



**РН-УФАНИПНЕФТЬ**

# Высокопроизводительные вычисления в геостатистике



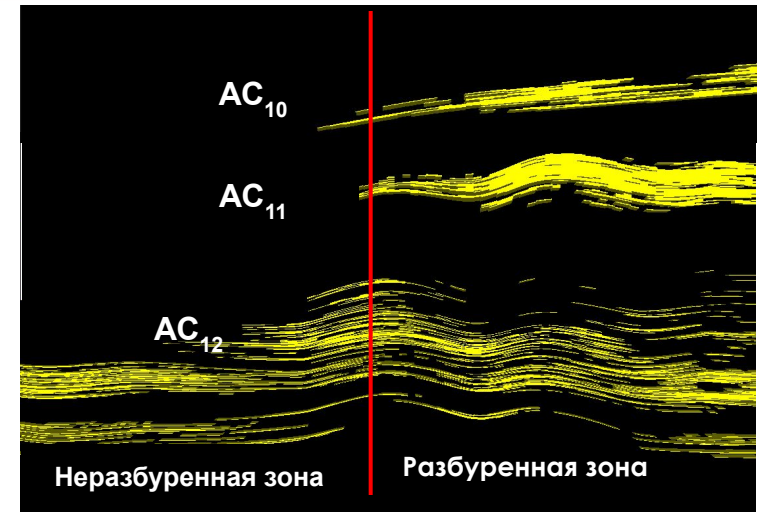
**Байков В. А.**



## Приобское месторождение. Пласт АС<sub>12</sub>

**Разбуренная часть** – шельфовые и склоновые отложения с выдержанными по латерали песчаными телами.

**Неразбуренная часть** – глубоководные отложениями с повышенной расчлененностью и низкой связностью песчаных тел (~50% запасов месторождения):



- Глубоководная обстановка осадконакопления с преобладанием гравитационных сил.
- Активное появление/прерывание коллекторов.
- Проницаемость ~ 1 мД.
- **Поле геолого-петрофизических характеристик нестационарно и анизотропно.**

Очень  
расчлененный

и неоднородный  
пласт

**Цель** – реализовать в модели априорные знания о поведении коллекторов подобного типа (изменчивость по вертикали, связность, учет трендов распределения ФЕС внутри тел и т.д.).

Крайне **низкая прогнозность**  
распространения коллекторов и ФЕС



# Особенности обработки данных Приобского месторождения

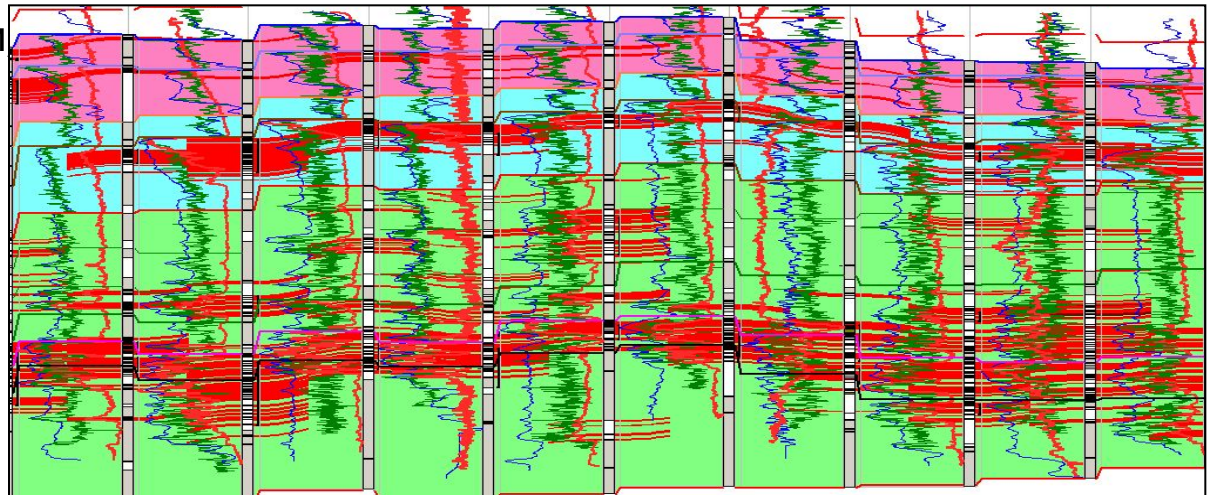
## Приобское месторождение:

1. Огромный объем промысловых и геофизических данных
2. Высокий уровень нестационарности (зональной изменчивости) физических и геологических полей



