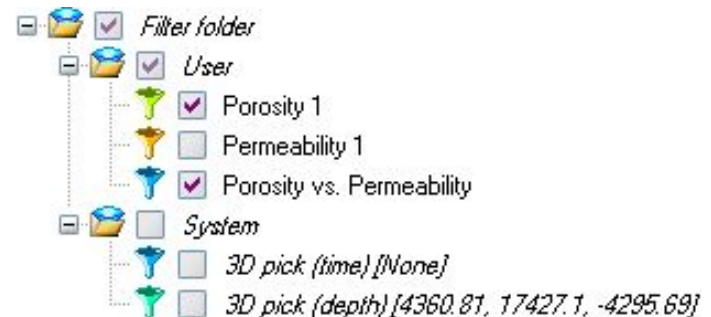
## Общие фильтры в Petrel (Гистограммы и графики зависимости)

В Petrel могут быть применены различные фильтры, но **Общие фильтры** из окон Гистограммы и Функции могут быть интерактивно применены к 3D свойствам модели или plot windows.



### Как создать фильтр в Petrel:

1. Используйте различные фильтры на функциональной панели окон Гистограммы и Функции
2. Создайте фильтр, выбрав область в окне (интересующие значения)
3. Новый фильтр будет на панели Input > Filter folder > User



# Упражнения

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Представление о вариограмме

- **Вариограмма :**

Количественное описание того, насколько отличаются **значения** в точках в зависимости от **расстояния** между ними

Основана на принципе, что **две близлежащие точки**, более вероятно, будут иметь похожие значения, чем **точки далеко расположенные друг от друга**

- **Два главных аспекта вариограммы :**

1. **Насколько близки** два значения расположенные рядом?
2. **Насколько далеко** должны быть точки, прежде чем они потеряют зависимость?



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Параметры вариограммы

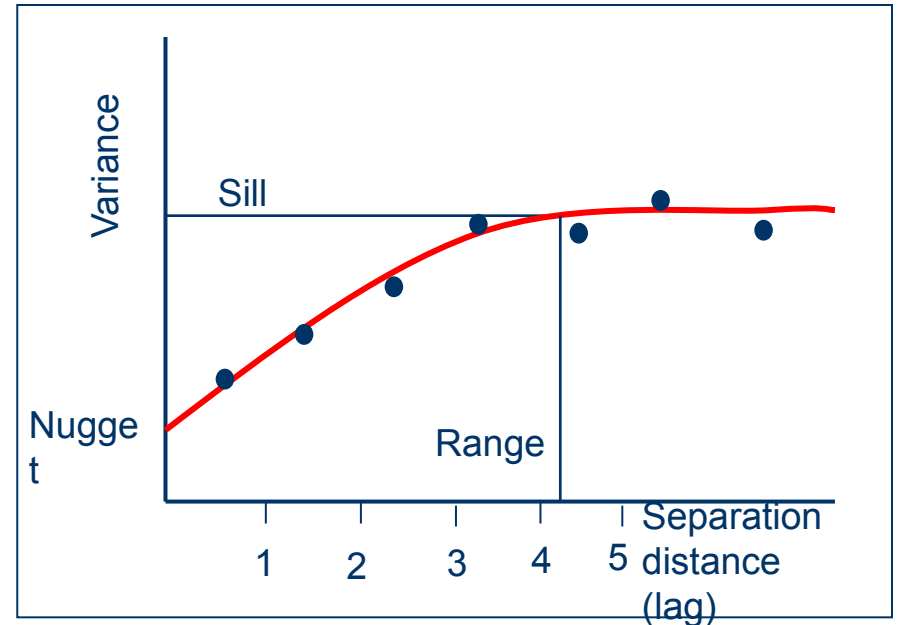
**Дисперсия:** Мера различия значений между парами точек.

**Расстояние лага:** Расстояние между точками.

**Пороговое значение:** Значение дисперсии, на котором график становится горизонтальным.

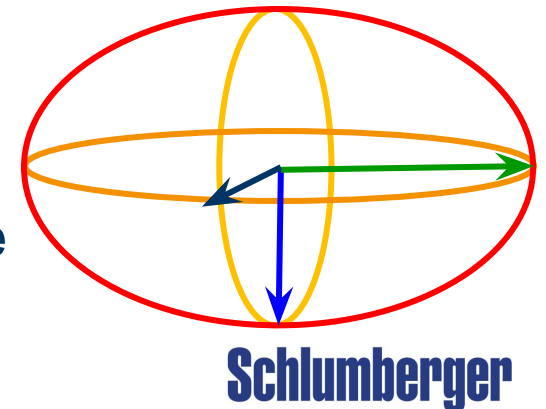
**Ранг:** Расстояние корреляции; расстояние на котором данные перестают зависеть друг от друга.

**Наггет:** Уровень различия на нулевом расстоянии.



Вариограмма может быть рассчитана в трех направлениях:

- **Главное горизонтальное**
- **Второстепенное горизонтальное**
- **Вертикальное**



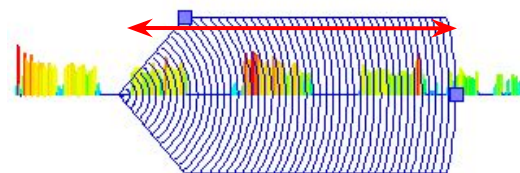
**Schlumberger**

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Расчет вариограммы

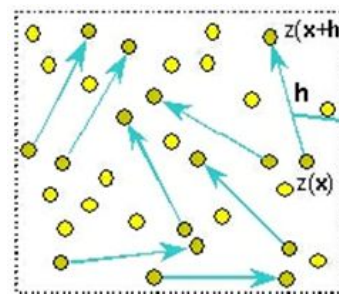
### Расчет и настройки:

1. **Радиус поиска** и **Инкремент лага** должны быть определены => Определите **Количество лагов** и **Длину лага**
2. Все пары точек в каждом **Лаге** (столбце) будут сравниваться
3. Для каждого лага (с данным количеством пар), среднее изменение рассчитывается (квадрат разницы)



**Радиус поиска**

Расстояние для Определения данных

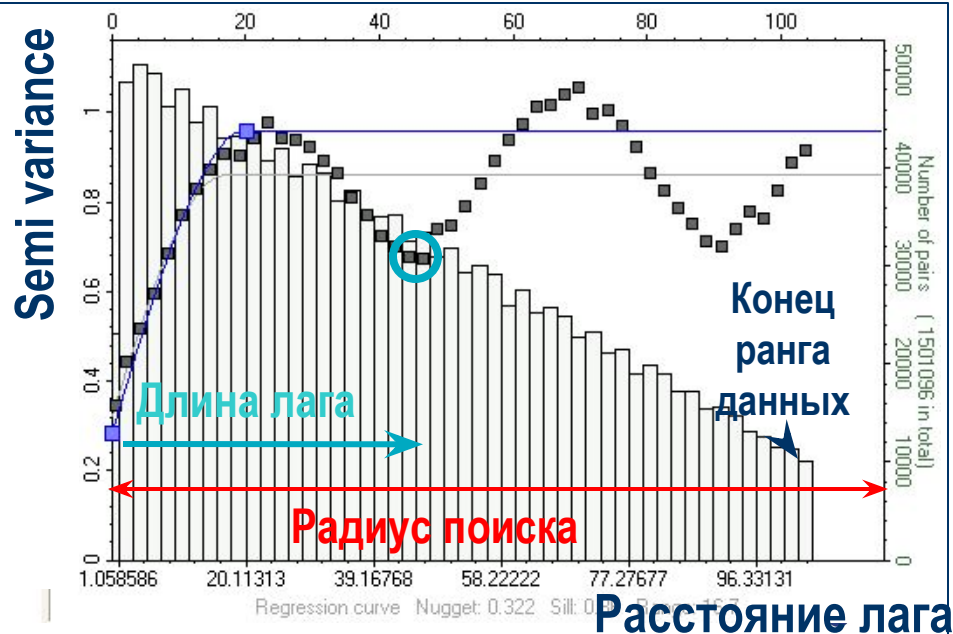


**Длина лага**

Определяет макс. расстояние для пар, отстоящих друг от друга (внутри каждого лага)

