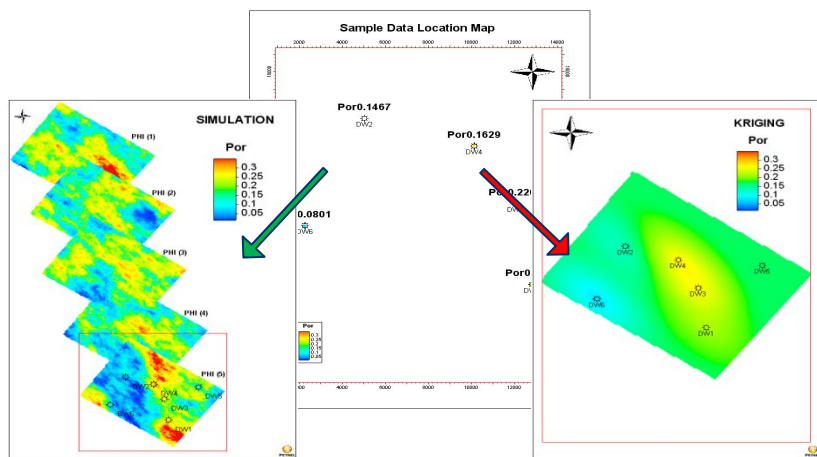


Гауссово моделирование

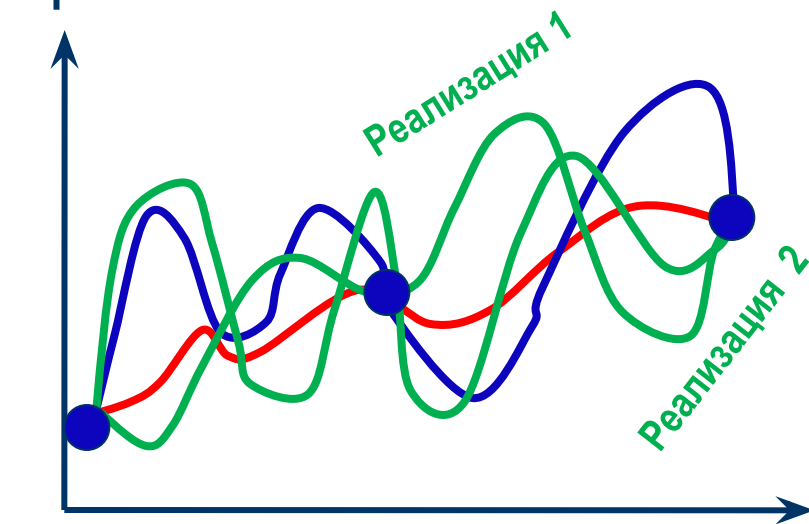
Моделирование в сравнении с кригингом

Кригинг это **детерминистический** интерполяционный метод, дающий **самую лучшую локальную (и сглаженную) оценку**.

Гауссово моделирование это **стохастический** метод, основанный на кригинге, учитывающий **экстремальные значения в неоднородном резервуаре**.



Пористость



● Данные (например, скважины)

— Реальные — Смоделированные — Кригинг

	Simulation	Kriging
Output	• Multiple Equiprobable Realizations	• One Deterministic Model
Properties	• Honors Wells • Honors Histogram • Honors Variogram	• Honors Wells • Honors Variogram
Image	• Fuzzy, pixelated • Same variability everywhere	• Smooth away from wells
Use	• Flow Simulation • Uncertainty Calculation	• Mapping • Volumetrics

Гауссово моделирование

Принципы

Гауссово моделирование основано на Кригинге и использует смоделированные/полученные кригингом значения, как **данные для воспроизведения ковариации между всеми моделируемыми значениями**

- **Гауссово распределение:** легко создать условное распределение (форма всех условных распределений = нормальному/гауссову)
- **Математическое ожидание и дисперсия:** **взята из кригинга**

Последовательное Гауссово моделирование широко используемый алгоритм **GSLib**, **также используемый Petrel для стохастического моделирования**. Из ограниченного количества данных может построить модель, с учетом следующего:

- **Преобразование к нормальному распределению:** Исходные данные преобразуются с мат. ожиданием =0 и std. Отклонением =1. Результат моделирования автоматически преобразуется к исходному распределению
- **Стационарность:** **Среднее значение данных не меняется латерально, поведение данных не зависит от их расположения (Отсутствие трендов в данных)**
- **Выходные данные:** Множество РАВНОВЕРОЯТНЫХ реализаций (обусловленные случайной траекторией)

Гауссово моделирование

Начальное число – Определяет случайную траекторию

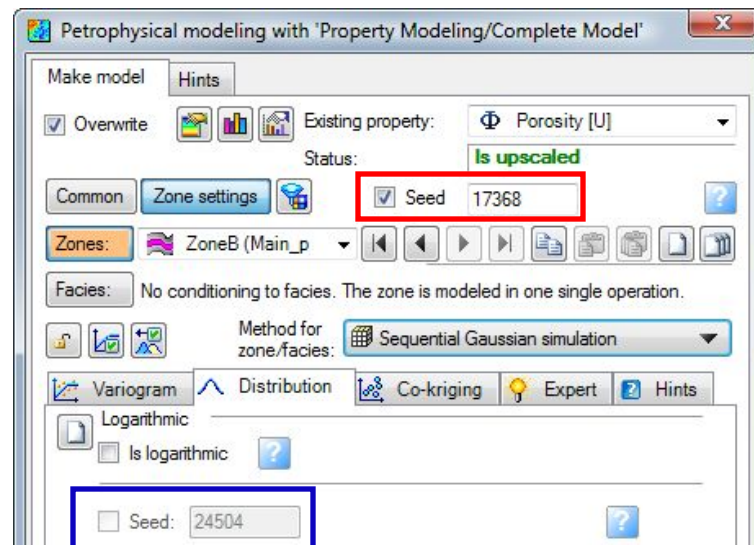
Гауссово моделирование стохастическое по природе; т. е. множество равновероятных реализаций могут быть созданы с одинаковым набором входных данных, меняя случайный порядок обхода моделируемых неизвестных значений

Начальное число

Номер ячейки

69069	2
2	11
11	8
8	9
9	14
14	7
7	4
4	5
5	10
10	3
3	16
16	1
1	6
6	15
15	12
12	13

3D грид состоит из пронумерованных ячеек. Случайная формула для траектории задает порядок обхода



