

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт природных ресурсов
Кафедра геологии и разведки полезных ископаемых

Основы компьютерных технологий решения геологических задач

Раздел 1. Терминология. Определения. Основные понятия

НАПРАВЛЕНИЕ ООП 21.05.02 ПРИКЛАДНАЯ ГЕОЛОГИЯ

Специализация «Геология нефти и газа»

Разработчик к.г.-м.н., доцент каф. ГРПИ: *Перевертайло Т.Г.*

Цель изучения дисциплины –

знакомство с современными компьютерными технологиями, используемыми для решения геологических задач; основ компьютерного анализа пространственной информации и моделирования геологических явлений и геологических процессов.

Компьютерная модель - это модель реального геологического процесса или явления, реализованная компьютерными средствами.

Основные направления использования компьютерных технологий

- 1) Накопление, хранение и систематизация геологической информации;
- 2) Обработка геологической информации для описания, сравнения, классификации геологических объектов и прогнозирования их свойств;
- 3) Математическое моделирование геологических объектов и явлений для решения научных и прикладных задач;
- 4) Автоматизация технологических операций.

ПРОГРАММНЫЕ ПАКЕТЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ

- ГИС-системы – **ArcInfo, MapInfo, ArcView, ArcGIS, GeoGraf**
- Программное обеспечение для построения карт в изолиниях – **Surfer**
- Системы автоматического проектирования – **AutoCad**
- Векторизаторы – **EasyTrase, CorelDraw**

Векторизаторы — программное обеспечение, задача которого обвести линии и контуры объектов на растровом изображении векторными линиями.

- Сканирование - процесс получения растрового изображения карты (фотографирование);
- Координатная привязка;
- Указание линий на растре и присвоение атрибутов (изогипсы, разломы, номера скважин и др.).

Геологическая модель —
цифровое представление
реальной геологической
среды на том уровне
абстракции, который
достаточен для решения
поставленной задачи.

ТРЕХМЕРНОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Региональные модели – области протяженностью в тысячи километров.

Региональный этап:

- 1) Стадия прогнозирования нефтегазоносности;
- 2) Стадия оценки зон нефтегазо-накопления.

Поисковые модели – область моделирования составляет сотни километров.

Поисковый этап:

- 1) Стадия выявления и подготовки объектов для поискового бурения;
- 2) Стадия поиска месторождений УВ.

Задачи моделирования – картирование границ нефтегазоносного горизонта, прослеживание тектонических нарушений, выявление структурных и неструктурных ловушек

***Детальная геологическая модель
резервуара:*** область моделирования
составляет порядка десяти километров.

Разведочный этап:

- 1) Стадия оценки месторождений (залежей) УВ;
- 2) Стадия подготовки их к разработке.

Задачи моделирования – геометризация
природного резервуара, определение уровней
ВНК и ГНК, детальный прогноз коллекторских
свойств, подсчет запасов УВ.

Геолого-технологическая (гидродинамическая) модель –

создается посредством пересчета геологической модели на более крупную сетку.

Используется на стадии разработки для прогноза и оптимизации процесса добычи многие годы, в течение всей жизни месторождения.

ОБЗОР

ПРОГРАММНЫХ

СРЕДСТВ ПО 3D

МОДЕЛИРОВАНИЮ

Stratamodel (Landmark)

IRAP RMS (Roxar)

Petrel (Schlumberger)

Gocad (Paradigm Geophysical)

DV-geo

**Программный комплекс
«ТРАСТ»**

ПО «TimeZYX»

В 1996 г. в России при проектировании разработки месторождений углеводородов построение *трехмерных геологических и гидродинамических моделей* было поставлено в Регламент по проектированию.

Регламент по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений (2000 г.)

Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений (2003 г.)

ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩАЯ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

ПДГТМ – это объемная имитация месторождения, хранящаяся в памяти компьютера в виде многомерного объекта, позволяющая исследовать и прогнозировать процессы, протекающие при разработке в объеме резервуара, непрерывно уточняющаяся на основе новых данных на протяжении всего периода эксплуатации месторождения.

**Цифровая трехмерная
геологическая модель (ГМ)
месторождения — это пред-
ставление продуктивных
пластов и вмещающей их
геологической среды в виде
набора цифровых карт
(двухмерных сеток) или
трехмерной сетки ячеек.**