### Построение вариограммы:

1. Зависимость **полу-дисперсии** от **длины лагов** строится. Эти точки (средняя дисперсия для лага) создают **Экспериментальную вариограмму** (черные точки)
2. **Линия регрессии** (серая линия) создаются на основе всех точек на графике
3. Подберите кривую для экспериментальной вариограммы, чтобы создать **Модельную вариограмму** (голубая линия), которая похожа по форме



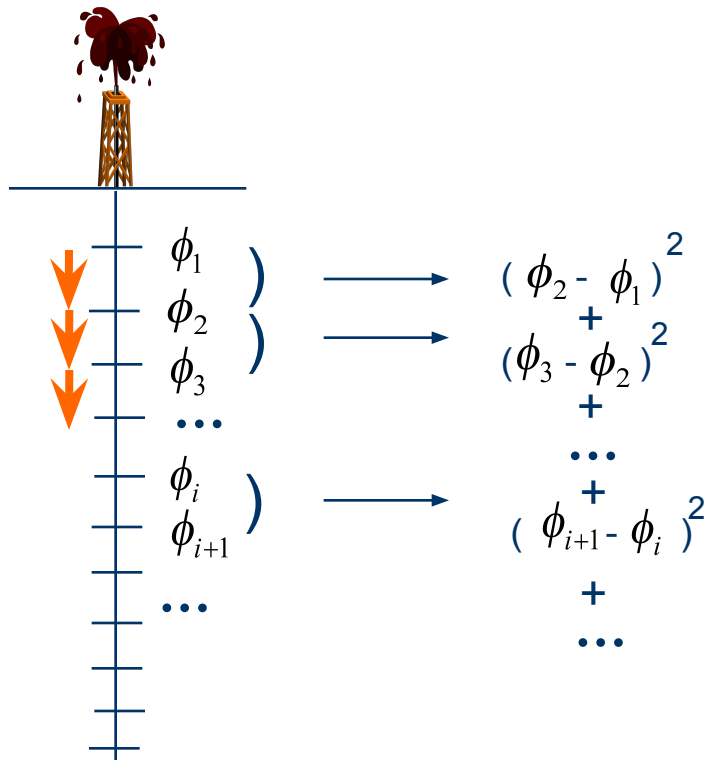
**Расстояние лага**

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Расчет экспериментальной вариограммы

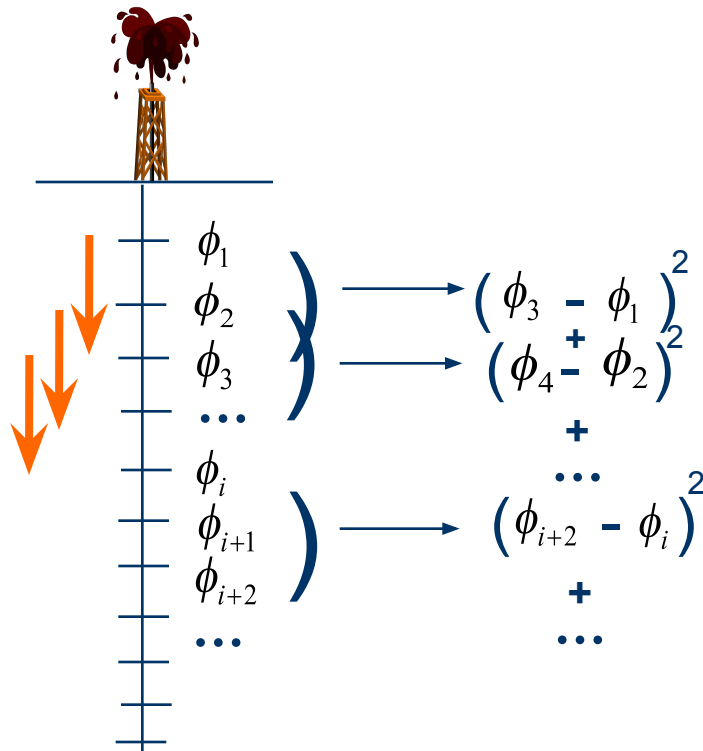
**Полу – дисперсия на расстоянии**      **Полу – дисперсия на расстоянии**

**1 лага**



$$\gamma_{(h1)} = \frac{1}{2N_1} \sum_{i=1}^{N_1} ((\phi_{i+1}) - (\phi_i))^2$$

**2 лагов**



$$\gamma_{(h2)} = \frac{1}{2N_2} \sum_{i=1}^{N_2} ((\phi_{i+2}) - (\phi_i))^2$$

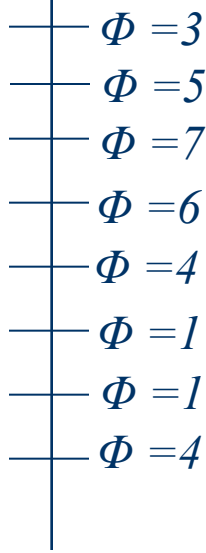
# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Результат расчета экспериментальной вариограммы

### Полу-вариограмма

может быть рассчитана экспериментально :

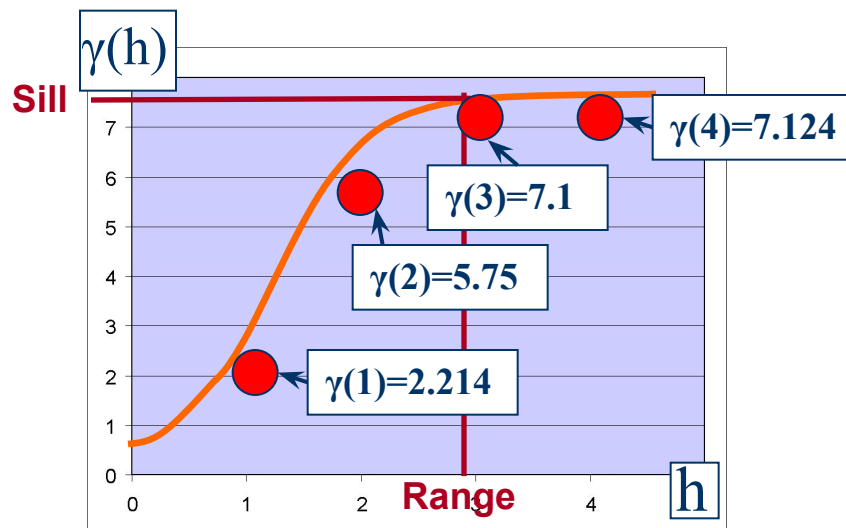
$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} ((\Phi_{(i+h)}) - (\Phi_i))^2$$



