

Стохастическое моделирование на основе многоточечной статистики: практическое применение

Волкова М.С. (ООО «ГридПоинт Динамикс»)

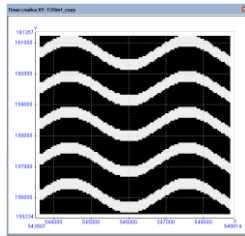
Идеи нового подхода к моделированию возникли ещё в 1993 году (Guardiano, Srivastava)

Однако в то время вычислительные возможности не позволили их реализовать на практике. Только в начале 2000-х годов был предложен первый действующий алгоритм стохастического моделирования на основе многоточечной статистики (Strebelle, 2000-2002)

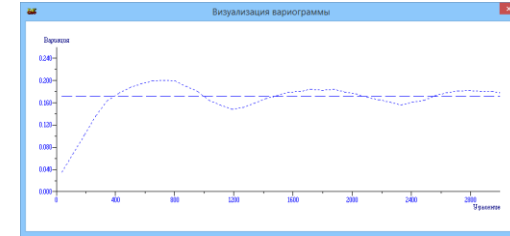
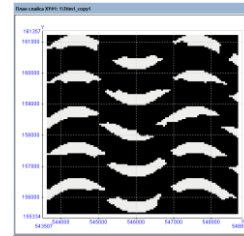
Ограничения классической геостатистики

- **Ограничения вариограммного анализа**

Геологические структуры и соответствующие вариограммы



Параллельные русла (горизонтально связаны => поддерживают течение потока)



Дюны (не имеют сквозной связанности => не могут поддерживать течение потока)

Вариограммы этих объектов очень похожи и таким образом, моделирование на основе вариограмм

- не отразит принципиального отличия в связанности показанных образов
- не позволит воспроизвести желаемую геометрию структуры

- **Требование условия стационарности моделируемой среды**

Как правило, природные явления – нестационарные процессы

От двухточечной к многоточечной статистике...

Вариограмма – двухточечный статистический момент.

Характеризует совместную связь только двух точек $Z(x)$, $Z(x+h)$

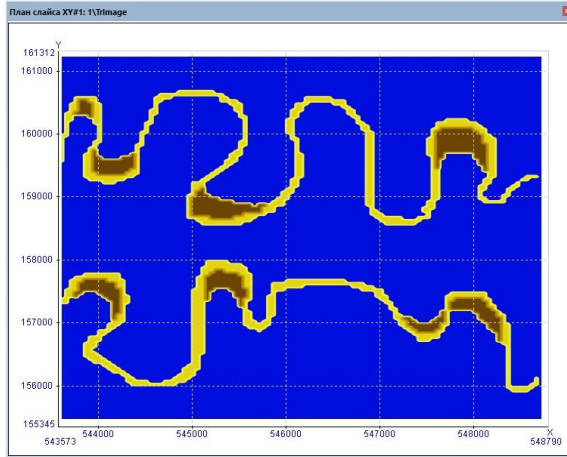
$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{ [Z(x) - Z(x+h)]^2 \}$$



Обучающий образ – описывает сложные геологические структуры различной геометрии (как в объектном моделировании).

Характеризует совместную связь множества точек

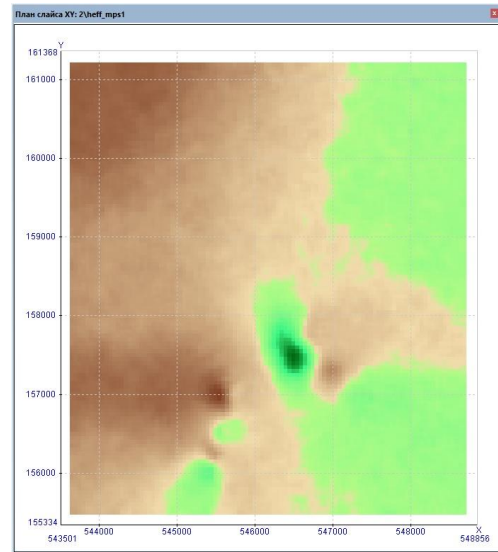
Обучающий образ



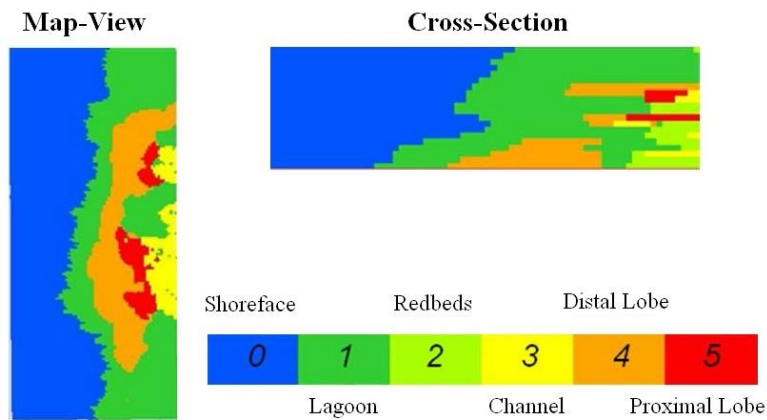
Дельта реки Лена (Google.maps)



Дельта реки Ганг



Карта эффективных толщин



(Sebastien Strebelle, Multiple-Point Geostatistics: from Theory to Practice, 2012)

Для 3D моделирования
2 сечения (вертикальное и
горизонтальное)

Модуль многоточечной статистики в DV-Geo

1993, ENESIM (Guardiano, Srivastava,)

2002, SNESIM (Strebelle)

2006, FILTERSIM (Zhang)

2007, SIMPAT (Arpat, Caers)

2008, Patchwork Simulation (El Quassini)

2010, GROWTHSIM

2010, Direct Sampling (Mariethoz)

2011, IMPALA (Straubhaar)

2011, HOSIM

2011, Simulated Annealing (Peredo, Ortiz)

2012, CCSIM (Tahmasebi)