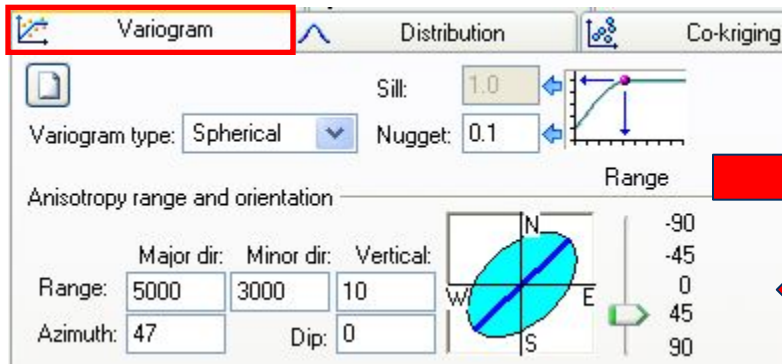
Общее начальное число— используется для всех зон в 3D гриде

Локальное начальное число – используется для индивидуальной Зоны / Фации в 3D гриде

Гауссово моделирование

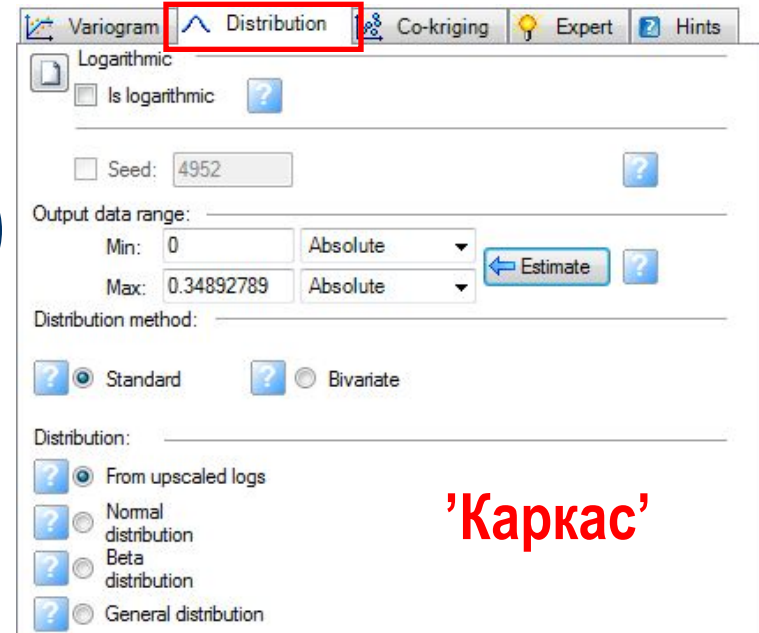
Использование кривой CDF и вариограммы

Гауссово моделирование зависит от входных данных и **начального числа**. Также **необходимо настроить соответствующую вариограмму** (для ранга и анизотропии), и **распределение** для присвоения значений. **Порядок обхода ячеек и пределы выходных данных** (распределение) контролируют форму кривой CDF для обратного преобразования смоделированных значений



'Основа'

В пределах данного распределения параметры вариограммы контролируют пространственное распределение

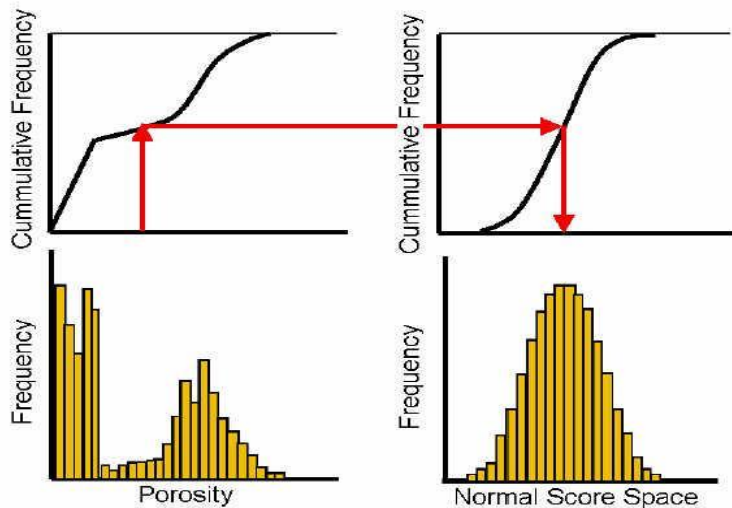


'Каркас'

Гауссово моделирование

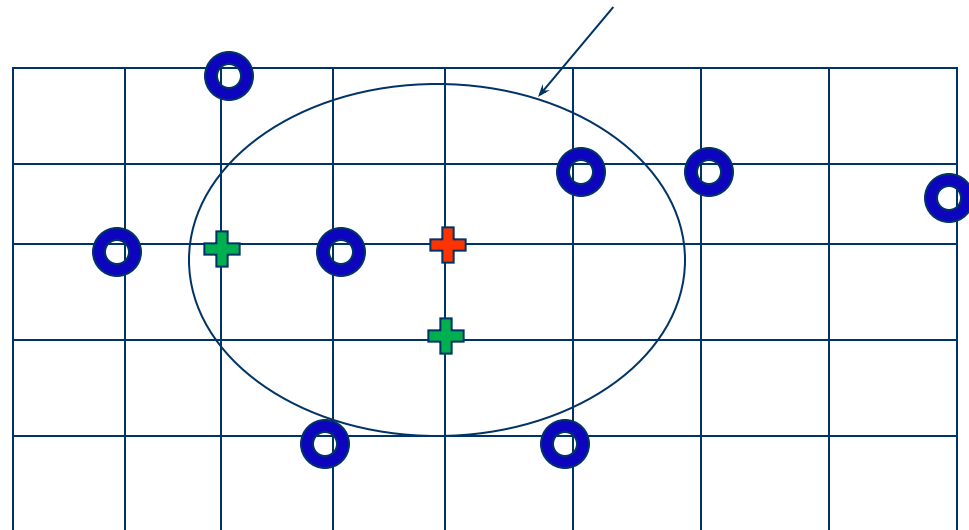
Процесс – шаг 1

1. Преобразование входных данных к Гауссовому распределению, используя преобразование к нормальному распределению, дающую гладкую кривую CDF



2. Для точки грида $+$ используется Кригинг оценка и дисперсия для расчета значения, используя соседние точки данных \circ и уже смоделированные значения $+$

