

ОСНОВЫ ГЕОСТАТИСТИКИ

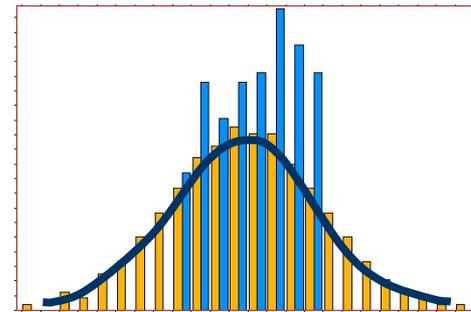
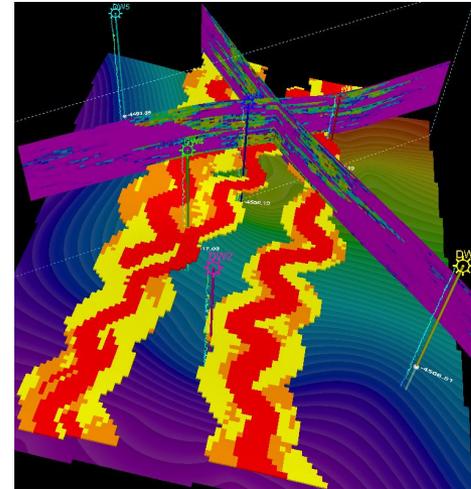
что такое геостатистика?

- **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

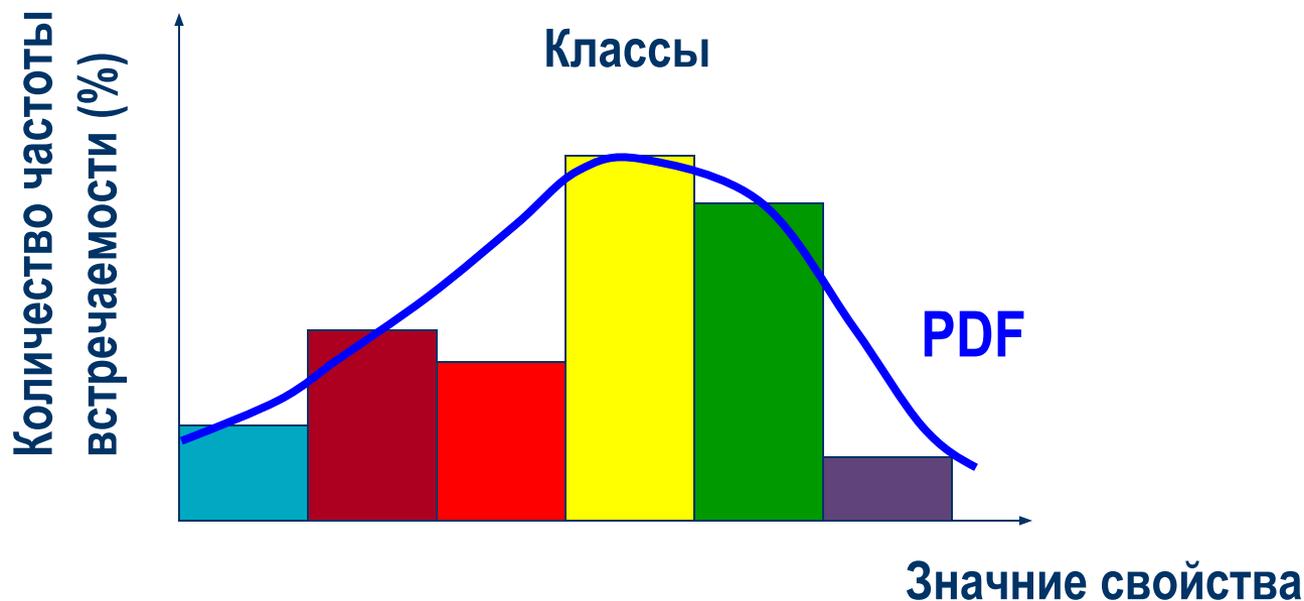
Стационарность – это предположение, делающееся исходя из **характеристик свойства**, анализируемых с помощью геостатистических инструментов.

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

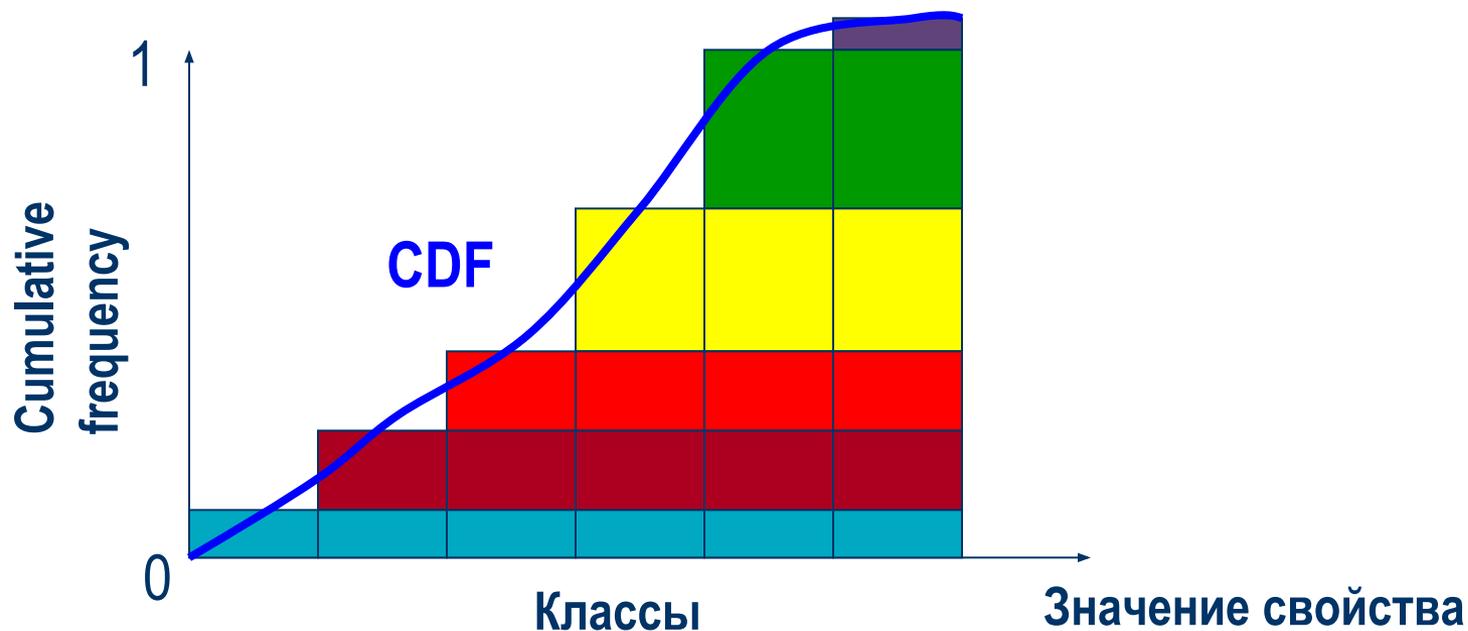
Функция распределения вероятностей (PDF)



Гистограмма это графическое представление распределения вероятности выбранной переменной

ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Кумулятивная функция распределения (CDF)



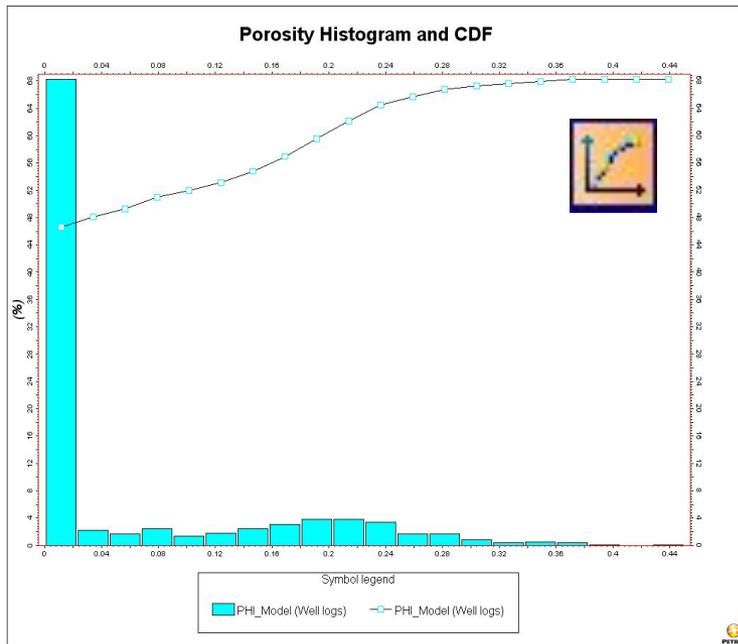
Классы гистограммы упорядочены в порядке возрастания и отображены в виде **кумулятивной функции**

ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

PDF и CDF в Petrel (Гистограммы)