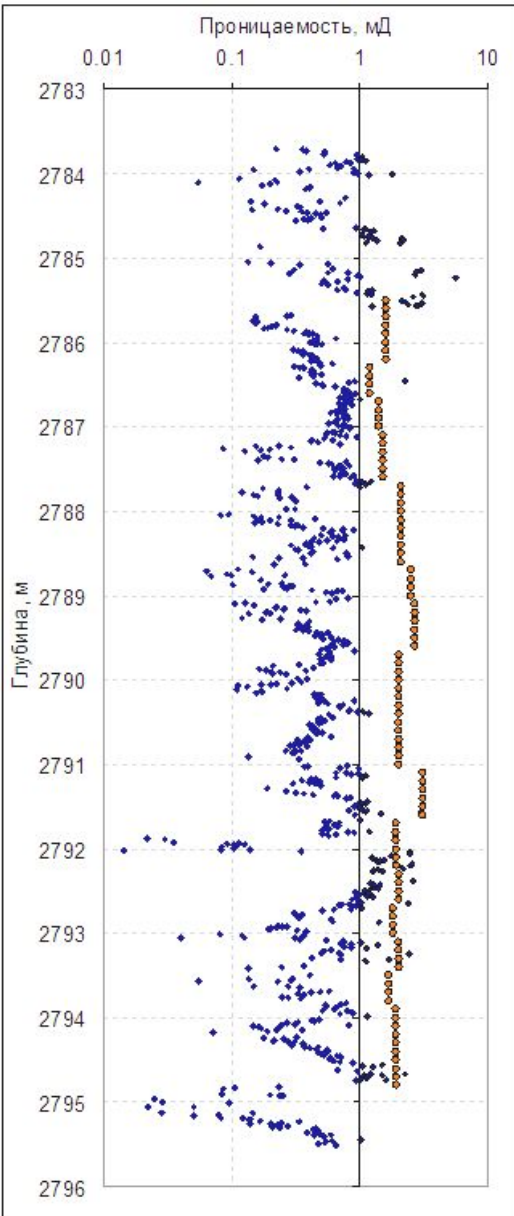
## Необходимы:

- А) пересмотр и адаптация существующих методик интерпретации и моделирования сверх-высокорасчлененных и низкопроницаемых глинистых коллекторов
- Б) механизмы гибкой и быстрой корректировки моделей при
- уточнении данных петрофизики
  - переинтерпретации ГИС,
  - адаптации гидродинамических моделей,
  - данных нового бурения.





# Поточечная или попластовая интерпретация ГИС?



## Глубоководные отложения пласта АС<sub>12</sub>:

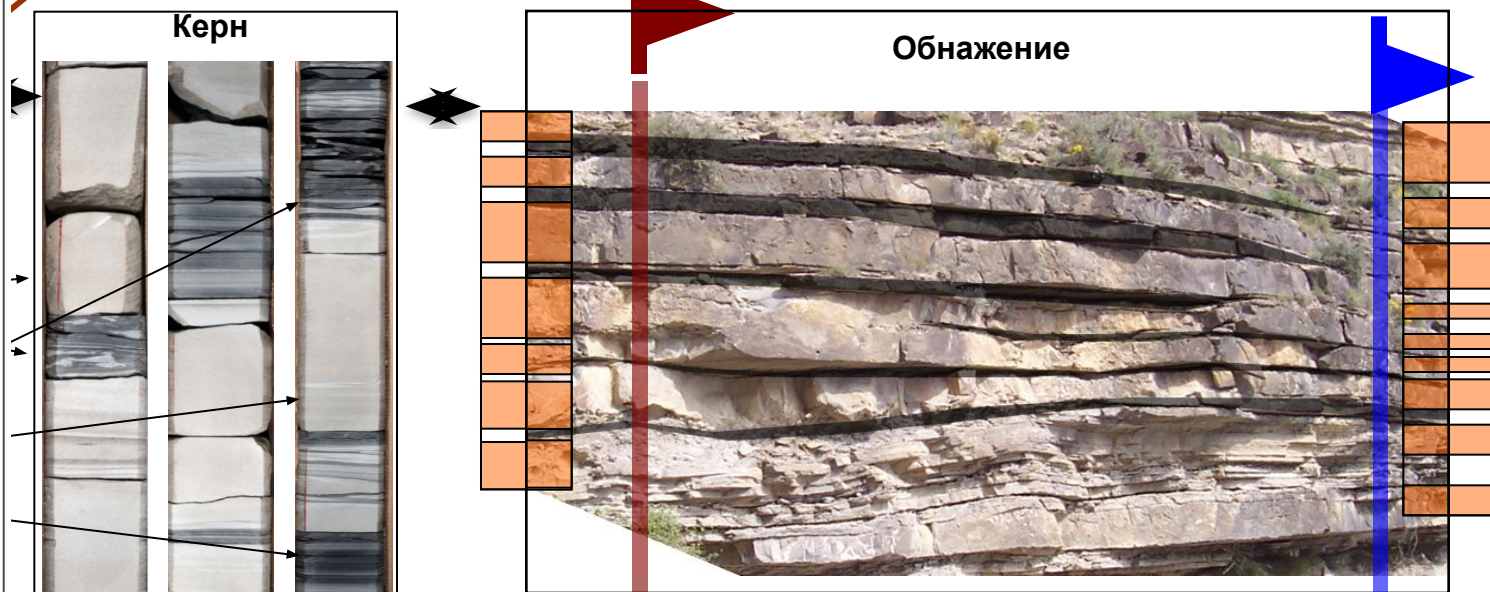
- расчлененные коллектора
- частое переслаивание песчаных и глинистых прослоев
- общая макроцикличность «высоко-» и низкопроницаемых прослоев

## Результаты интерпретации ГИС:

- Являются зачастую достаточно сильным огрублением
- Усложняют внесение в модель изменений функциональной зависимости «кern-ГИС»
- Фиксируют результат субъективной интерпретации