Алгоритм Direct Sampling

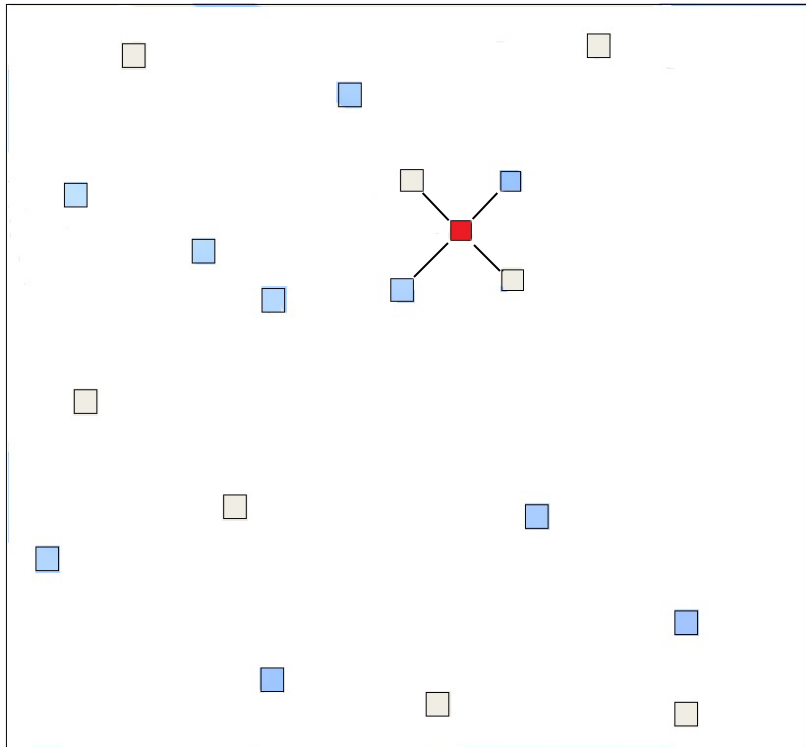
- DS моделирует категориальные данные (фациальное моделирование)
- Моделирует непрерывные данные (проницаемость, пористость, сейсмические атрибуты и тд)
- Нет ограничений в сложности обучающего образа
- Не требует условия стационарности
- Использует мало памяти
- Скорость работы – средняя
- Главное преимущество – простота и гибкость

Основные отличия от других методов многоточечной статистики

- нет необходимости вычислять функции распределения для каждой расчётной ячейки,
- использование расстояний между наборами точек

Основной принцип работы алгоритмов многоточечной статистики

По некоторому шаблону, построенному для расчётной ячейки x , ищутся все соответствующие копии в обучающем образе

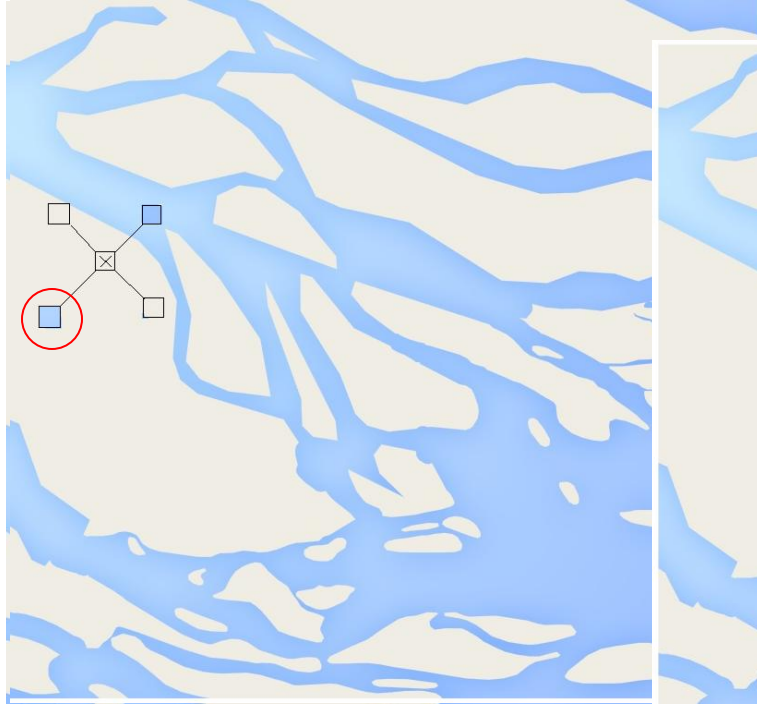


Исходные данные $Z(x)$ и шаблон,
построенный по 4 ячейкам



Обучающий образ
 $Z(y)$

Основной принцип работы алгоритмов многоточечной статистики



Конфигурация не найдена



Конфигурация не найдена



Конфигурация найдена !

Затем строится функция распределения вероятностей и по ней выбирается значение, которое записывается в расчётную ячейку

Отличие в Direct Sampling

Вместо подсчёта вероятностей используется метрика различия между двумя наборами данных

В случае дискретных данных используется интерпретация расстояния Хэмминга

$$d\{Nx, Ny\} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \|h_i\|^{-\delta}}{\sum_{i=1}^n \|h_i\|^{-\delta}} \in [0, 1], \quad \text{где} \quad a_i = \begin{cases} 0, & \text{если } Z(x_i) = Z(y_i) \\ 1, & \text{если } Z(x_i) \neq Z(y_i) \end{cases}$$

В случае непрерывных данных используется взвешенное Евклидово расстояние

$$d\{Nx, Ny\} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \alpha_i [Z(x_i) - Z(y_i)]^2} \in [0, 1] \quad \text{где} \quad \alpha_i = \frac{\|h_i\|^{-\delta}}{d_{\max}^2 \sum_{j=1}^n \|h_j\|^{-\delta}} \quad d_{\max} = \max_{y \in Y} Z(y) - \min_{y \in Y} Z(y)$$

Отличие в Direct Sampling

Если шаблоном просканирован весь обучающий образ, но соответствующая копия шаблона не найдена, то выбирается та конфигурация, при которой расстояние между наборами данных было минимальным.

$$d\{N_x, N_y\} = \min$$

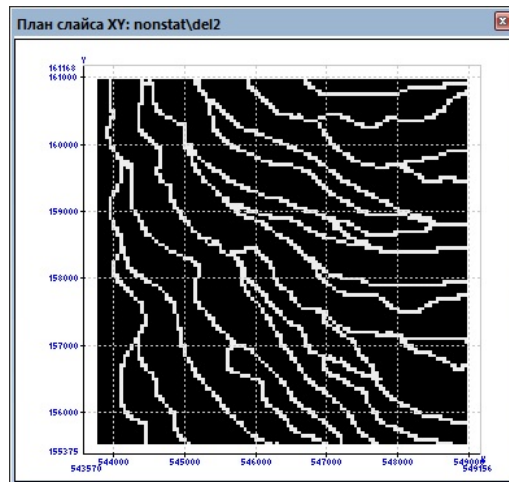


За одну итерацию заполняются все ячейки моделируемой сетки

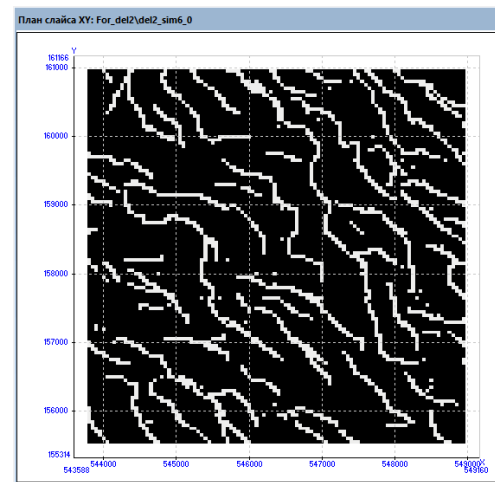
Алгоритм Direct Sampling в DV-Geo

Если соответствующая копия шаблона не найдена, то ячейка пропускается.