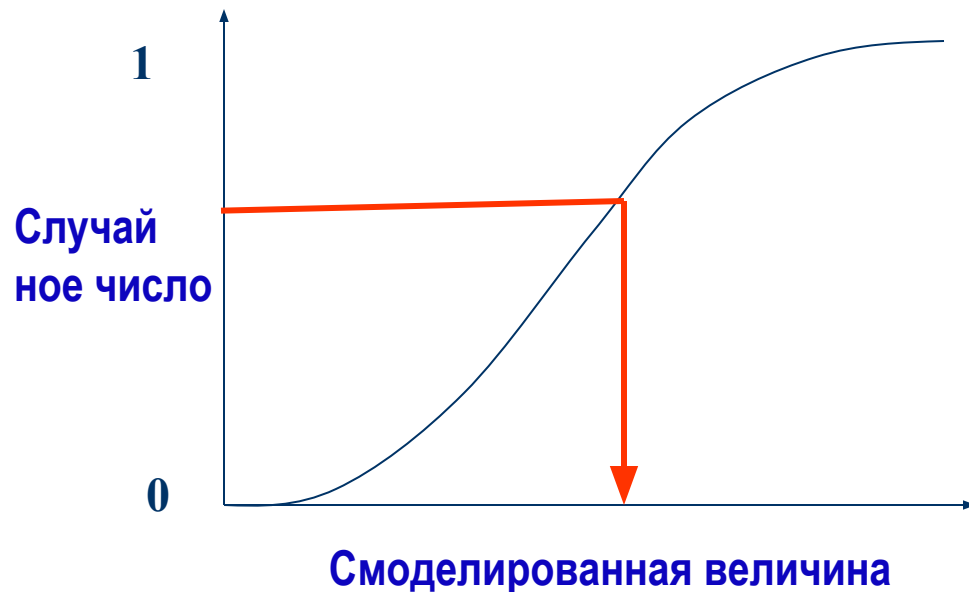
Область влияния вариограммы



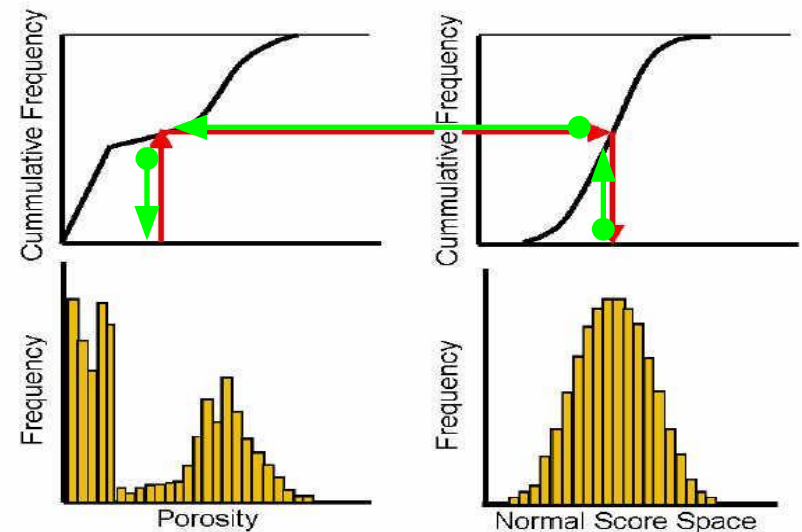
Гауссово моделирование

Процесс – шаг 2

3. Рассчитывается условная кумулятивная функция распределения (CCDF), базирующуюся на исходных и заранее смоделированных данных. Отображается смоделированное значение CCDF.



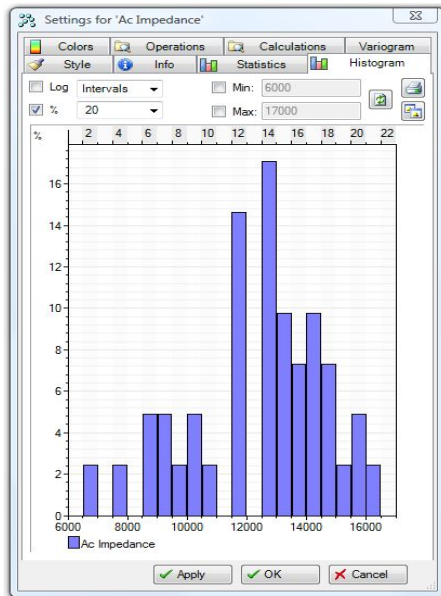
4. Переходит к следующему узлу града, отвечающему случайной траектории. Когда моделирование закончено, значение преобразуется обратно, используя CDF входных данных.



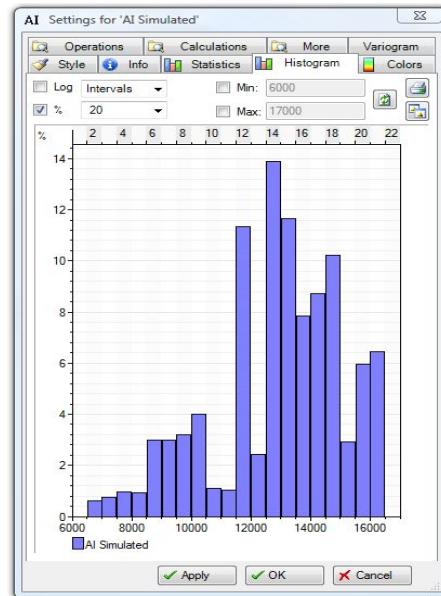
Гауссово моделирование

Сравнение результата моделирования с входными данными

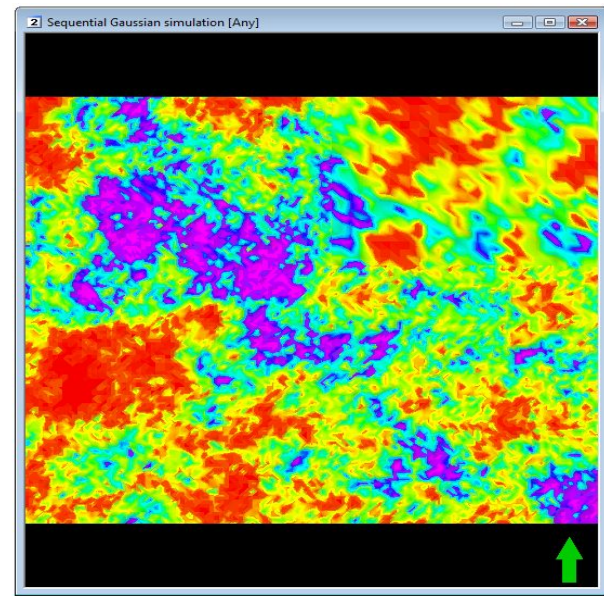
Результат Гауссова моделирования Форма распределения гистограммы входных данных и смоделированных должны быть похожи. Разброс данных сохранен.



