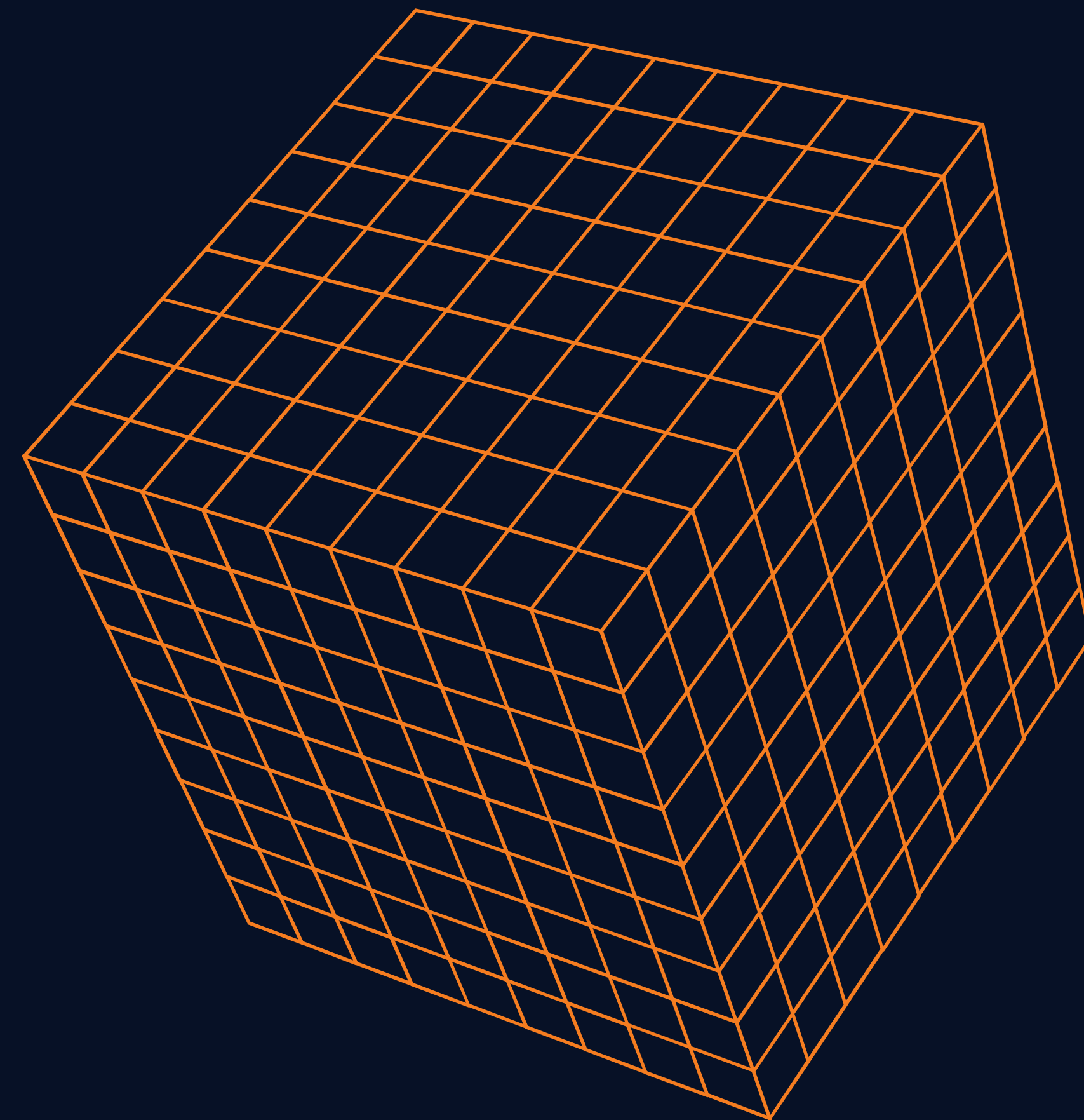


# Геомеханическое моделирование в ПО tНавигатор



Москва

Никита Ильмуков, ИРМ



# Геомеханическое моделирование

**01** Что такое геомеханика?

**02** 1D моделирование

**03** 3D моделирование

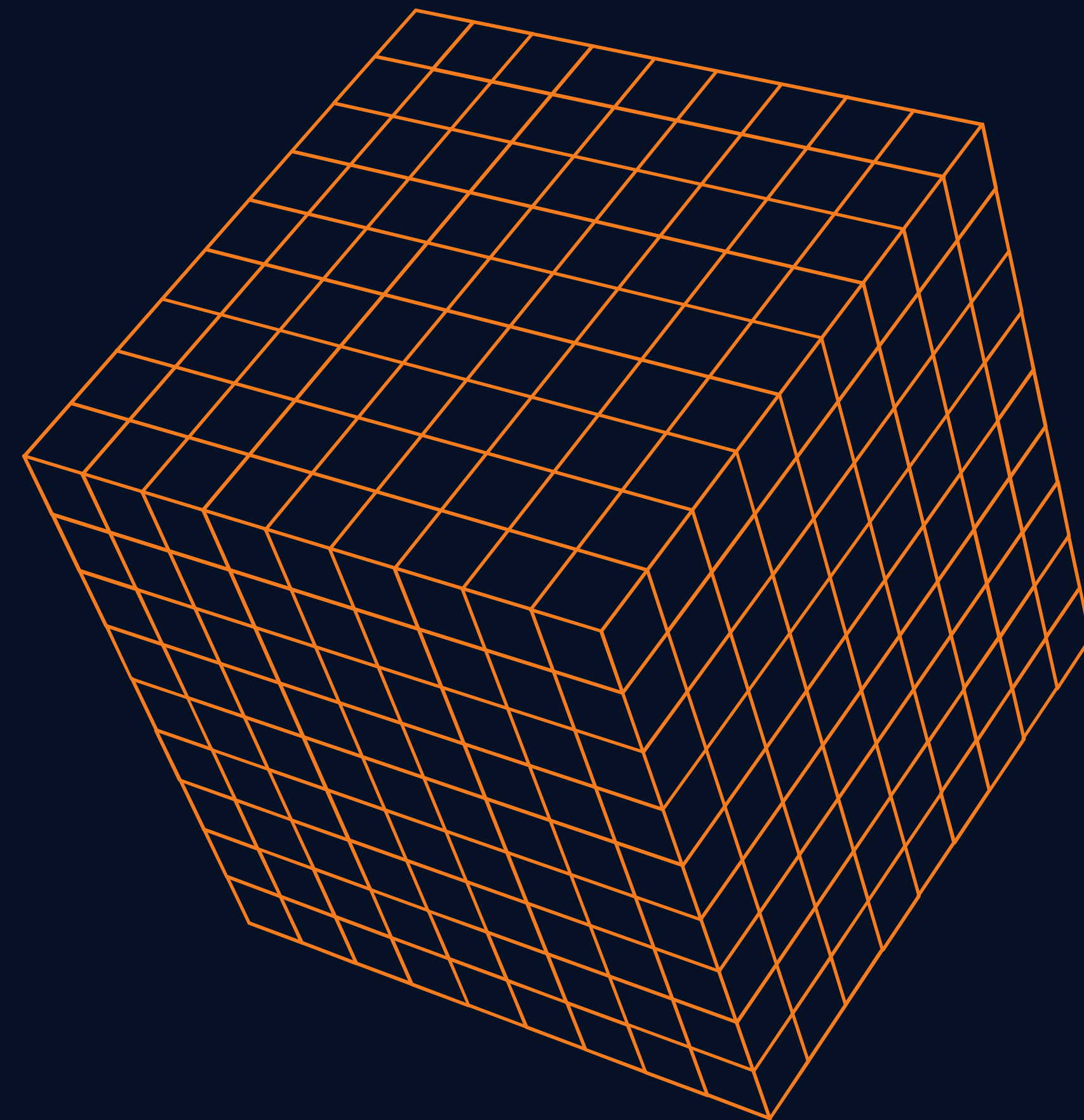
**04** Роль геомеханики

**05** Примеры



## **Геомеханика**

наука, изучающая механические свойства и  
напряженно-деформированное состояние  
земной коры

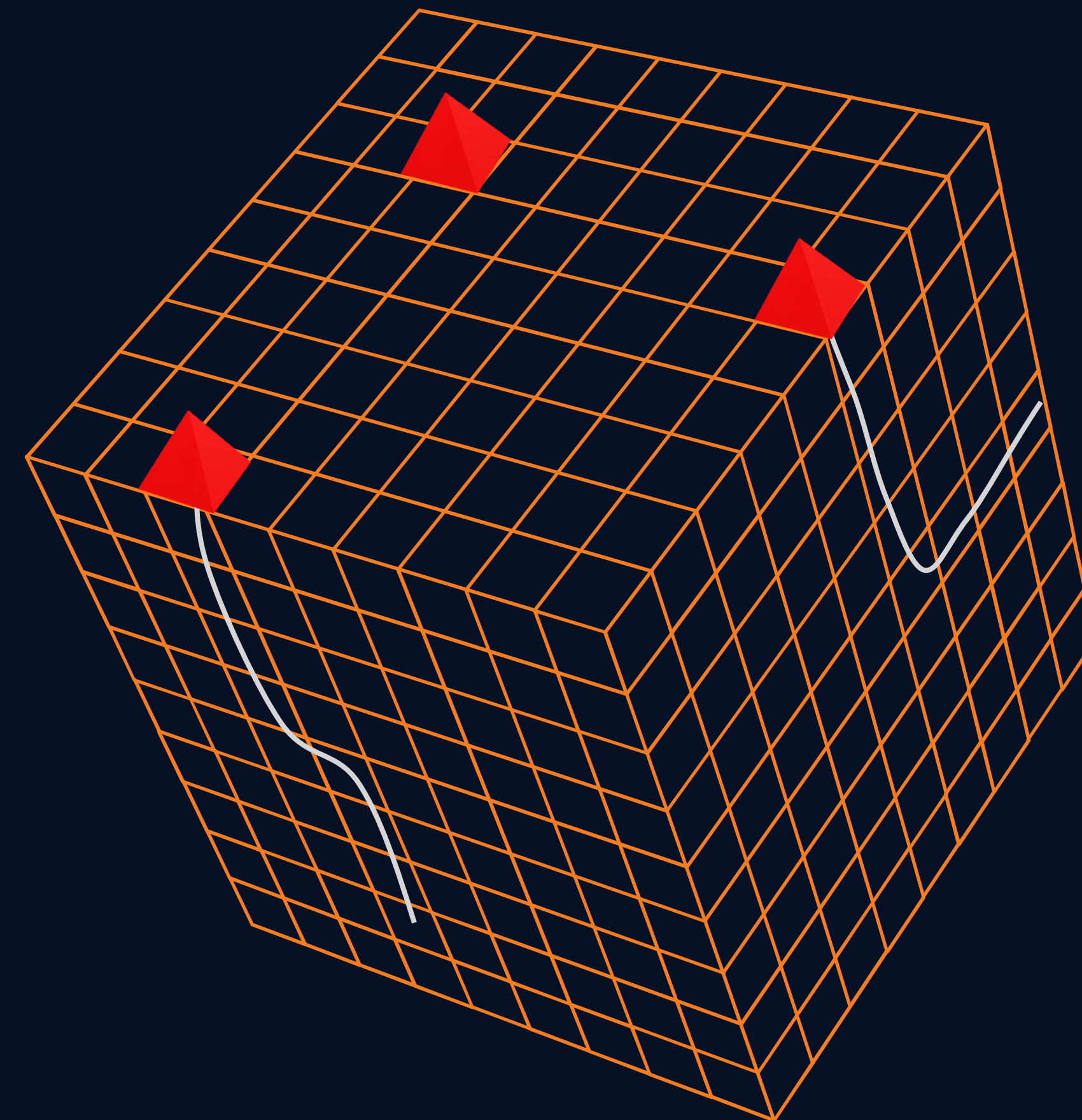


## 1D геомеханическая модель

численное представление физико-механических свойств горных пород **вдоль скважин**

### Данные

- Координаты, траектории
- Опробования
- Исследования керна



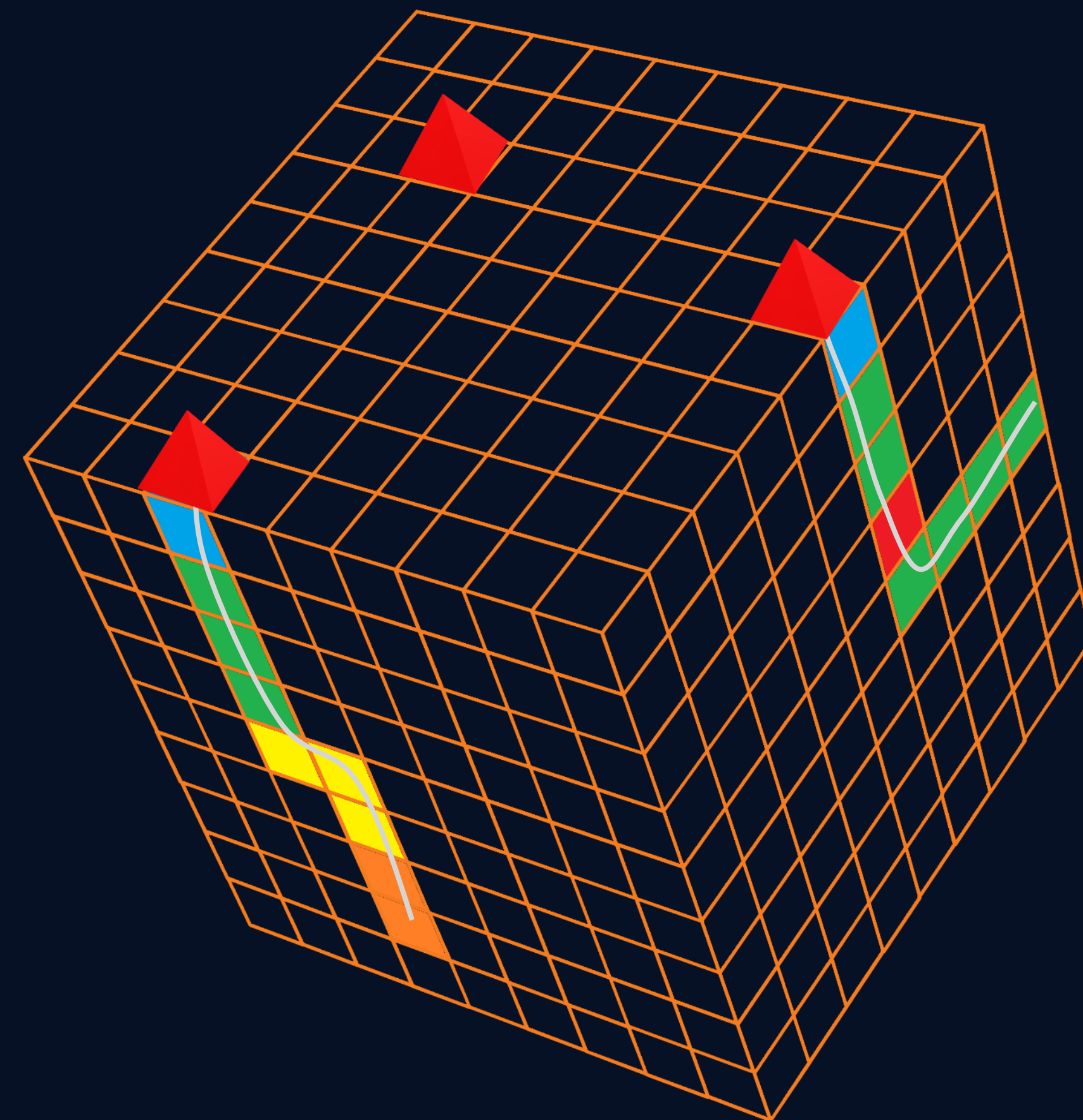


## 1D геомеханическая модель

численное представление физико-механических свойств горных пород **вдоль скважин**