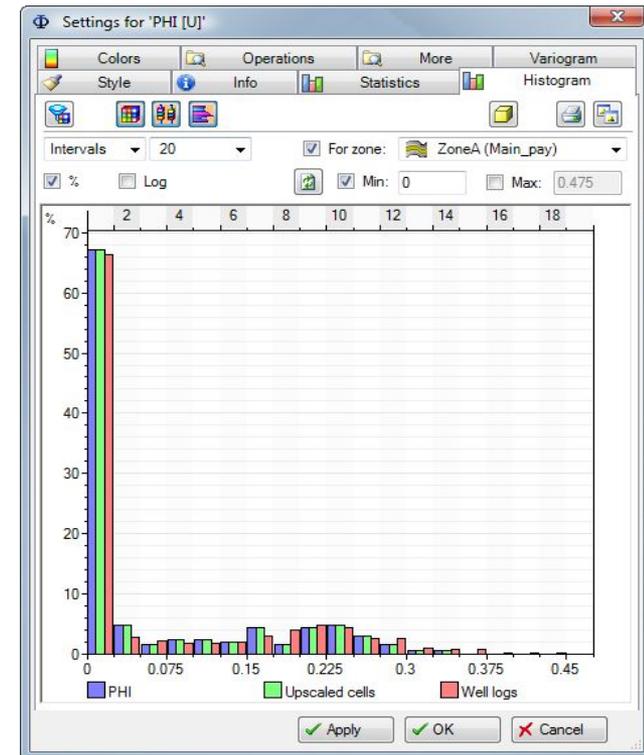
Гистограмма и CDF в окне Histogram

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



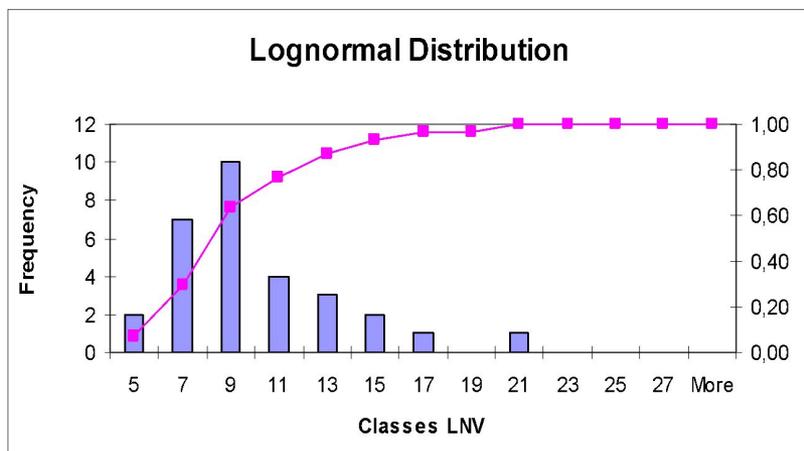
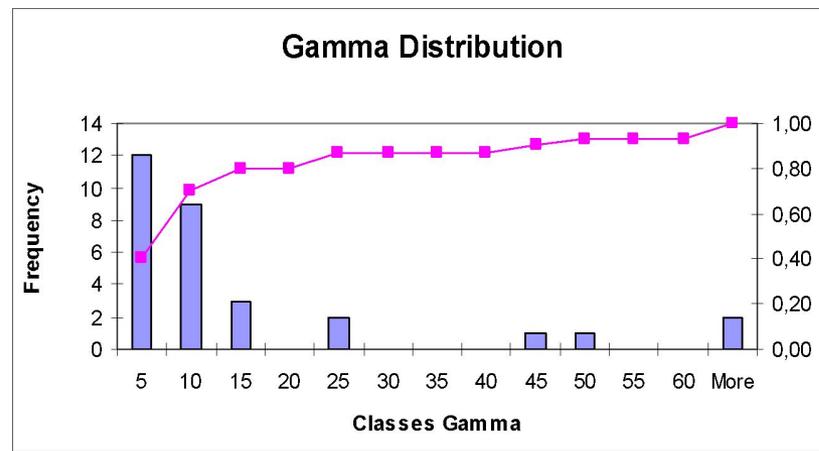
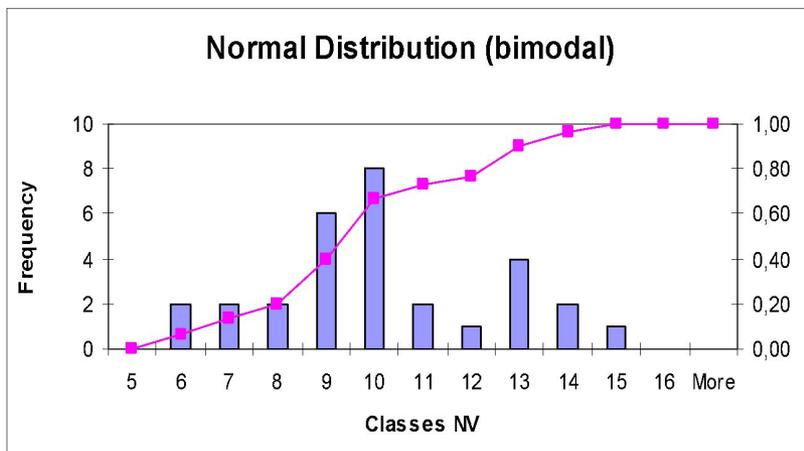
Гистограмма в настройках объекта

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:

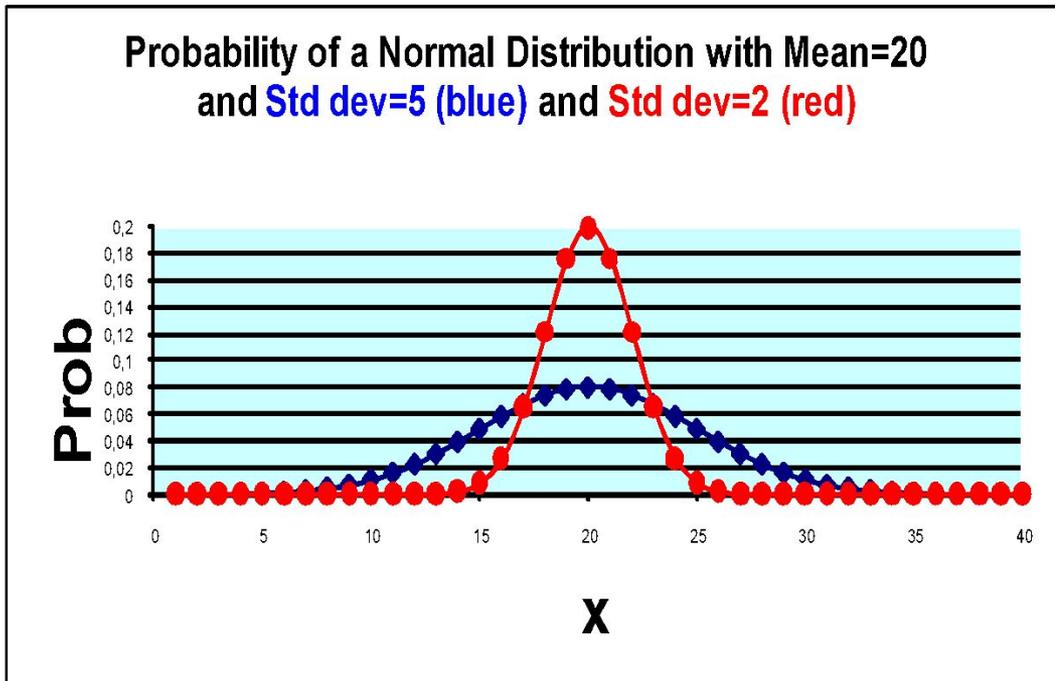
- **Разброс** (средне квадратичное расстояние) данных от ожидаемой величины (Среднее)

- **Единица** = квадрат от исходных данных

Стандартное отклонение:

- Квадратный корень из дисперсии (положительный)

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



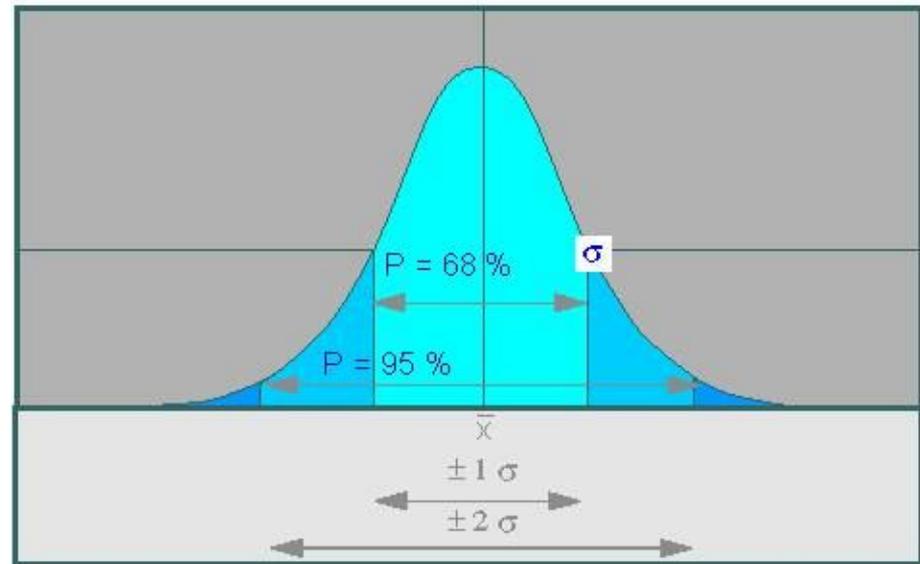
Нормальное распределение переменной создает **Симметричную форму**. Это обеспечивает последовательное использование в математических алгоритмах, но может быть чувствительно к выбросам.

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

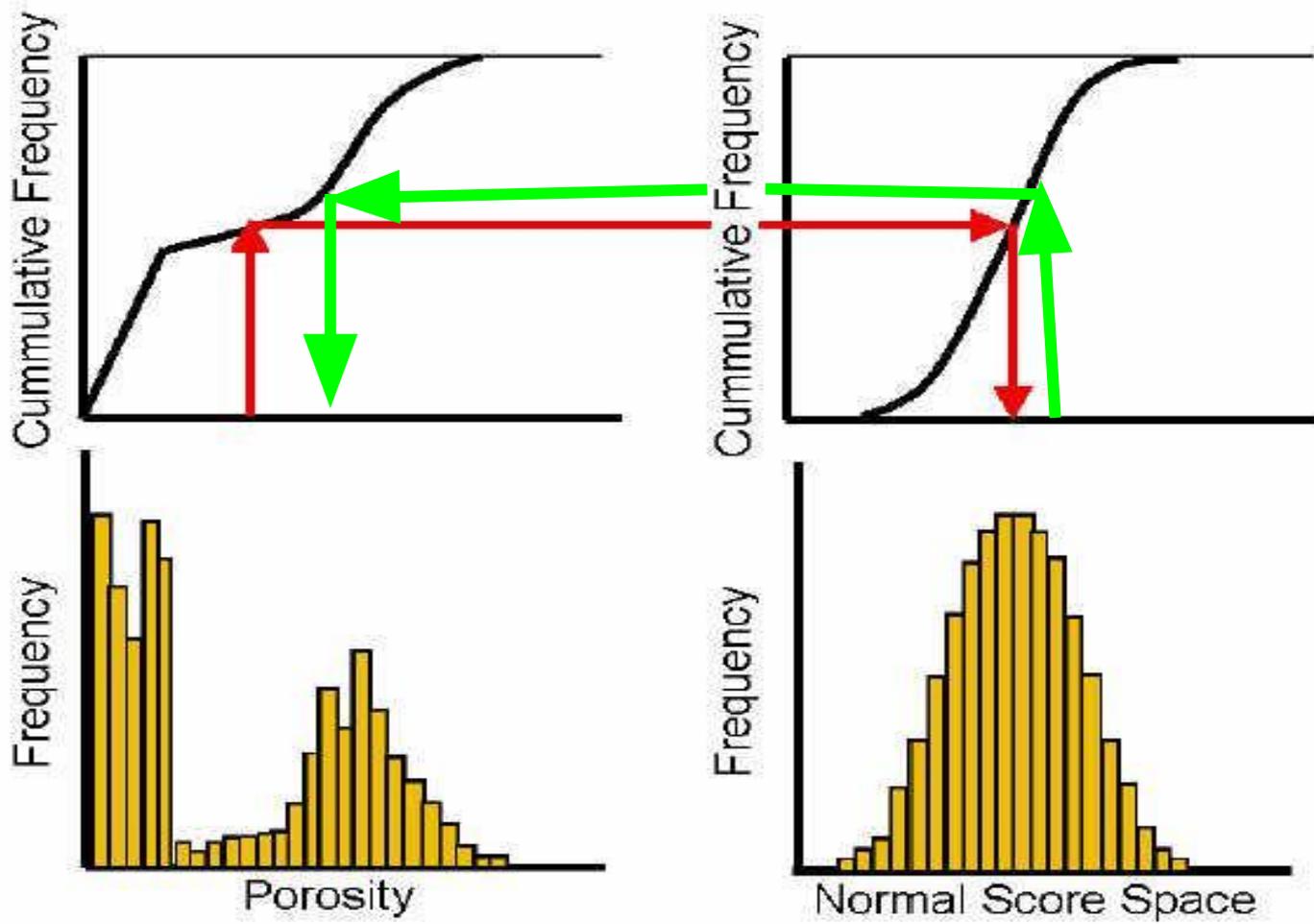


Результат: Таблица преобразования в
обоих направлениях; данные
преобразованы к **Стандартному**