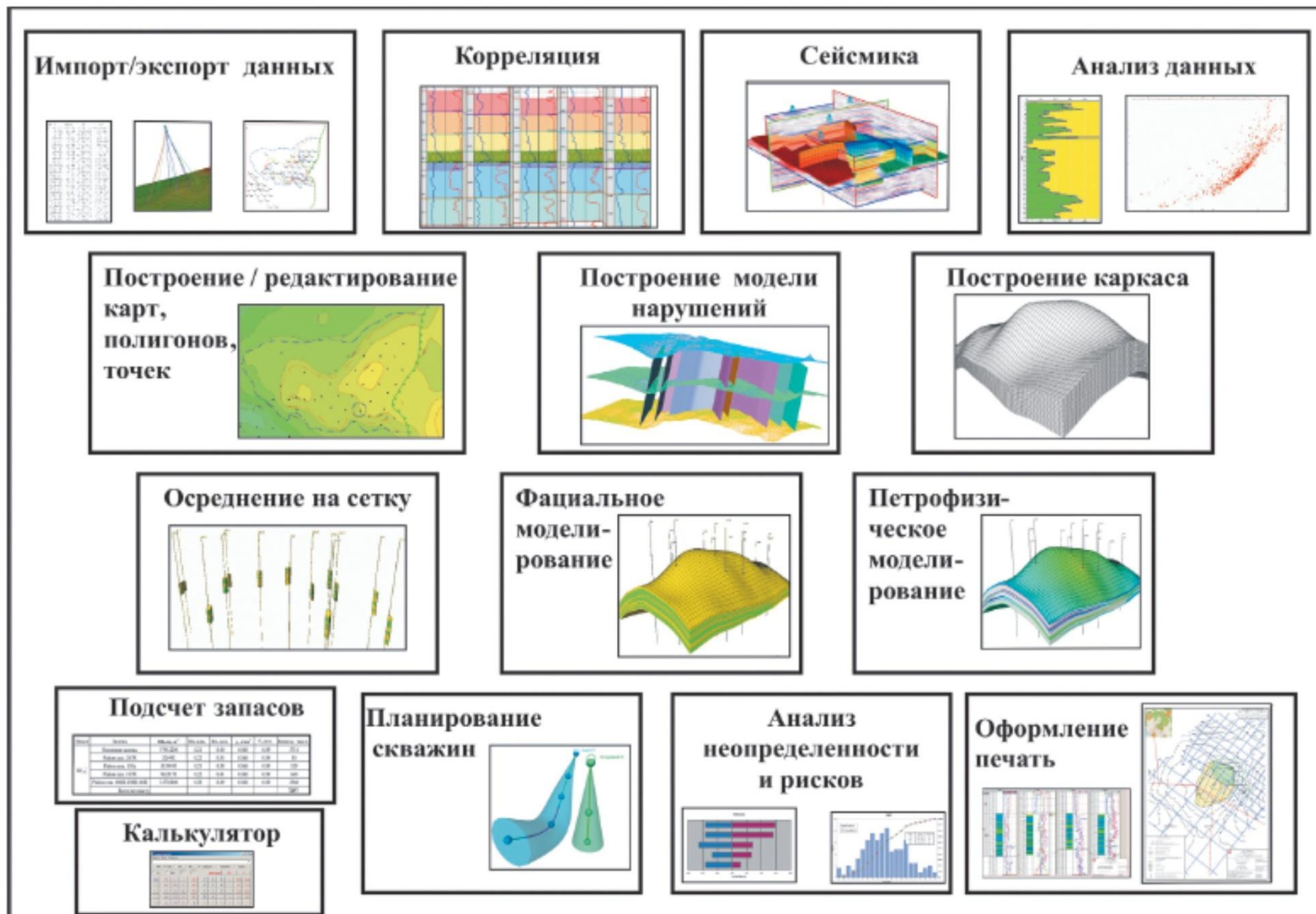
- пространственное положение коллекторов и разделяющих их непроницаемых прослоев;
- пространственное положение стратиграфических границ продуктивных пластов;
- пространственное положение литологических границ в пределах пластов, тектонических нарушений и амплитуд их смещений;

- средние значения в ячейках сетки ФЕС, позволяющих рассчитать начальные и текущие запасы углеводородов;
- пространственное положение начальных и текущих флюидных контактов;
- пространственные координаты скважин (координаты устьев, пластопересечения, альтитуды, данные инклинометрии).

**Цифровая фильтрационная
(гидродинамическая) модель
(ФМ) — это совокупность
представления объекта в виде
двухмерной или трехмерной сетки
ячеек, каждая из которых
характеризуется набором
идентификаторов и параметров
геологической модели,
дополнительно включая:**

- фильтрационные параметры - относительные фазовые проницаемости, капиллярные давления, термодинамические данные и др.;
- интервалы перфорации,
- радиус скважины,
- пластовое или забойное давление,
- данные о дебитах (расходах) фаз, коэффициенты продуктивности скважин,
- сведения об ОПЗ (обработка призабойной зоне скважины), ГРП, результатах испытаний, обустройстве месторождения.

Типовой состав модулей программного пакета геологического моделирования



Примеры центров пространственной визуализации и рабочего места геолога-модельера



1927 г. Основание компании
Конрад и Марсель
Шлюмберже.