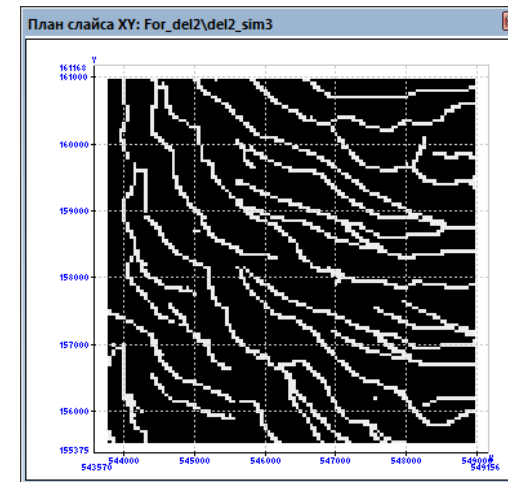
Затем выполняется новая итерация с учётом уже рассчитанных ячеек.



Обучающий образ



Реализация, полученная алгоритмом DS

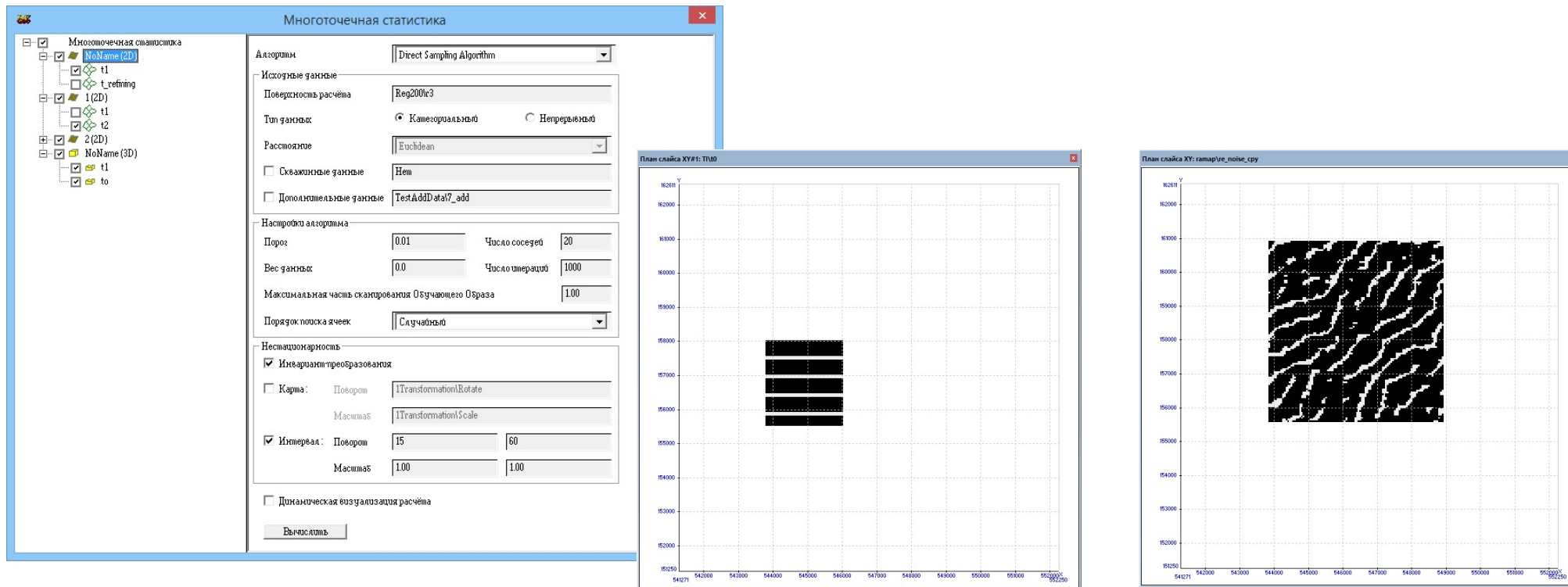


Реализация, полученная алгоритмом DS с изменениями, внесёнными в DV-Geo

Алгоритм работает дольше, но реализации получаются более точные.

Моделирование нестационарных процессов

В случае, когда у нас есть только простейший элемент, с помощью аффинных преобразований можно добиться желаемой картины

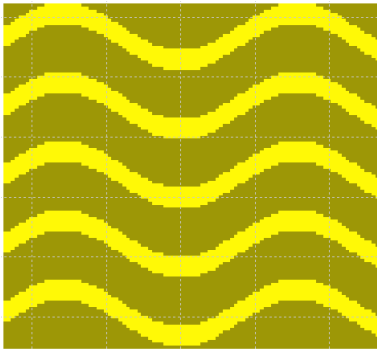


Задан случайный поворот элемента в интервале значений от 15 до 60 градусов

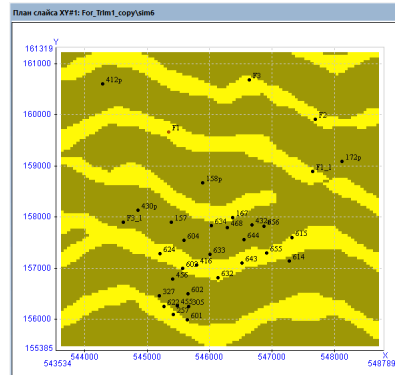
Результаты расчётов

Категориальные данные

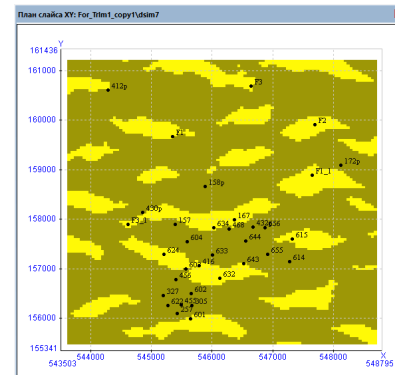
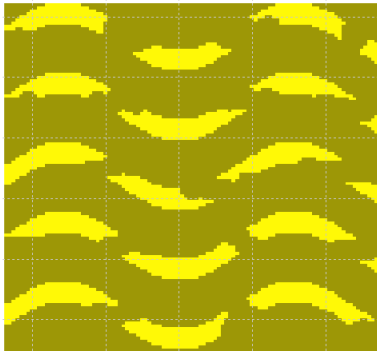
Обучающий образ