Нормальному распределению Schlumberger

ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

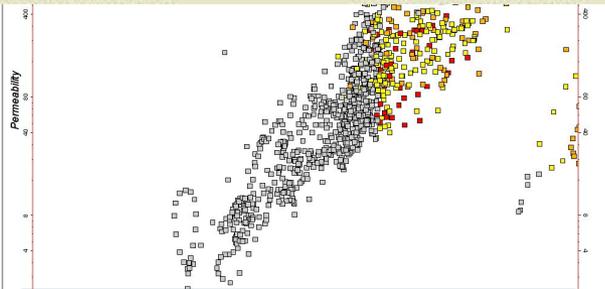
Преобразование к нормальному распределению



ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

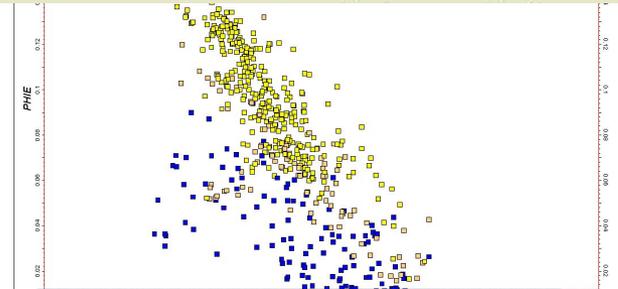
График зависимости и корреляция

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



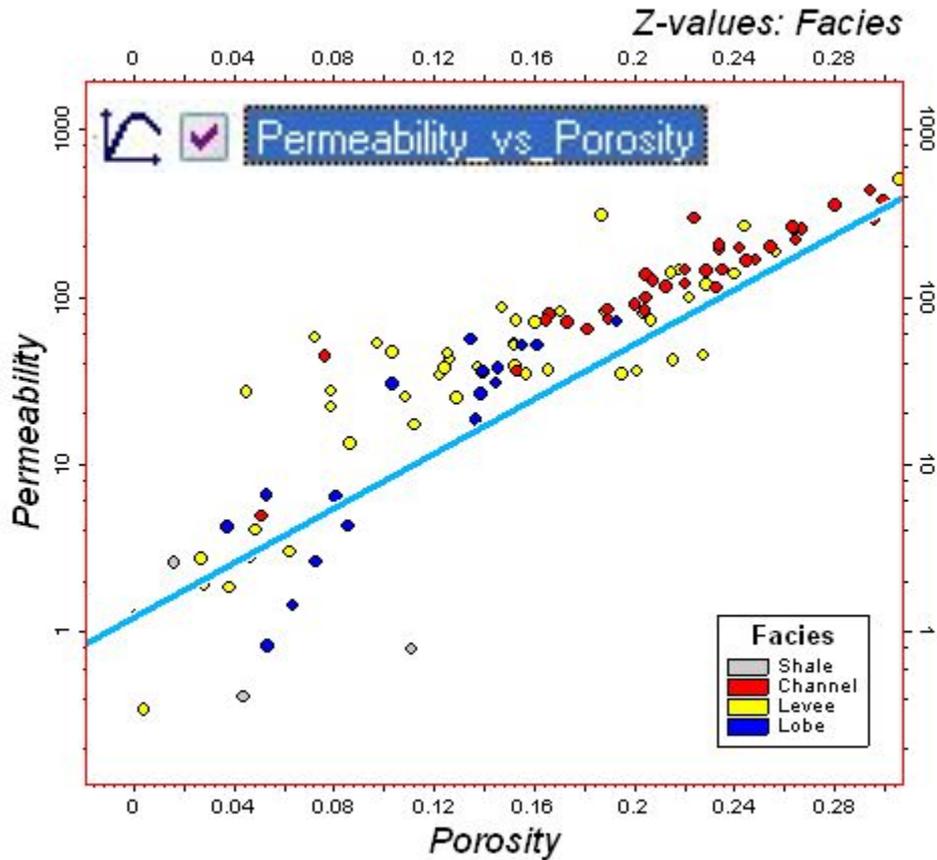
Отсутствие корреляции

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)

- Φ X Porosity [U]
- k^* Y Permeability [U]
- Z Facies [U]



Log масштаб для одной или двух осей

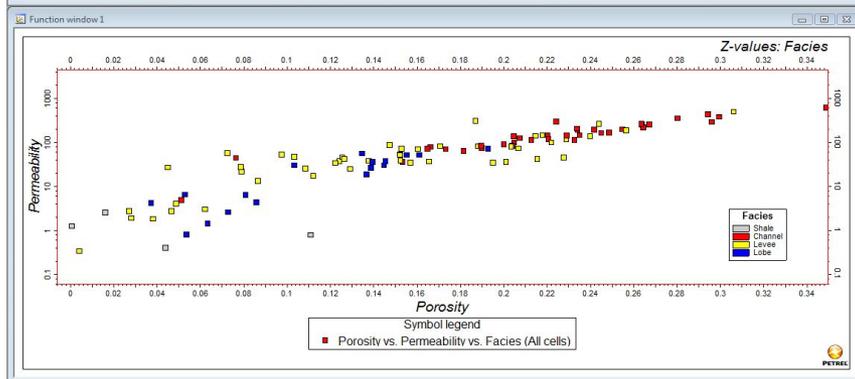
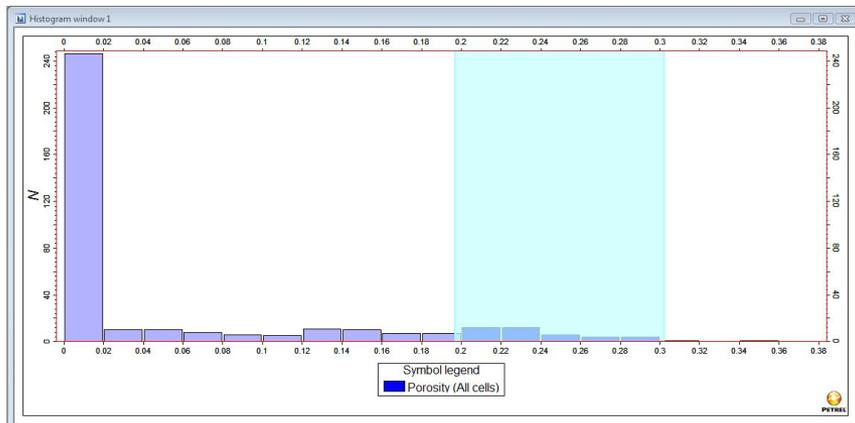
Выберите какие ячейки отображать: 3D грида, перемасштабированные и/или каротажа

Линейная регрессия и коэффициент корреляции

ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

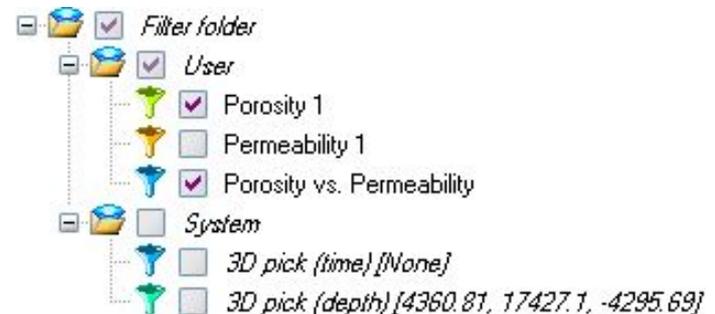
Общие фильтры в Petrel (Гистограммы и графики зависимости)

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

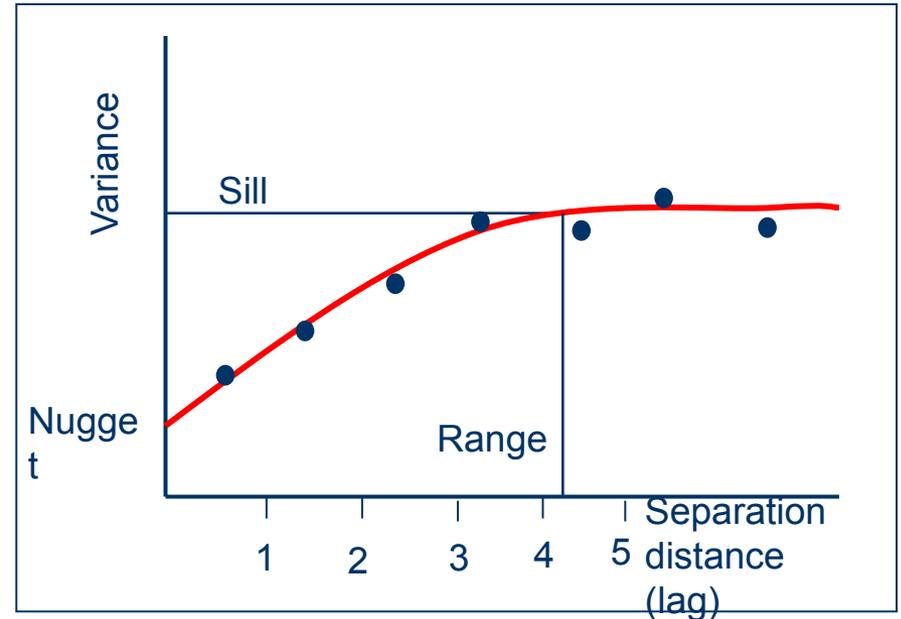
Дисперсия: Мера различия значений между парами точек.

Расстояние лага: Расстояние между точками.