**Гистограмма
входных данных**



**Гистограмма
результата
моделирования**



**Результат Гауссова
моделирования**

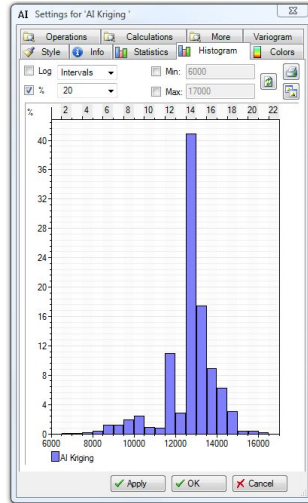
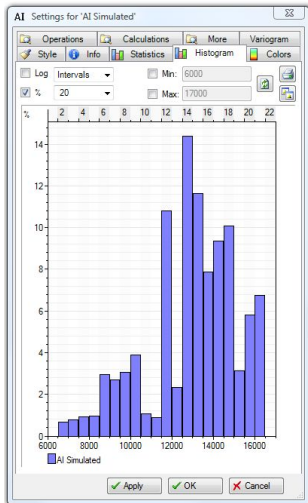
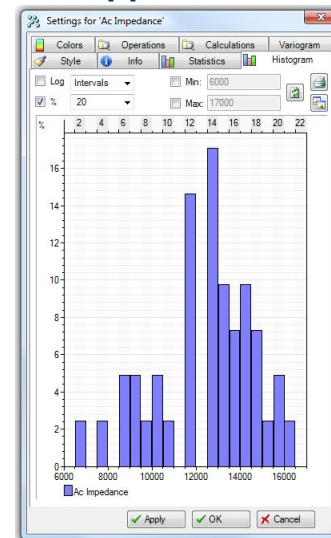
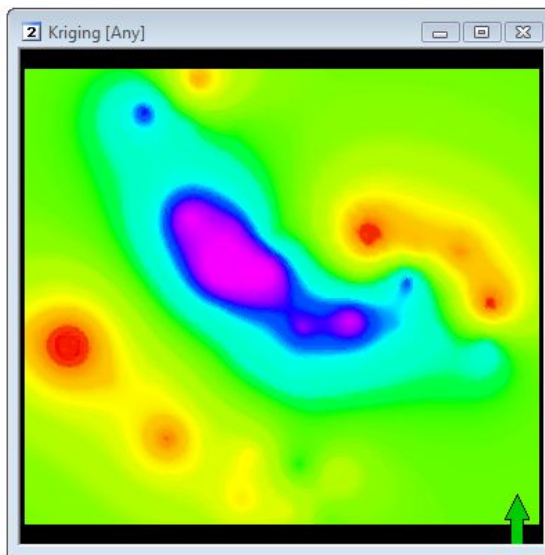
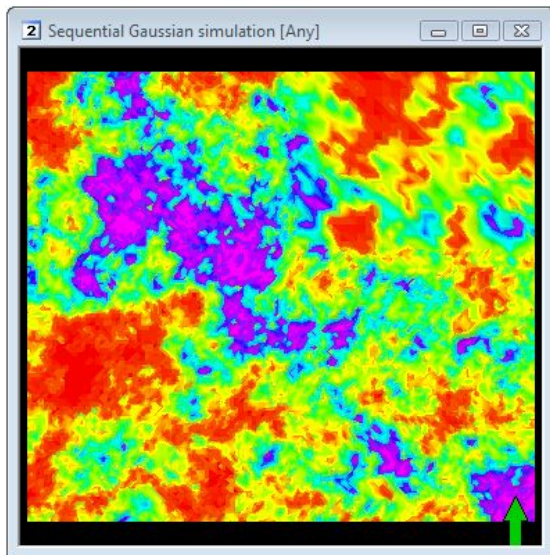
Гауссово моделирование

Сравнение результата моделирования с кригингом

Гистограмма входных данных

Гауссово моделирование

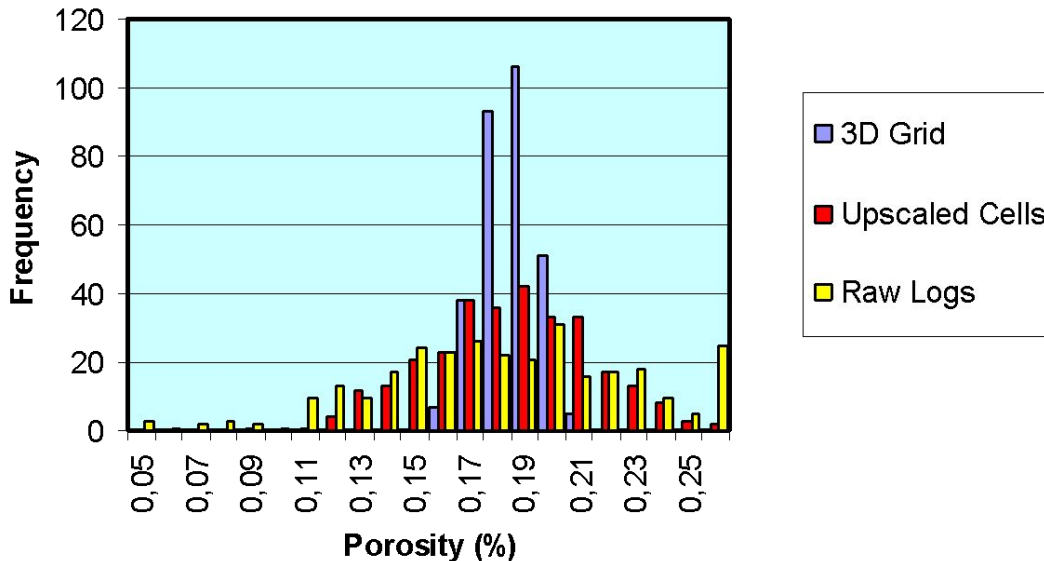
Кригинг



Гауссово моделирование

Кригинг/усредненное моделирование – эффект смены основания

Change-of-Support Effect
(Mean = 0.18; Stdev: 0.01/0.03/0.05)



Из-за поддержки различных объемов и сглаживающего характера (кригинга) алгоритма.