### Поточечная пермеаметрия

### Результат поинтервальной интерпретации ГИС



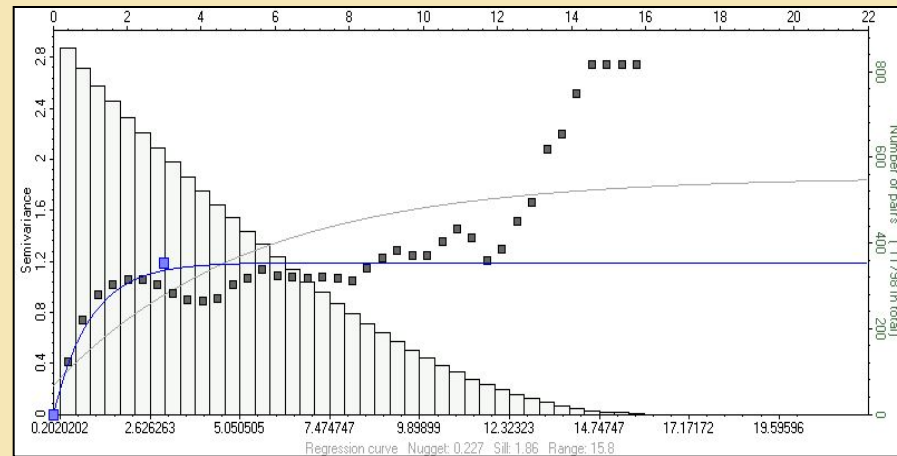
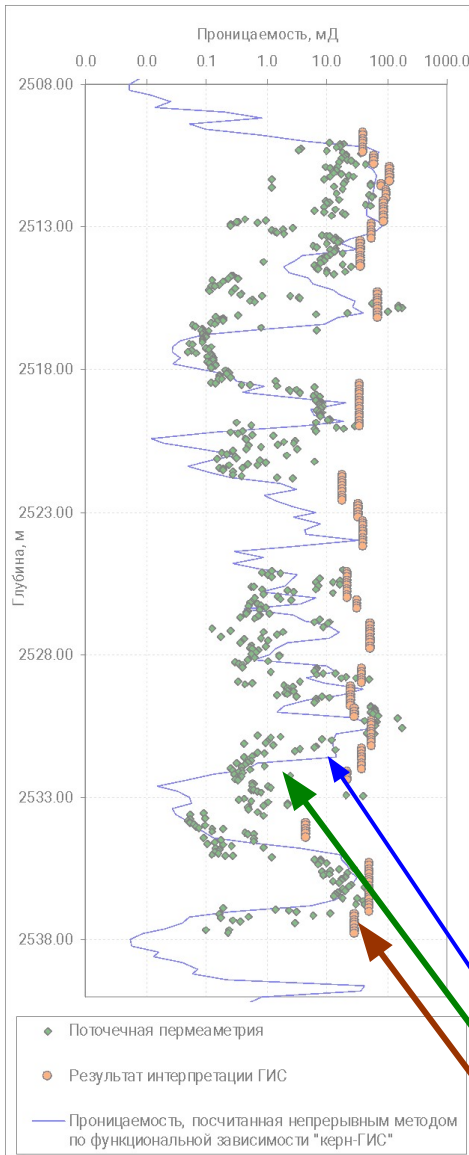


# Поточечная или попластовая интерпретация ГИС?

С концептуальной точки зрения подтверждается природа и особенности глубоководных отложений турбидитов и конусов выноса.

Большое количество эрозионных контактов по керну □ среда с высокой гидродинамической активностью осадконакопления.

Свойства такой среды будут обладать достаточно высокой нестационарностью и анизотропностью.



**Макро-цикличность подтверждается на вариограммах**

**по оси z**

**Проницаемость, посчитанная непрерывным методом**

**Поточечная пермеаметрия**

**Результат поинтервальной интерпретации ГИС**



## Детерминированный подход:

Физическая модель, полное знание о системе

## Вероятностный подход:

- Неполнота знаний о системе
- Керн, ГИС 0-1м
- Скважинные данные  $10^2 - 10^3$ м
- Неточная входная информация

Имеем

- 1) Статистика (неточность)
- 2) Отсутствие прямой информации масштаба 1  
- $10^2$ м