2011 г. более 80000 сотрудников

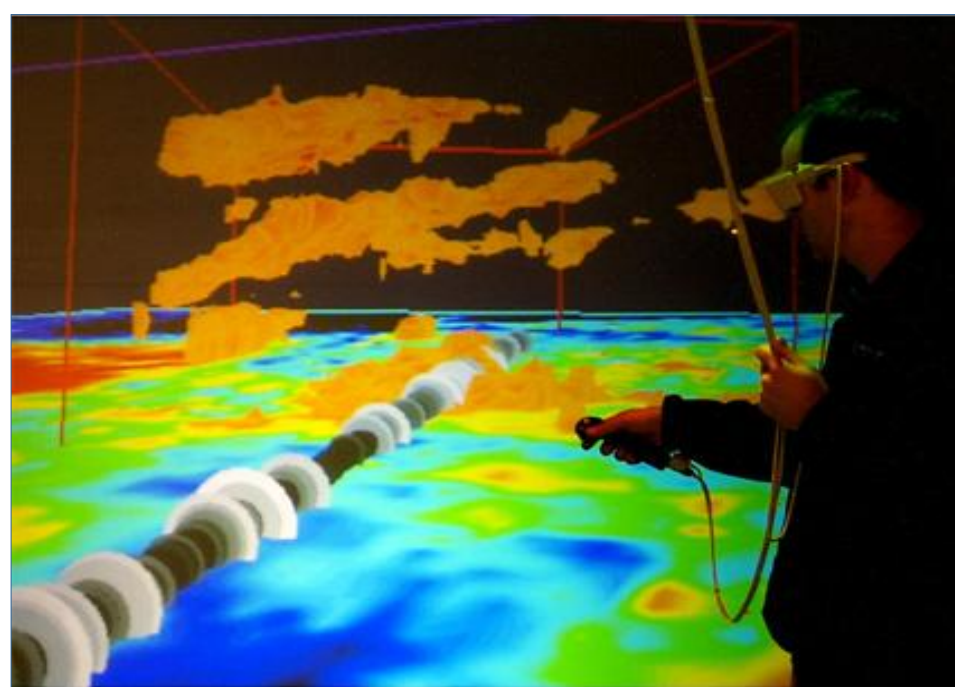
Мировой лидер в области
инновационных технологий
в сфере разведки, разработки
месторождений УВ и их добычи

Среди Заказчиков "Шлюмберже" :
ОАО "Газпром", ОАО Сургутнефтегаз",
ОАО НК "Роснефть", НК "Лукойл",
НК "Газпромнефть", ТНК-ВР, ВР,
Royal Dutch/Shell, Exxon Mobil,
Chevron Texaco, Total, Agip и др

Центры разработки программных продуктов Шлюмберже

Абингдон (Англия) Центр разработки
гидродинамических симуляторов

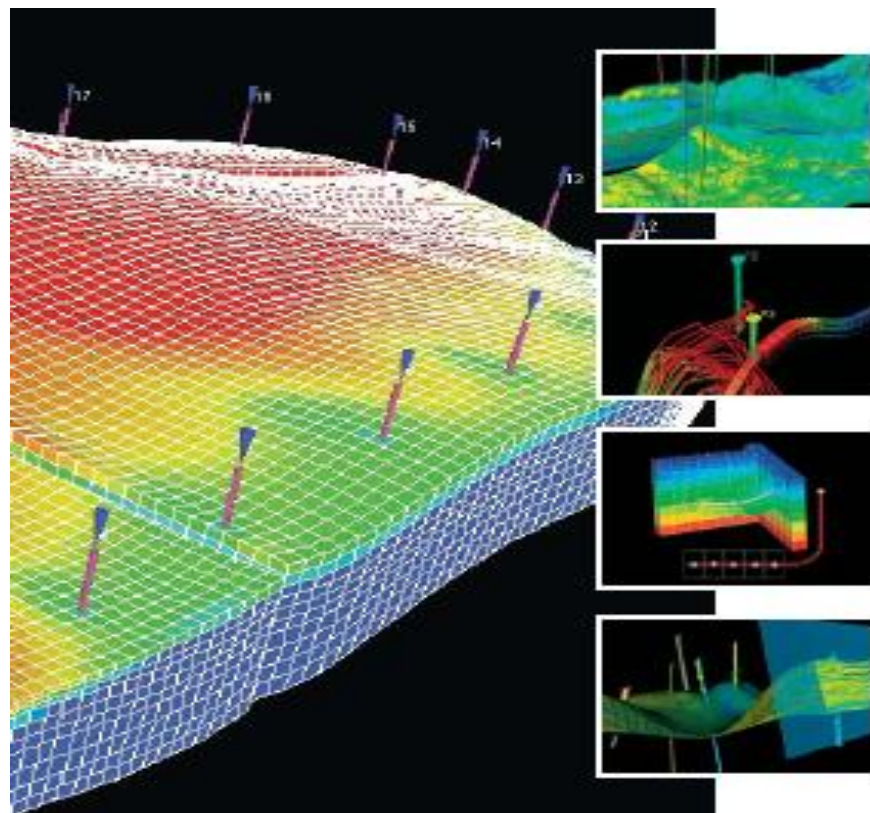
Брэкнелл (Англия) Центр разработки в
области геомеханики пласта