### УПРАЖНЕНИЕ

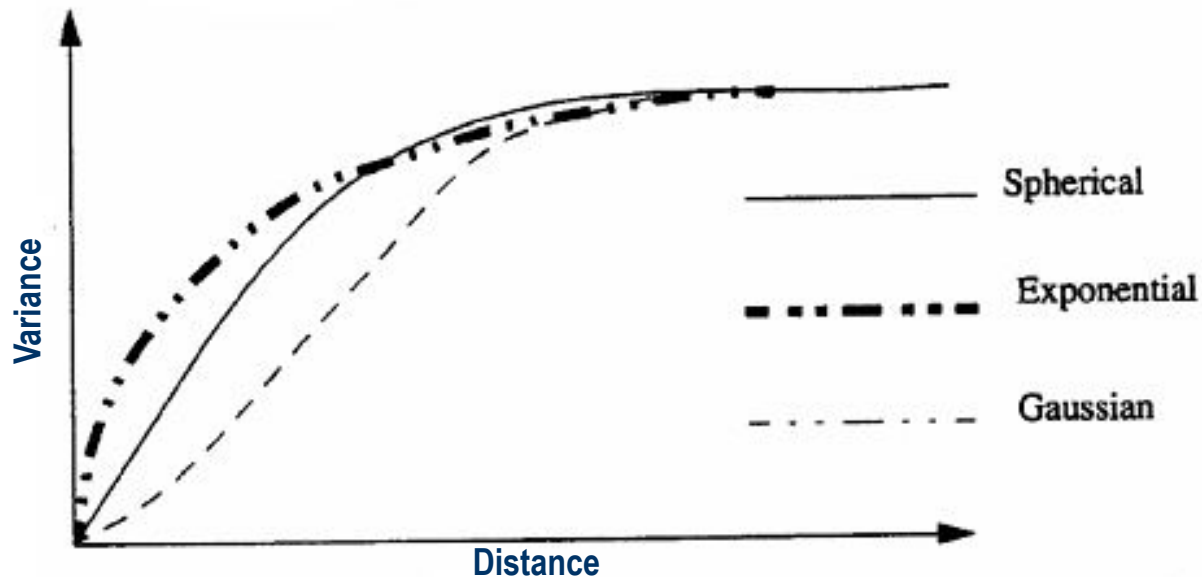
**СКВАЖИНА** со значениями пористости через каждый метр: 3, 5, 7, 6, 4, 1, 1, 4.

Вычислите значения вариограммы для лагов 1, 2, 3, и 4 м соответственно. Постройте вариограмму. Сверьте с образцом!



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Типы моделей вариограммы



**Сферическая:** Универсальный алгоритм

**Экспоненциальная:** Дает самый “пестрый” результат

**Гауссова:** Дает самый гладкий результат

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Прикладное моделирование вариограмм

### Процесс расчета вариограммы

- Рассчитывается **Экспериментальная вариограмма**
- Затем обеспечивается соответствие **модельной вариограммы** и экспериментальной
- Модельная вариограмма может быть **Сферической, Гауссовой** или **Экспоненциальной**

### Процесс интерпретации

- должен принимать в расчет геологическую информацию

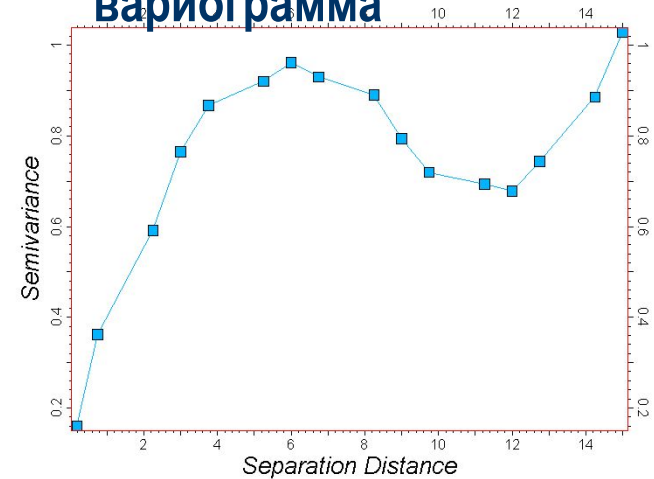
### Моделирование вертикальной вариограммы

- обычно достаточное количество данных и легко строить оценки

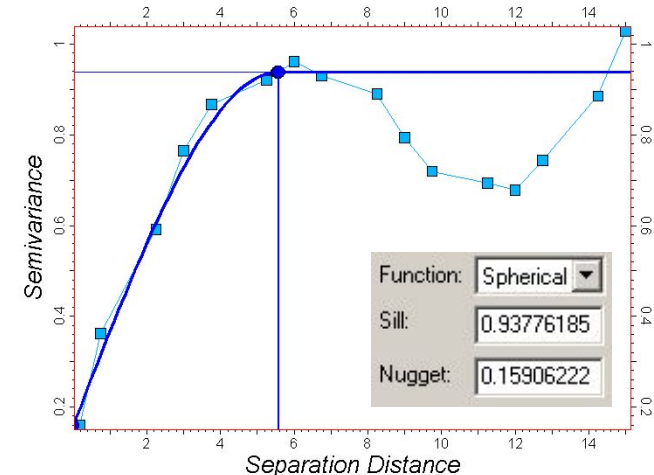
### Моделирование горизонтальной вариограммы

- часто *нельзя* рассчитать из-за недостатка данных
- может быть получена из коррелированных данных или аналогичного месторождения /обнажения пород/геологических знаний

### Экспериментальная вариограмма



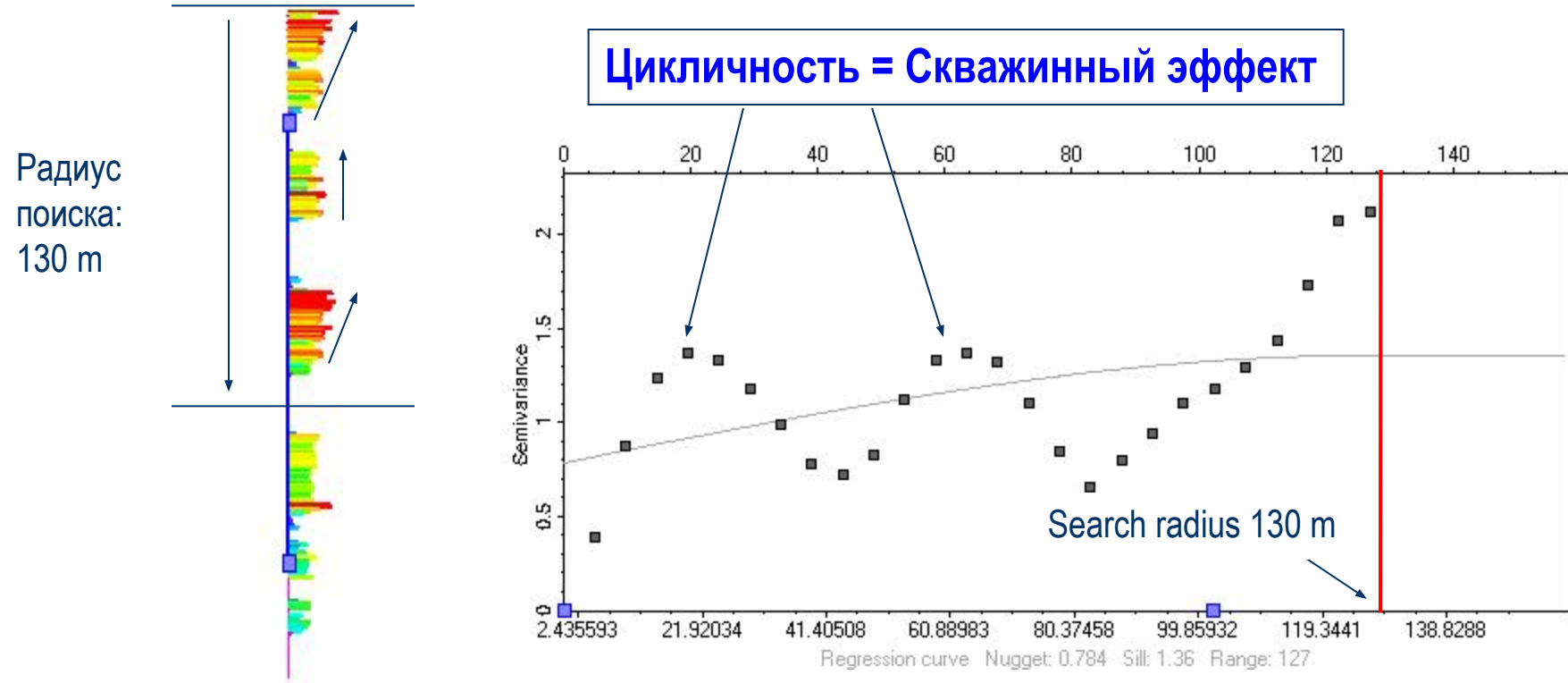
### Модельное вариограмма



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Прикладное моделирование вариограмм - Цикличность

Пример поведения вариограммы : циклическая кривая пористости, обусловленная варьированием фаций по вертикали



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Прикладное моделирование вариограмм - Тренд

Пример поведения вариограммы: Вертикальный тренд, обусловленные диагенетическими эффектами, сжатием и др.