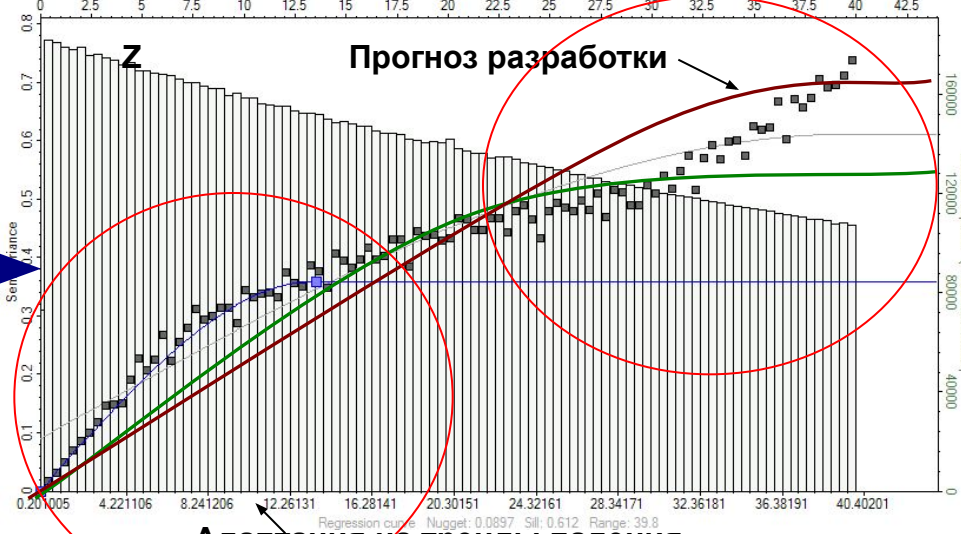
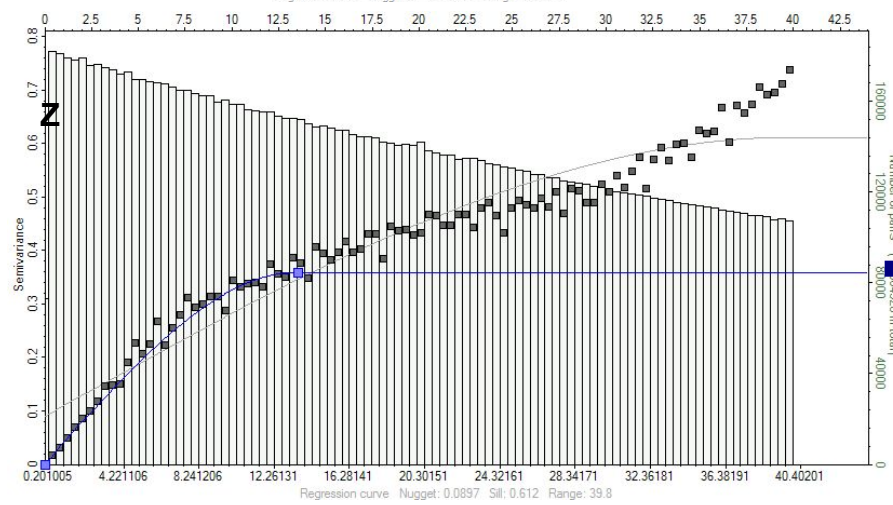
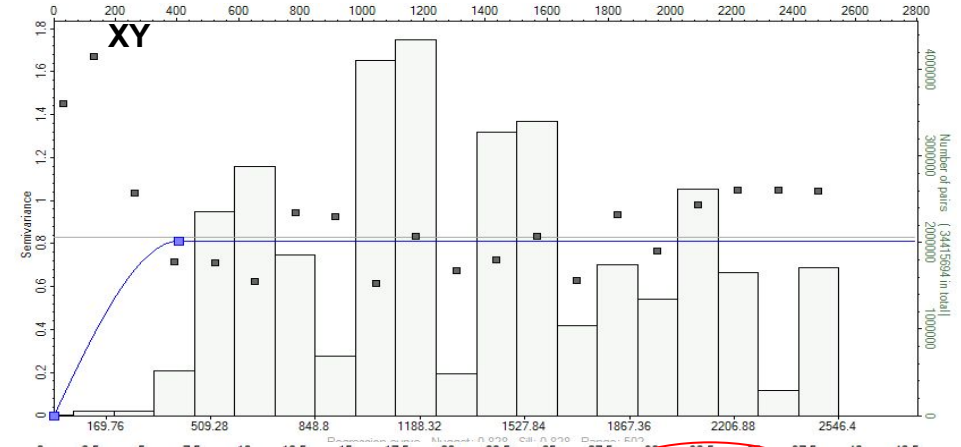
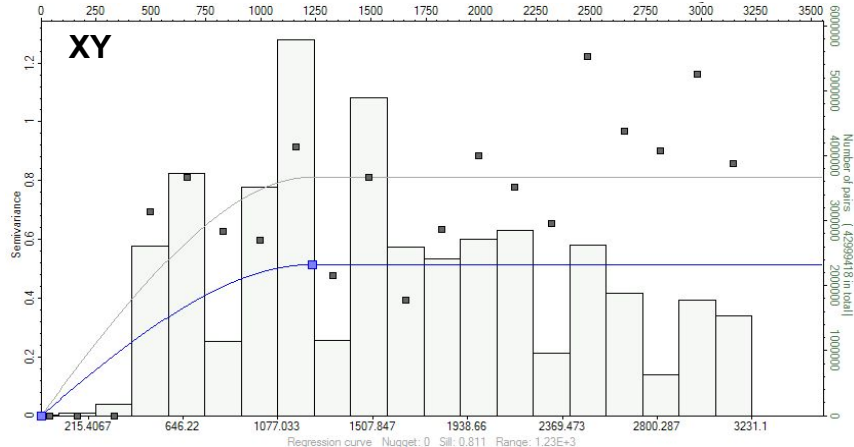


1. **Гипотеза стационарности** — инвариантность к трансляции в пространстве
2. **Изотропность** — зависимость только от расстояния (геометрическая анизотропия – сжатие+поворот изотропия)
3. **Эргодичность** — пространственное среднее – есть среднее по времени
4. **Природа случайного поля** (Гауссовый процесс)...



# Вариограммный анализ

Вариограмма  $\gamma(h)$  определяется как значение математического ожидания среднеквадратического отклонения значения переменных, удаленных друг