Аффинная коррекция

$$z(V_1)_{corr} = \frac{\sigma^2(V_2)}{\sigma^2(V_1)} * (z(V_1) - \bar{x}) + \bar{x}$$

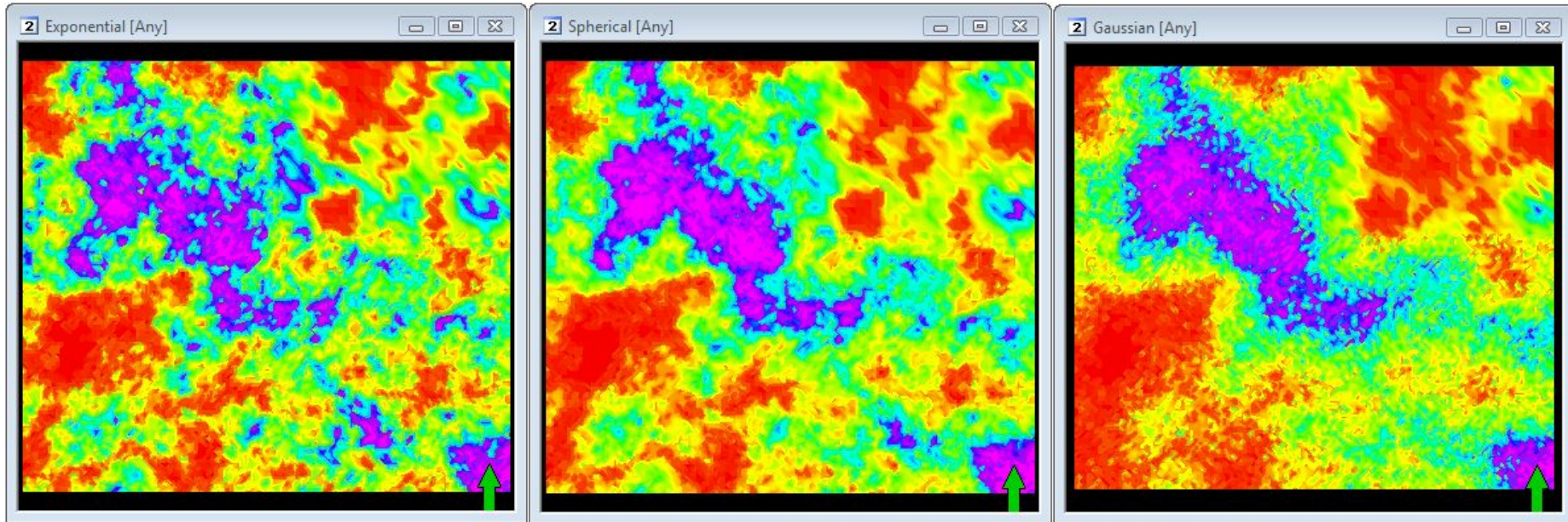
V_1 Переменная 1 (3D модель)

V_2 Переменная 2
(перемасштабированные ячейки)

Гауссово моделирование

Влияние параметров модели вариограммы

Тип модели вариограммы (Ранг: 5000м)



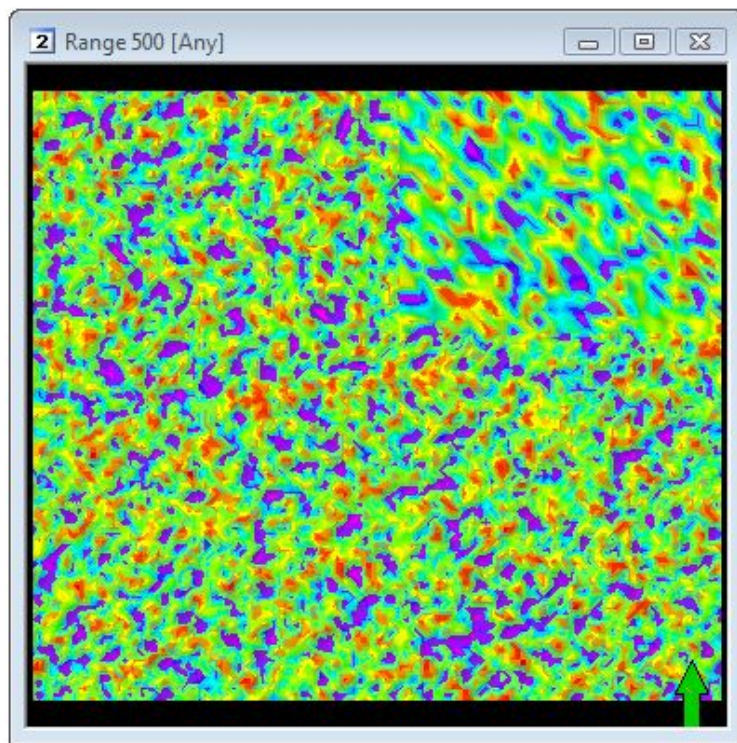
Экспоненциальная и Сферическая
модели дают похожие результаты

Гауссова модель дает
сглаженный результат

Гауссово моделирование

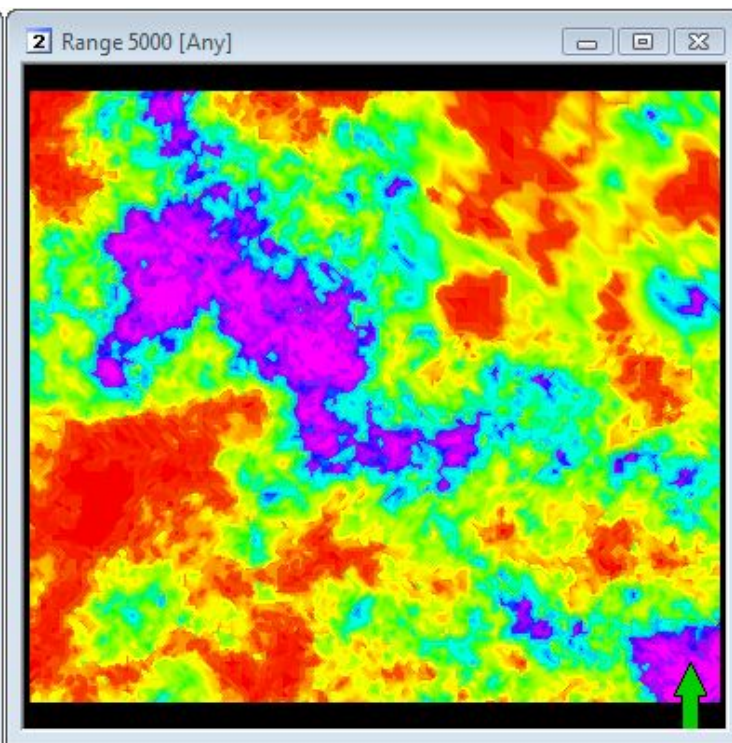
Влияние параметров модели вариограммы

Ранг вариограммы (сферическая вариограмма)