Реализация



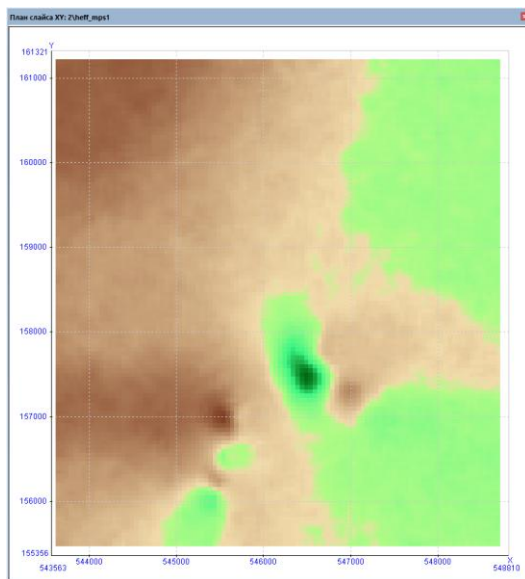
Протяжённые синусоидальные русла



Структуры, не имеющие пространственной связанности

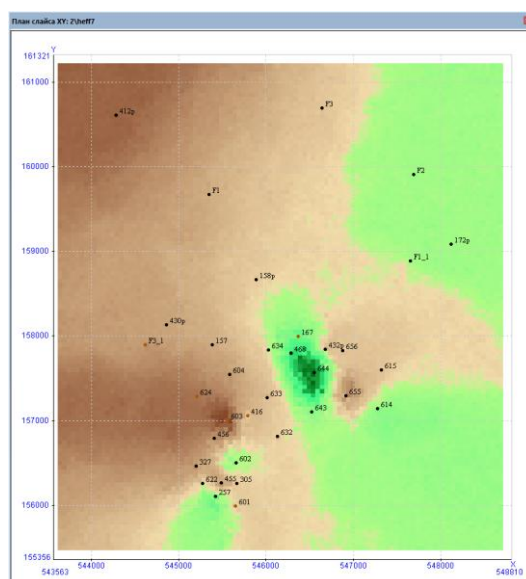
Результаты расчётов

Непрерывные данные

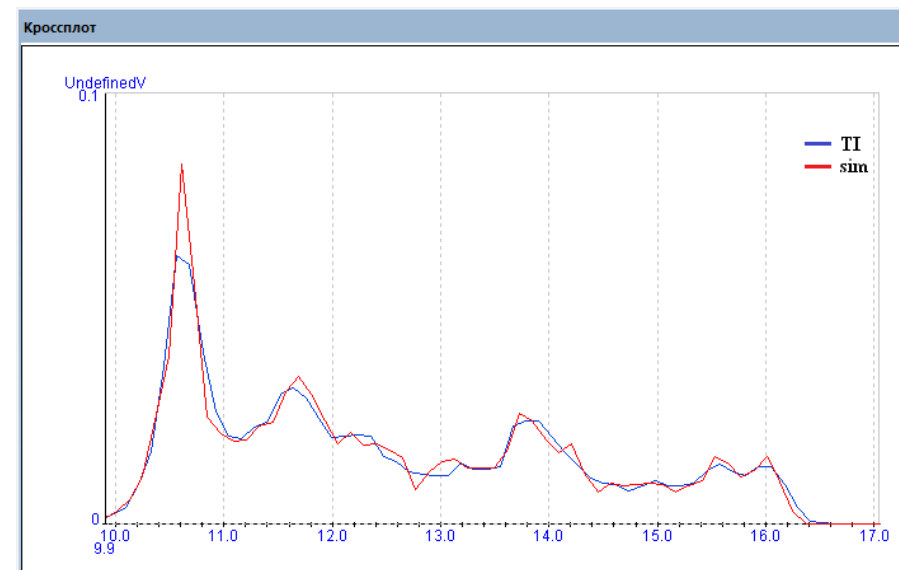


Обучающий образ

(Сейсмический атрибут –
карта эффективных толщин)



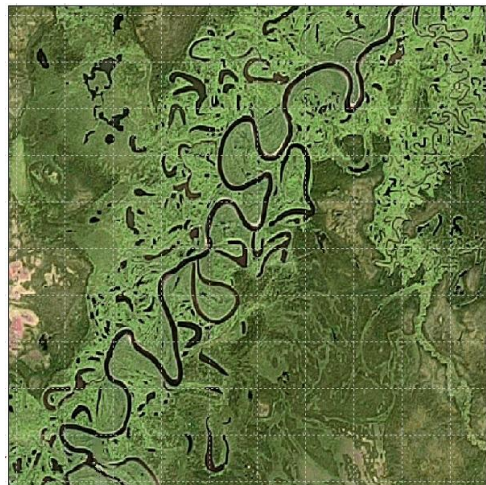
Реализация



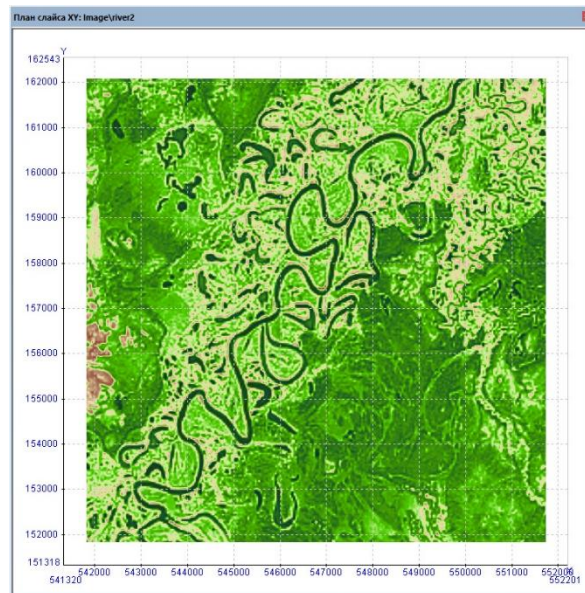
Сравнение гистограмм

Реализация хорошо воспроизводит обучающий образ, при этом, в отличие от обучающего образа, в точности совпадает с скважинными данными.