**Ограниченность математического аппарата**

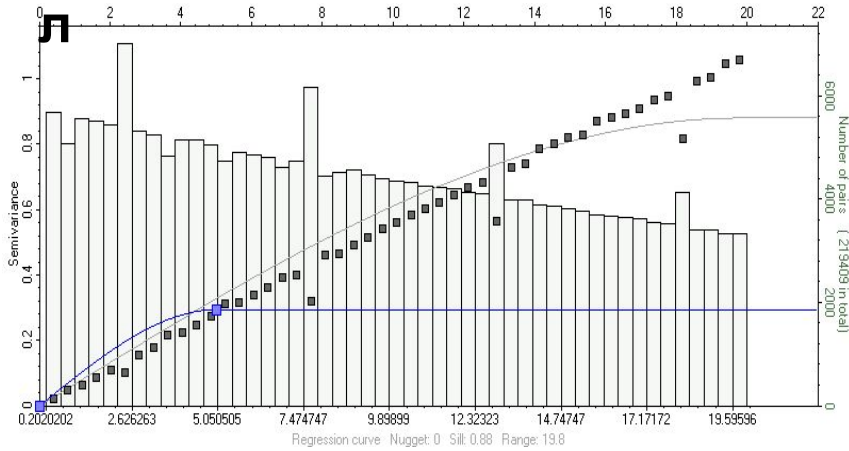
**Прогноз разработки**  
**Адаптация на тренды падения**  
**(морфология прискважинной области)**



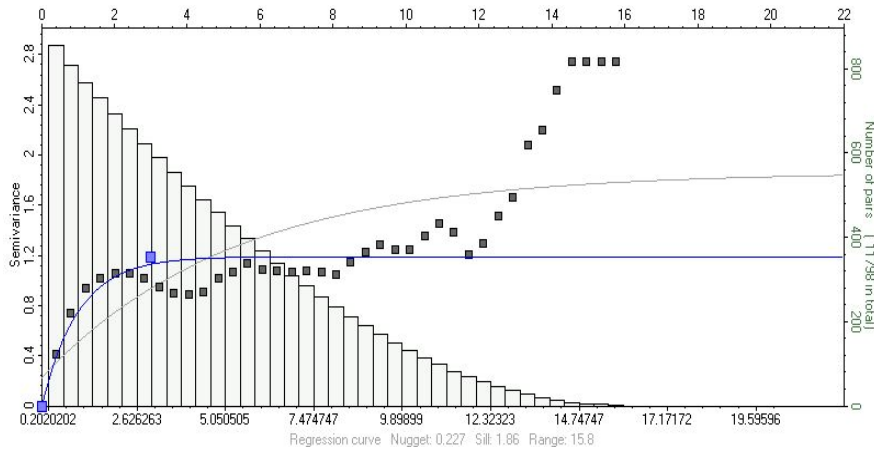


# Ограниченность математических моделей

## Фракта



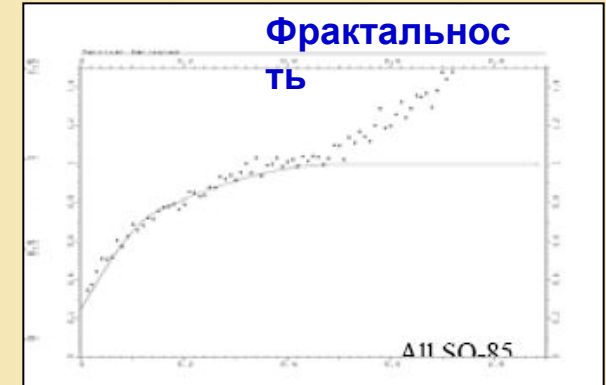
## Hole effect



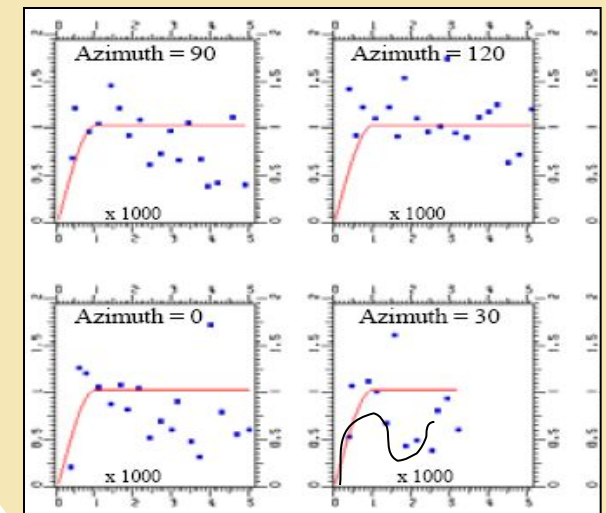
Более сложные структуры  
(пространственную

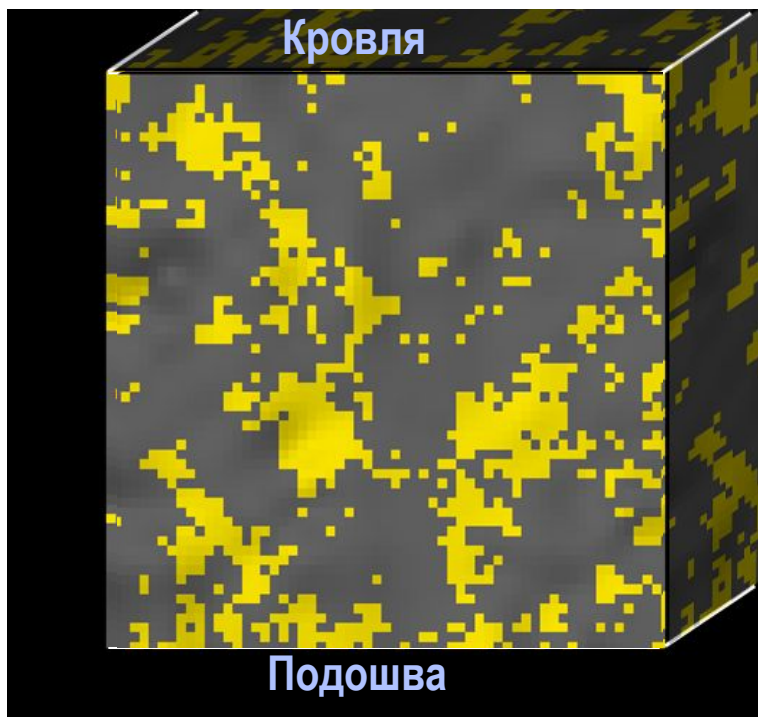
периодичность и т.д.) задать невозможно

*Месторождения-аналоги –  
глубоководные отложения  
Chincotepec Basin, Gulf of Mexico:*