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

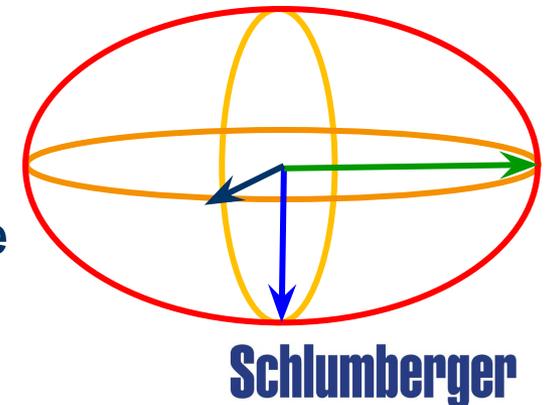
Ранг: Расстояние корреляции; расстояние на котором данные перестают зависеть друг от друга.

Наггет: Уровень различия на нулевом расстоянии.



Вариограмма может быть рассчитана в трех направлениях:

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



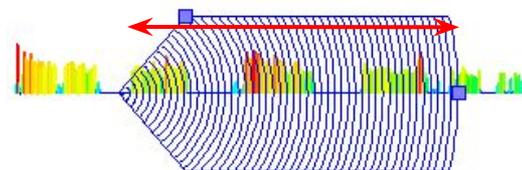
Schlumberger

ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Расчет вариограммы

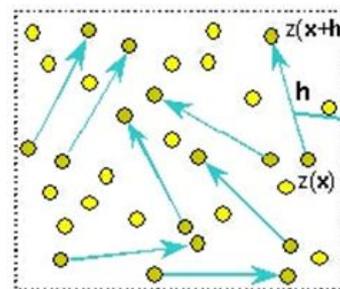
Расчет и настройки:

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

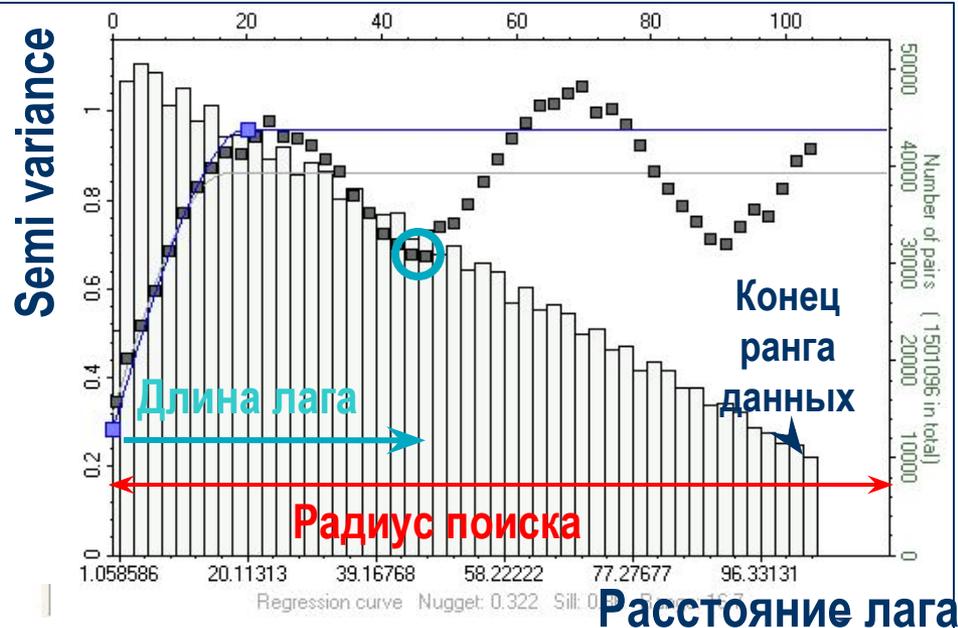


Длина лага

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) создается на основе всех точек на графике
3. Подберите кривую для экспериментальной вариограммы, чтобы создать **Модельную вариограмму** (голубая линия), которая похожа по форме

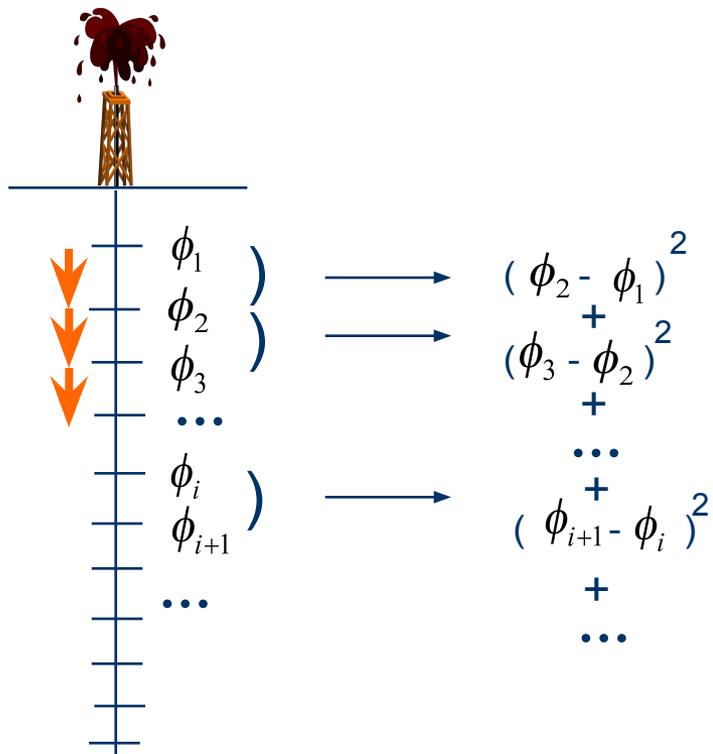


ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Расчет экспериментальной вариограммы

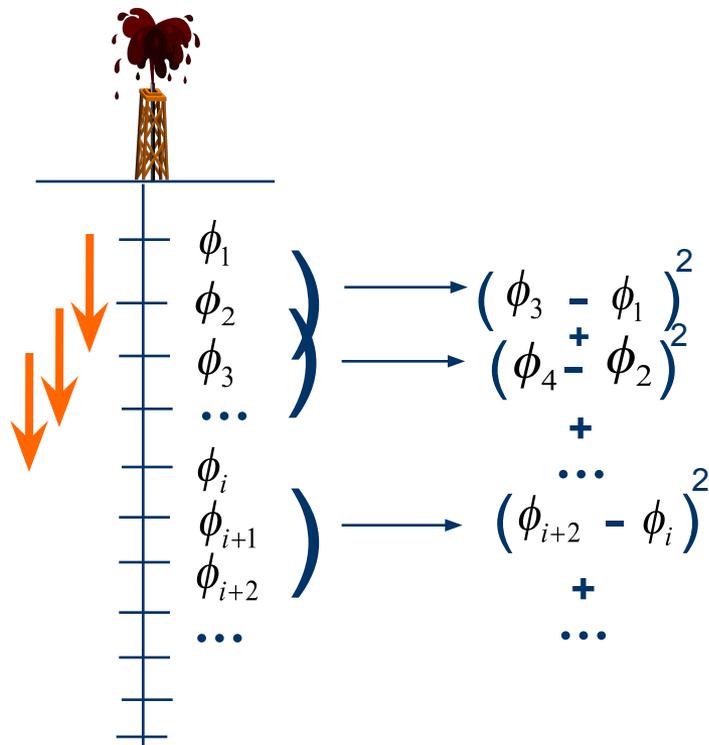
Полу – дисперсия на расстоянии Полу – дисперсия на расстоянии

1 лага



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

2 лагов



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

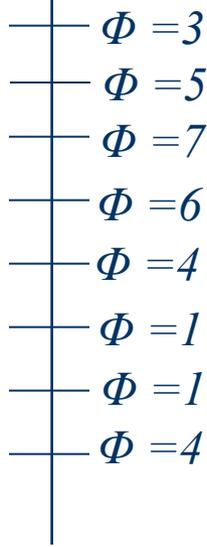
ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Результат расчета экспериментальной вариограммы

Полу-вариограмма

может быть рассчитана экспериментально :

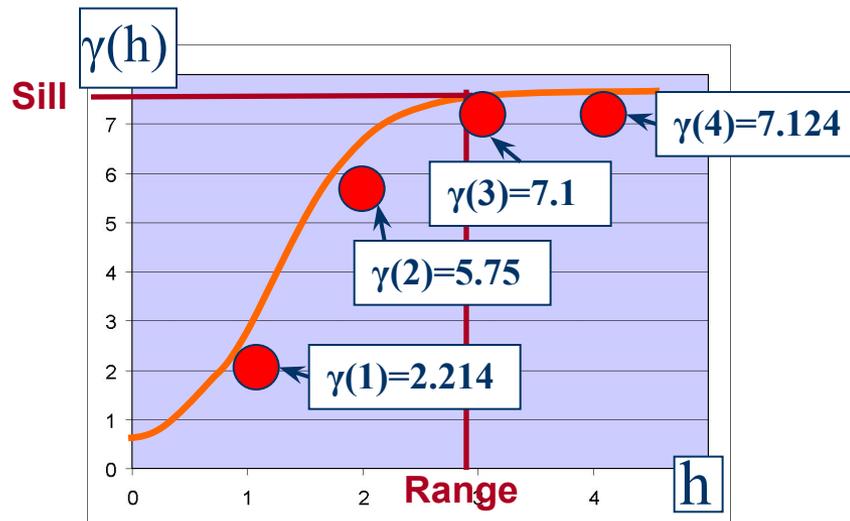
$$\gamma_{(h)} = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} ((\Phi_{(i+h)}) - (\Phi_i))^2$$



УПРАЖНЕНИЕ

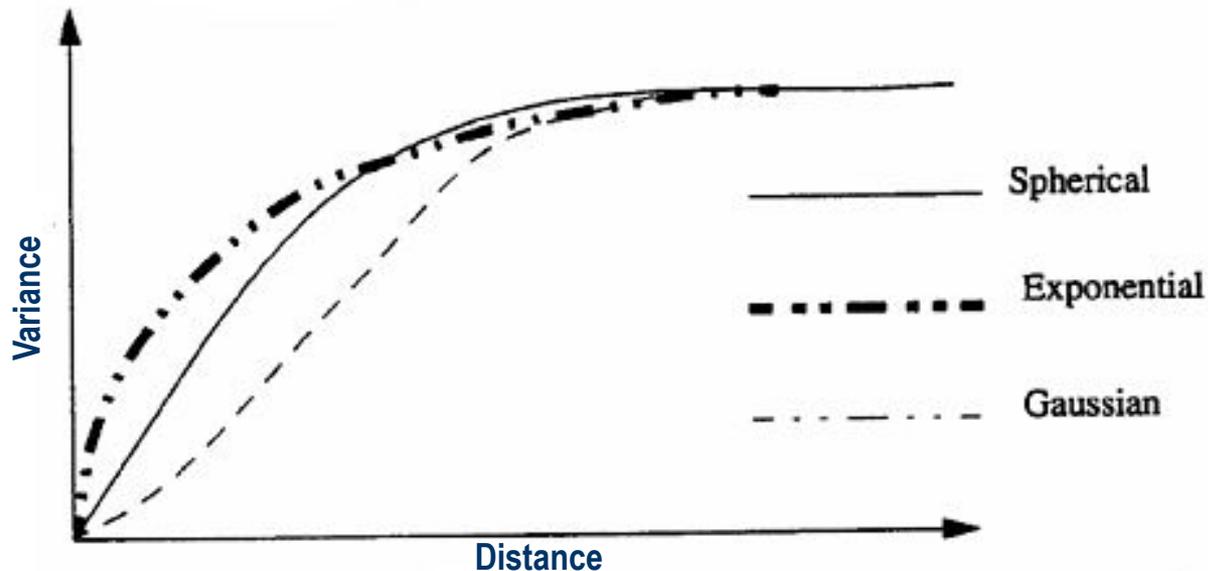
СКВАЖИНА со значениями пористости через каждый метр: 3, 5, 7, 6, 4, 1, 1, 4.