Ставангер (Норвегия) Центр разработки
программных решений для работы с
сейсмическими данными

Осло (Норвегия) Центр разработки
программ для геологического
моделирования

Монпелье (Франция) Центр разработки
программ петрофизического анализа



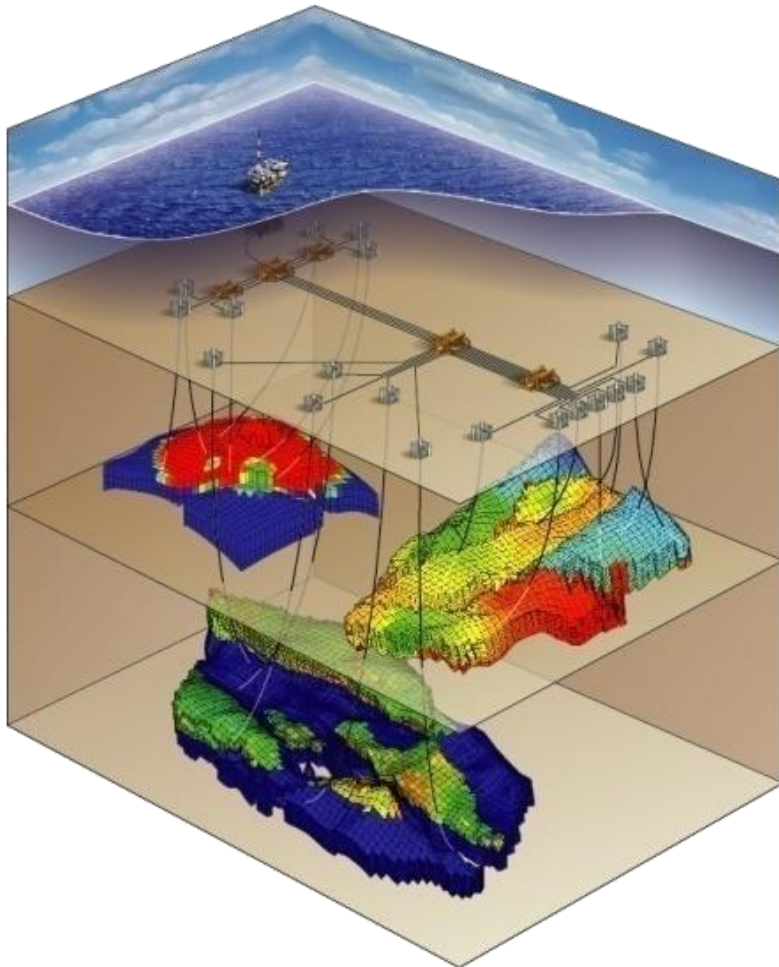
Инвестиции Schlumberger в науку и технологии

23 научно-исследовательских и технологических центра,
расположенных во многих странах
мира (Ставангер, Абингдон, Осло,
Москва)

25 % прибыли происходит
от использования
последних технологий

1,6 млн \$ инвестиций в день
на НИОКР

2.3 млрд \$ - объем производства



ОАО «ЦГЭ»