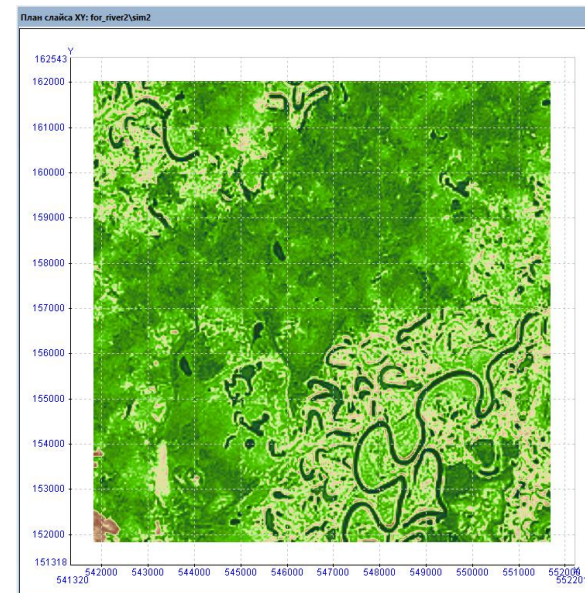
Результаты расчётов



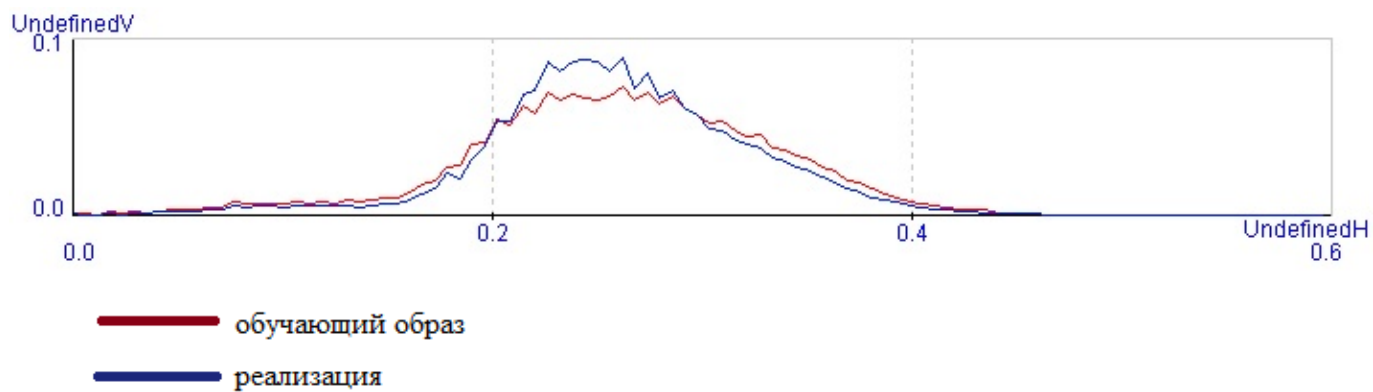
Карта Google
(приток Енисея)