### Данные

- Координаты, траектории
- Опробования
- Исследования керна

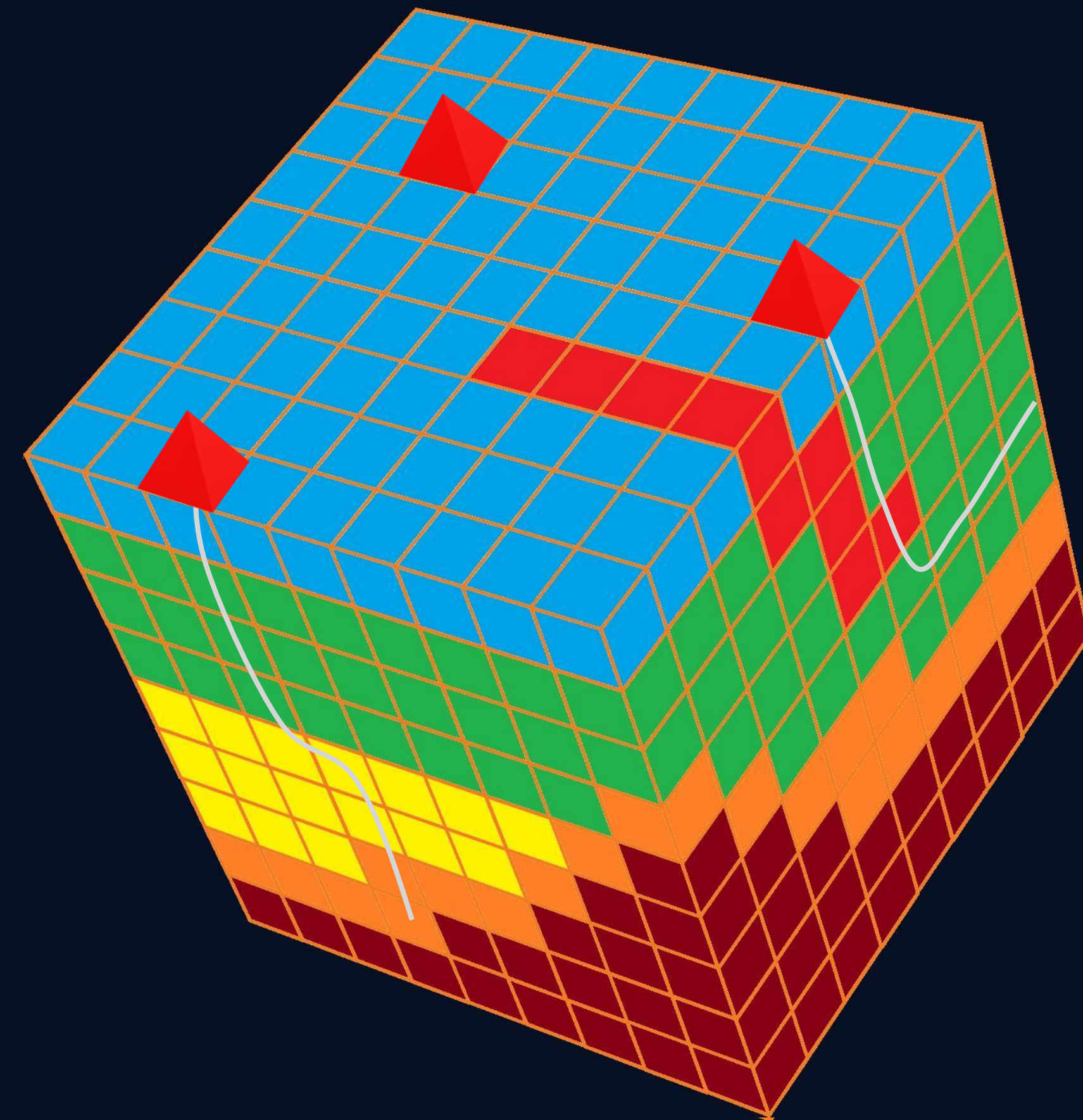


## 3D геомеханическая модель

расчет напряженно-деформированного состояния  
массива горных пород

### Данные

- 1D геомеханическая модель
- Структурный каркас, разломы
- Данные о пространственном распределении свойств
- Граничные условия



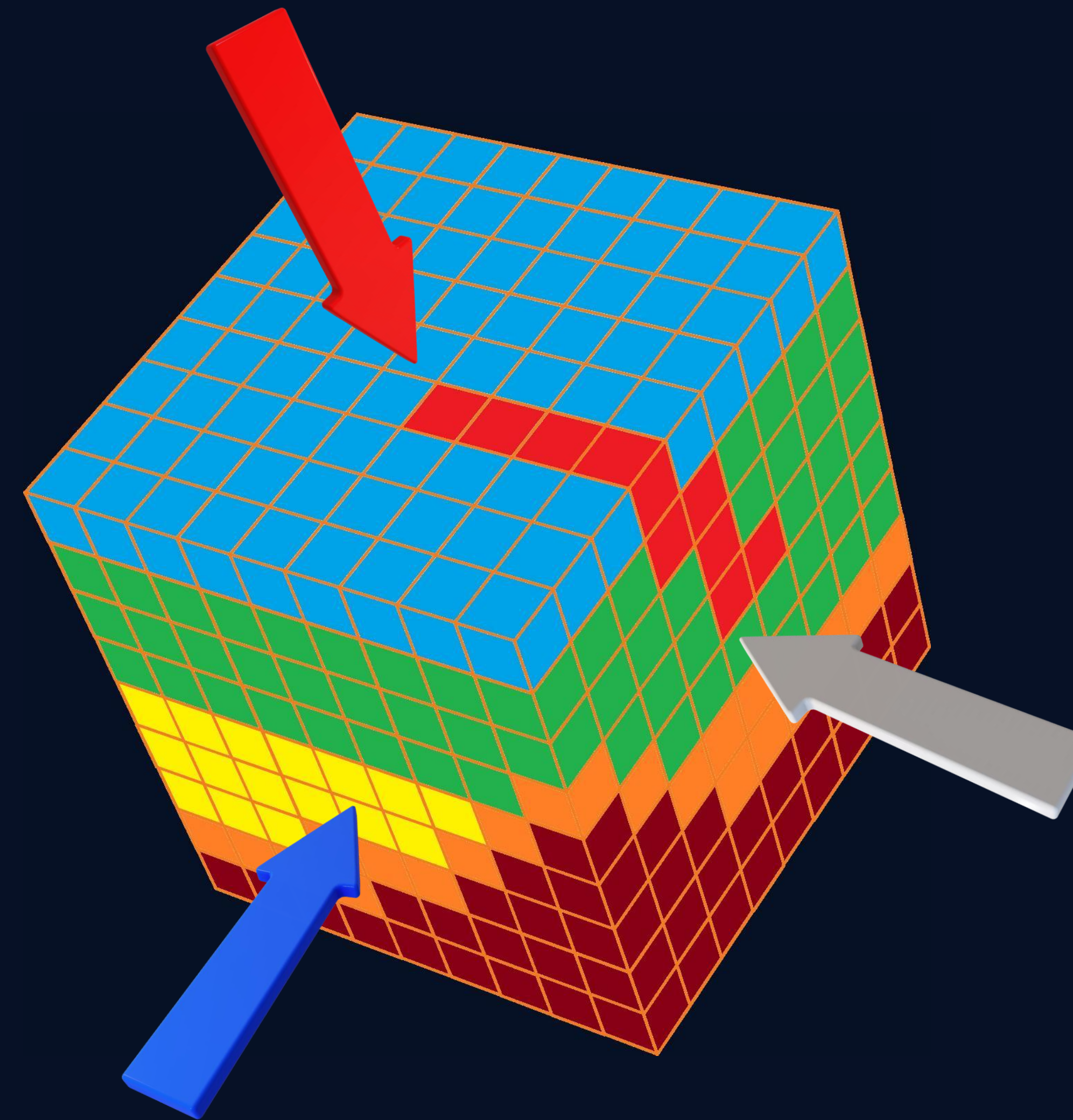


## 3D геомеханическая модель

расчет напряженно-деформированного состояния  
массива горных пород

### Данные

- 1D геомеханическая модель
- Структурный каркас, разломы
- Данные о пространственном распределении свойств
- Граничные условия



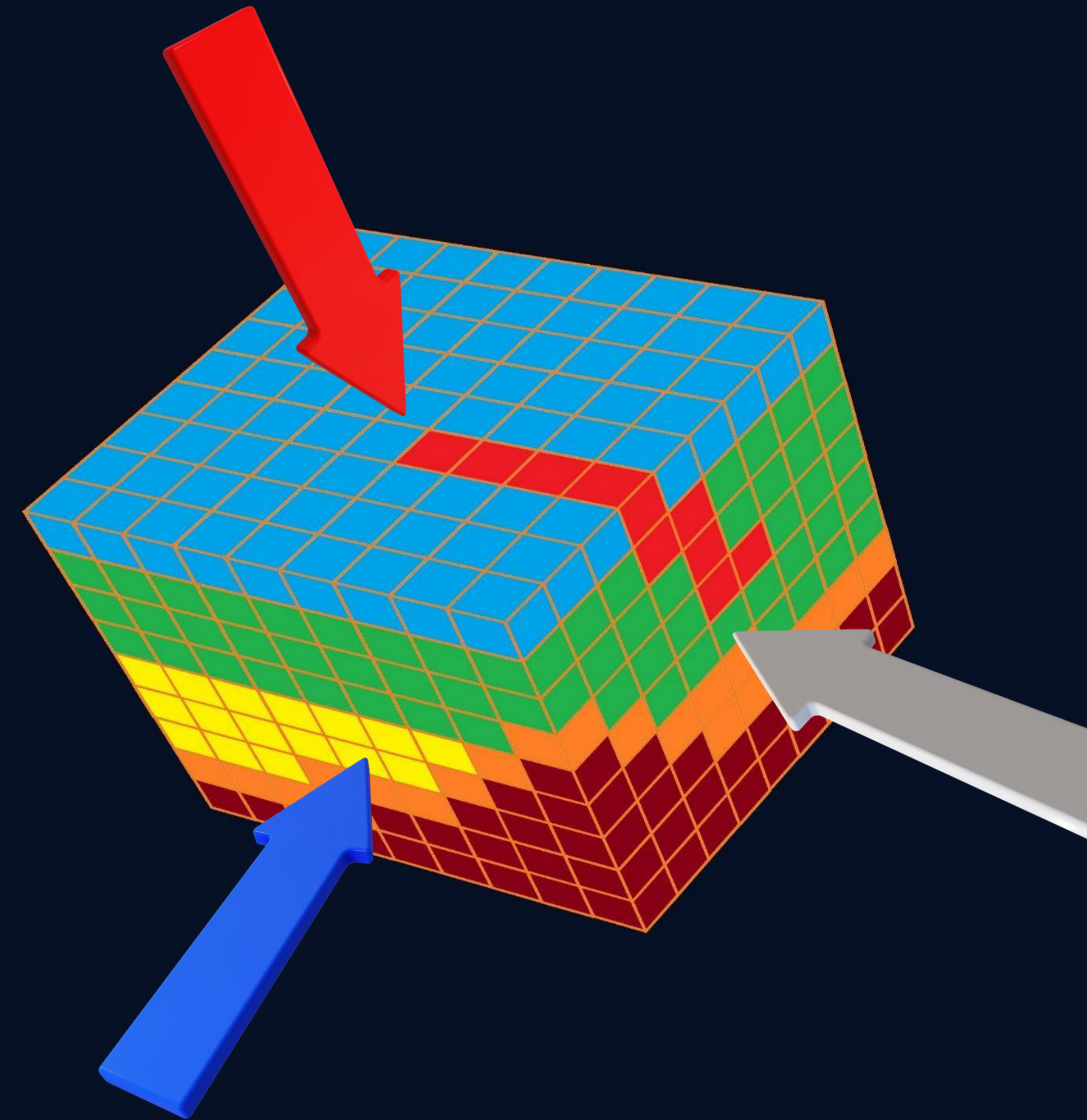


## 3D геомеханическая модель

расчет напряженно-деформированного состояния  
массива горных пород

### Данные

- 1D геомеханическая модель
- Структурный каркас, разломы
- Данные о пространственном распределении свойств
- Граничные условия