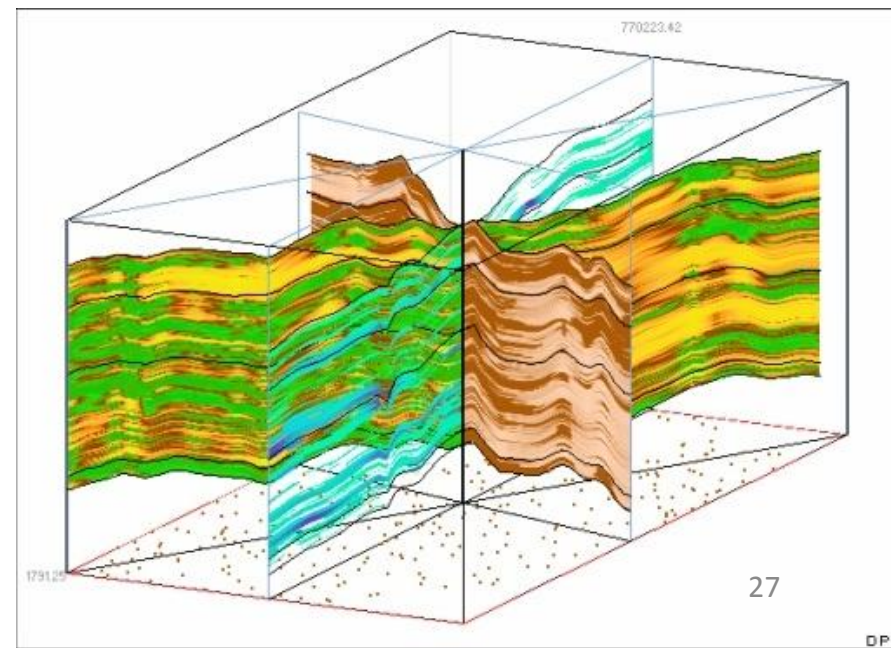
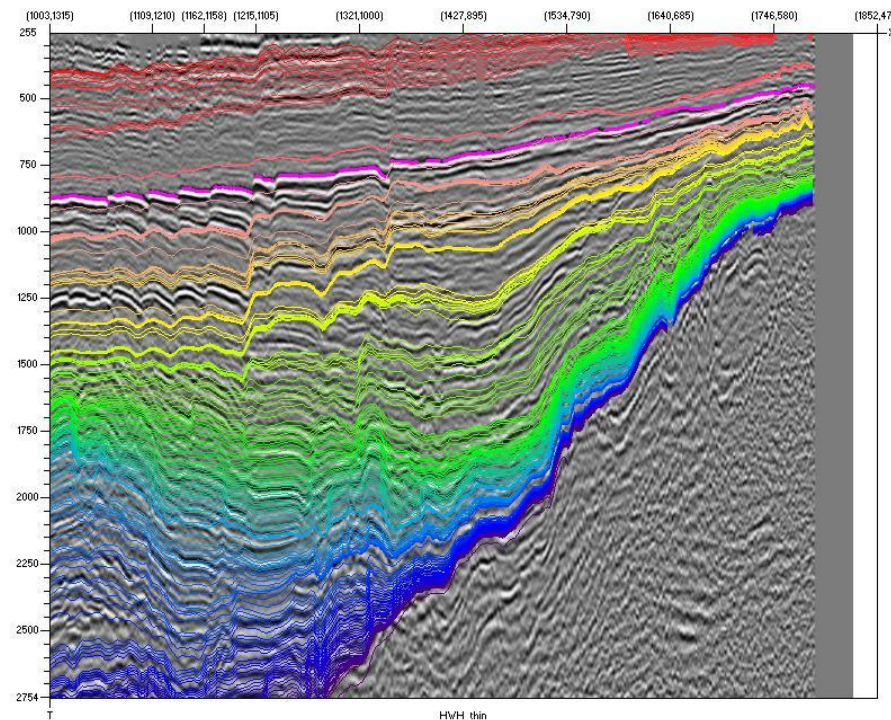
DV-Geo

DV-Discovery

DV-SeisGeo

INPRES

DV-SeisProN





*Самотлорское месторождение –
17 000 скважин, более 20 продуктивных
пластов*

*Красноленинское месторождение –
6 694 скважины, 10 продуктивных пластов*

*Месторождение Узень –
6 000 скважин, более 30 горизонтов*

*Комсомольское месторождение –
480 скважин, 81 продуктивный пласт*

*Северо-Комсомольское месторождение –
102 скважины, 41 продуктивный пласт*

**ДИНАМИЧЕСКОЕ
МОДЕЛИРОВАНИЕ
НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ
БАССЕЙНОВ**

БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Это восстановление истории геологического развития региона и всех процессов, сопровождающих стадии накопления и преобразования осадочных пород и органического вещества с последующей оценкой возможности формирования экономически перспективных залежей жидких и газообразных углеводородов.

БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Основано на динамическом моделировании основных термодинамических процессов, обуславливающих генерацию, миграцию и накопление УВ внутри бассейна с течением геологического времени (от более позднего к раннему геологическому времени).

БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Это один из современных методов изучения процессов образования нефти и газа, их миграции в осадочных бассейнах и аккумуляции (образование месторождений).

ОСНОВНЫЕ МОДЕЛИРУЕМЫЕ ПРОЦЕССЫ

1. Осадконакопление
2. Уплотнение пород
3. Изменение температуры и давления
4. Образование УВ путем термического разложения исходного ОВ и крекинга жидких УВ
5. Первичная и вторичная миграции УВ
6. Накопление (аккумуляция) УВ.

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Анализ исходных данных.
2. Построение 3D геологической модели (геометрия, фации, нефтематеринские свиты).
3. Калибровка современной температуры, палеотемпературы, катагенетической зрелости и давления.

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

4. Моделирование истории созревания органического вещества и реализации нефтегазоматеринского потенциала.
5. Моделирование основных путей миграции.
6. Анализ риска образования и сохранности залежей.
7. Ранжирование объектов по степени перспективности.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Определение зон накопления и генерации углеводородов.
2. Прогноз фазового и компонентного состава углеводородов.
3. Определение объёма природного резервуара, характеристик коллекторов, объёмов миграции УВ.
4. Оценка прогнозных ресурсов.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

5. Выбор первоочередных объектов для дальнейших исследований, выявления объектов поискового бурения.