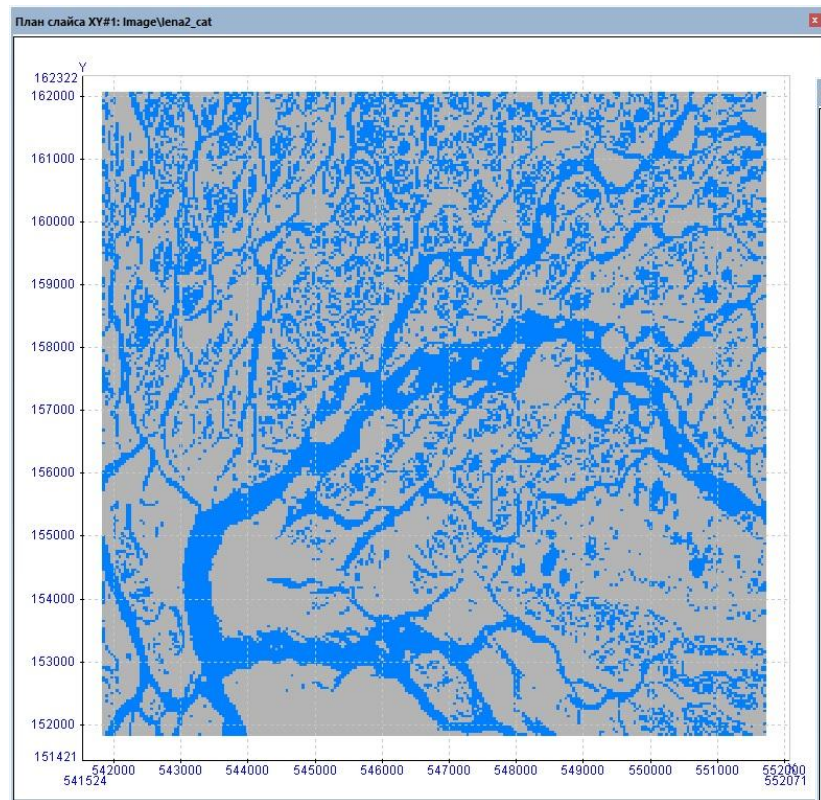
Карта Google, загруженная в DV-Geo



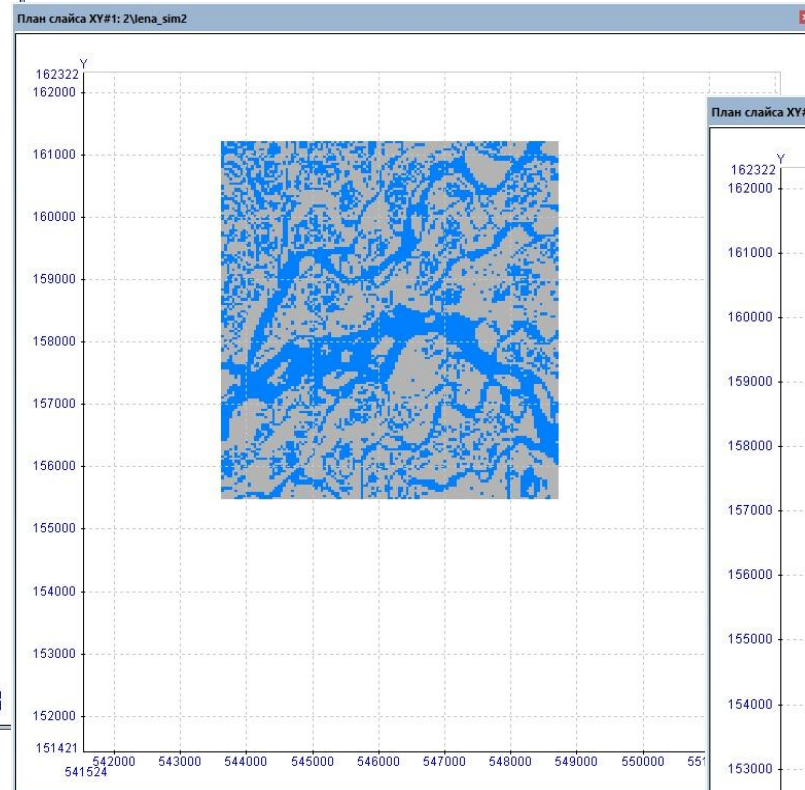
Полученная реализация



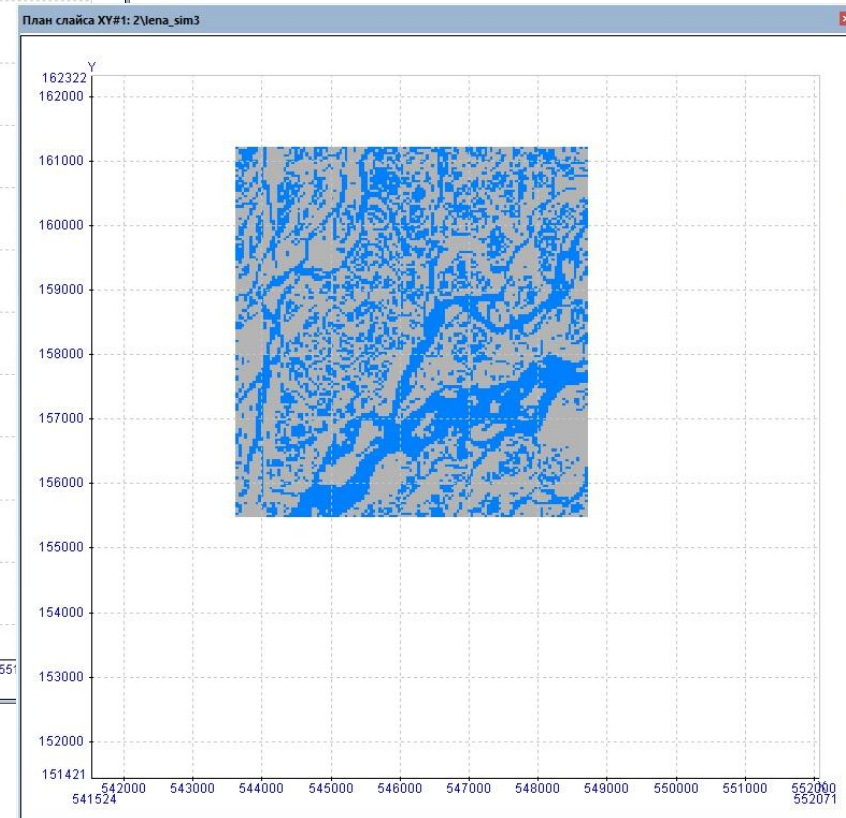
Результаты расчётов



Обучающий образ (дельта реки Лена)



Реализация 1

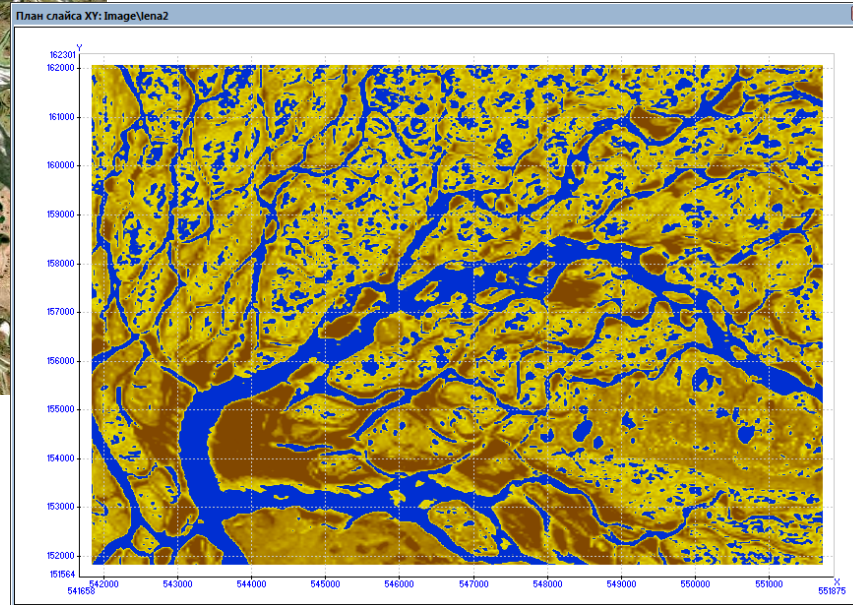


Реализация 2

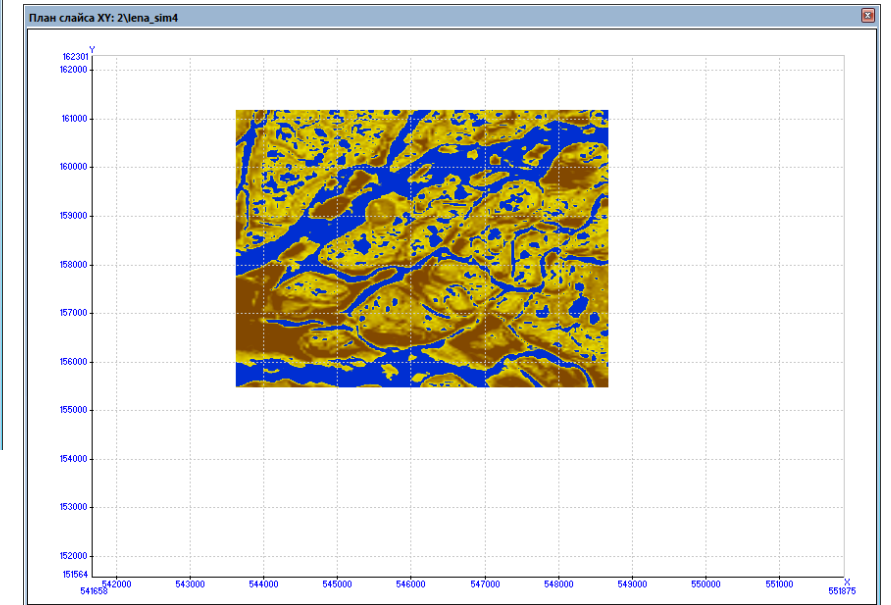
Результаты расчётов



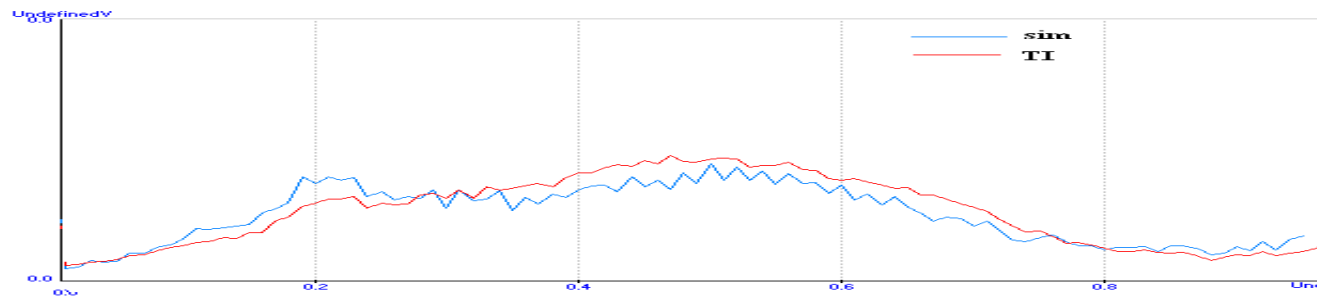
Карта Google
(дельта Лены)