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

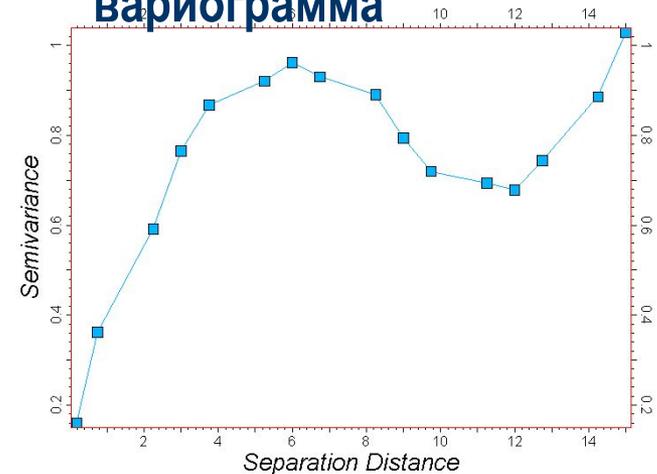
Моделирование вертикальной вариограммы

- обычно достаточное количество данных и легко строить оценки

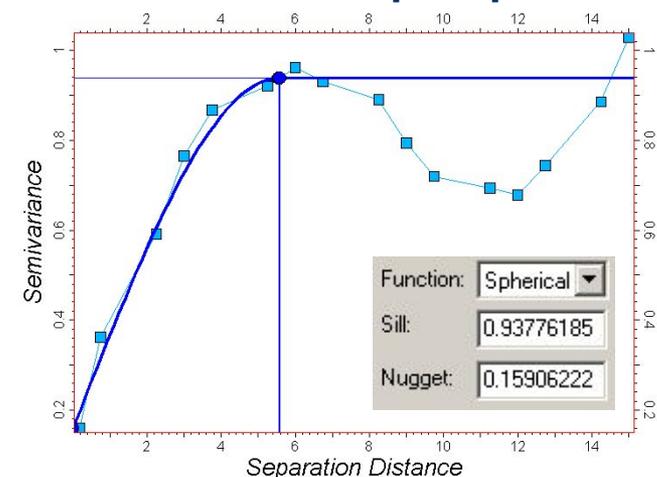
Моделирование горизонтальной вариограммы

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

Экспериментальная вариограмма



Модельное вариограмма

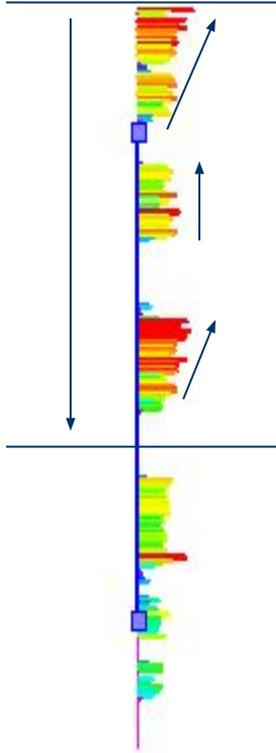


ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

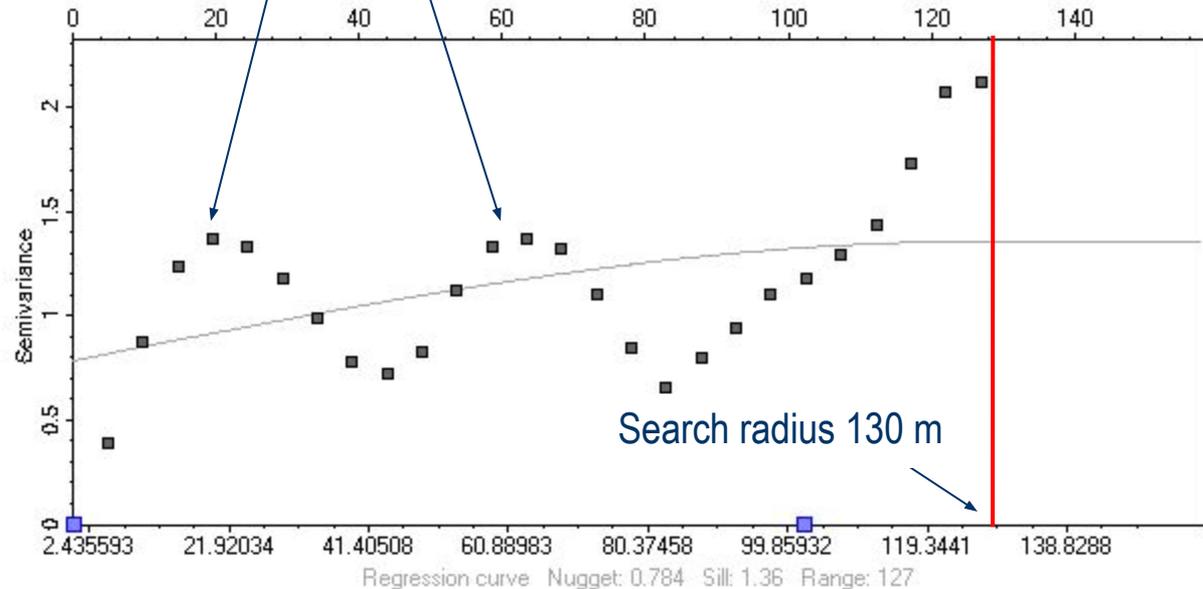
Прикладное моделирование вариограмм - Цикличность

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

Радиус
поиска:
130 m



Цикличность = Скважинный эффект



ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

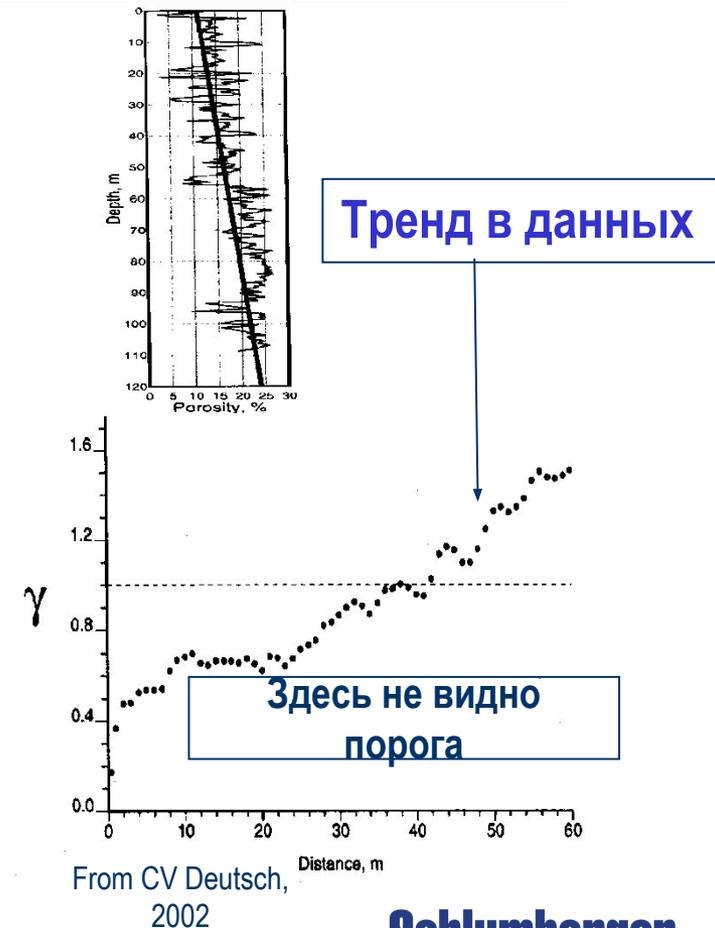
Прикладное моделирование вариограмм - Тренд

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

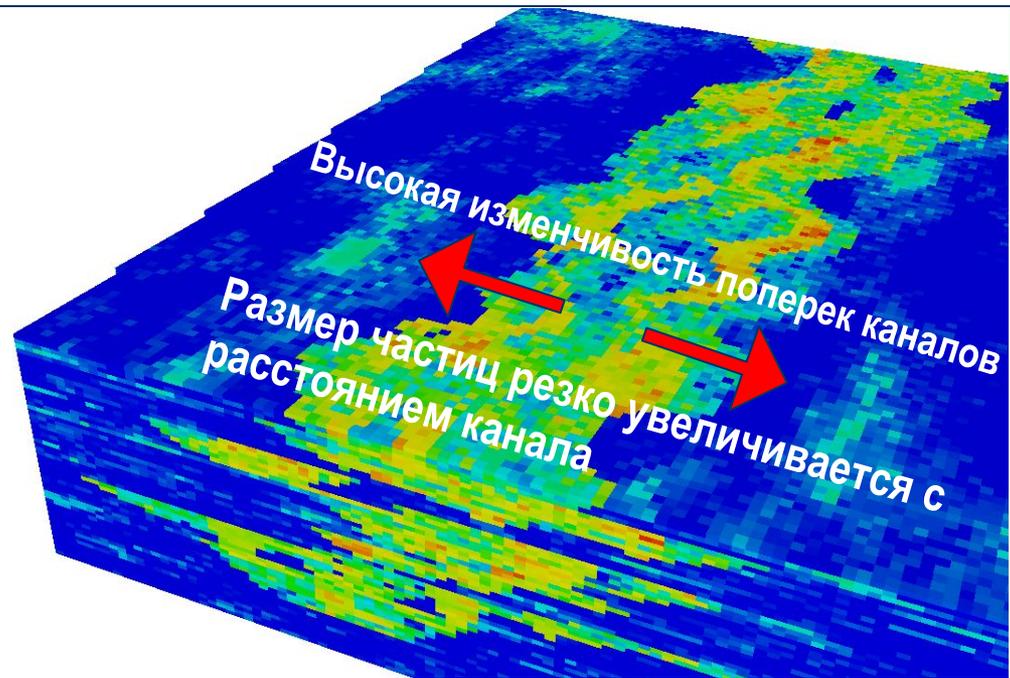
ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

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.