Ранг: 500m

Наггет: 0



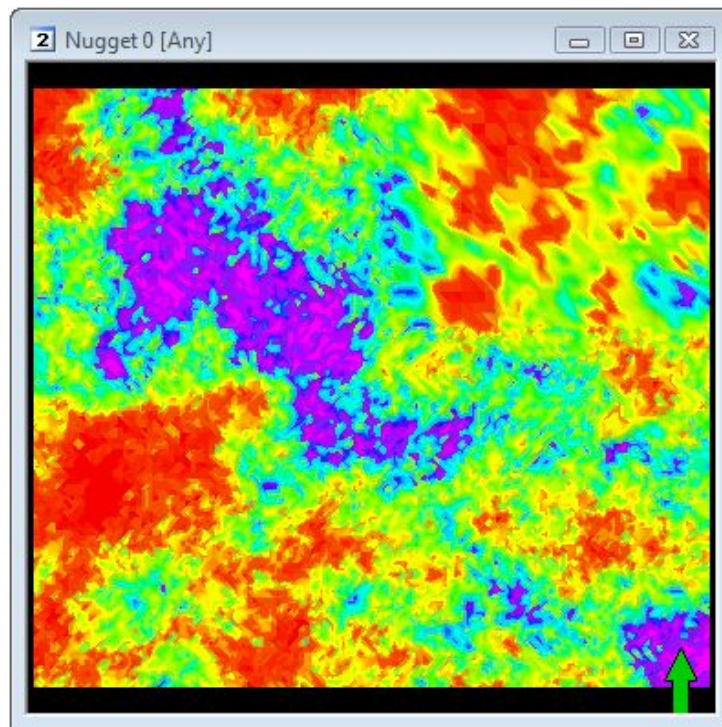
Ранг : 5000m

Наггет : 0

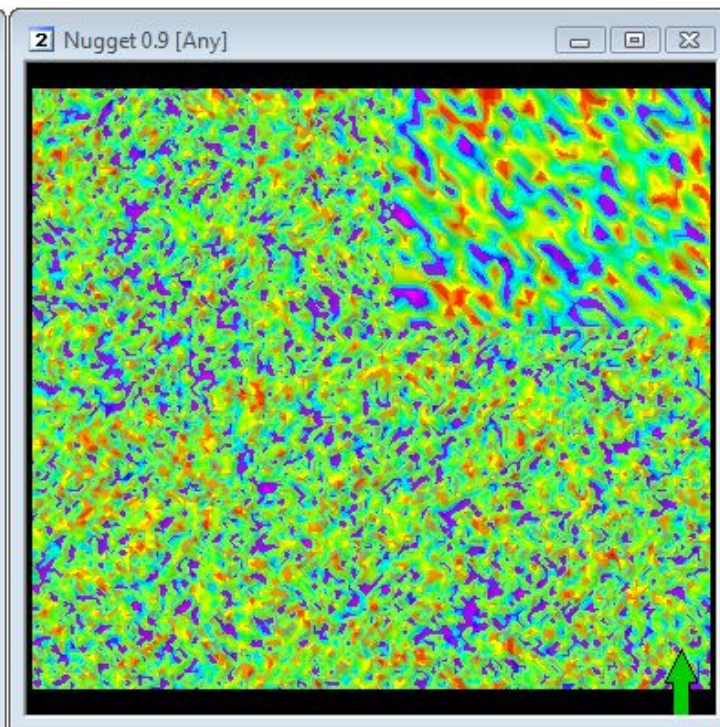
Гауссово моделирование

Влияние параметров модели вариограммы

Наггет (сферическая вариограмма)



Наггет: 0

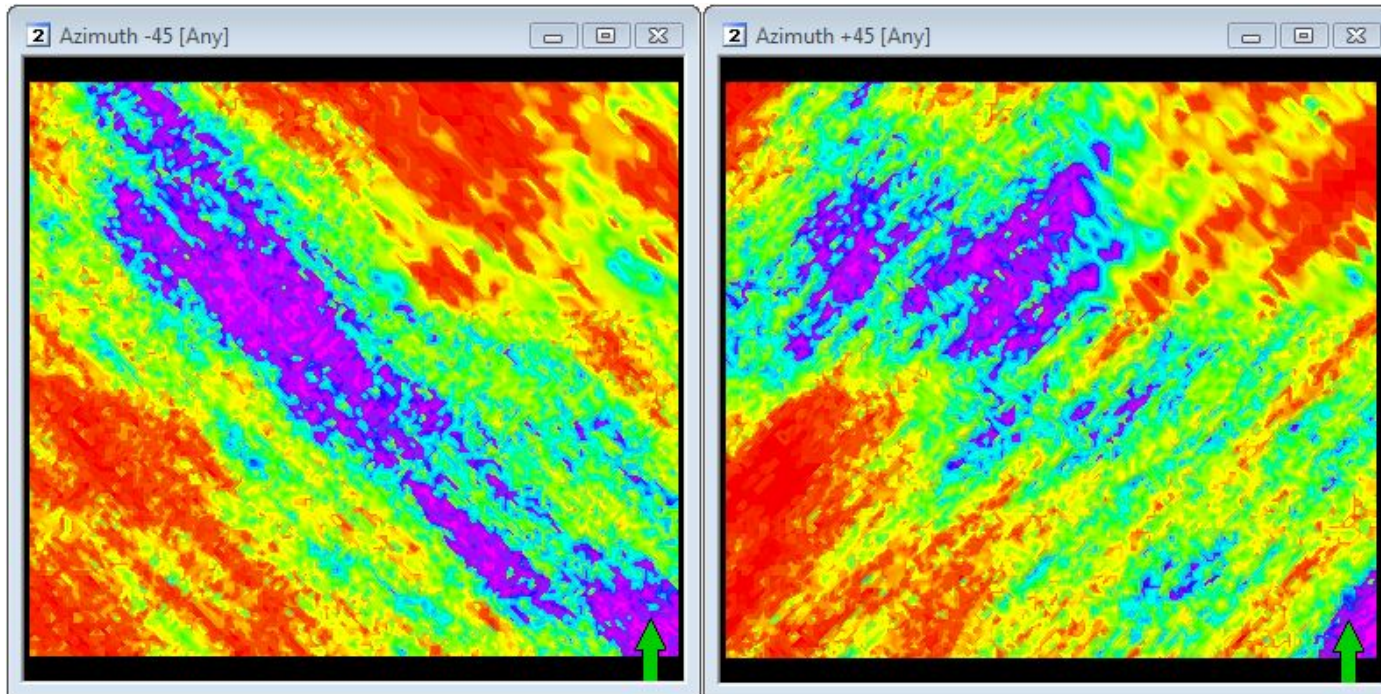


Наггет: 0.9

Гауссово моделирование

Influence of the Variogram model parameters

Анизотропия (сферическая вариограмма)