Hole effect

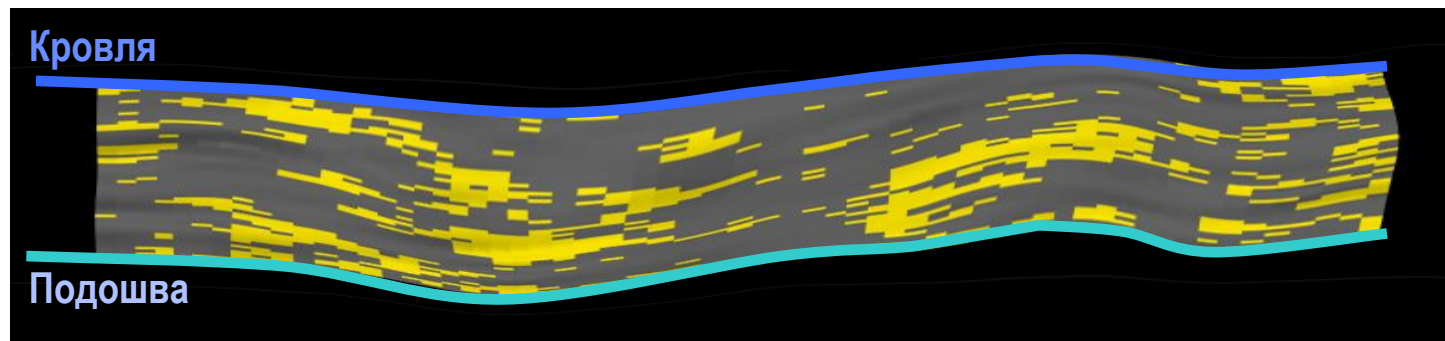




### **Геологический вертикальный разрез пласта?**

«Геологические» построения – за счет сжатия-растяжения изотропного образа.

Только благодаря экспертам геологическая модель «походит» на реальность (3D-средством 1D)





### Возможно ли:

1. Отказаться от стационарности (подразумевается обобщение модели тренд плюс стационарный остаток) и гауссовости?
2. Снять условие изотропности и геометрической анизотропии (разные вариограммы во всех направлениях)?
3. Исключить параметрический анализ вариограмм (сколь угодно много моделей вариограмм, автоматически)?
4. Повысить скорость и информативность решения ресурсоемких вычислительных задач геостатистики с использованием средств высокопроизводительных вычислений?

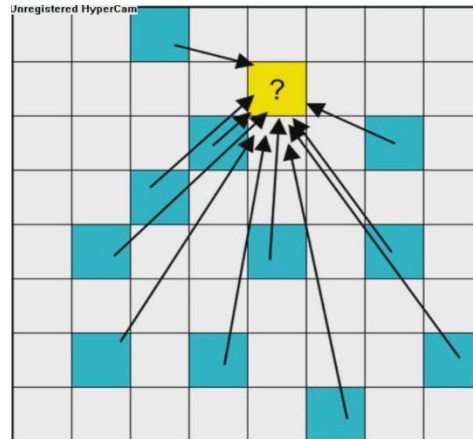
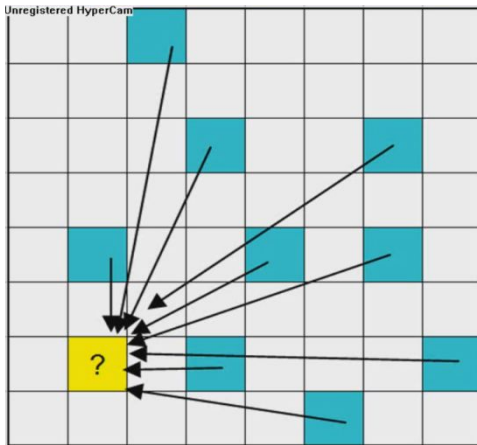
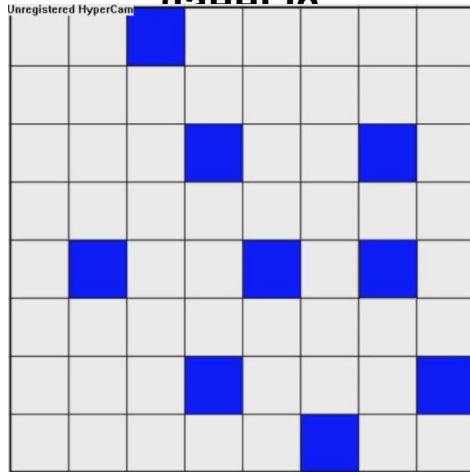
**Ответ: Да!**

**Принципиально другая математика, отличная от используемой на сегодня**



# Последовательное обусловленное гауссово моделирование

## Экспериментальные



Обусловленная стохастическая  
реализация

...