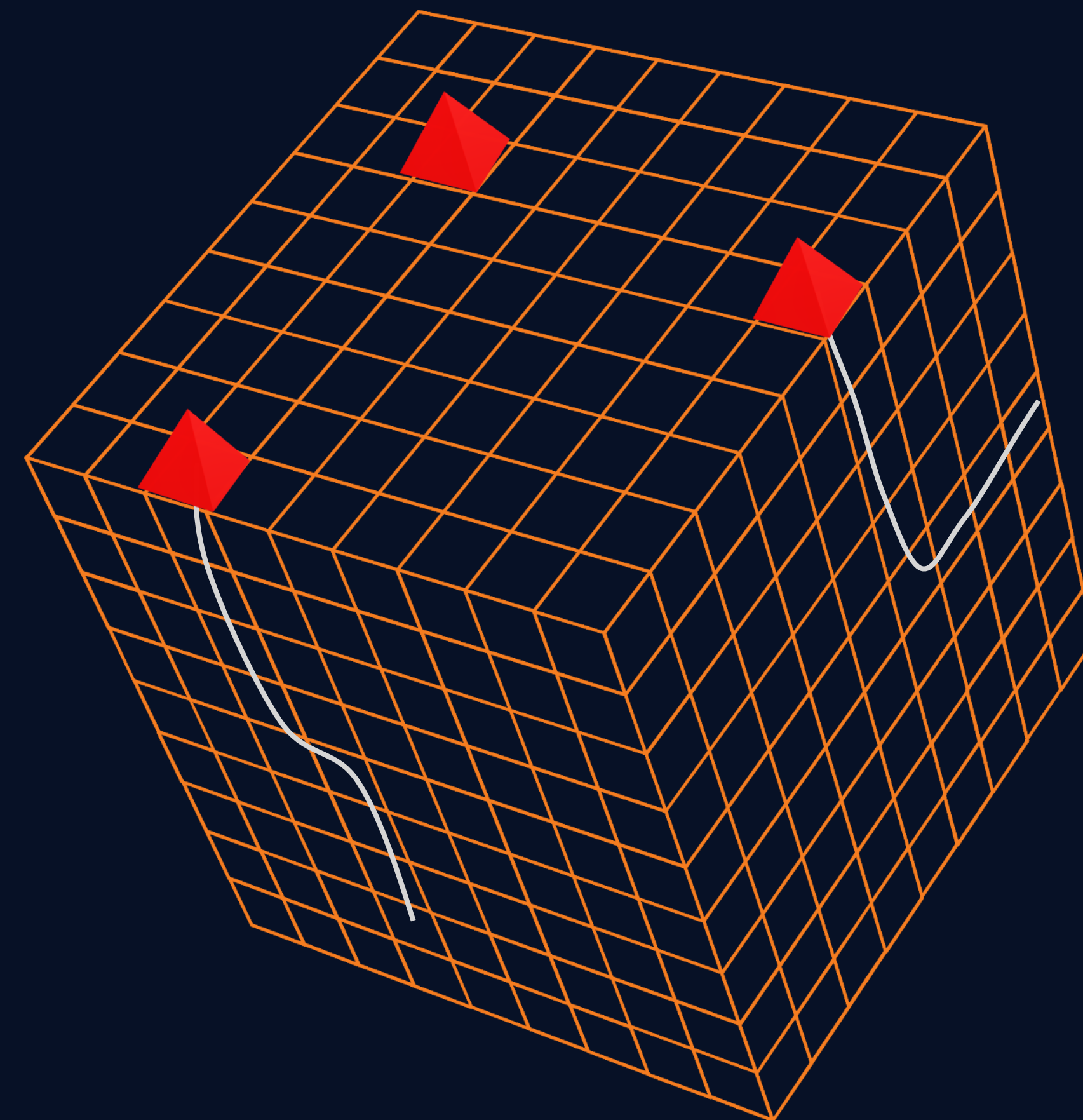
# 1D моделирование

## Результаты

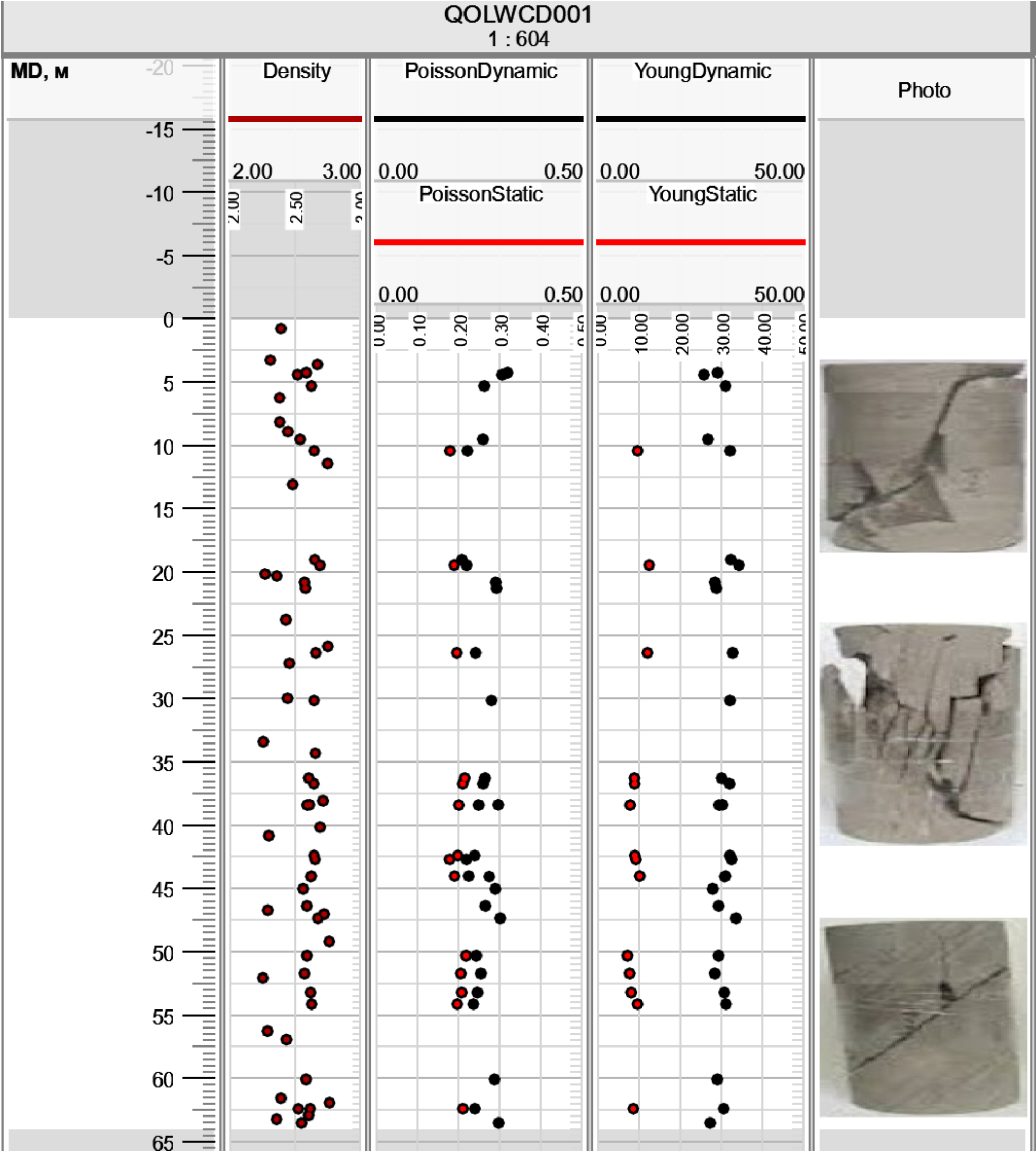
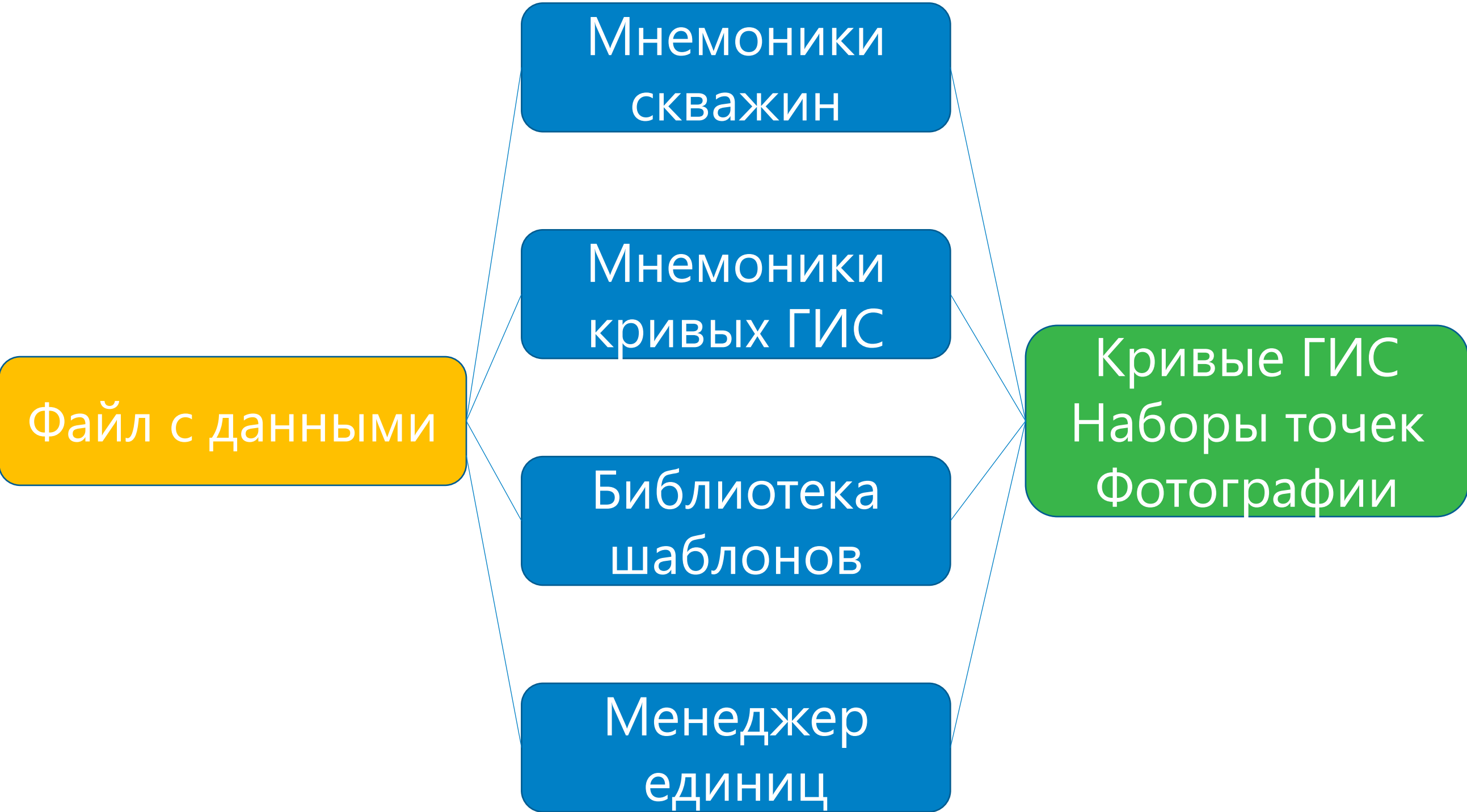
- База данных месторождения
- Список опорных скважин
- Рабочий процесс модели

## Входные данные

- Координаты, траектории
- Опробования
- Исследования керна



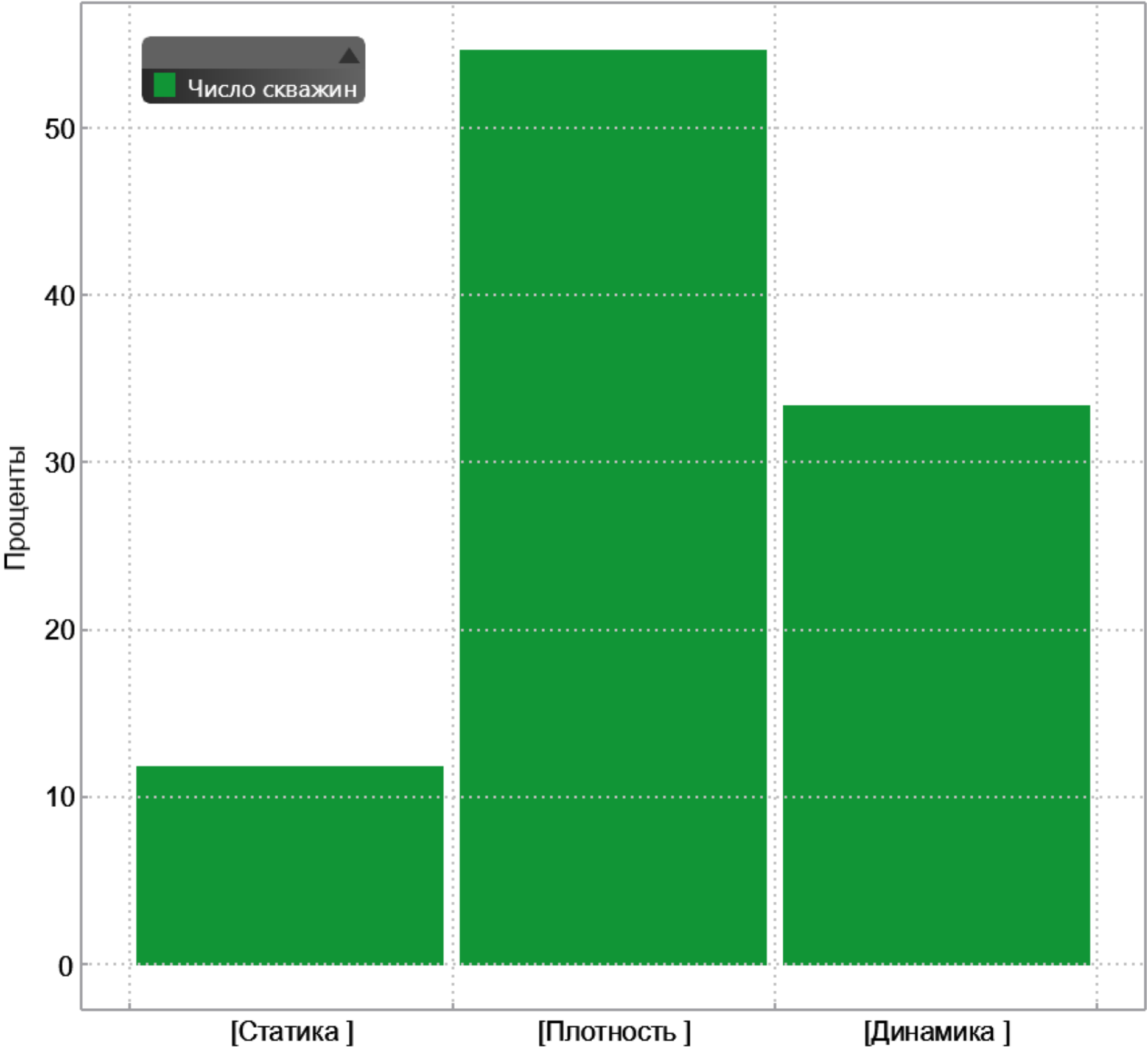
# Загрузка и гармонизация данных





# Автоматизированный аудит данных

Статистика по наличию данных

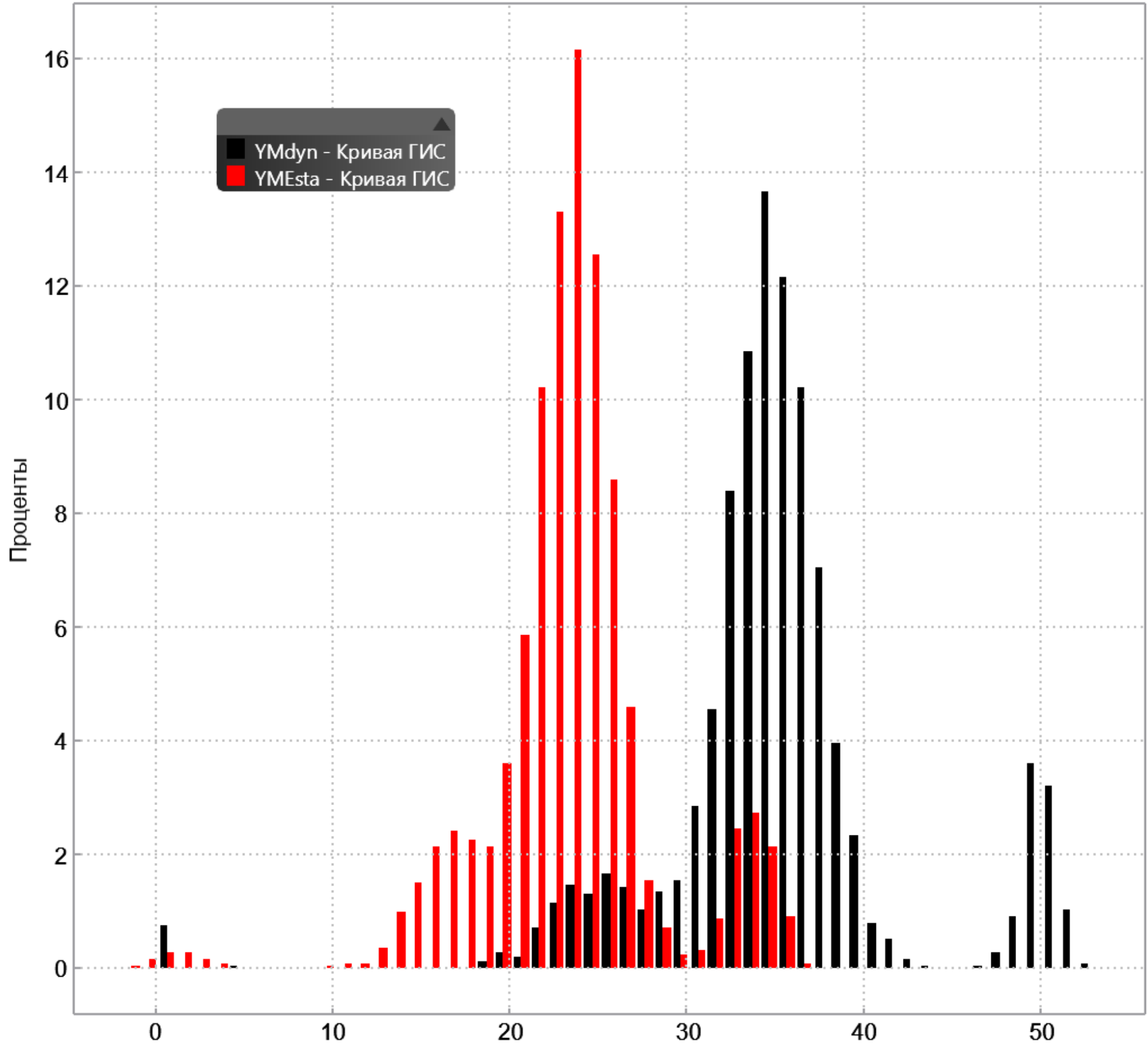


Сводная таблица по скважинам

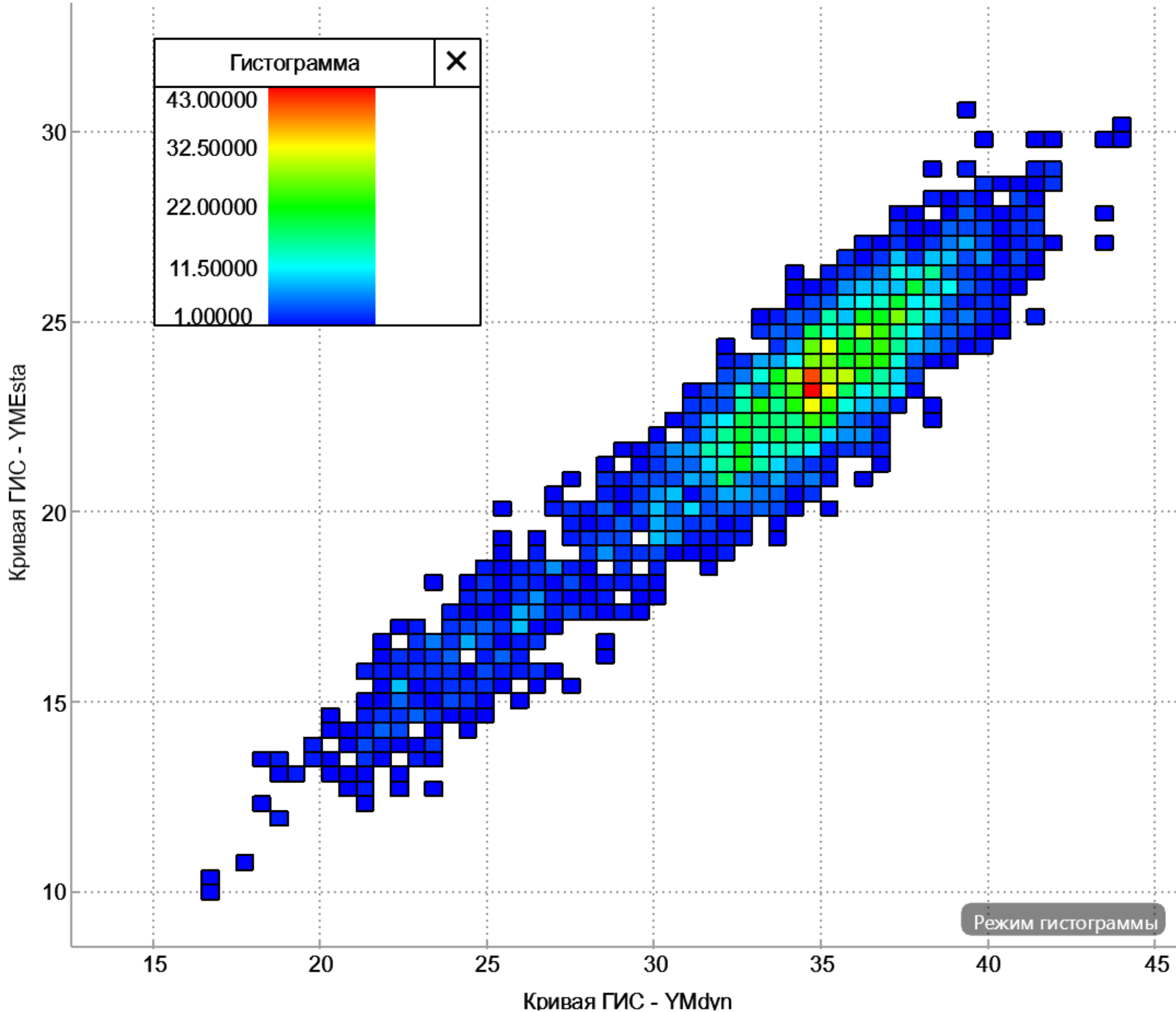
	Скважина	Статика	Плотность	Динамика
1	WCM EX 222	+		+
2	WCM EX 223			+
3	WCM EX 224			+
4	WCM EX 225			+
5	WCM EX 226	+		+
6	WCM EX 227			
7	WCM EX 228		+	
8	WCM EX 229			+
9	WCM EX 230		+	
10	WCM EX 231			+
11	WCM EX 232			