6. Анализ преобразований пород-коллекторов.

7. Оценка геологических и производственно-технологических рисков.

БАССЕЙНОВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Региональный этап ГРР

Существуют ли очаги генерации УВ
и наличие УВ скоплений?

Поисковый этап ГРР

Определение наиболее перспективных зон
поиска УВ.

Разведочный этап ГРР

Прогнозирование состава УВ, физических
характеристик, температуры, давления,
определение зон АВПД.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Petro Mod (*Schlumberger*)

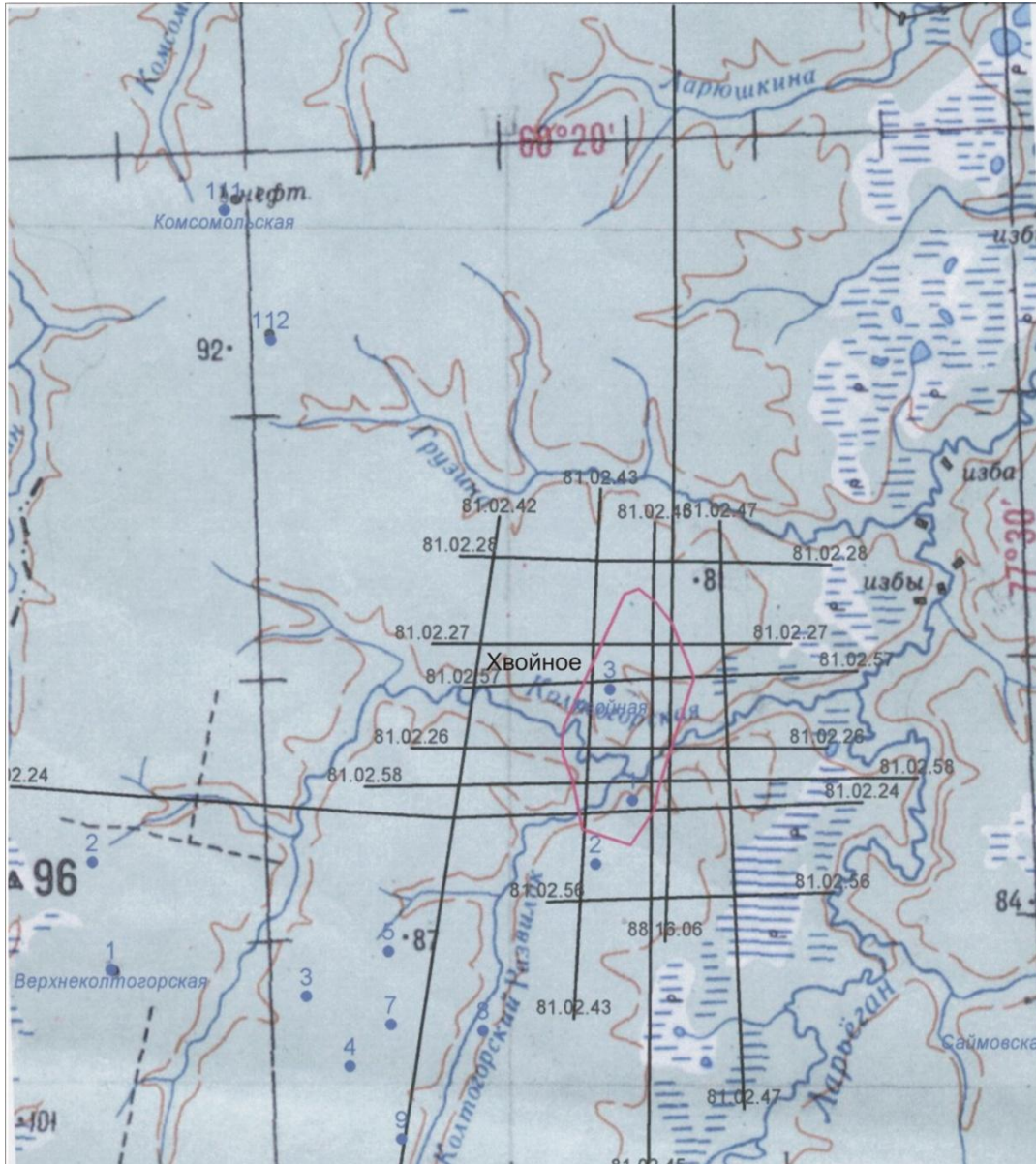
Basin Mode (*Geo Oil Energy*)

**Temis Pack (*Institut Francais
Du Petrole*)**

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

1. Сейсмические данные;
2. Координаты устьев скважин, альтитуды, инклинометрия;
3. Стратиграфические разбивки;
4. Кривые ГИС, результаты интерпретации ГИС;
5. Литологические и петрофизические параметры коллекторов (количественные и качественные исследования керна, уравнения петрофизических зависимостей);
6. Отбивки флюидных контактов (ВНК, ГВК, ГНК);
7. Общие и геологические данные.