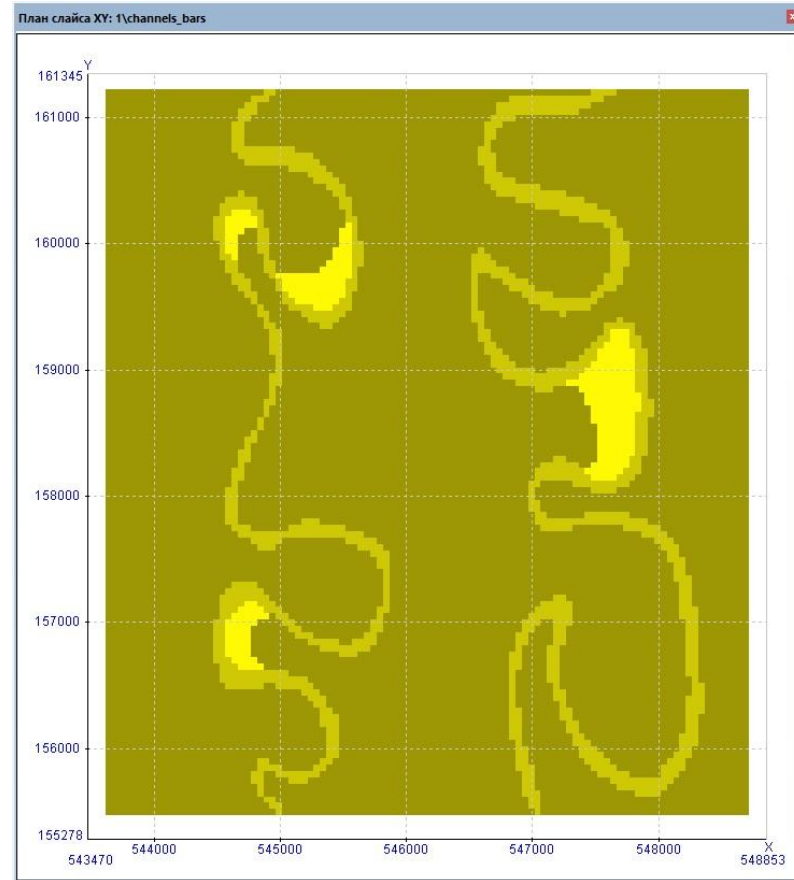
Карта, загруженная в DV-Geo



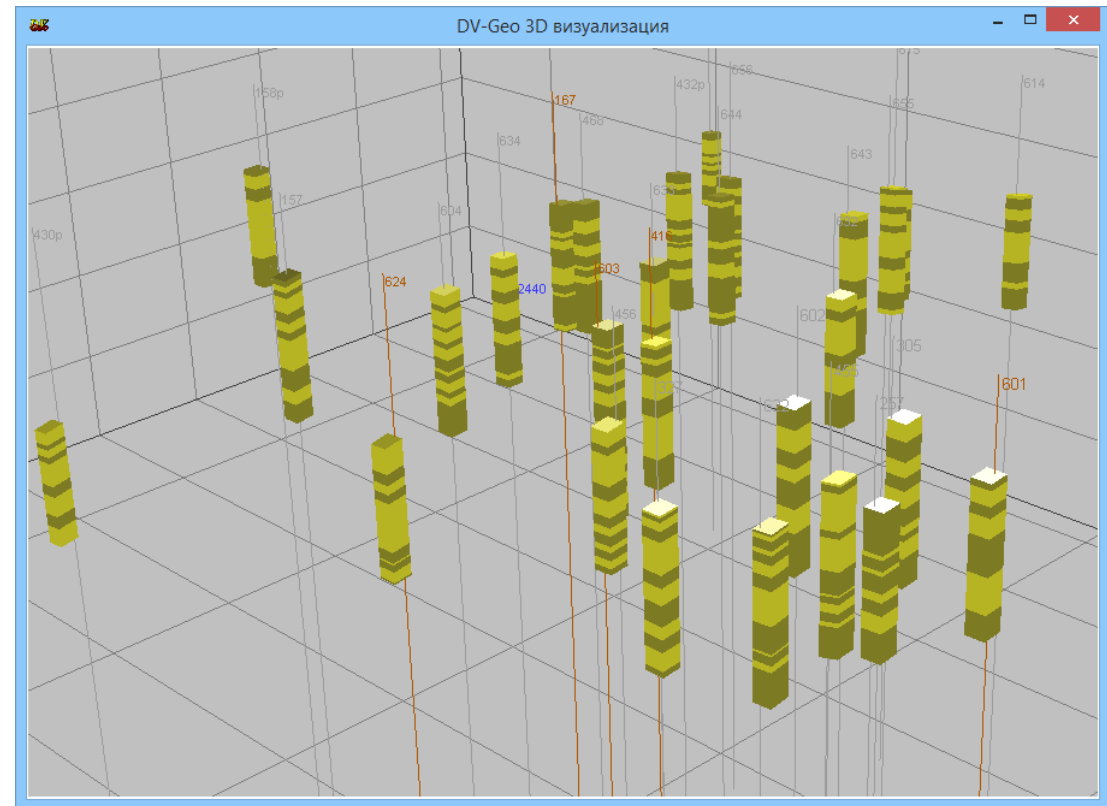
Реализация



3D моделирование

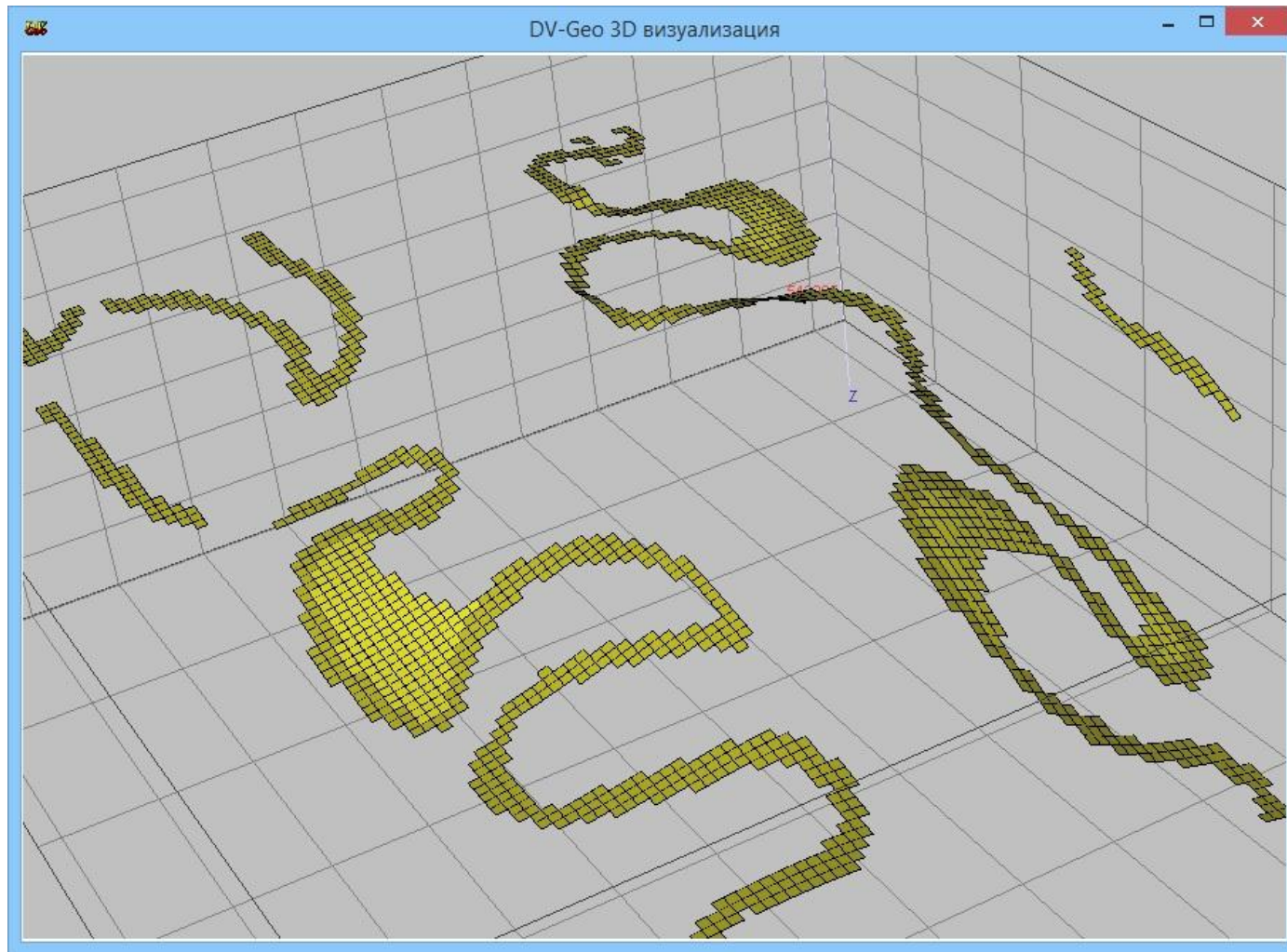


2D Обучающий образ

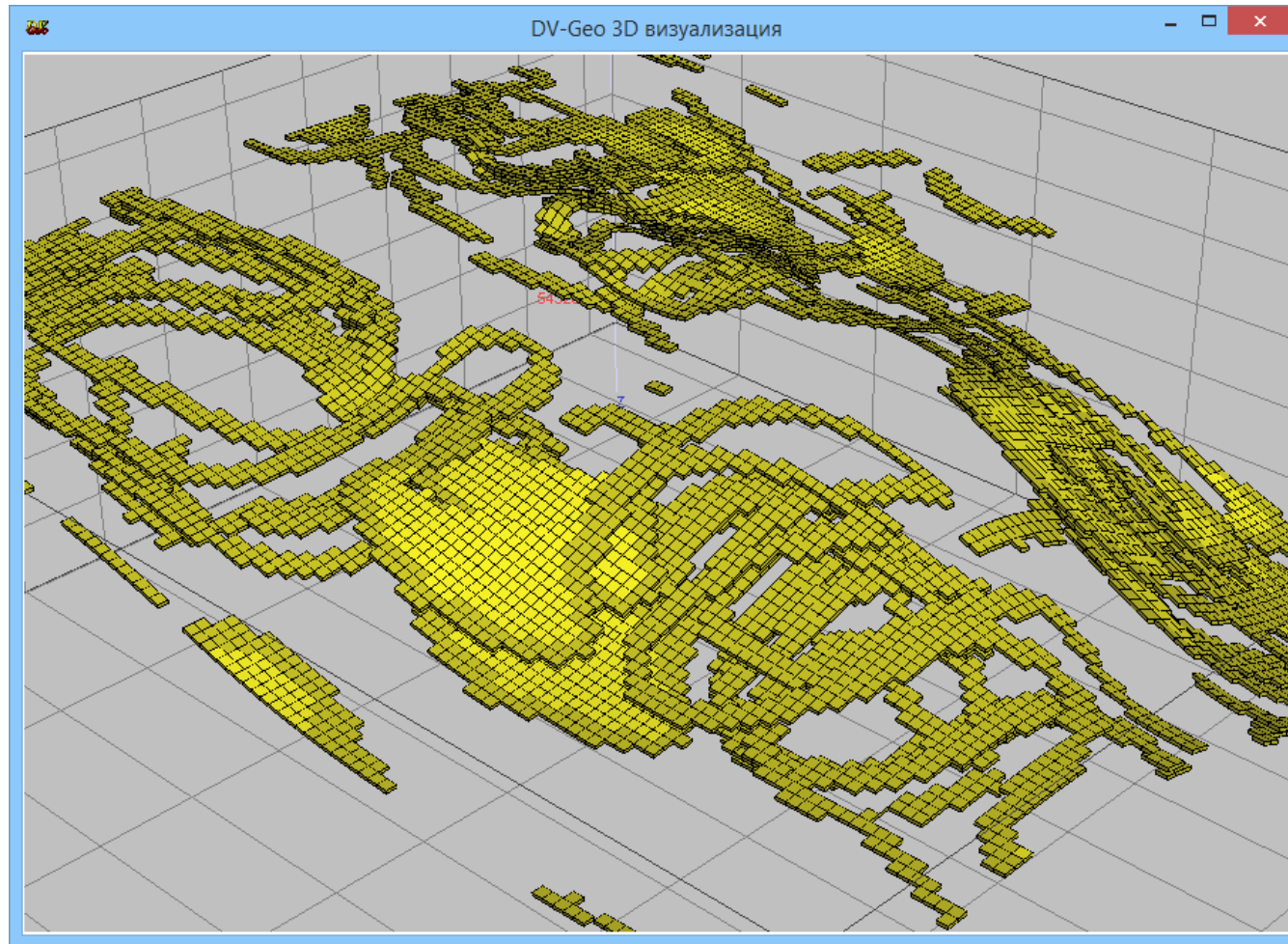


Скважинные данные Blocked Well

3D моделирование



3D моделирование



Заключение

В DV-Geo реализован модуль многоточечной статистики, который может эффективно использоваться

- для фациального моделирования
- для моделирования непрерывных параметров (таких как пористость, проницаемость и др..)
- определения гидравлической связанности структур
- моделирования нестационарных процессов

Благодарю за внимание