Перед тем, как моделировать вариограмму, нужно удалить тренд, так как он нарушает предположение о стационарности

Если в данных есть тренд, то моделировать нужно так :

- **Пользователь:** В процессе Data Analysis выберите 1D, 2D или 3D Тренд трансформацию
- **Пользователь :** Определите тренд и коэффициент корреляции
- **Petrel:** Моделирует остаток, создавая функцию тренда
- **Petrel:** Складывает остаток и тренд, чтобы получить оценку





# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Почему моделирование вариограмм?

- Требуется для геостатистических алгоритмов для **Моделирования коллекторов**
- Вариограммы полезны, как инструмент процесса **Data Analysis**
  - Определяют **Толщину слоев**
  - Определяют направление/угол **Анизотропии**
  - Определяют **корреляцию**/связанность фаций
- Используются для **Контроля качества**, чтобы сравнить данные до и после моделирования

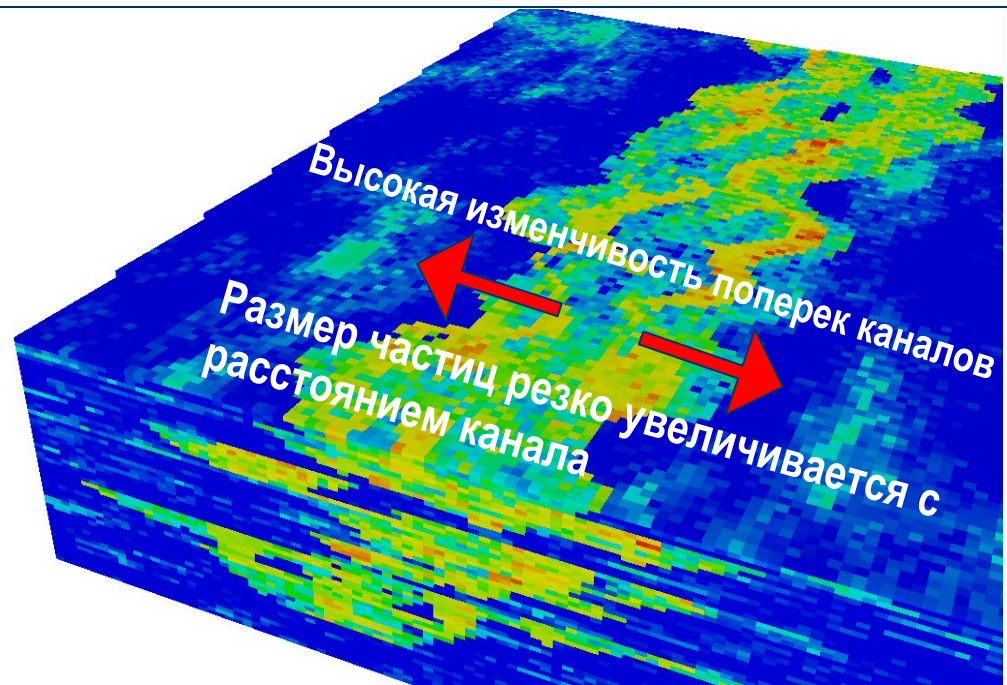
# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Анизотропия

**Анизотропия** - это характеристика набора данных, если четко видно различие в том, как происходит изменение данных в разных направлениях.

Если у вас есть предположения о направлении анизотропии для ваших данных, вы должны включить эту информацию в вариограмму, чтобы получить более **точную модель**.

Изменение  
размера частиц  
**вдоль каналов**  
происходит  
медленнее, чем в  
направлении  
**поперек каналов.**



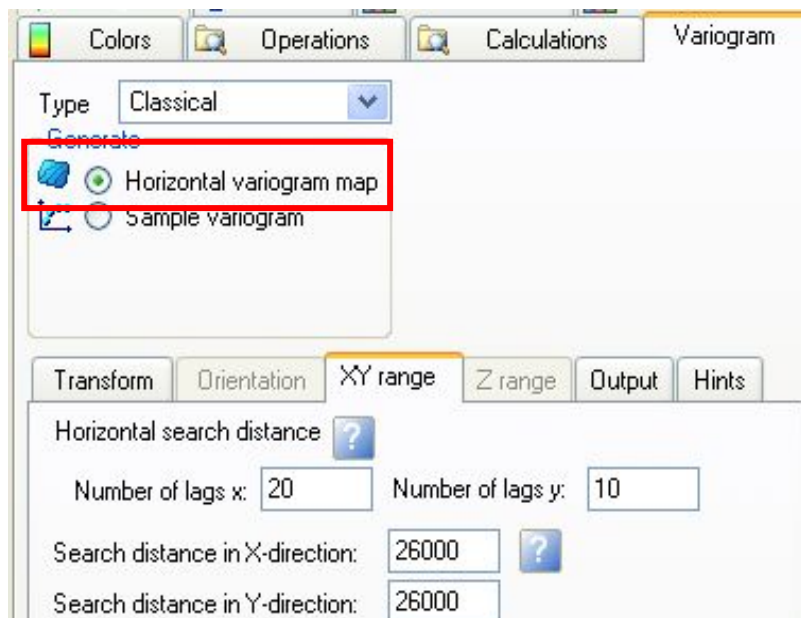
# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Карты вариограмм и Экспериментальные вариограммы в Petrel

В настройках объекта **Settings** > закладка **Variogram** есть возможность создания Горизонтальной карты вариограммы и Экспериментальной вариограммы для свойства или коррелируемого атрибута.

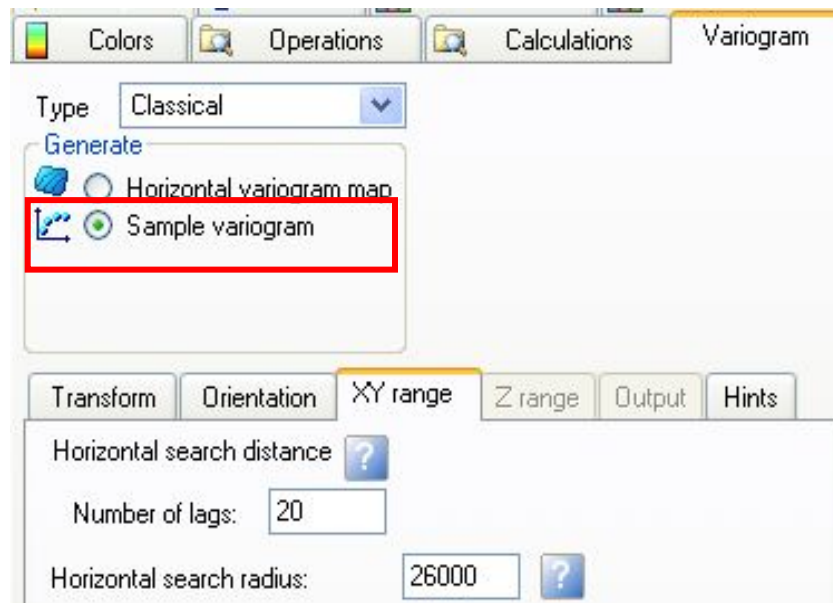
### Карта вариограммы

С ее помощью удобно отображать анизотропию и ее направление.