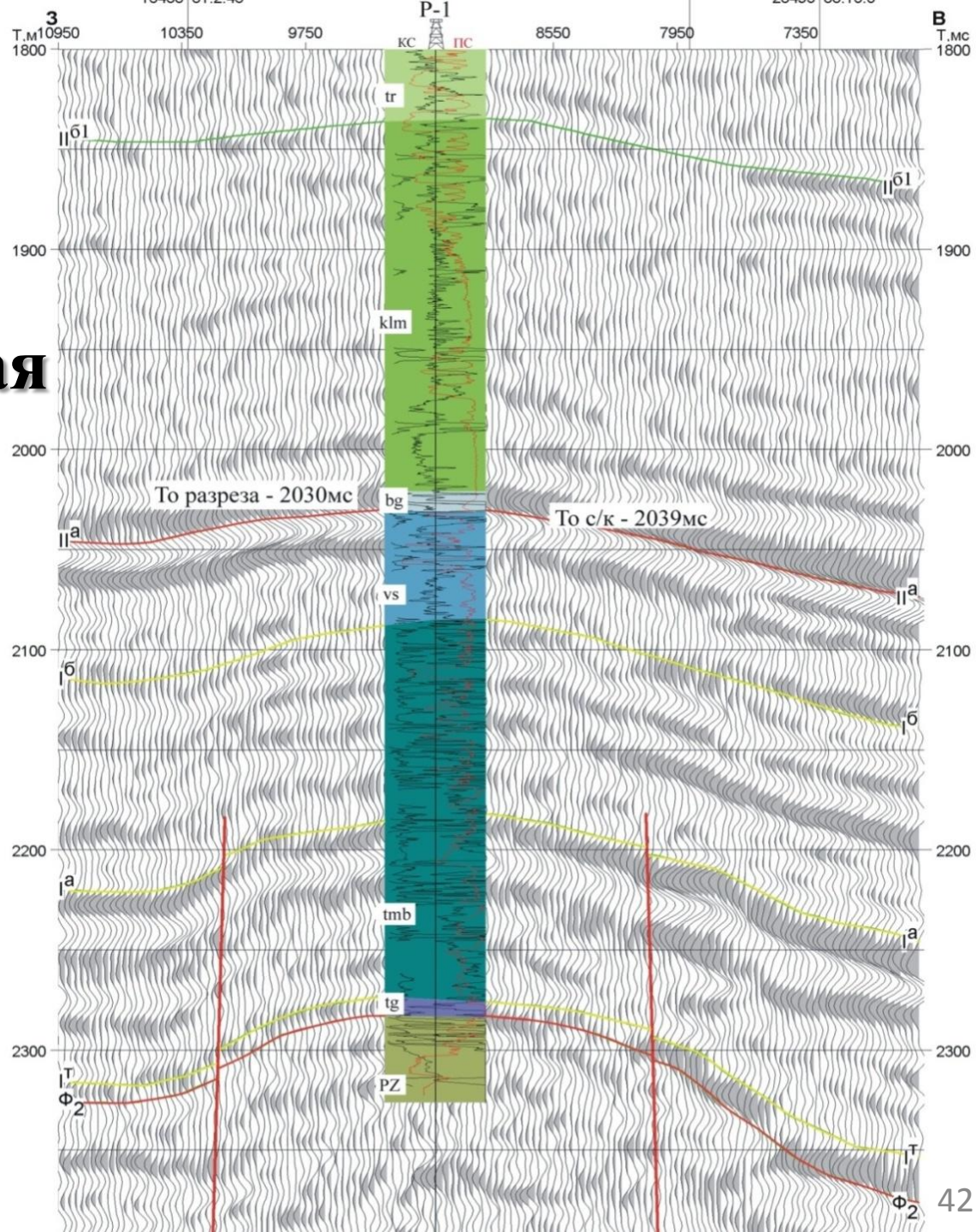
Обзорная карта района работ с топосновой



Профили МОГТ

81.02.27

Стратиграфическая привязка отраженных волн



Результаты сейсморазведки при создании 3Д моделей используются :

1. Для уточнения геометрии структуры продуктивной толщи и вмещающих пород:

- картирование поверхностей коллекторов;
- корреляция пластов в межскважинном пространстве;
- выявление и трассирование разломов;
- уточнение пространственного положения контуров залежей.

2. Для уточнения литолого-петрографической модели месторождения:

- выявление особенностей внутреннего строения продуктивной толщи (зон выклинивания, литологического замещения и др.);
- прогноз петрофизических параметров (эффективной толщины пластов, пористости, насыщенности и т.д.).