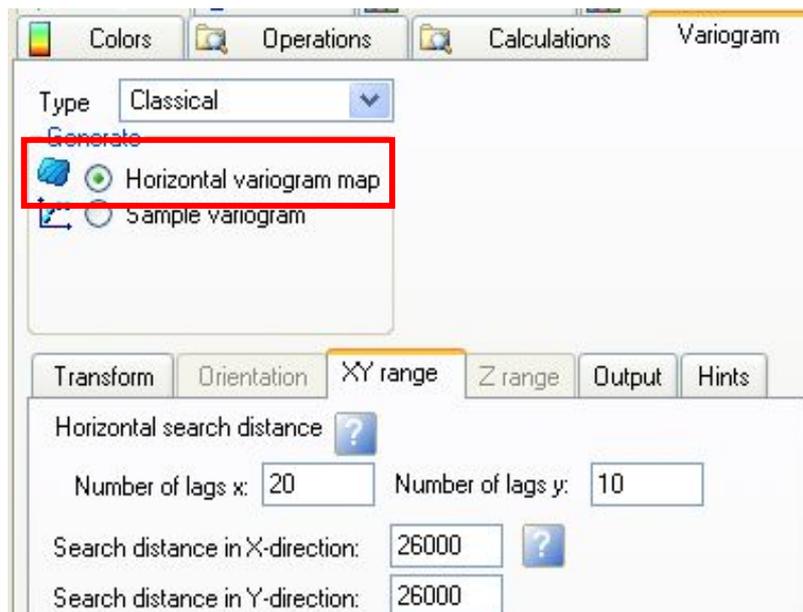
ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

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.

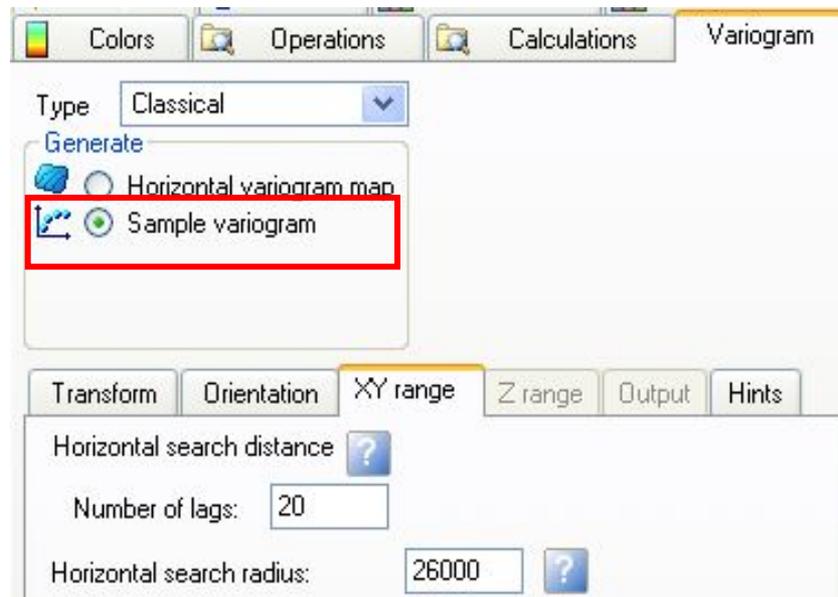
Карта вариограммы

С ее помощью удобно отображать анизотропию и ее направление.



Экспериментальная вариограмма (Sample Variogram)

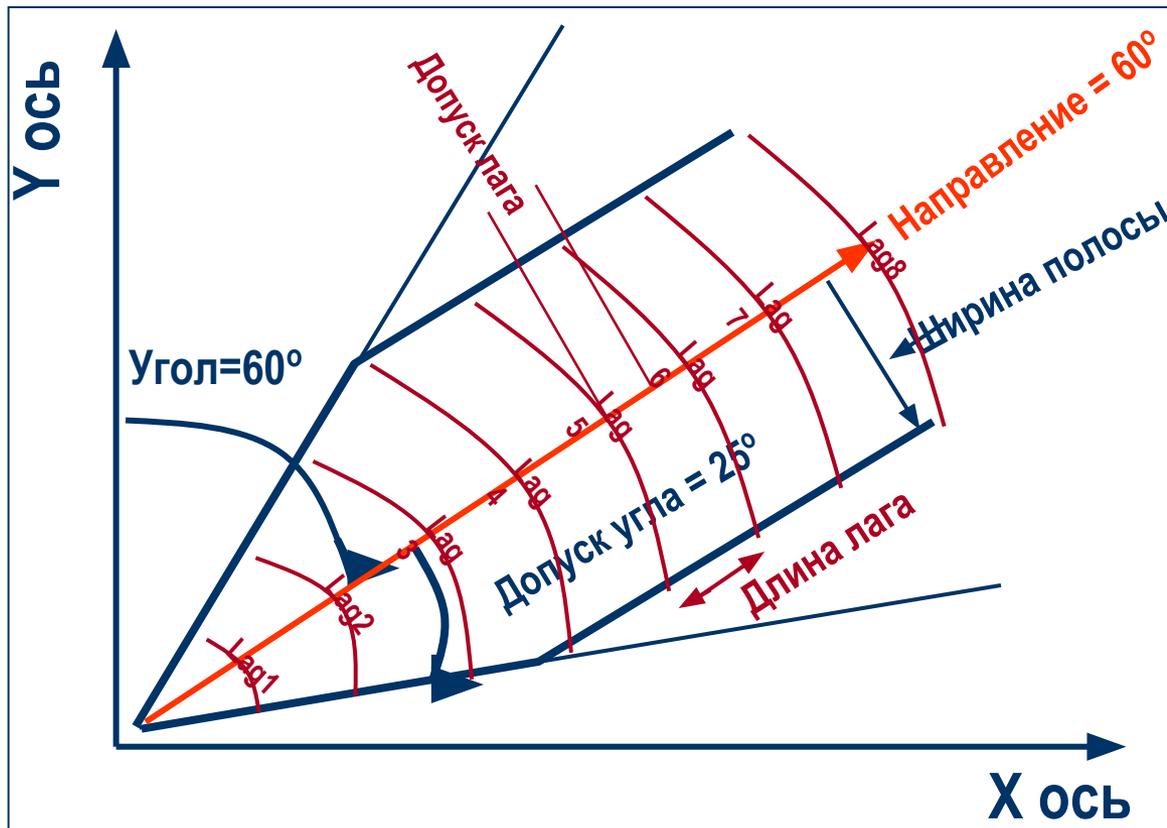
Подходит, чтобы найти ранги вариограмм в главном и второстепенном направлениях.



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**.

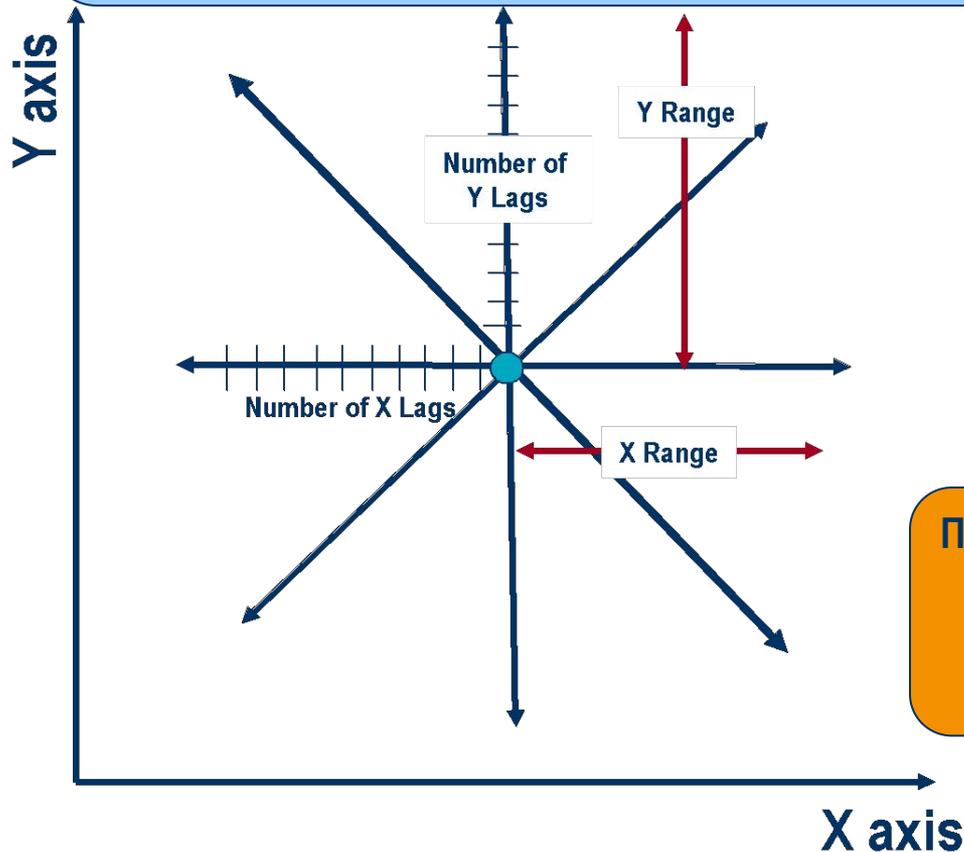


Предлагаемое длина лага: латерально = расстояние между скважинами
вертикально = толщина ячейки

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).