Ускорение алгоритмов за счет задания специального пути обхода и  
Ограничения на размер обрабатываемой на каждом шаге ковариационной матрицы



## Стационарные поля и их реализации

- Моделирование стационарного случайного поля  $Z(x, y)$  производится согласно хорошо известной следующей теореме:

### Теорема

Пусть  $Z(u)$  – стационарный случайный процесс.

Тогда справедливо представление вида:

$$Z(u) = m + \int e^{i(u, \mu)} d\Phi(\mu)$$
$$C(u) = \int_{R^d} e^{i(u, \mu)} dF(\mu), |d\Phi(\mu)|^2 = dF(\mu)$$

где  $\Phi(\mu)$  – некоторое комплекснозначное случайное поле с нулевым средним и ортогональными приращениями.

- Моделирование стационарного случайного гауссова поля:

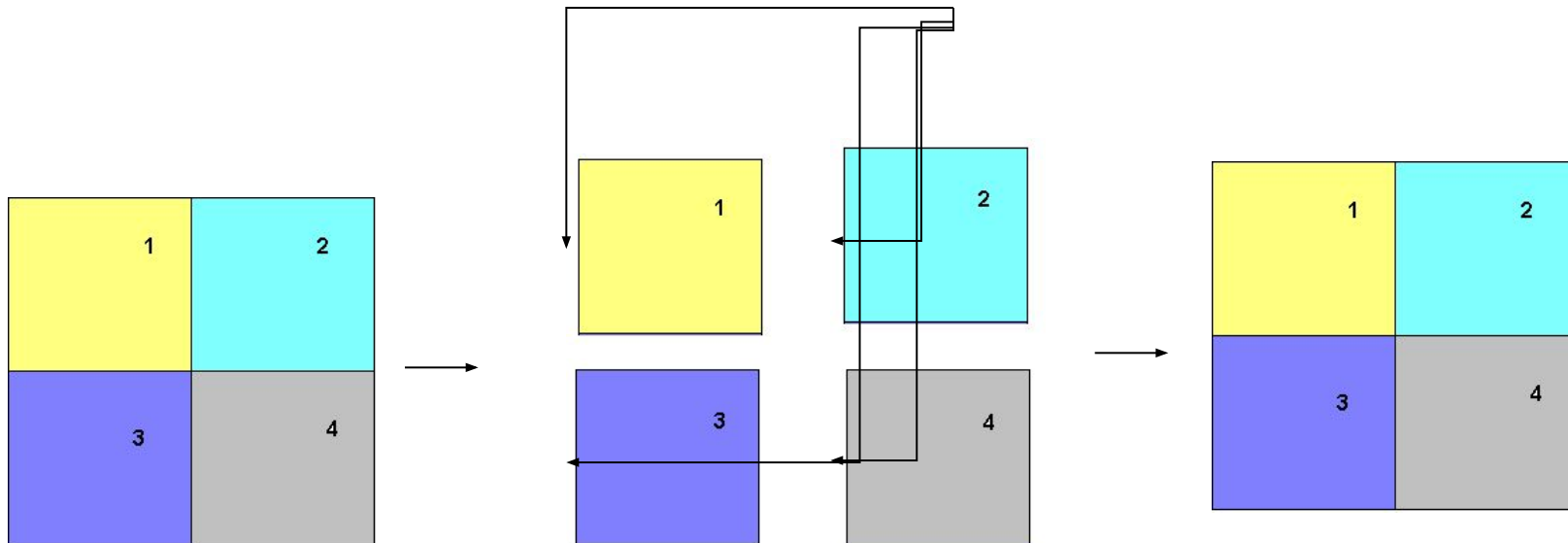
$$Z(u_1, u_2) \approx \operatorname{Re} \sum_{m \in Z} \sum_{k \in Z} [\cos(u_1 kh + u_2 mh) \psi_{km} + \sin(u_1 kh + u_2 mh) \eta_{km}]$$

здесь  $h$  – шаг дискретизации,  $\psi_{km}, \eta_{km} \approx N(0, \frac{\sigma_{km}^2}{2})$  и независимы



# Стационарные поля и их реализации

$$Z(u_1, u_2) \approx \operatorname{Re} \sum_{m \in \mathbb{Z}} \sum_{k \in \mathbb{Z}} [\cos(u_1 kh + u_2 mh) \psi_{km} + \sin(u_1 kh + u_2 mh) \eta_{km}]$$



Поскольку случайные амплитуды независимы, как между собой, так и не зависят от точки рассмотрения случайного ряда, параллелизация возможна:

- по числу элементов ряда
- по области построения реализации



### 2010 г.:

Параллельная версия для многоядерных систем с общей памятью (*OpenMP*).

Параллельная версия для гибридных систем с GPU NVIDIA (*OpenMP, PGI Accelerator*)

### 2011 г.:

Оптимизированная параллельная версия для многоядерных систем с общей памятью (*OpenMP, Eigen*).

Оптимизированная параллельная версия для гибридных систем с GPU NVIDIA (*OpenMP, Eigen, CUDA, CUBLAS*).



## Геостатистика на суперкомпьютере УГАТУ



Вычисления с использованием суперкомпьютера УГАТУ в области цифрового геологического моделирования используется при геостатистическом анализе входных данных и последующем геостохастическом моделировании, а также расчете топологических и геометрических характеристик смоделированных объектов (OpenMP-версия).

Поддержка кроссплатформенности позволила также задействовать многоядерность локальных ПК.