# Инструменты анализа данных

Гистограмма



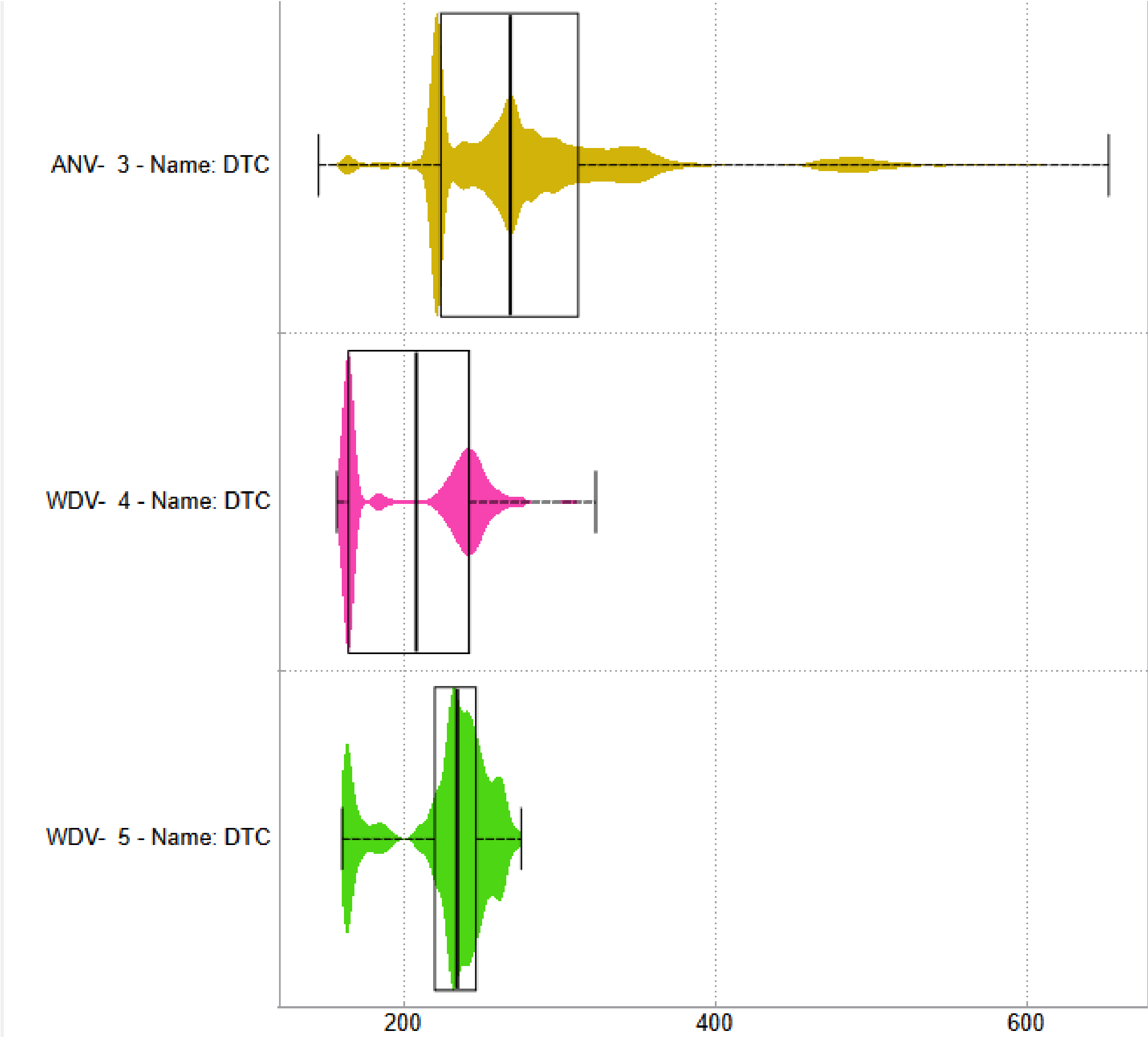
Кроссплот



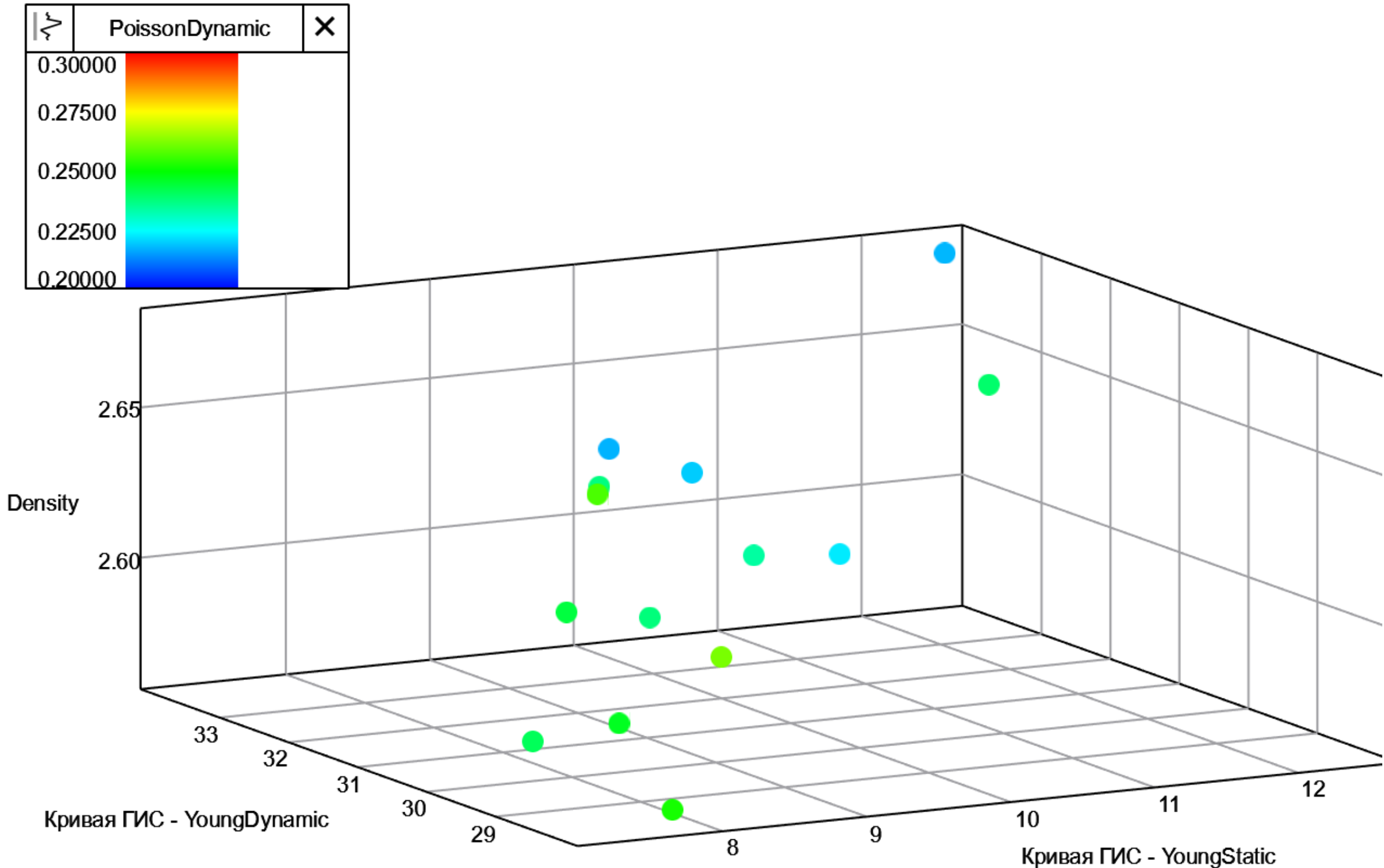


# Дополнительные инструменты анализа данных

Боксплоты



3D кроссплот

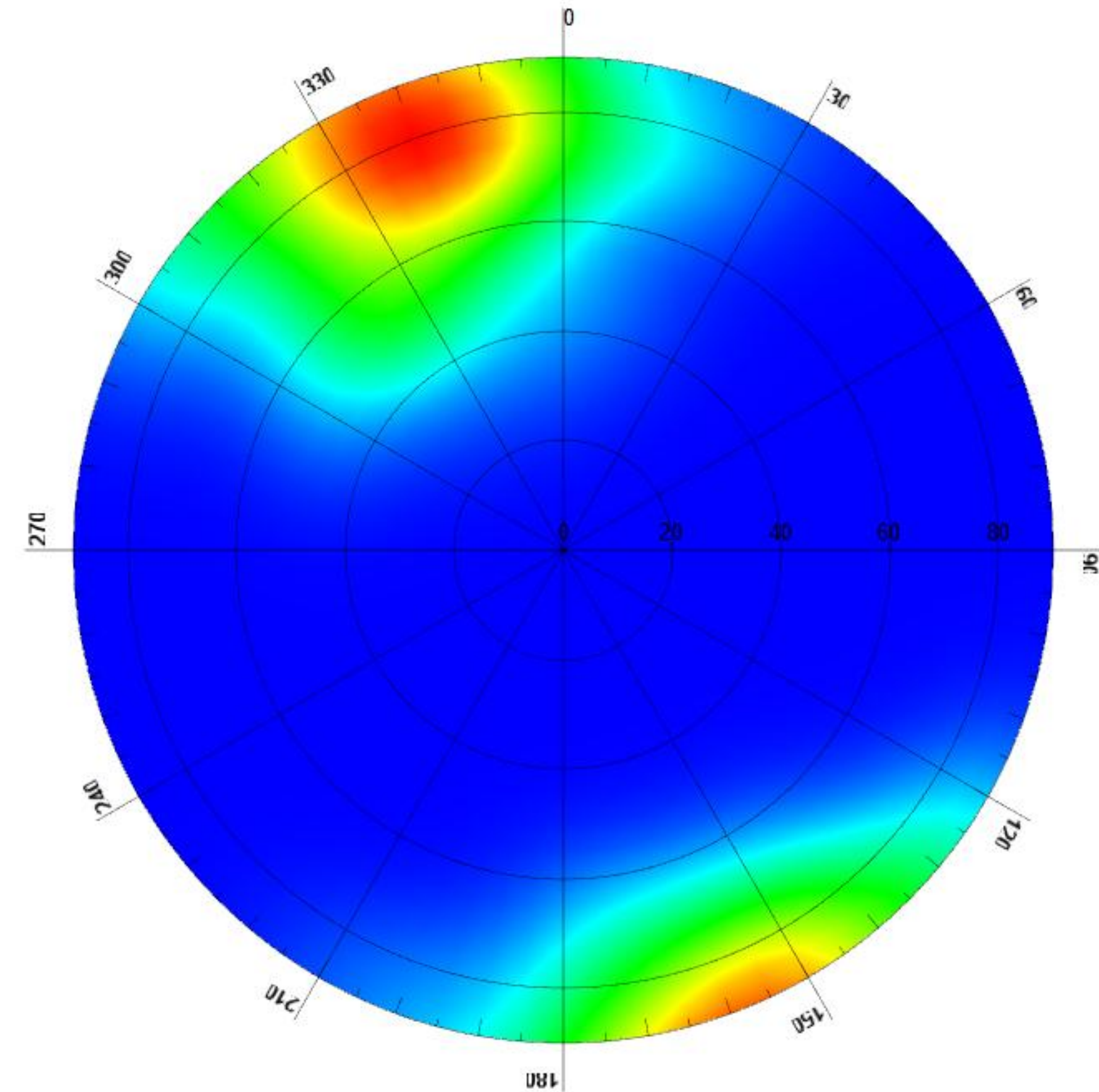


# Дополнительные инструменты анализа данных

Разломы и трещины



Стереонет





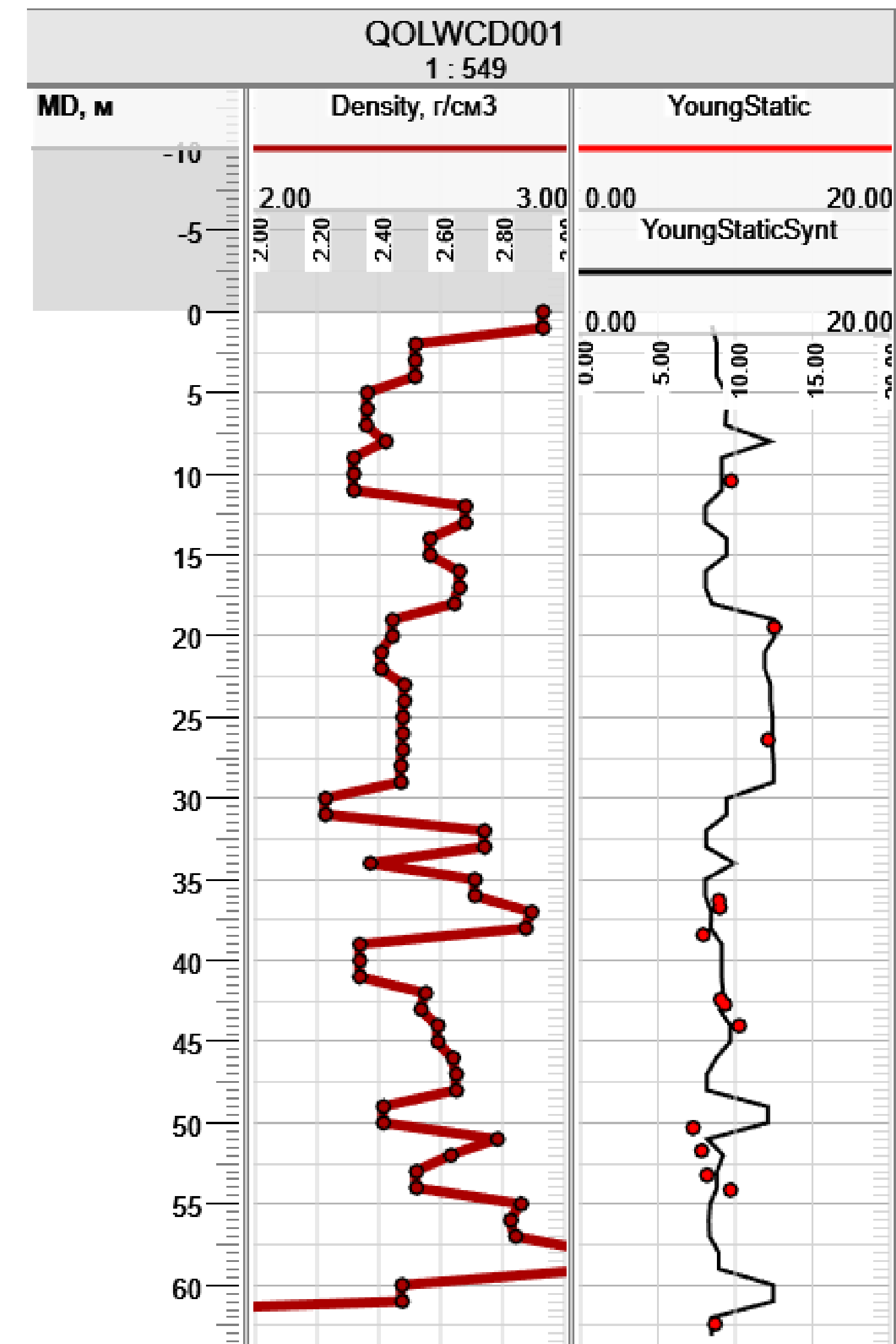
# Восстановление данных

## Методы

- Кросс-плот
- Линейная регрессия
- Нейронные сети

## Подготовка данных

- Подбор признаков
- Удаление некорректных значений
- Нормализация данных
- Деление на механотипы