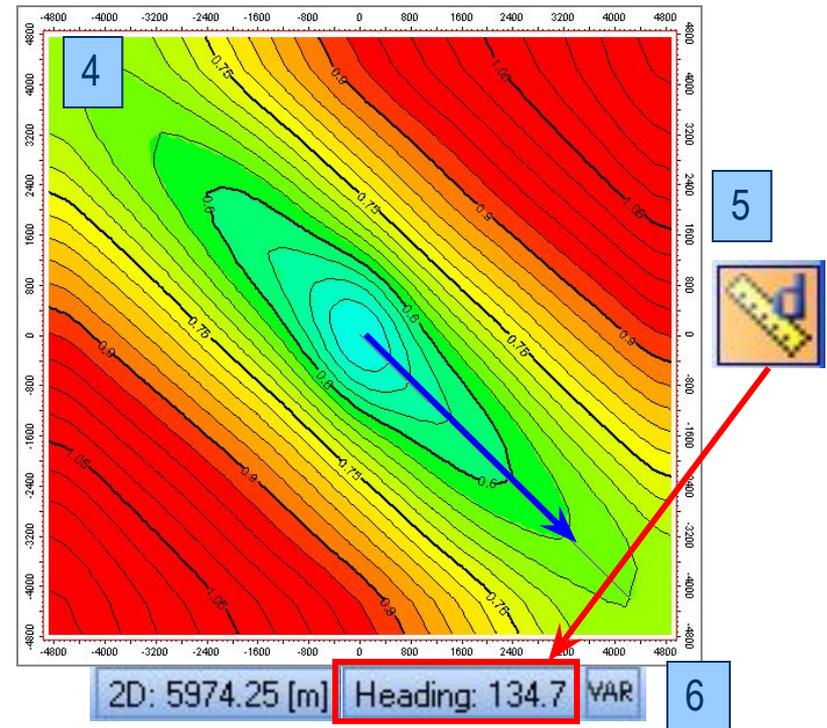
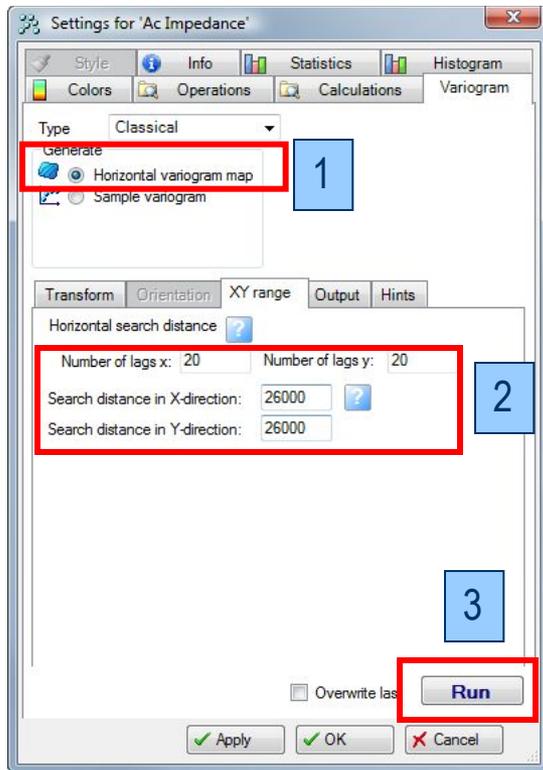
Примечание: Центр карты вариограмм находится в точке с координатами (0,0). Она может быть отображена только в окне Map в Petrel

ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Карта вариограммы - расчет в Petrel

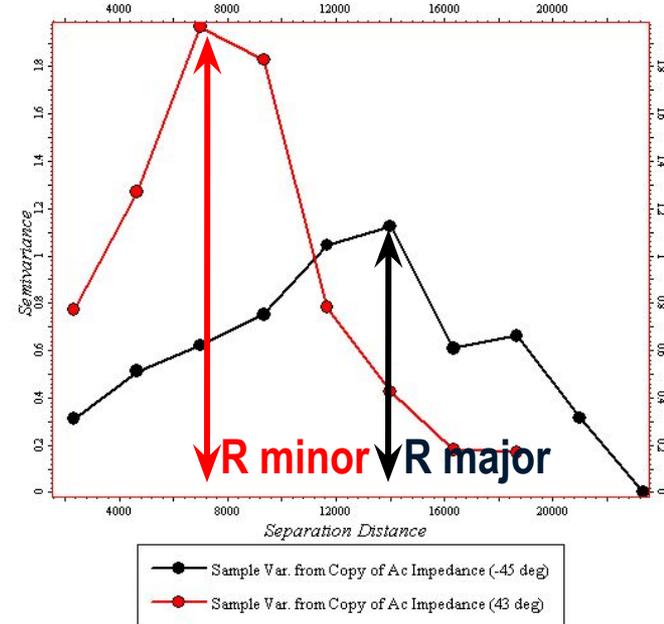
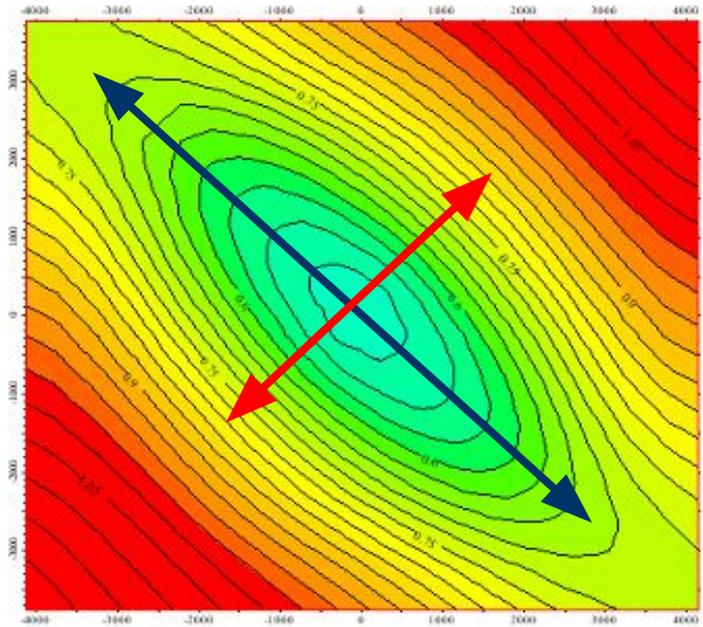
1. Выберите тип модели
2. Определите параметры на закладке **XY range**:
Количество лагов и Радиус поиска
3. Нажмите **Run**. Результат будет на панели **Input** или **3D Grid > папка Variograms**

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 :

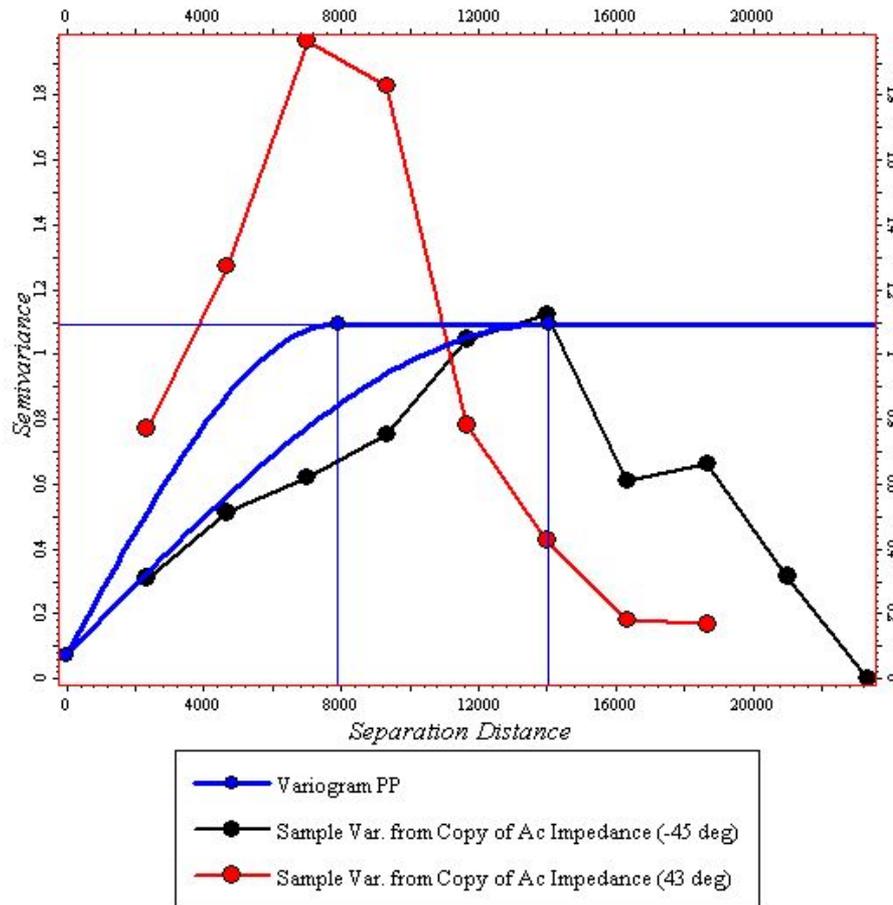
Стрелки показывают
главное и **второстепенное**
направления анизотропии

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:**

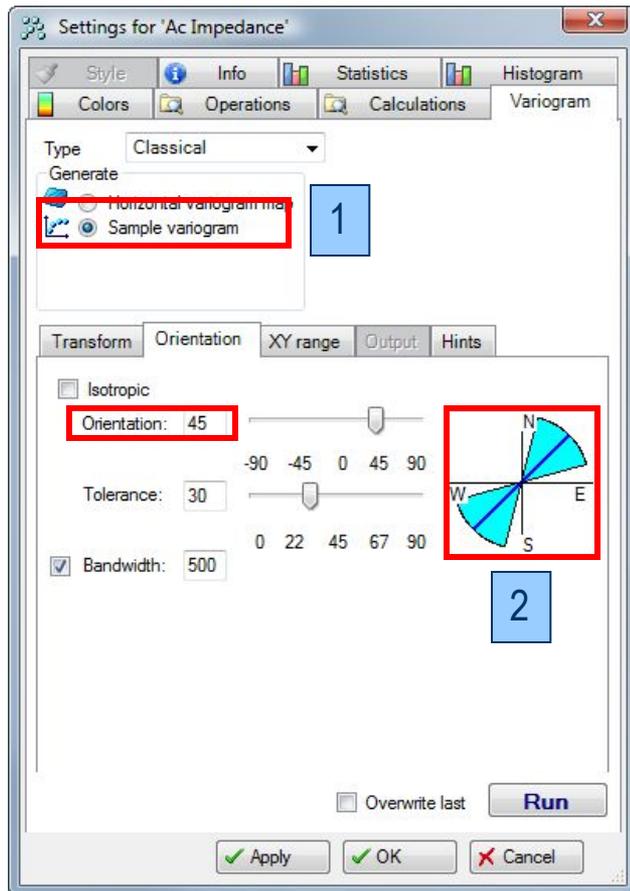
- Наггет
- Порог
- Тип модели вариограммы