Работа выполняется по заказу компании ОАО «НК-Роснефть»





## Прикладное ПО

ANSYS, CD-Adapco STAR-CD/CCM+,  
SIMULIA ABAQUS, DEFORM 3D

Mathworks MATLAB и Simulink, Maplesoft Maple

NGT BOS, Schlumberger Eclipse, Roxar Tempest More, ReST, Sedflux

FDS, SpinPM, GAMESS

## Системное ПО

CCS, CStat, CSched (УГАТУ)

TORQUE, IBM LoadLeveler

Ganglia, Job Monarch

## Средства разработки программ

MVAPICH, Intel MPI и др. инструменты Intel

Allinea DDT, OPT, PGI Accelerator Compilers, CUDA



Вычисления с использованием графических процессоров применяются в УГАТУ в следующих областях:

- моделирование технологических процессов (совместно с УМПО);
- геолого-гидродинамическое моделирование нефтяных месторождений (совместно с РН-УфаНИПИнефть);
- обработка спутниковых изображений (совместно с кафедрой ТС);
- молекулярная динамика;
- моделирование пожаров.



В 2011 году университет был включен в академическую программу компании NVIDIA и получил статус учебного центра CUDA Teaching Center.



## Результаты 2010 года. Тестирование на гибридном сервере

Показано ускорение распараллеленных участков программы на мощном двухпроцессорном гибридном сервере с 4мя GPU.

Ускорение OpenMP- и OpenMP/PGI-версий при выполнении на CPU и CPU+GPU относительно CPU (1 ядро)\*



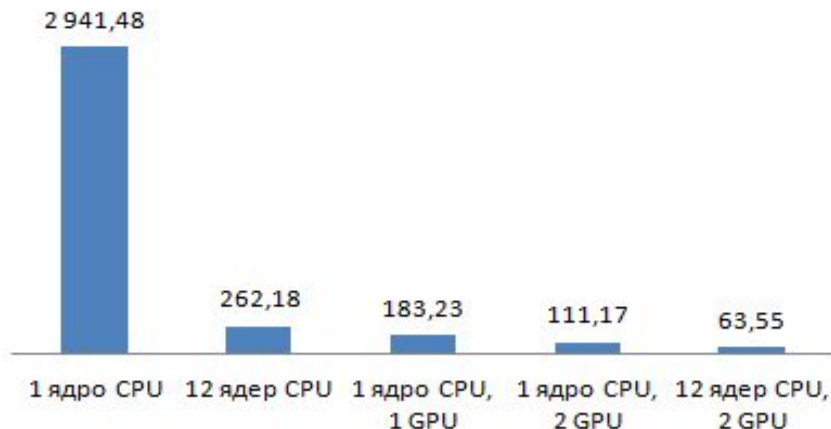
\* Тестирование на сервере Kraftway Science KT25 Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН (2 x Intel Xeon X5660 6C, 2.8 GHz, 48 GB DDR3-1333 reg ECC, 4 x Tesla M2050)



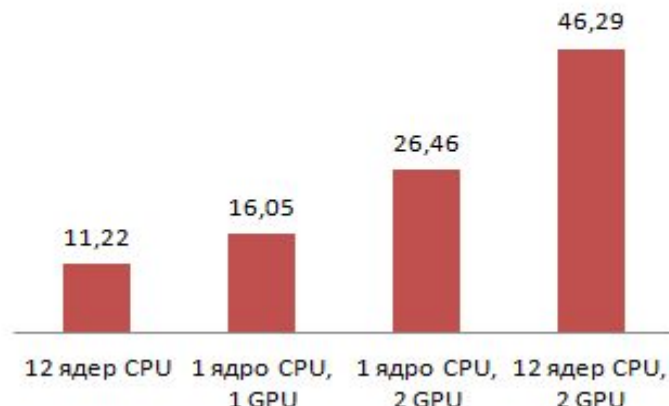
## Результаты 2011 года. Тестирование на гибридном узле

### Построение геостохастической геологической модели

Время расчета, с



Ускорение относительно  
1 ядра CPU



При использовании всей вычислительной мощности гибридного сервера (12 ядер CPU + 2 GPU) достигаемое ускорение времени вычислений при построении геостохастической геологической модели составляет более 45 раз относительно времени последовательного расчета.

Тестирование на гибридном вычислительном узле кластера УГАТУ - IBM iDataPlex dx360 M3 server (2x Intel Xeon 5670 Six Core, 48 GB, 2 графических ускорителя NVIDIA Tesla M2050 (512 cores, 3 GB))



### Основные участники проекта:

- Яковлев Андрей Александрович, г.н.с. – рук. группы, РН-УфаНИПИнефть;
- Мухамадеев Давид Салаватович, инженер, РН-УфаНИПИнефть;
- Бочков Андрей Сергеевич, г.с., РН-УфаНИПИнефть;
- Халиуллина Майя Рувилевна, в.с, РН-УфаНИПИнефть;
- Газизов Рафаил Кавыевич, зав. каф. ВВТиС, д.ф.-м.н, профессор, УГАТУ;
- Юлдашев Артур Владимирович, ст. преподаватель каф. ВВТиС, УГАТУ;
- Штангеев Андрей Леонидович, м.н.с. ИКИ, УГАТУ;
- Ермалаев Евгений Алексеевич, м.н.с. ИКИ, УГАТУ;
- Андреев Михаил Викторович, студент ОНФ, УГАТУ;
- Газизов Ильяс Ильшатovich, студент ОНФ, УГАТУ.



**Спасибо за внимание!**