# Расчет упруго-прочностных свойств

## Геомеханика 1D

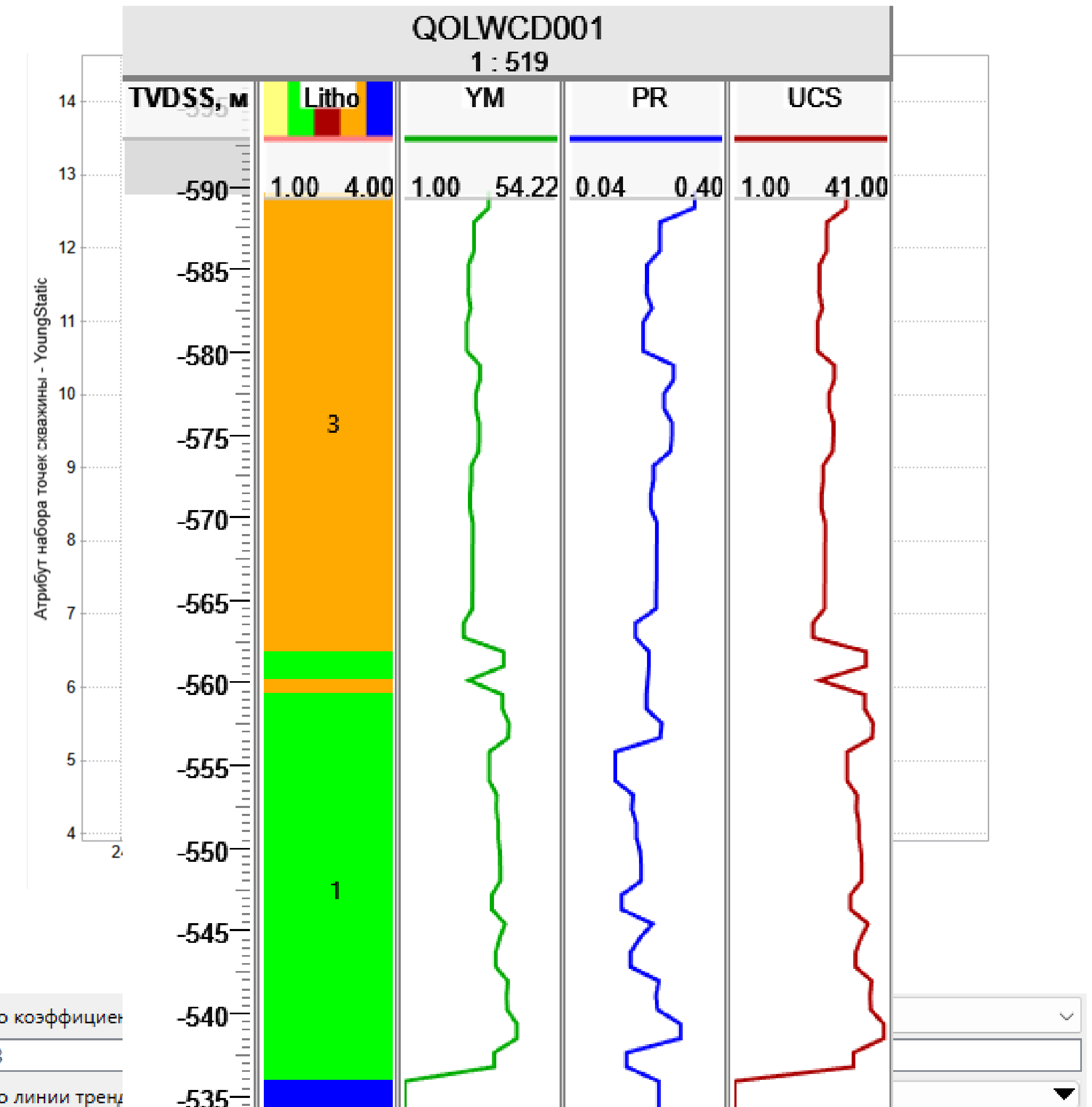
Синтетическая плотность  
Напряжение вышележащих пород  
Поровое давление  
Динамические параметры  
Статический модуль Юнга  
Статический коэффициент Пуассона  
Статический модуль сдвига и объемной упругости  
Коэффициент Био  
Неограниченная прочность на сжатие  
Прочность на разрыв по неограниченной прочности на сжатие  
Угол внутреннего трения  
Горизонтальные напряжения  
Мин. и макс. тектоническая деформация (модель Kidambi и Kumar)  
Устойчивость ствола скважины  
Градиент раскрытия трещин

Фуллер  
Моралес  
Пламб

Криф  
Мекпро  
Климентос

Пламб  
Коатес  
Ржевский

От ГК  
Вейнгартен  
Пламб





# Расчет модели напряжений

## Геомеханика 1D

Синтетическая плотность

Напряжение вышележащих пород

Поровое давление

Динамические параметры

Статический модуль Юнга

Статический коэффициент Пуассона

Статический модуль сдвига и объемной упругости

Коэффициент Био

Неограниченная прочность на сжатие

Прочность на разрыв по неограниченной прочности на сжатие

Угол внутреннего трения

Горизонтальные напряжения

Мин. и макс. тектоническая деформация (модель Kidambi и Kumar)

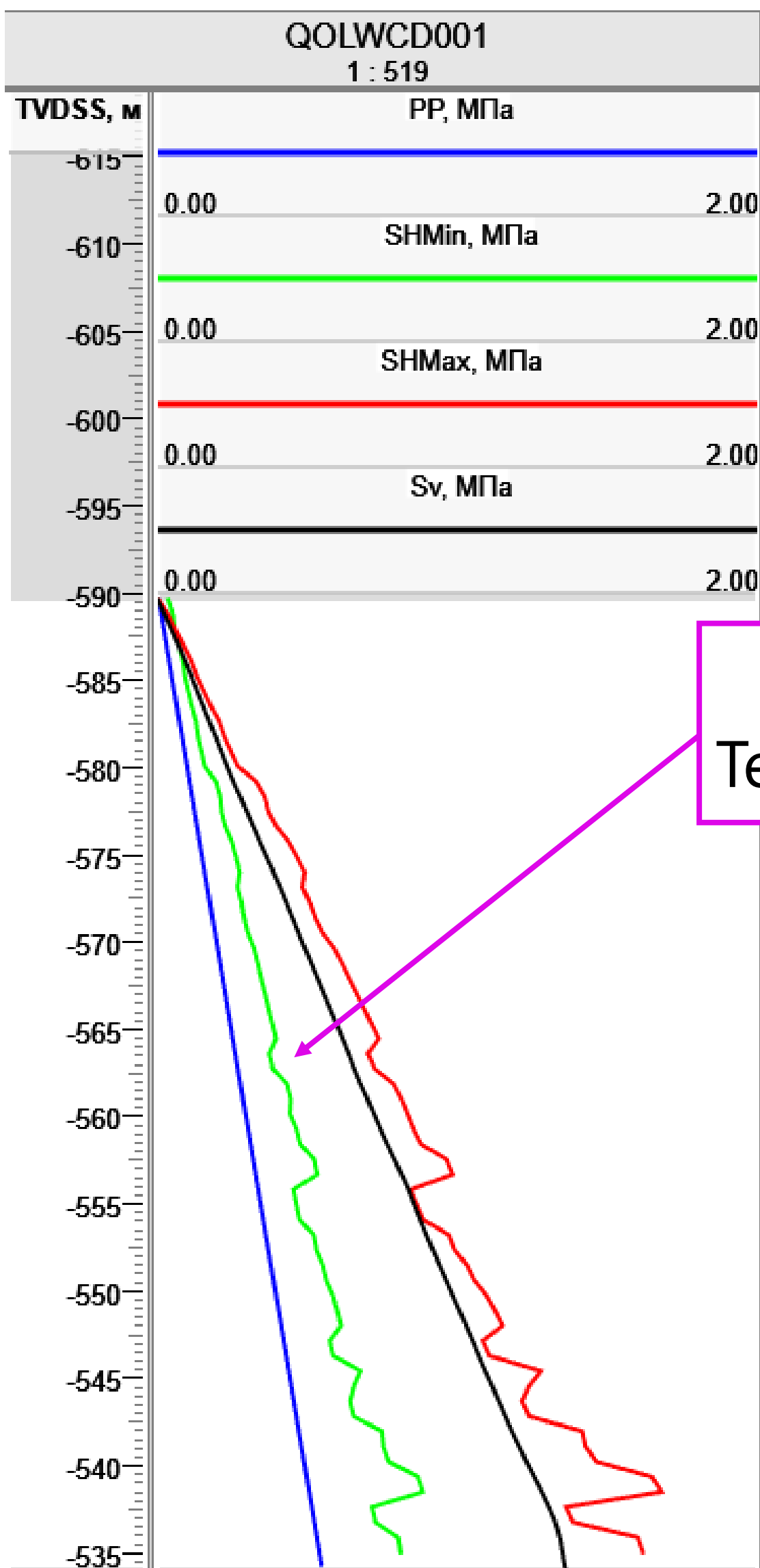
Устойчивость ствола скважины

Градиент раскрытия трещин

Экстраполяция  
Миллер  
Вендт  
Гарднер  
Амоко

Гидростат  
Итон  
Бауэрс  
Трауготт  
Дутта

Тектонич. деформации  
Критерий Мора-Кулона  
Линейная



ТНАВИГАТОР

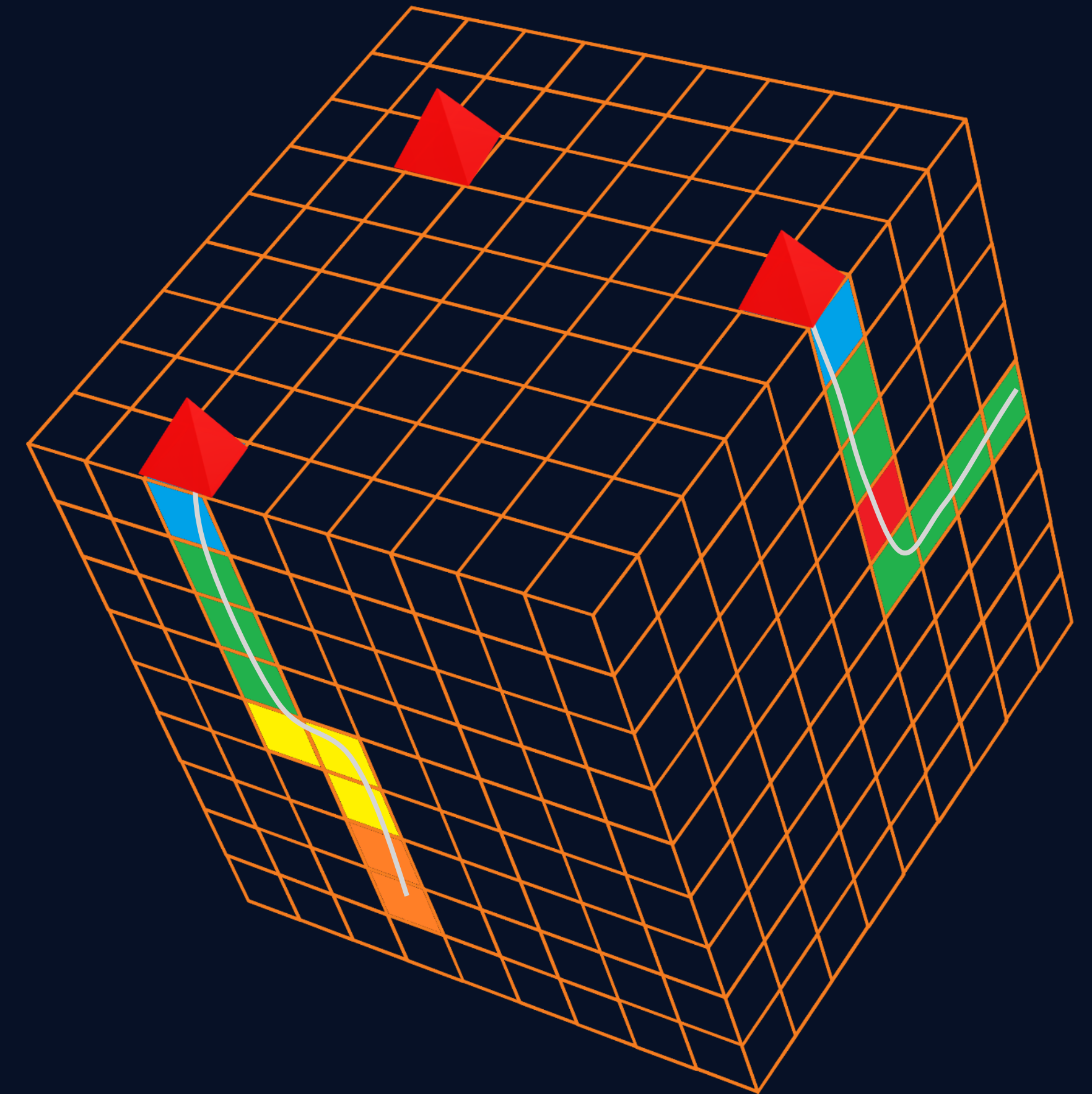
# 3D моделирование

## Результат

Упруго-прочностные свойства массива

## Входные данные

- 1D геомеханическая модель
- Структурный каркас, разломы
- Данные о пространственном распределении свойств