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

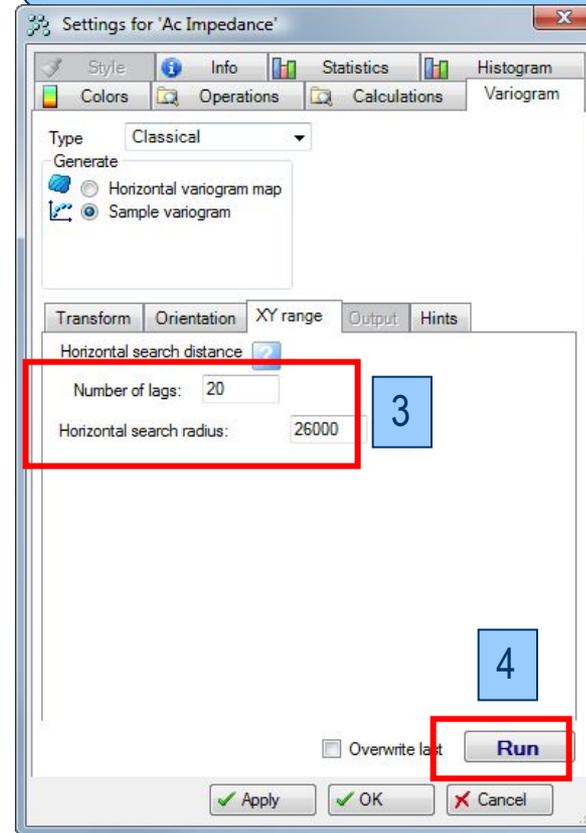
ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Экспериментальная вариограмма – расчет в Petrel

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



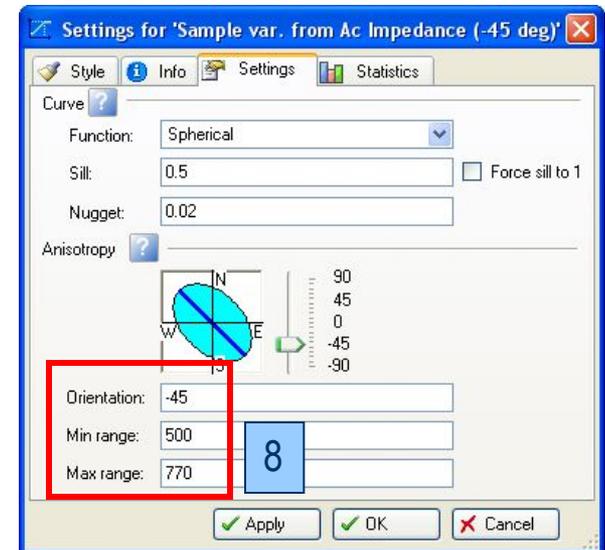
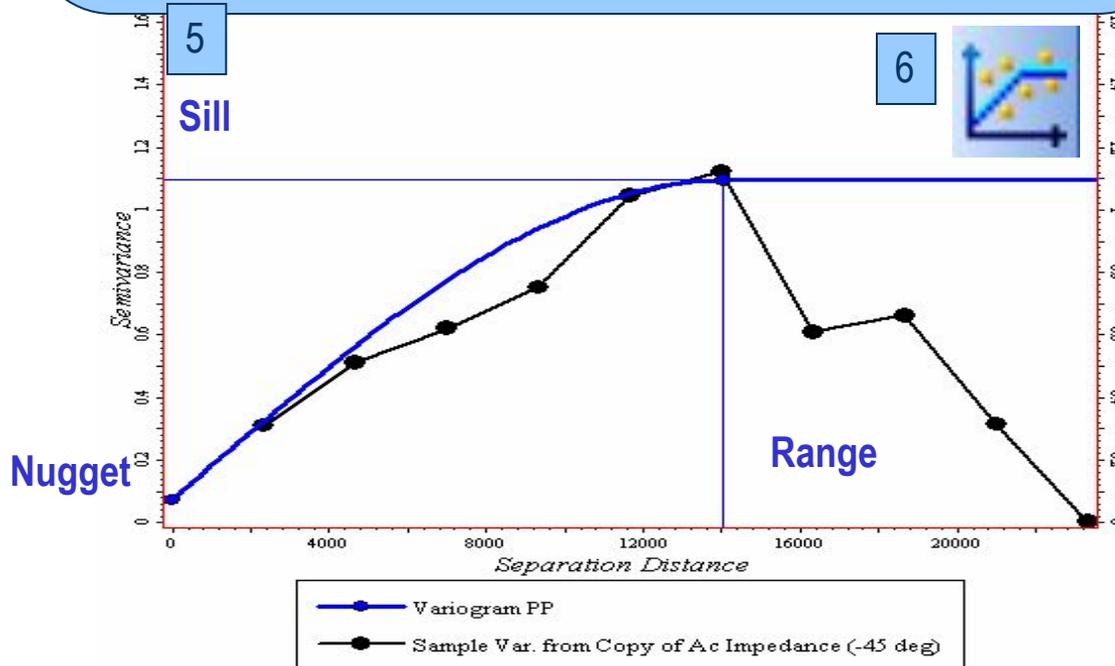
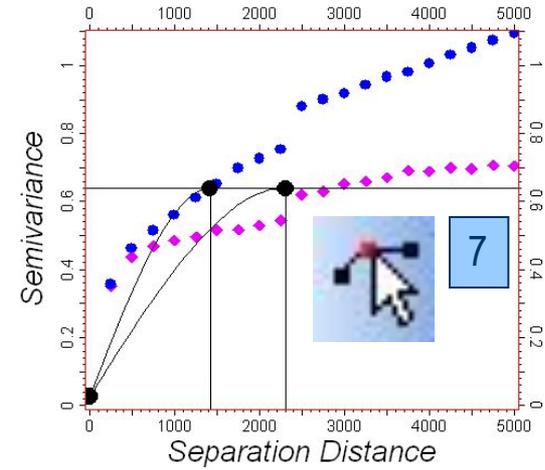
3. Определите параметры на закладке **XY range tab** (**No of lags** и **Search distance**)
4. Нажмите **Run**, чтобы получить **главный ранг** вариограммы. Повторите с углом 90 градусов, чтобы получить **Второстепенный ранг** вариограммы



ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

Экспериментальная вариограмма – расчет в Petrel

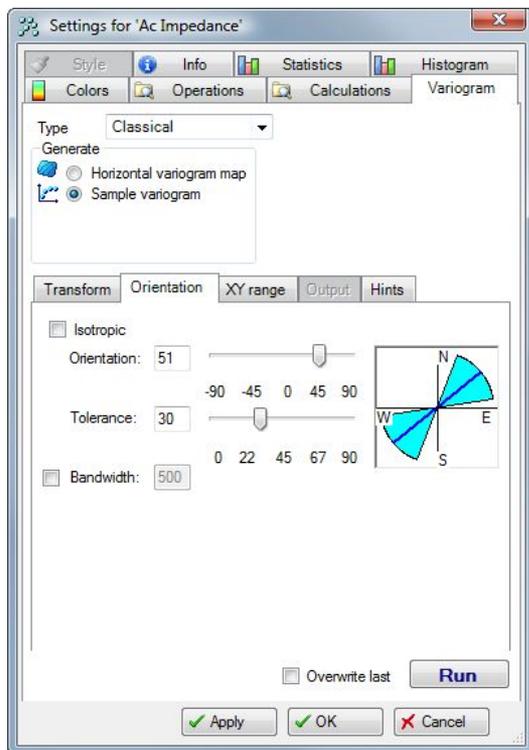
5. Откройте окно **Function** и отобразите **новую Экспериментальную вариограмму**
6. Выберите иконку **Make variogram for sample variogram**
7. Разделите на два ранга, главный и второстепенный, используя иконку **Select and edit/add point**
8. Откройте **Variogram Settings**, чтобы посмотреть параметры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



ОСНОВЫ СТАТИСТИКИ

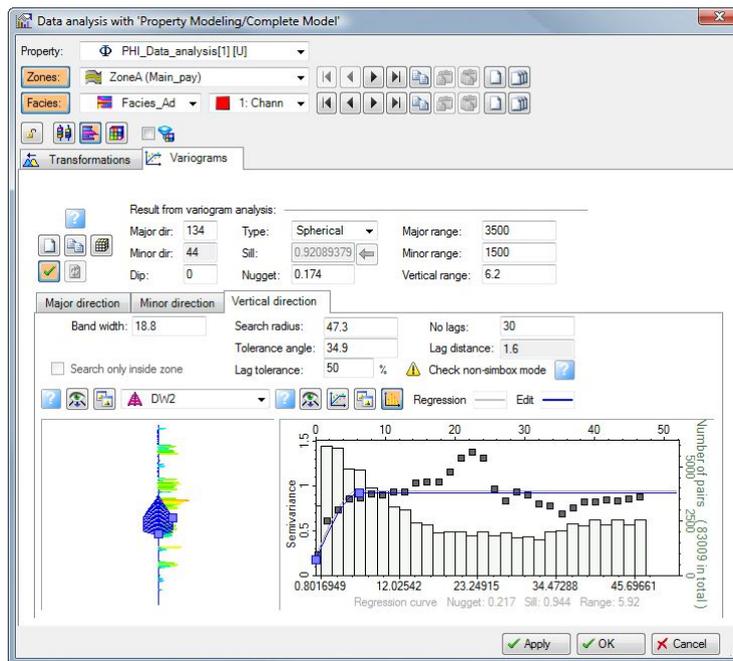
Моделирование вариограмм в Petrel

Закладка Settings/Variogram



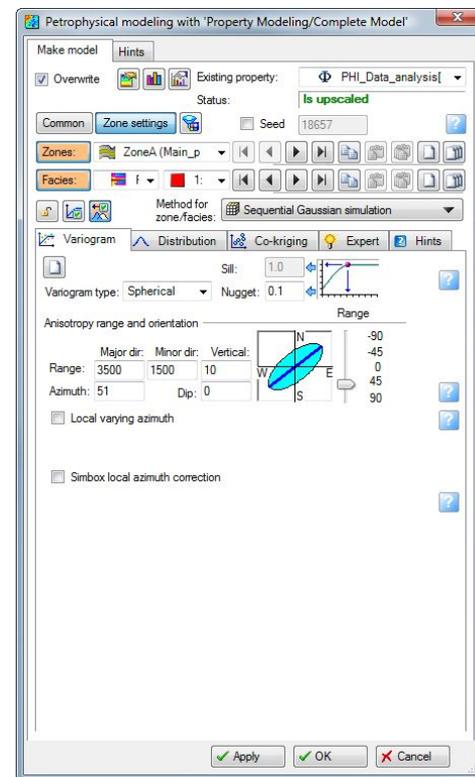
Экспериментальная или горизонтальная вариограмма для нахождения анизотропии

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, наггет и азимут в диалоге процесса

Упражнение