### Экспериментальная вариограмма (Sample Variogram)

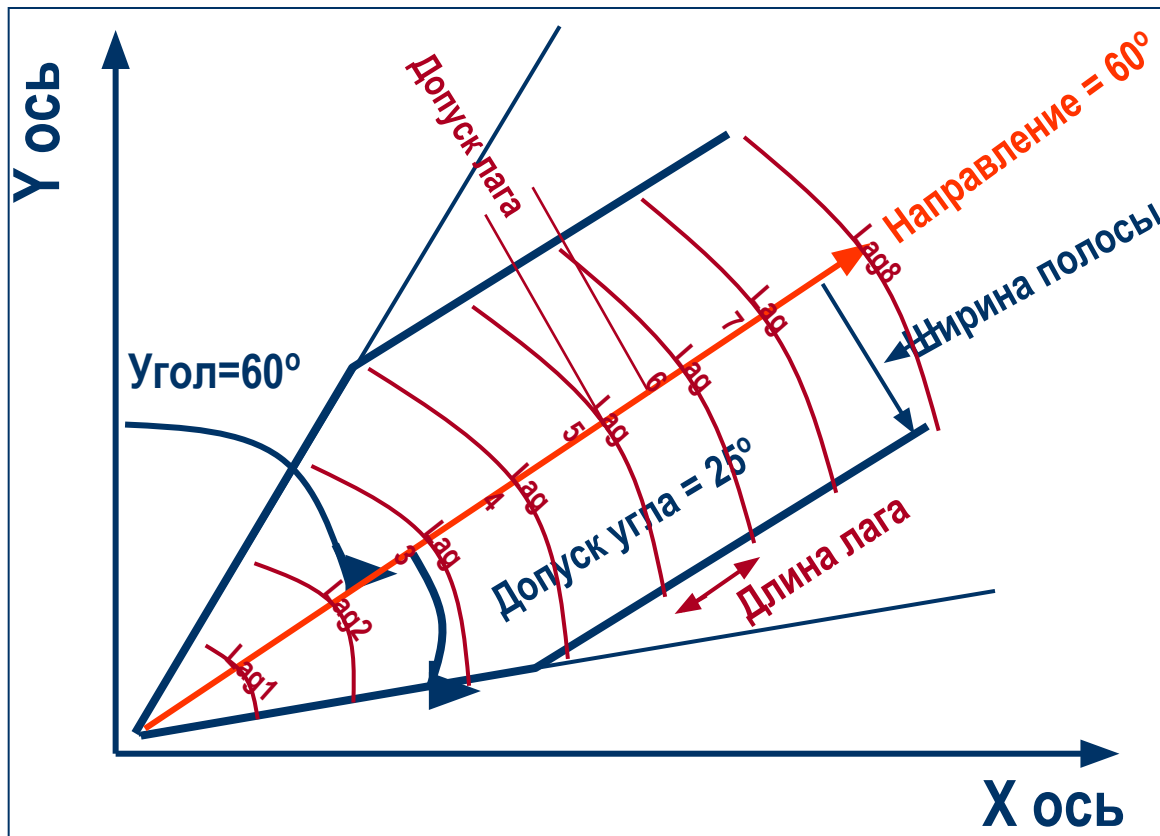
Подходит, чтобы найти ранги вариограмм в главном и второстепенном направлениях.



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Анализ вариограмм (конус поиска)

Из-за различных **расстояний** между входными точками, нужно задать область поиска так, чтобы захватить точки примерно на расстоянии, заданном **Лагом**.

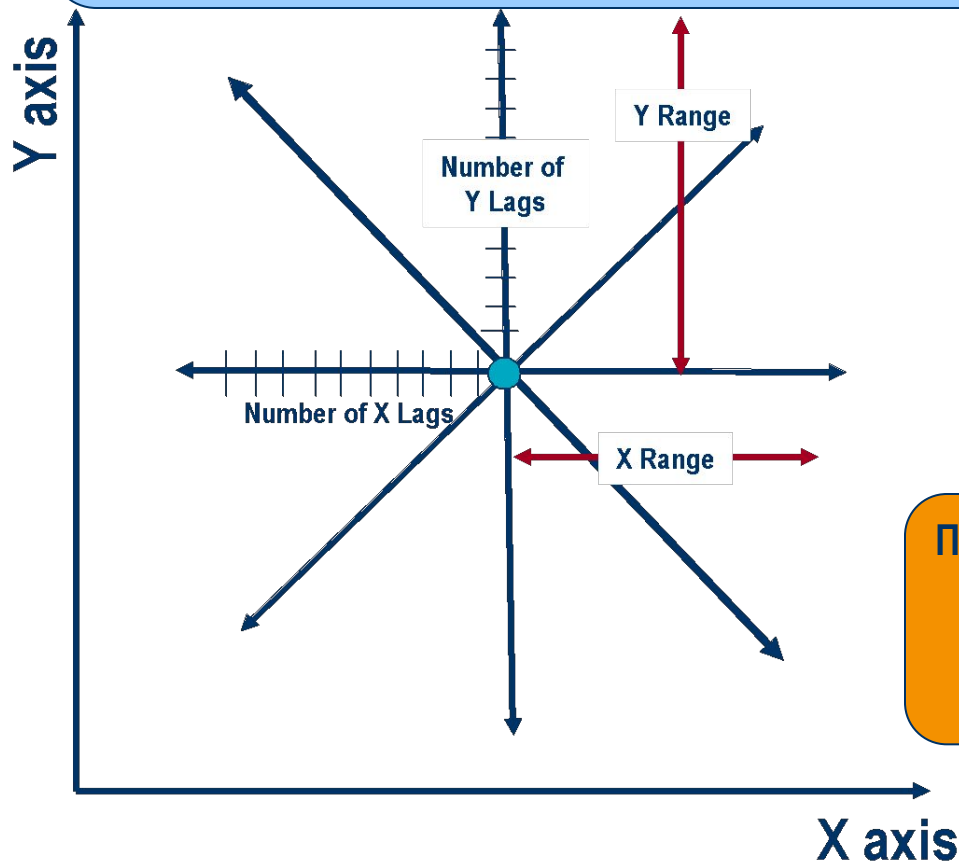


Предлагаемое длина лага: латерально = расстояние между скважинами  
вертикально = толщина ячейки

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Карта вариограммы – Теория

**Карта вариограммы** – это способ изображения вариограммы, рассчитанной в нескольких направлениях по данным (в Petrel: точечные данные, поверхность или 3D свойство). Она представлена в виде поверхности контуров **2D дисперсии** (направление и мера анизотропии).