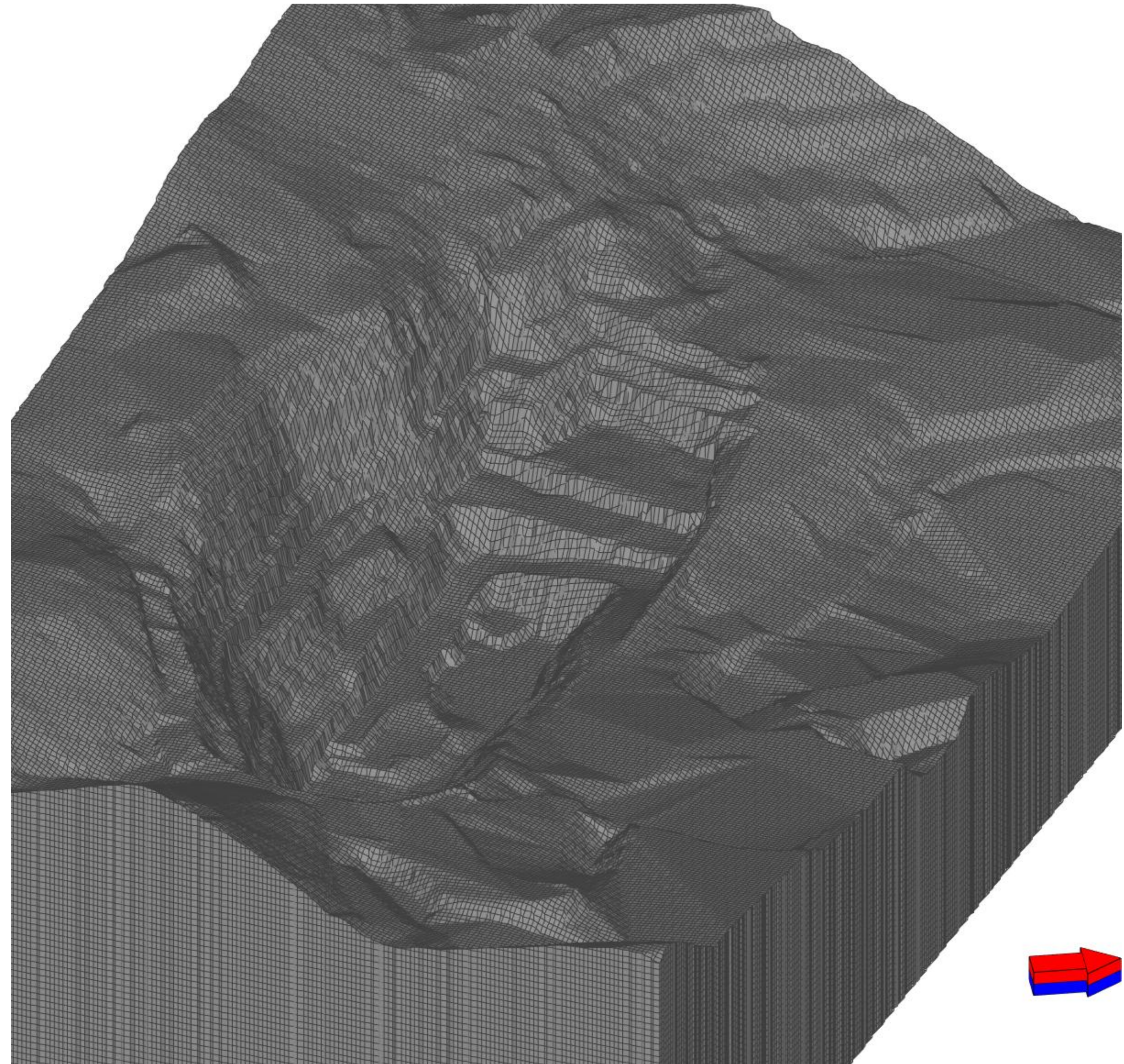
# Подготовка расчетной сетки

## Этапы

- Геологическая сетка
- Геомеханическая сетка
- Single Material Test

## Инструменты редактирования

- Создать расширенную сетку
- Upscaling
- Downscaling
- LGR





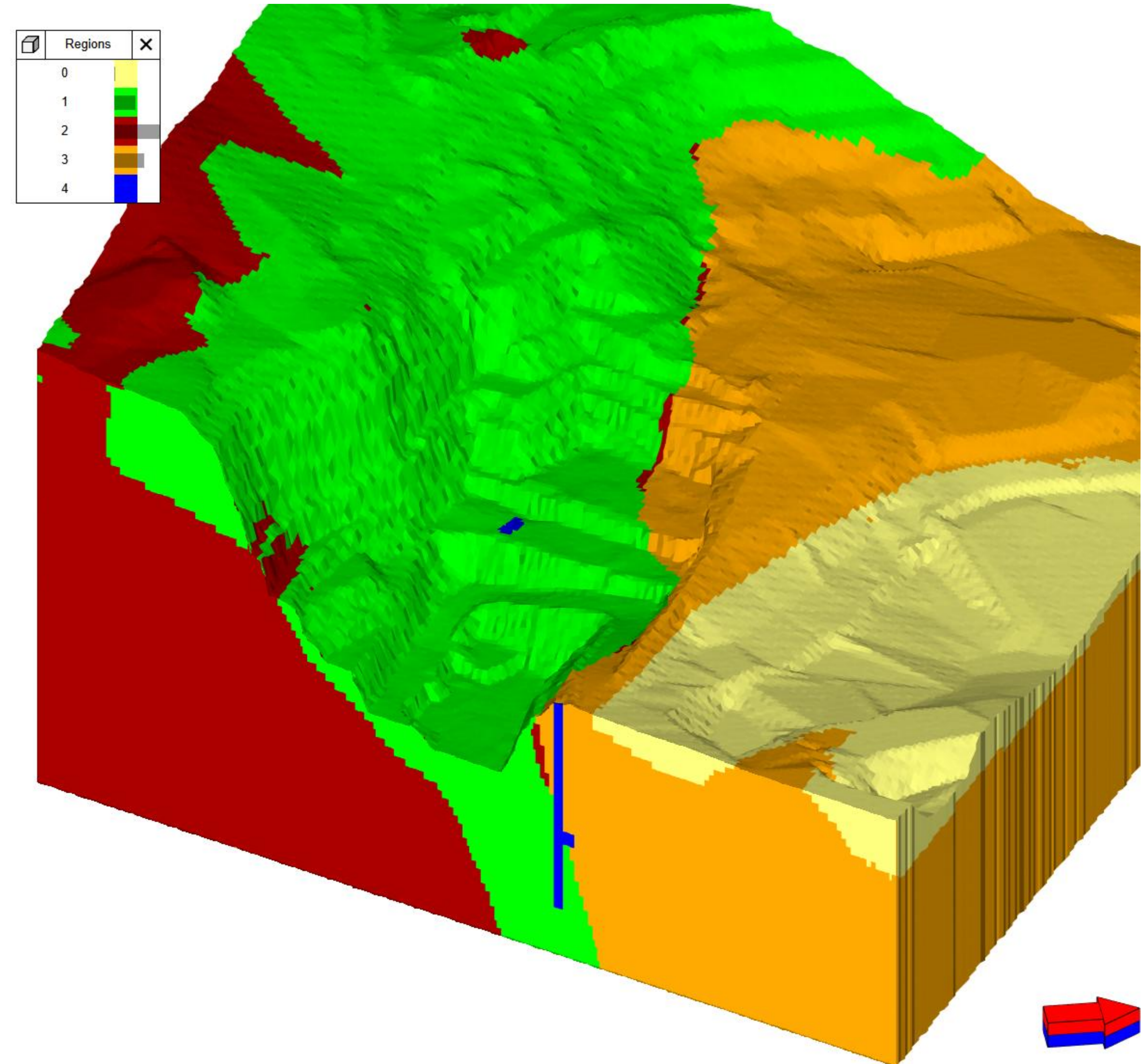
# Выделение доменов

## Методы

- Условное моделирование
- Логические операции

## Исходные данные

- Геотела
- Опробования
- Поверхности контактов
- Топографические поверхности



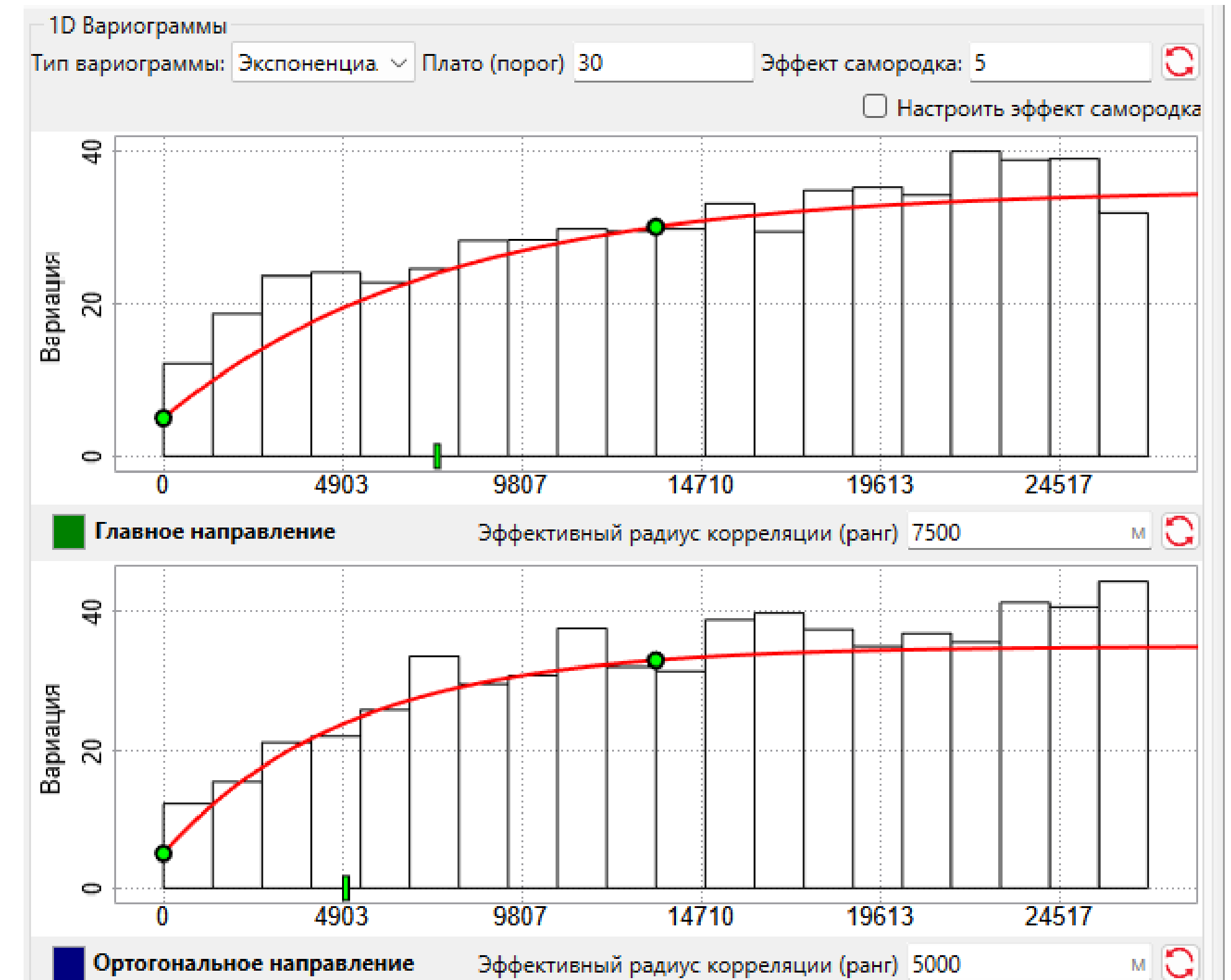
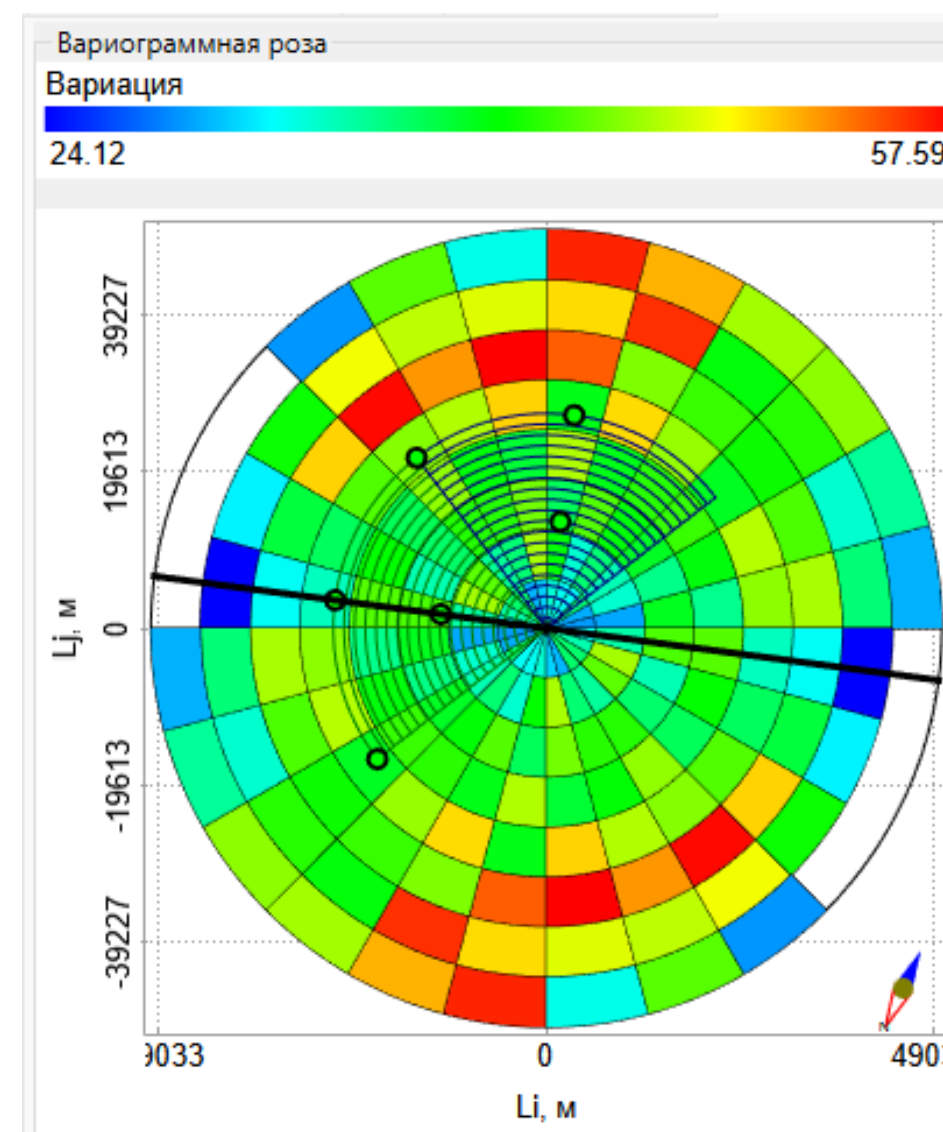
# Распространение свойств

## Этапы

- BlockedWells
- Вариограммный анализ
- Детерминированные и стохастические модели

## Дополнительные инструменты

- Куб механотипов
- Тренды





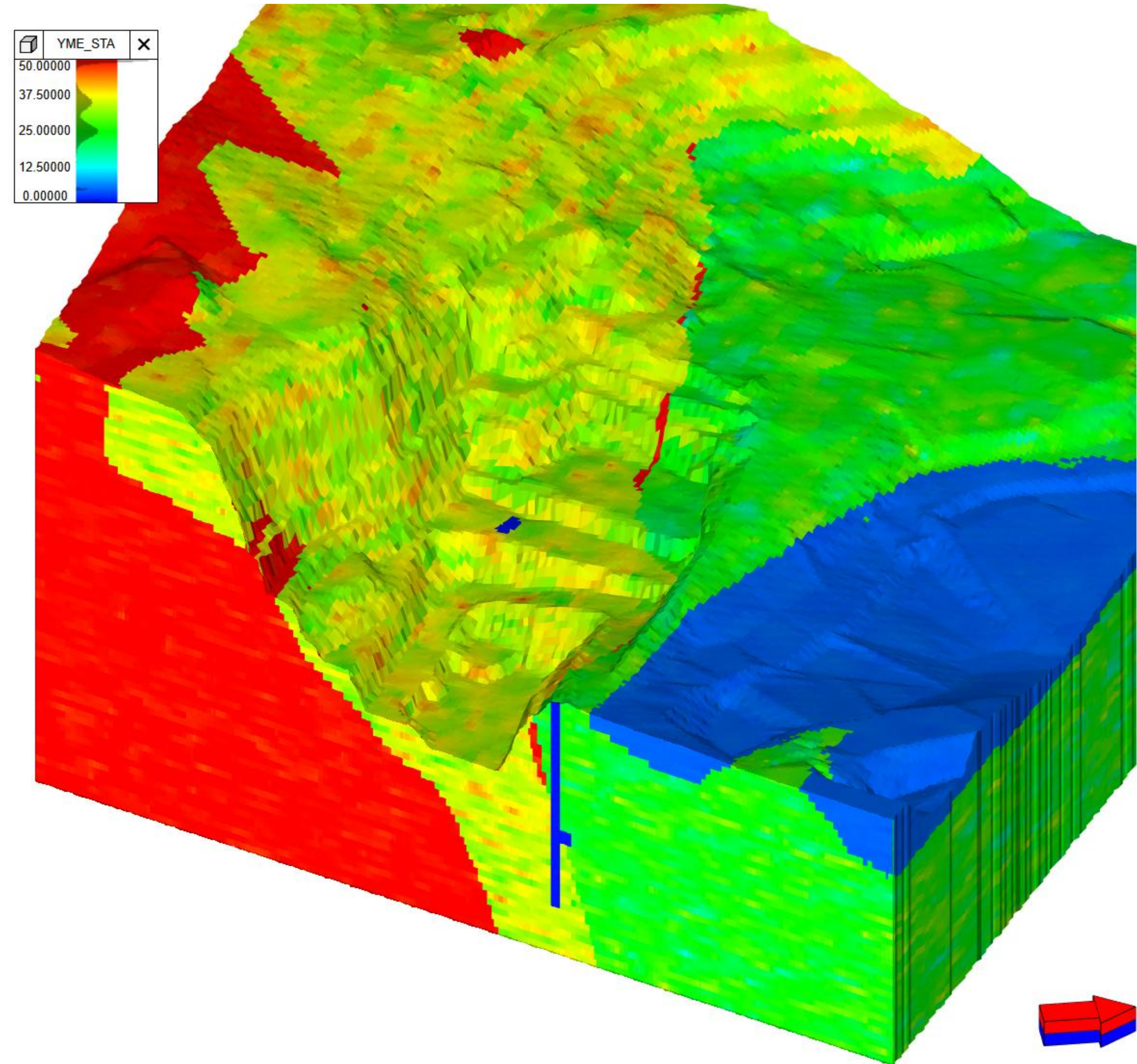
# Распространение свойств

## Этапы

- 3D Композиты
- Вариограммный анализ
- Детерминированные и стохастические модели