Ранг: 20000m / 5000m

Азимут: -45

Ранг : 20000m / 5000m

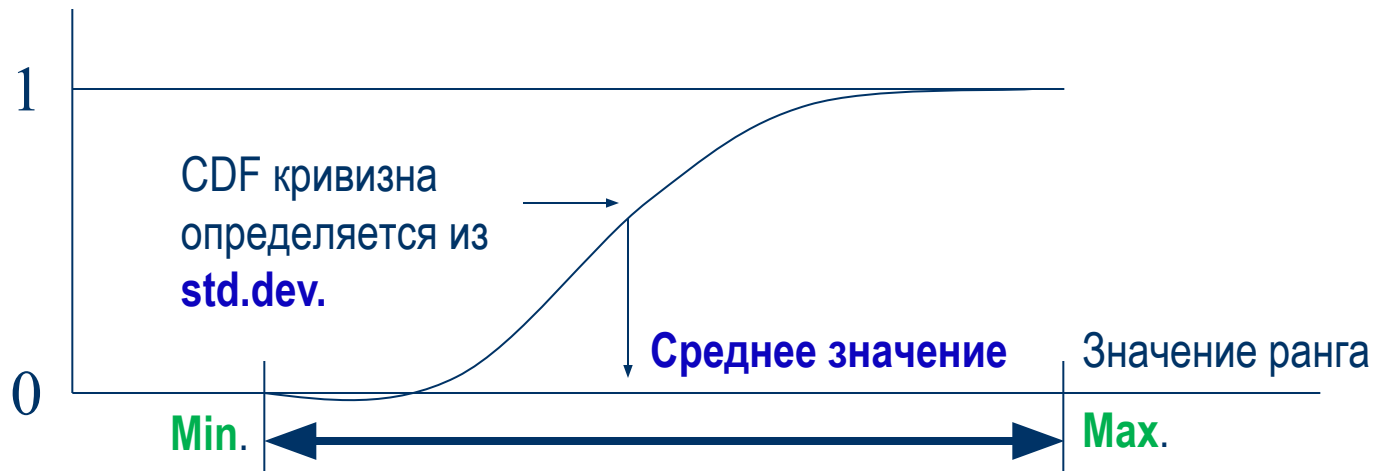
Азимут : 45

Гауссово моделирование

Безусловное моделирование

В случае, если **нет никаких входных данных**, можно использовать **безусловное моделирование**:

- Пользователь определяет **разброс выходных данных**
- Пользователь определяет **среднее значение** и **среднеквадратическое отклонение**
- Результирующая поверхность получает значения в требуемом интервале с помощью **обратного преобразования** из среднего значения и стандартного отклонения
- Рассчитывается **CDF**, которая используется для обратного преобразования.