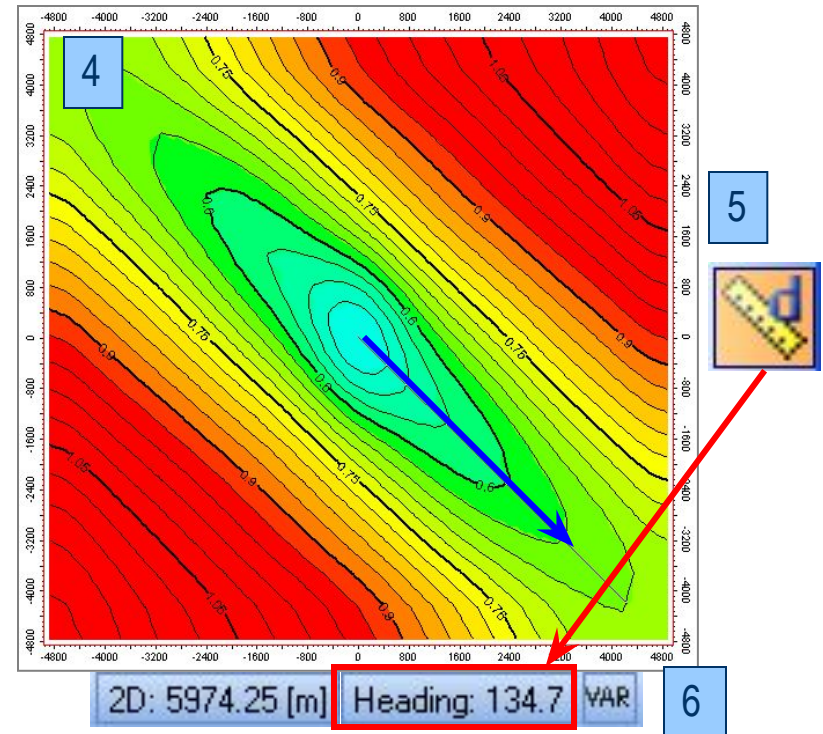
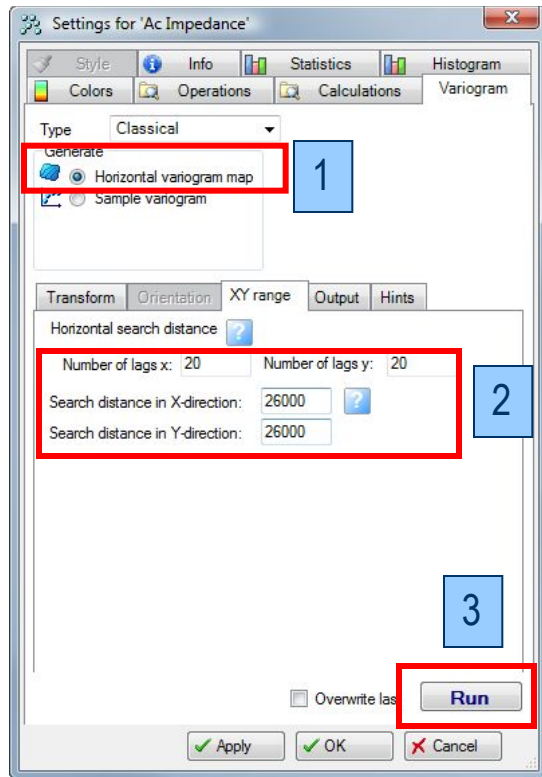
**Примечание:** Центр карты вариограмм находится в точке с координатами (0,0). Она может быть отображена только в окне Map в Petrel

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Карта вариограммы - расчет в Petrel

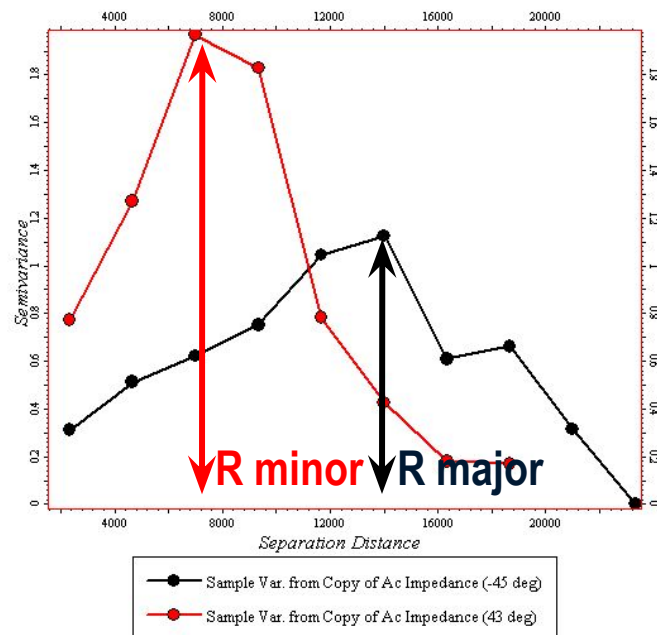
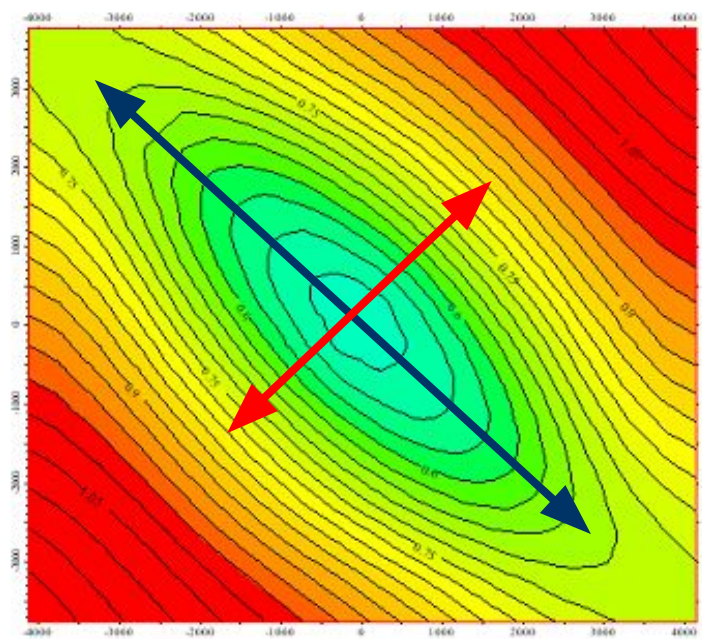
1. Выберите тип модели
2. Определите параметры на закладке **XY range**:  
**Количество лагов и Радиус поиска**
3. Нажмите **Run**. Результат будет на панели **Input** или **3D Grid > папка Variograms**

4. Откройте окно **Map** и отобразите новую **карту вариограммы**
5. Используйте иконку **Measure distance**, чтобы измерить направление анизотропии
6. Значение будет на панели **Status**



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Карта вариограммы – Анизотропия



Вариокарта :