## Дополнительные инструменты

- Куб механотипов
- Тренды





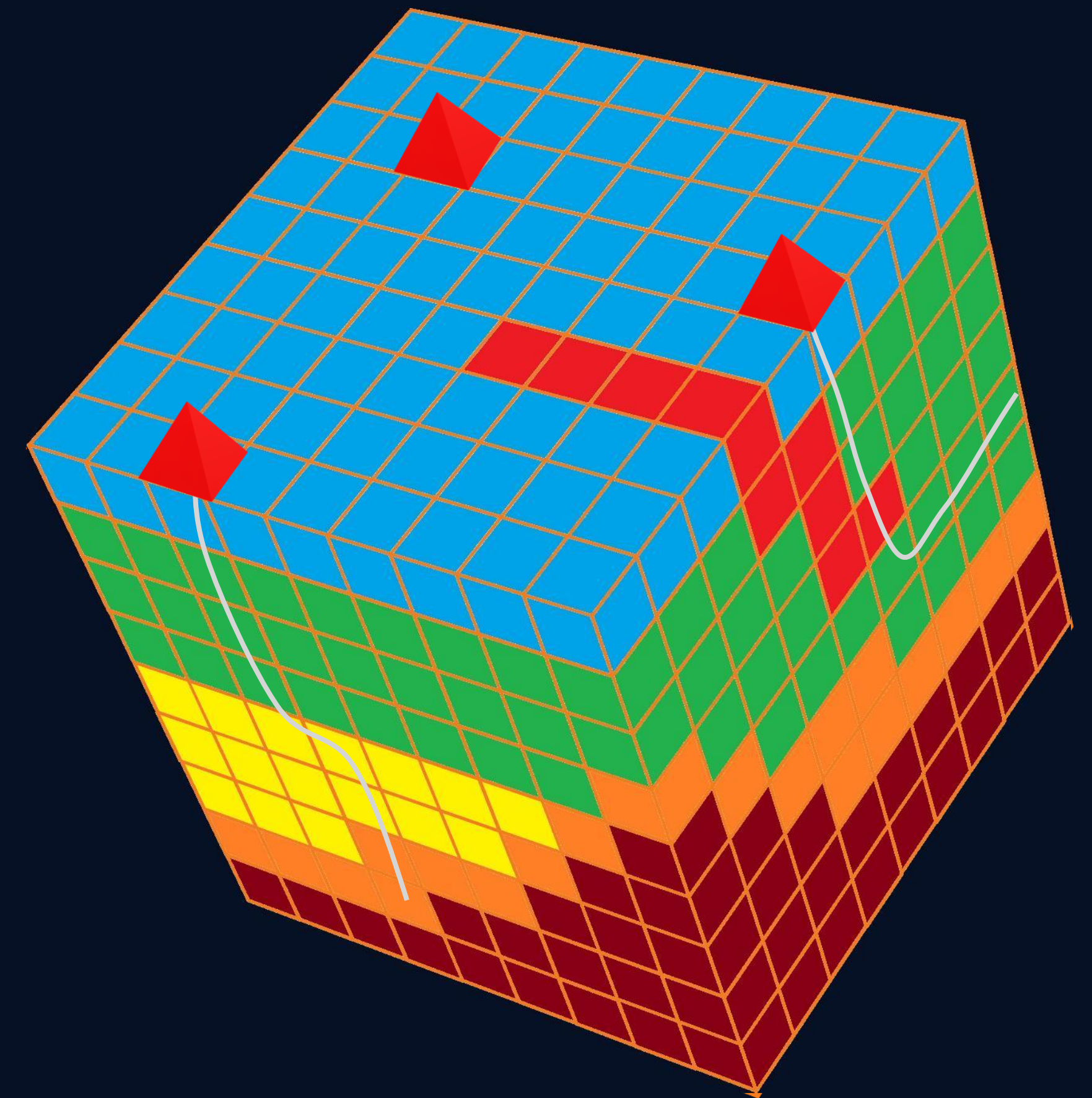
# Запуск симулятора

## Результат

Напряженно-деформированное состояние массива

## Входные данные

- Расчетная сетка
- Упруго-прочностные свойства массива
- Граничные условия



# Ключевые слова

## Гидродинамика

- Насыщение
- Пористость, проницаемость
- ОФП, PVT

## Геомеханика

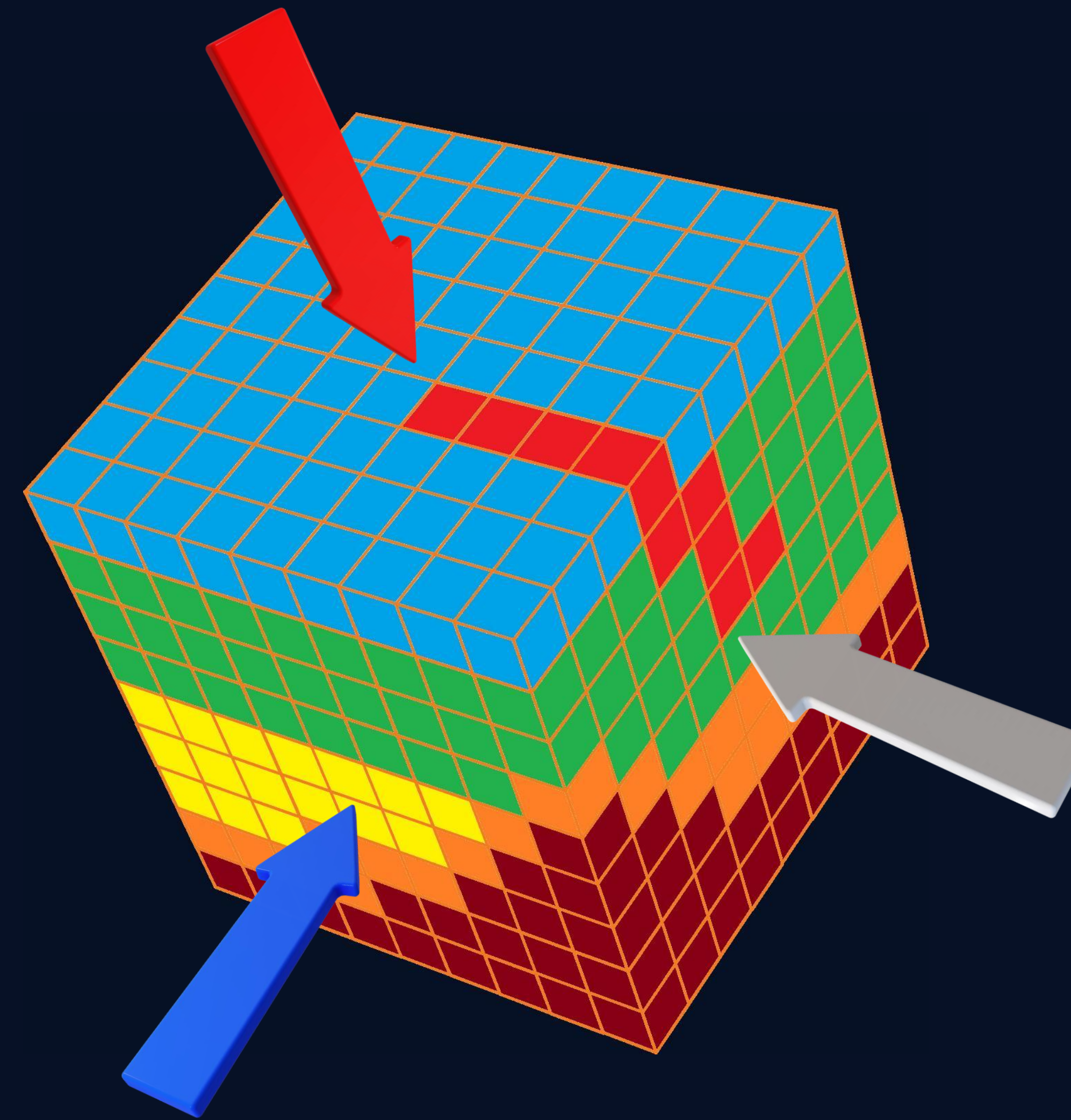
- Плотность породы
- Модули упругости
- Начальные условия (напряжения, смещения)

## Опционально

- Критерий обрушения
- Критерий пластической деформации

	Описание	Кл. слово	Компонента	Свойство	Постоянная
✓	Начальная насыщ. водой	SWAT		1	1
✓	Проницаемость по X	PERMX		0.1	0.1
✓	Проницаемость по Y	PERMY		0.1	0.1
✓	Проницаемость по Z	PERMZ		0.1	0.1
✓	Пористость	PORO		0.25	0.25
✓	Регионы геомеханики	GMNUM		GMNUM	
✓	Плотность породы	ROCKDEN		DENSITY_...	
✓	Модуль Юнга	YOUNGMOD		YME_SIM	
✓	Козфф. Пуассона	POISSONR		PR	
✓	Начальный стресс для геомеханики	STRESSINIT	1	SH_MIN_...	
✓	Начальный стресс для геомеханики	STRESSINIT	2	SH_MAX_...	
✓	Начальный стресс для геомеханики	STRESSINIT	3	SV_SIM	
✓	Начальный стресс для геомеханики	STRESSINIT	4	0	0
✓	Начальный стресс для геомеханики	STRESSINIT	5	0	0
✓	Начальный стресс для геомеханики	STRESSINIT	6	0	0
✓	Угол внутреннего трения	THETA		FA	
✓	Когезия	COHESION		0	0
✓	Начальное давление	PRESSURE		PP_SIM	
✓	Константа Био для взаимодействия п...	BIOTC		Biot	
✓	Угол дилатации	DILANGLEMAP		5	5
✓	Предел текучести	YLDSTRESSMAP		UCS_SIM	
✓	Козфф. пластичности	PLASTICCOEFM...		1e-06	1e-06

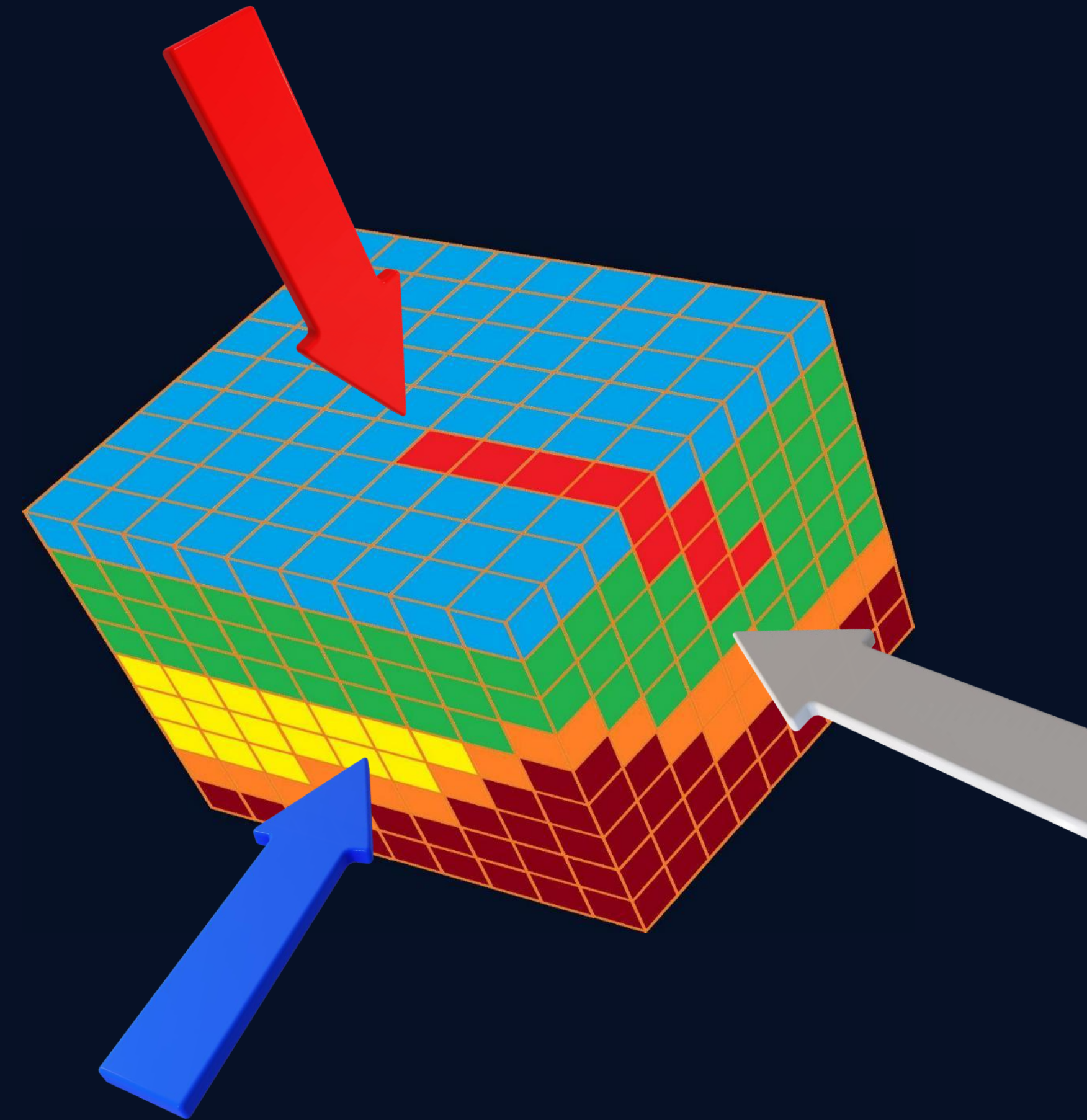




**HPM**



Роль геомеханики?





# Результаты расчета в симуляторе

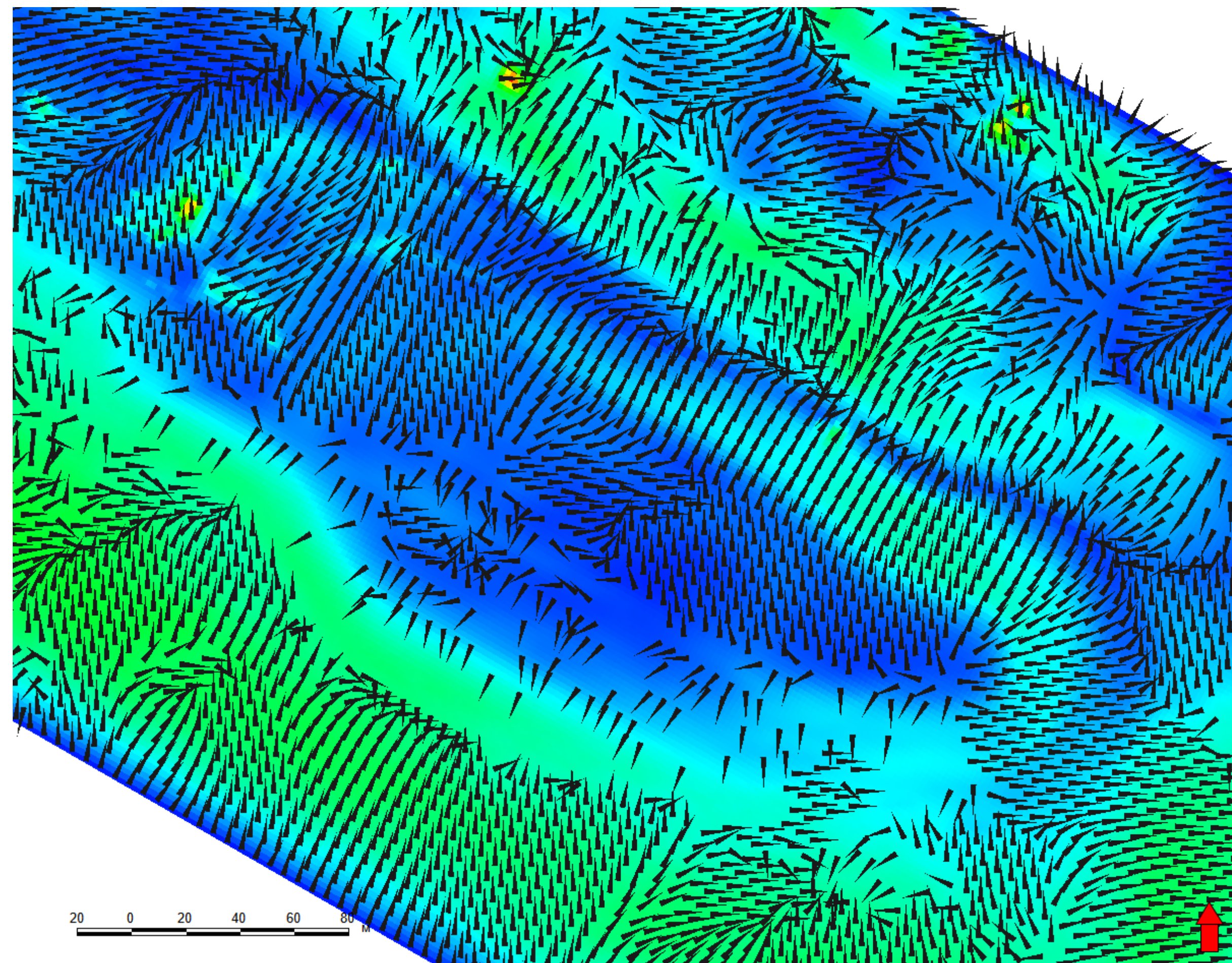
## Поле смещений

### Расчитанные свойства

- Тензор напряжений
- Тензор деформаций
- Тензор смещений
- Тензор пластических деформаций
- Векторные поля