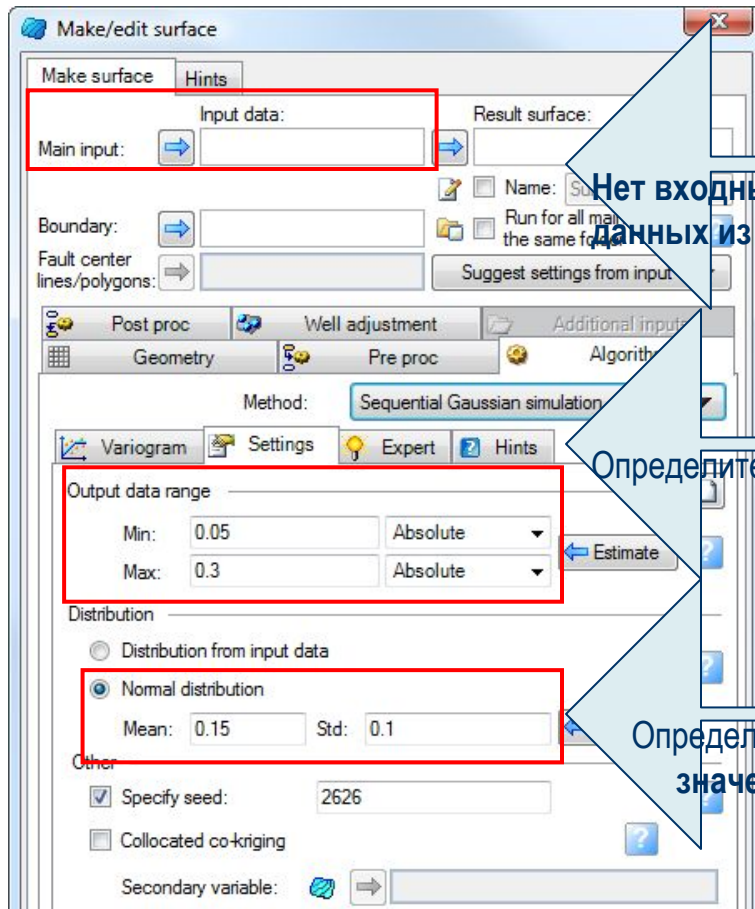


Гауссово моделирование

Безусловное моделирование – Petrel

Процесс Make /edit surface

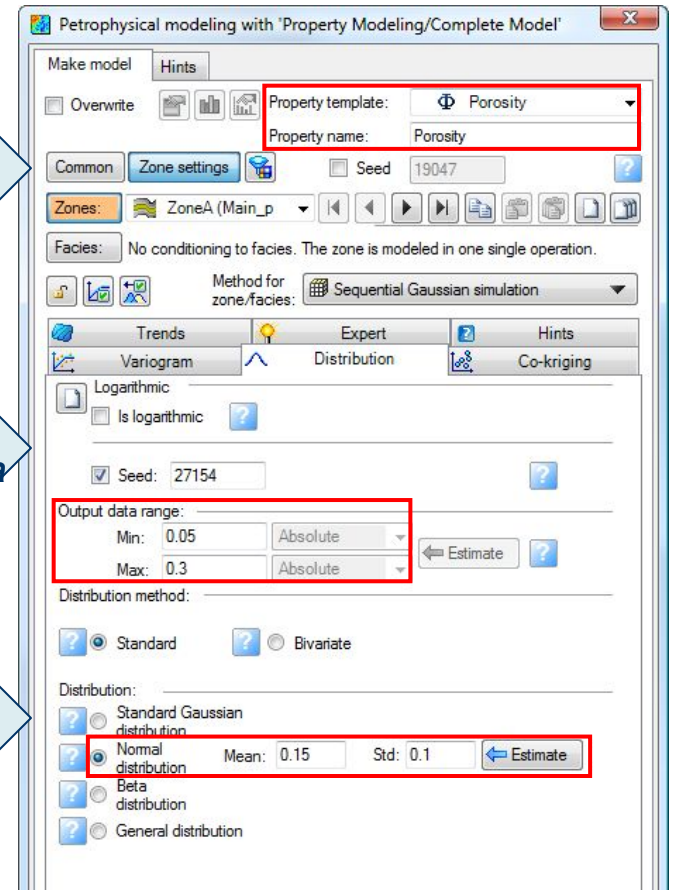
Процесс Petrophysical modeling



Нет входных данных – или набор данных из немногих точек данных

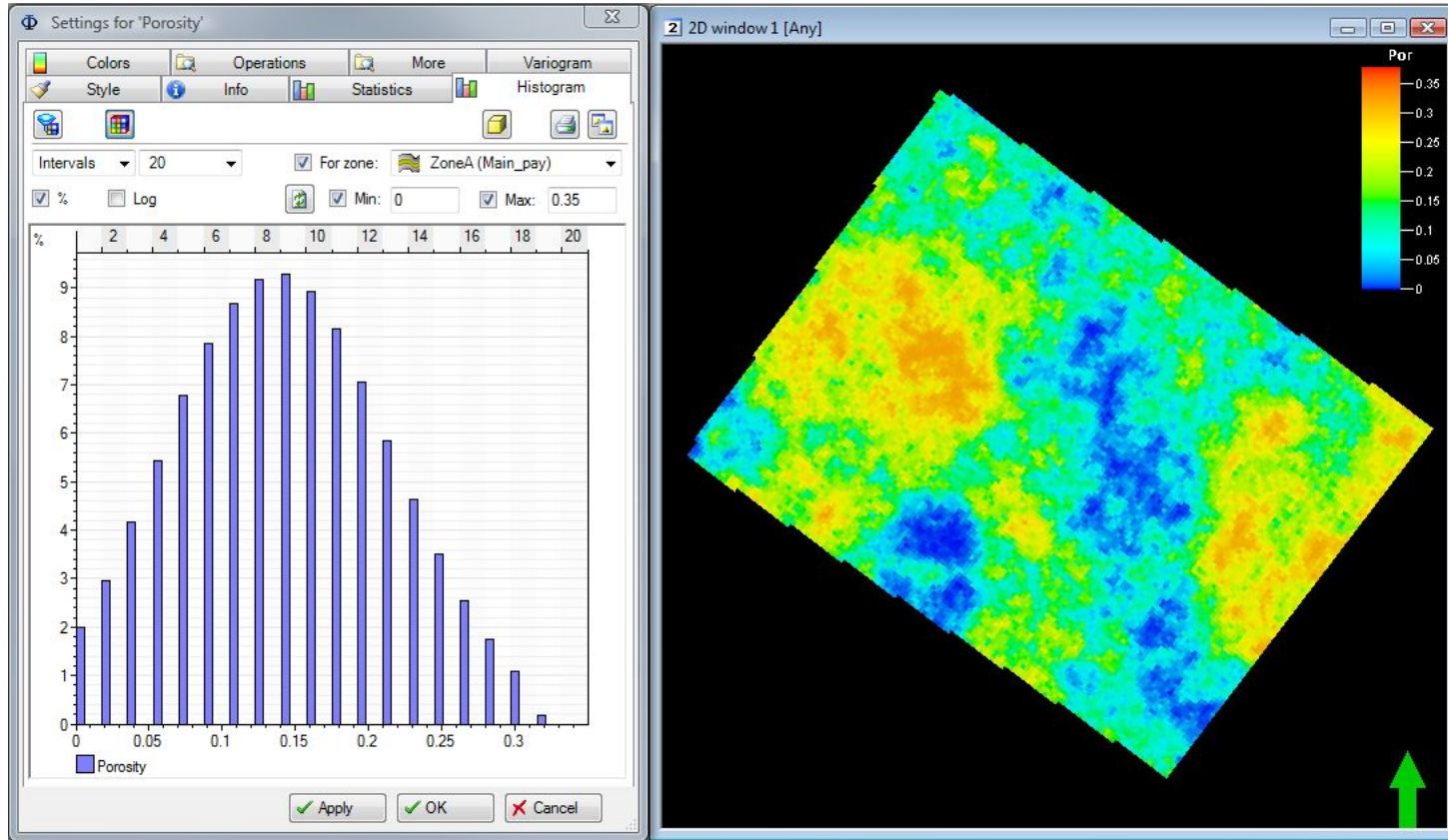
Определите подходящий *Output data range*

Определите CDF через среднее значение и среднеквадр. отклонение.



Гауссово моделирование

Пример безусловного моделирования



Последовательное Гауссово моделирование:

Выходной интервал: 0 - 0.32

Среднее: 0.15 и стандартное отклонение: 0.08

Гауссово моделирование

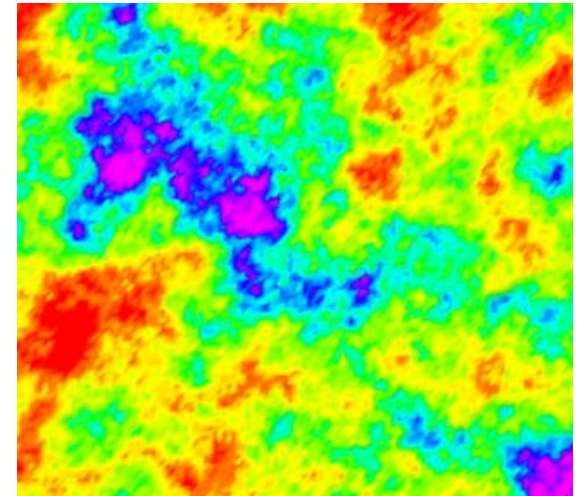
Алгоритмы Гауссова моделирования в Petrel



- **Последовательное Гауссово моделирование**

Популярный стохастический метод (GSLIB), основанный на Кригинге и отклонении ошибки. Работает со скважинными данными, входными распределениями, вариограммами и трендами.

- **Случайное Гауссово моделирование**

Работает быстрее, чем Последовательное Гауссово моделирование, т.к. работает через параллелизацию, имеет *быстрый Collocated co-kriging* и дополнительные экспертные настройки.



-  Make/edit surface
-  Petrophysical modeling

Упражнение