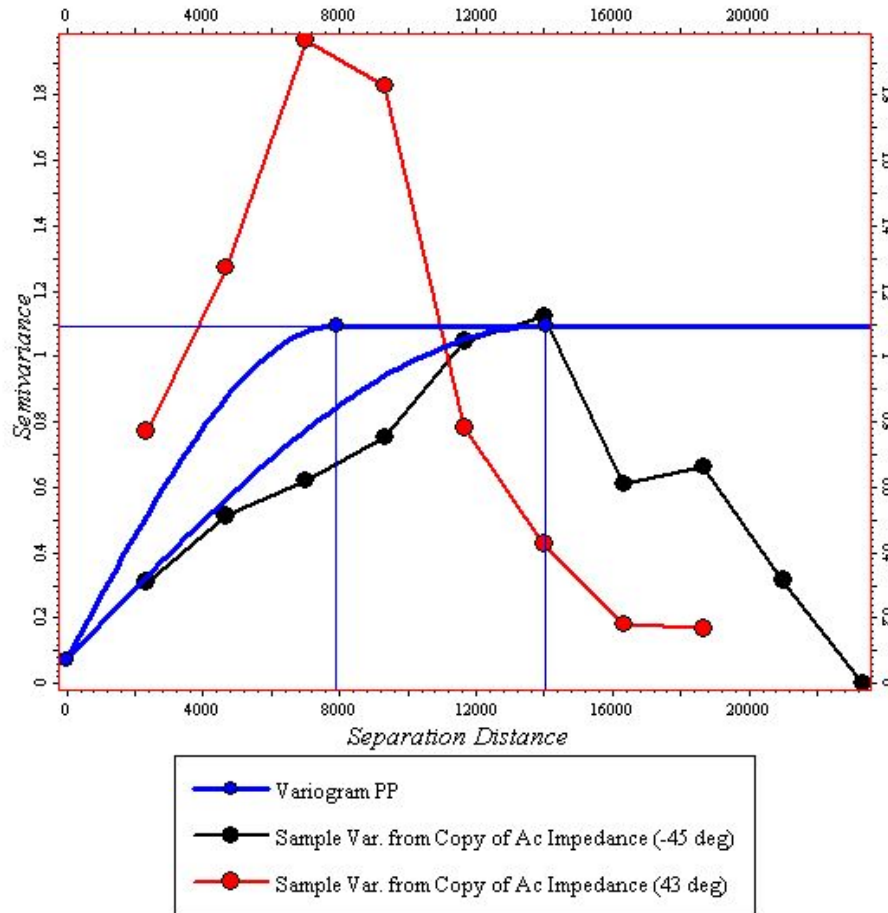
Стрелки показывают  
главное и **второстепенное**  
направления анизотропии

Sample Variograms :

Главный и **Второстепенный**  
ранги определяются на оси x

# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Экспериментальная вариограмма – Теория



### Важные параметры модели:

- Тип модели
- Наггет
- Ранг
- Анизотропия (азимут из вариокарты)

Эти параметры должны быть такими же для **Экспериментальной вариограммы:**

- Наггет
- Порог
- Тип модели вариограммы

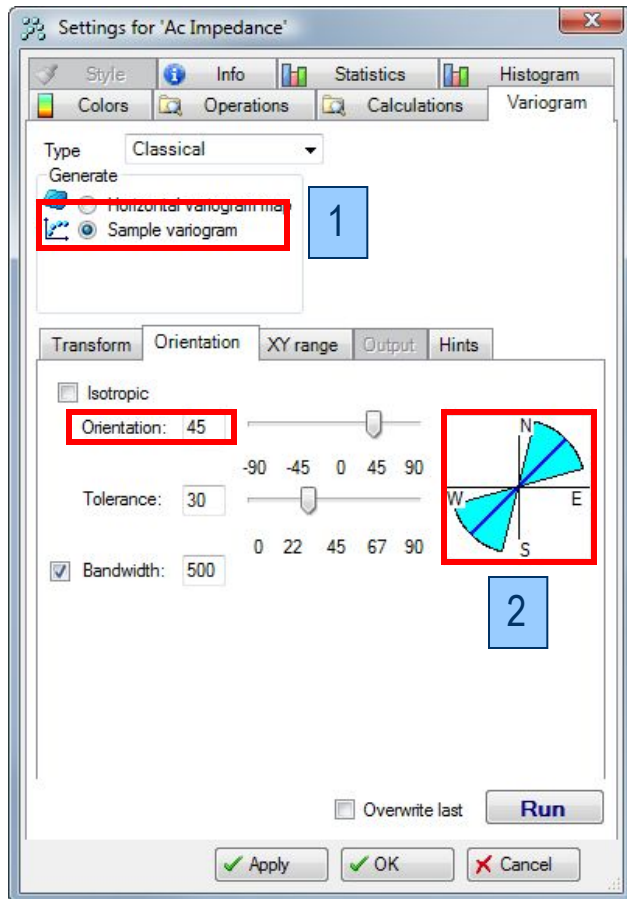
**Примечание:** порог не имеет влияния на результат расчета Kriging/Simulation



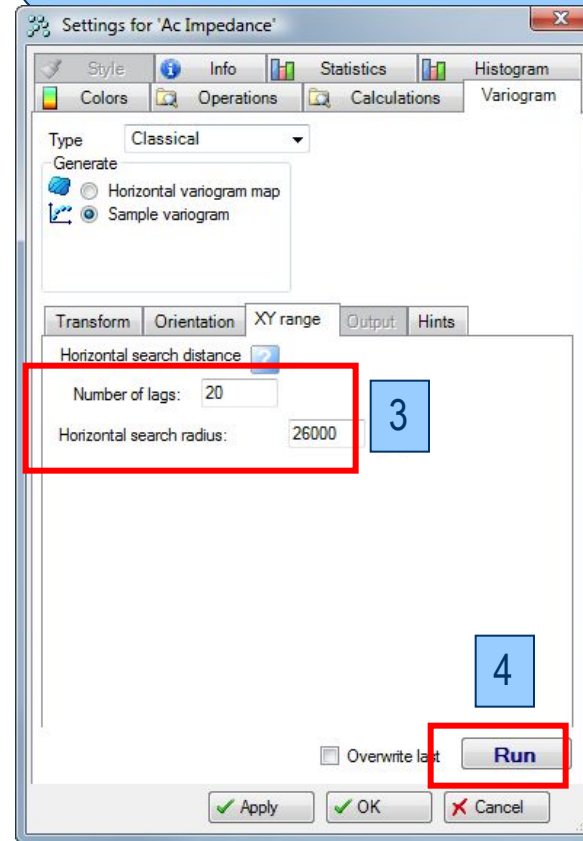
# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Экспериментальная вариограмма – расчет в Petrel

1. Выберите тип модели (**Classical**) и **Sample variogram**
2. Определите параметры на закладке **Orientation** (азимут из вариокарты)