### Калибровочная информация

- Тензометры
- Гидроразрыв пласта
- Карты смещений





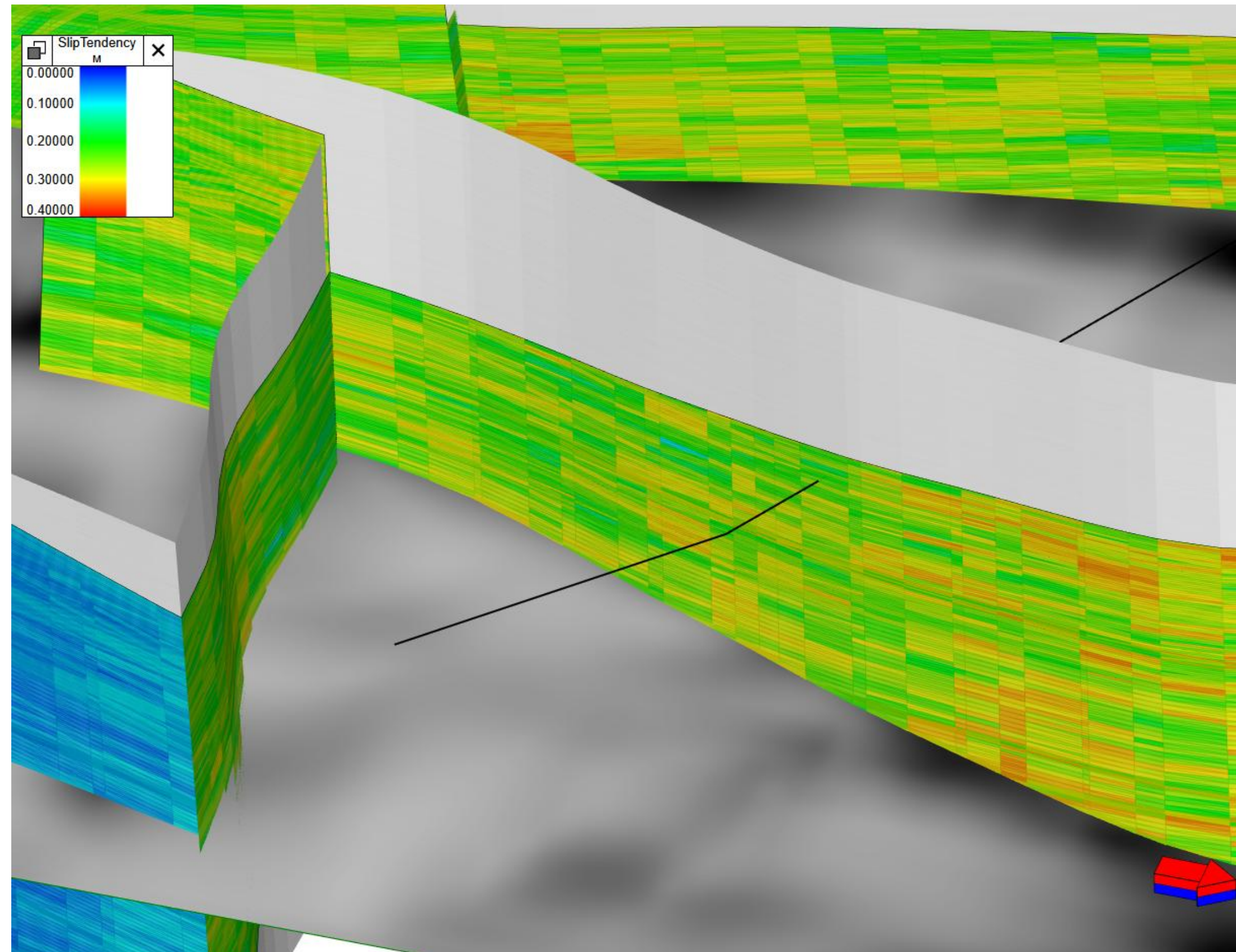
# Расчет НДС в плоскости разломов

## Входные данные

- Разломы / разломы сетки
- Тензор напряжений

## Выходные атрибуты разломов

- Slip Tendency
- Dilation Tendency



Т НАВИГАТОР



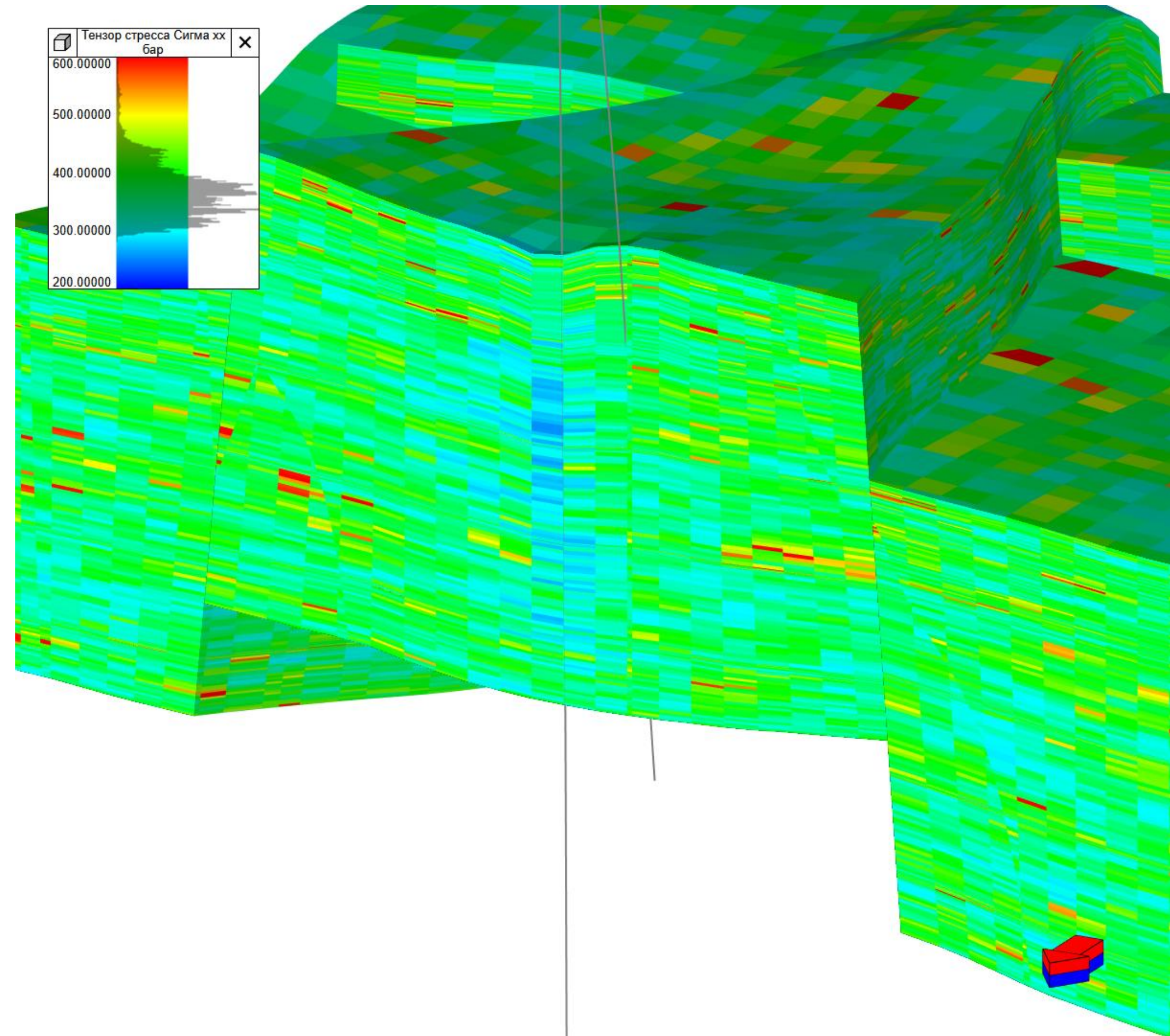
Дизайнер ТПИ  
Горнорудное моделирование



# Геомеханика и расчет фильтрации

## Задачи

- Дегазация пласта
- Расчет НДС
- Реактивация разрывных нарушений





# Интеграция с другими дисциплинами в тНавигатор

## Автообновление модели

- Новые данные
- Изменение топографии
- Геологическая модель

## Автокалибровка модели

- Недостаток данных
- Неопределенности модели
- Сложность ручной калибровки



### Дизайнер ТПИ

Горнорудное моделирование



### Дизайнер Моделей

Создание, расчёт и анализ динамических моделей и интегрированных проектов



### Симулятор ГРП

Моделирование трещин гидроразрыва пласта



### Расчёт

Модели чёрной нефти, композиционные, термические и интегрированные



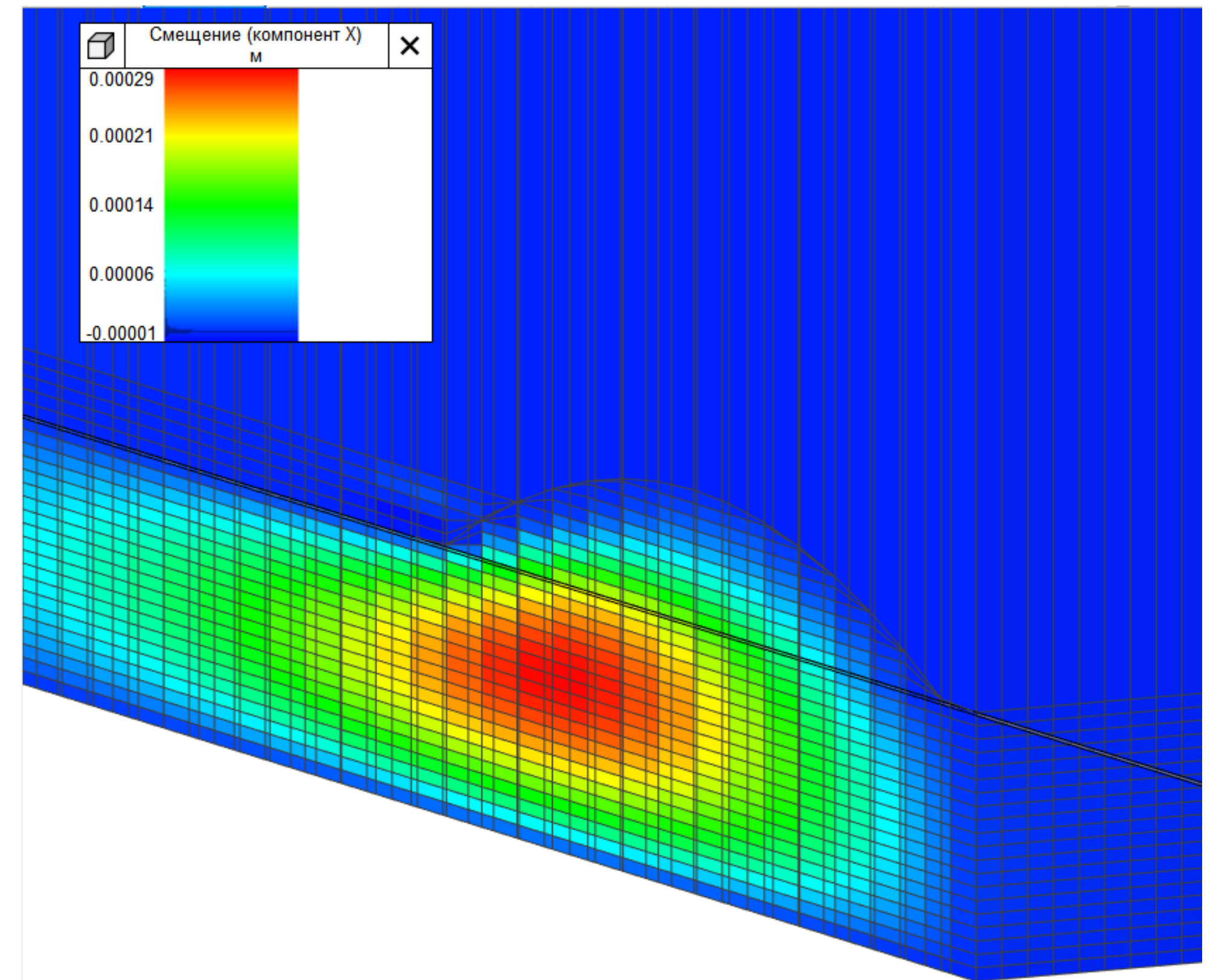
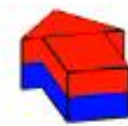
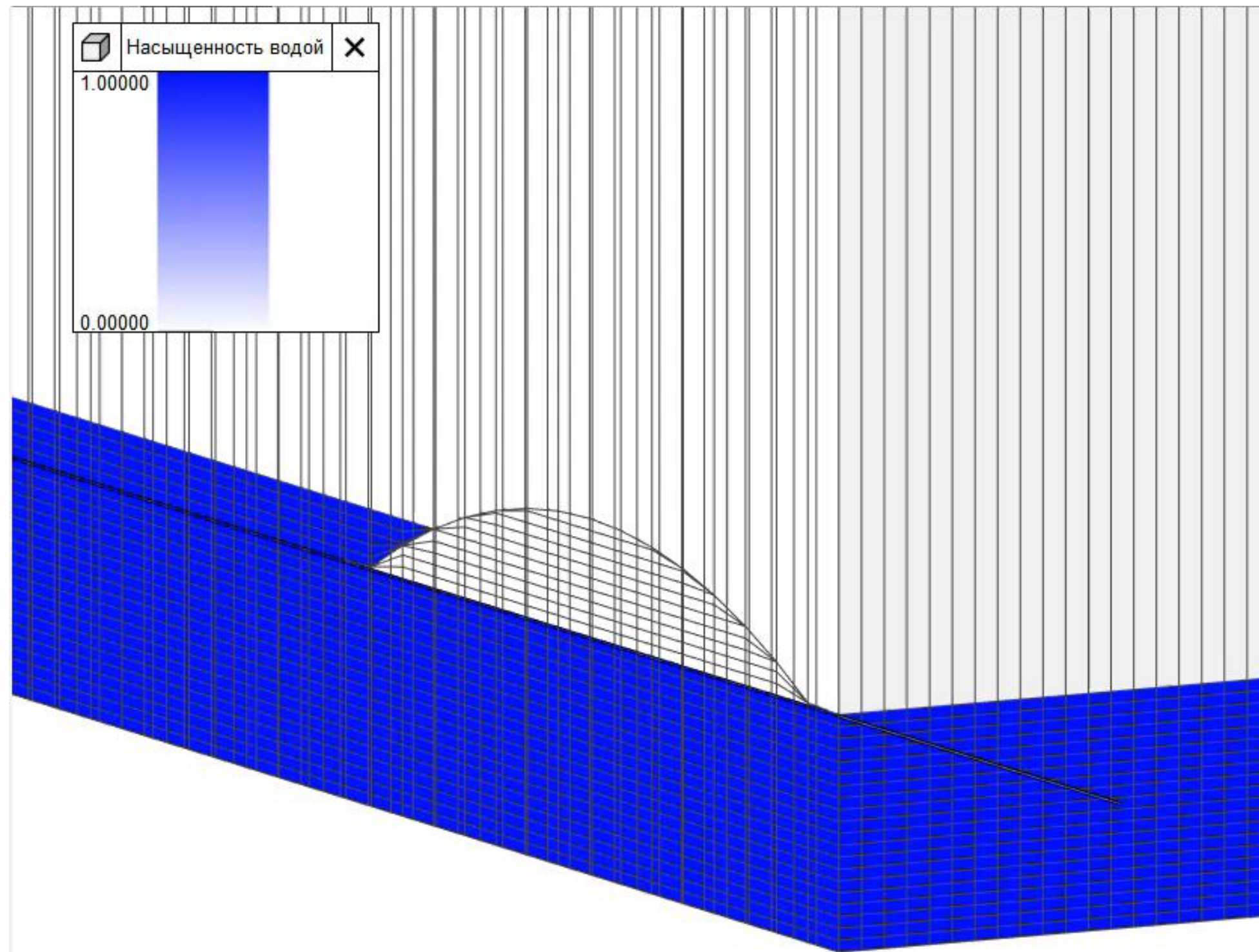
### Адаптация

Автоматизированная адаптация, оптимизация и анализ неопределённостей

1	Import
2	Core
5	Geology model
7	Seismic
9	Interpretation
11	Well heads
13	Trajectories
15	Markers
17	Well logs
19	Data Managment
55	Data Statistics
68	Logs Operations
81	1D MEM
82	ElasticModuli
83	Динамические параметры
84	Статический модуль Юнга по пользовательской корреляции
85	Статический коэффициент Пуассона
86	Калькулятор [ if YoungStatic>100    YoungStatic<0 then U...
87	Калькулятор [ if PoissonStatic>0.45    PoissonStatic<0.15 then U...
88	Статический модуль сдвига и объемной упругости
89	Коэффициент Био по пользовательской корреляции
90	RockStrength
91	Неограниченная прочность на сжатие (пользовательская корреляция)
92	Прочность на разрыв по неограниченной прочности на сжатие
93	Угол внутреннего трения по зависимости от кривой ГК
94	StressModel
95	Напряжение вышележащих пород
96	Поровое давление по скорости сжатия (метод Eaton)
97	Гидростатическое давление
98	Мин. и макс. горизонтальные напряжения (модель деформации)
99	WBS
100	Калькулятор [ 216 ]
101	Калькулятор [ 1.25 ]



# Моделирование насыпи



# Хотите узнать больше?

Описание функционала, учебные курсы и видеоуроки доступны на сайте:

[irmodel.ru](http://irmodel.ru)

# Остались вопросы?

Обратиться в техническую поддержку:

[tnavigator@irmodel.ru](mailto:tnavigator@irmodel.ru)