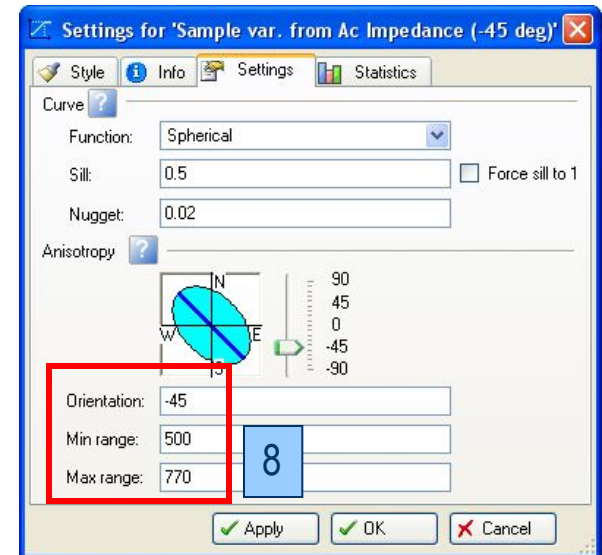
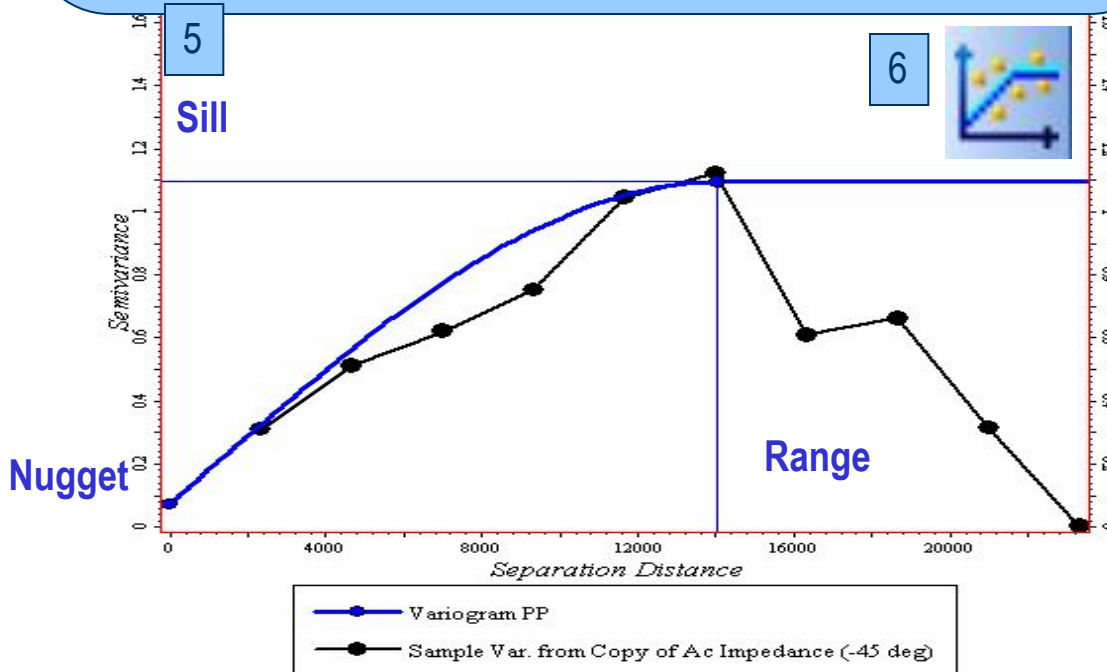
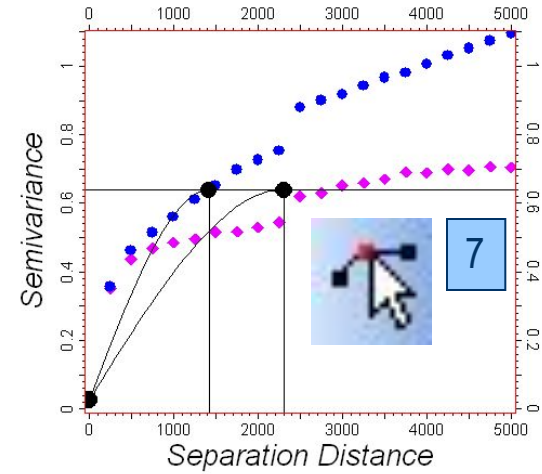
3. Определите параметры на закладке **XY range tab (No of lags и Search distance)**
4. Нажмите **Run**, чтобы получить **главный ранг** вариограммы. Повторите с углом 90 градусов, чтобы получить **Второстепенный ранг** вариограммы



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

## Экспериментальная вариограмма – расчет в Petrel

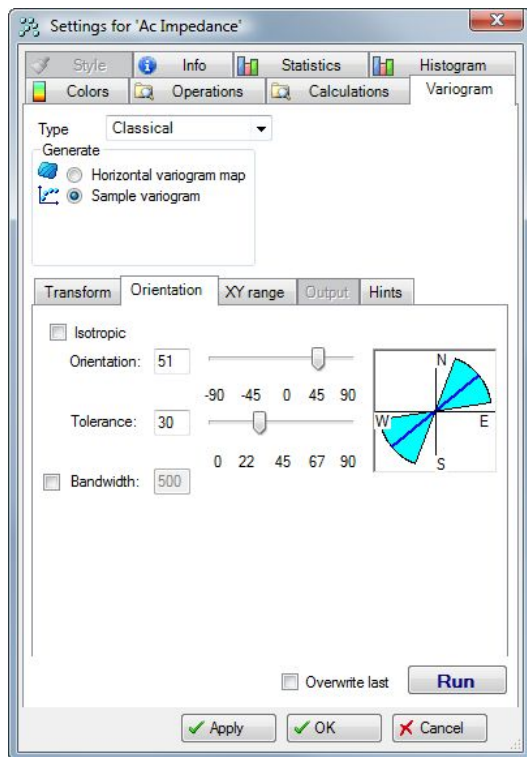
5. Откройте окно **Function** и отобразите **новую Экспериментальную вариограмму**
6. Выберите иконку **Make variogram for sample variogram**
7. Разделите на два ранга, главный и второстепенный, используя иконку **Select and edit/add point**
8. Откройте **Variogram Settings**, чтобы посмотреть параметры **Модели вариограммы** (тип модели, порог, наггет, ориентацию и ранги)



# ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

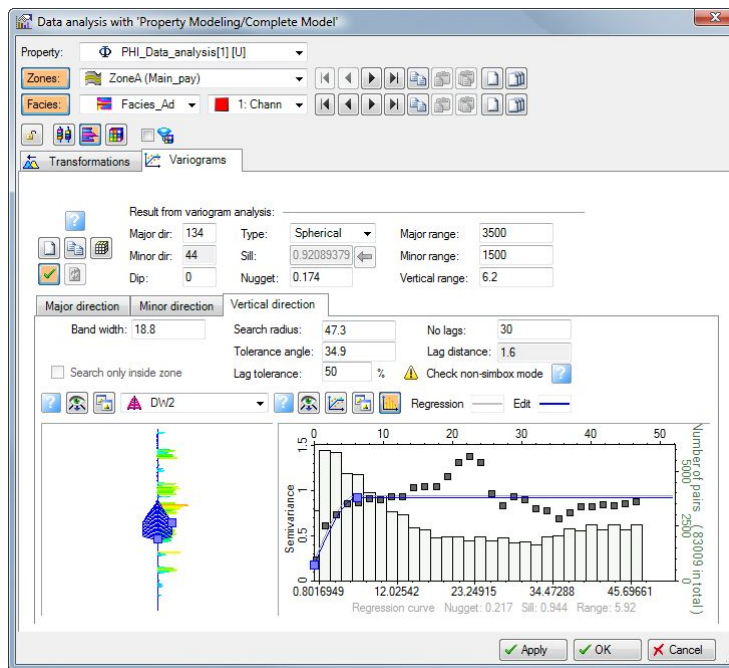
## Моделирование вариограмм в Petrel

### Закладка Settings/Variogram



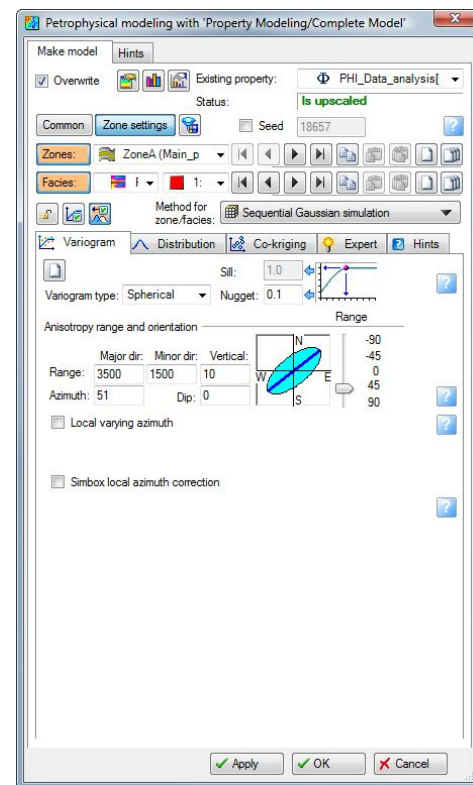
Экспериментальная или горизонтальная вариограмма для нахождения анизотропии

### В процессе Data Analysis process



Можно рассчитать вариограммы в трех направлениях, на основе 3D данных по свойству, либо на основе перемасштабированных или исходных картотажей. Можно просматривать влияние варьирования конуса поиска.

### Процесс Property Modeling



Введя ранг, нагет и азимут в диалоге процесса

# Упражнение