Данные по скважинам

Номер скважины	Координаты устья, м		Альтитуда ротора, м	Глубина скважины, м
	<i>X</i>	<i>Y</i>		
1	1911,2	863,0	116,4	2613,0
2	1577,6	794,2	98,5	2383,7
3	1752,3	713,4	103,8	2421,4

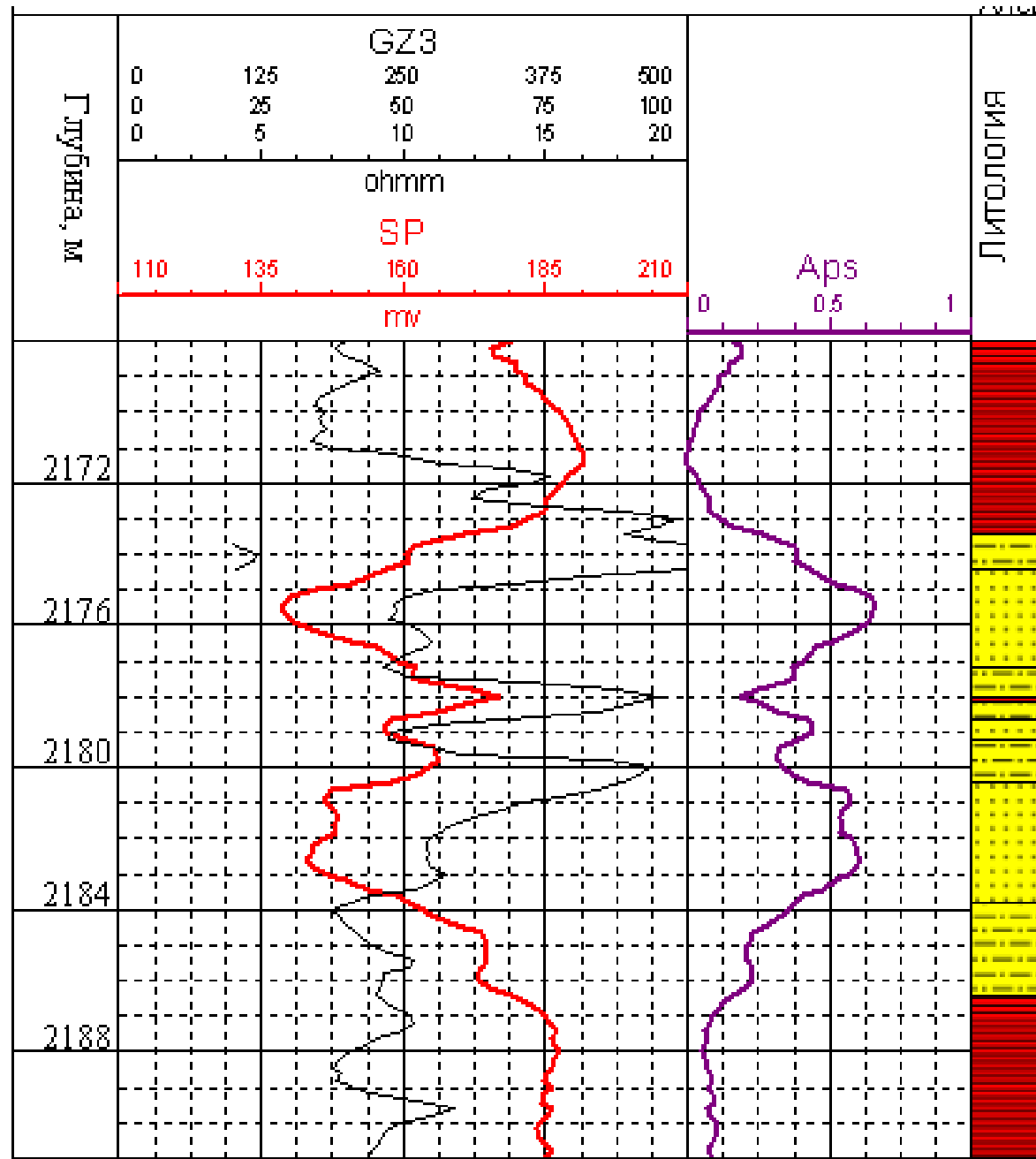
Замеры искривлений скважин

Глубина	Зенитный угол	Азимут	Смещение	Удлинение	Абс. глубина
10	0.55	258.4	0.00	0.00	66.00
20	0.34	258.4	0.08	0.00	56.00
30	0.37	258.4	0.14	0.00	46.00
40	0.45	258.4	0.21	0.00	36.00
50	0.37	258.4	0.28	0.00	26.00
60	0.30	258.4	0.34	0.00	16.00
70	0.18	258.4	0.38	0.00	6.00
80	0.24	258.4	0.42	0.00	-4.00
90	0.25	258.4	0.46	0.00	-14.00
100	0.19	258.4	0.50	0.00	-24.00
110	0.11	258.4	0.53	0.00	-34.00
120	0.03	258.4	0.54	0.00	-44.00

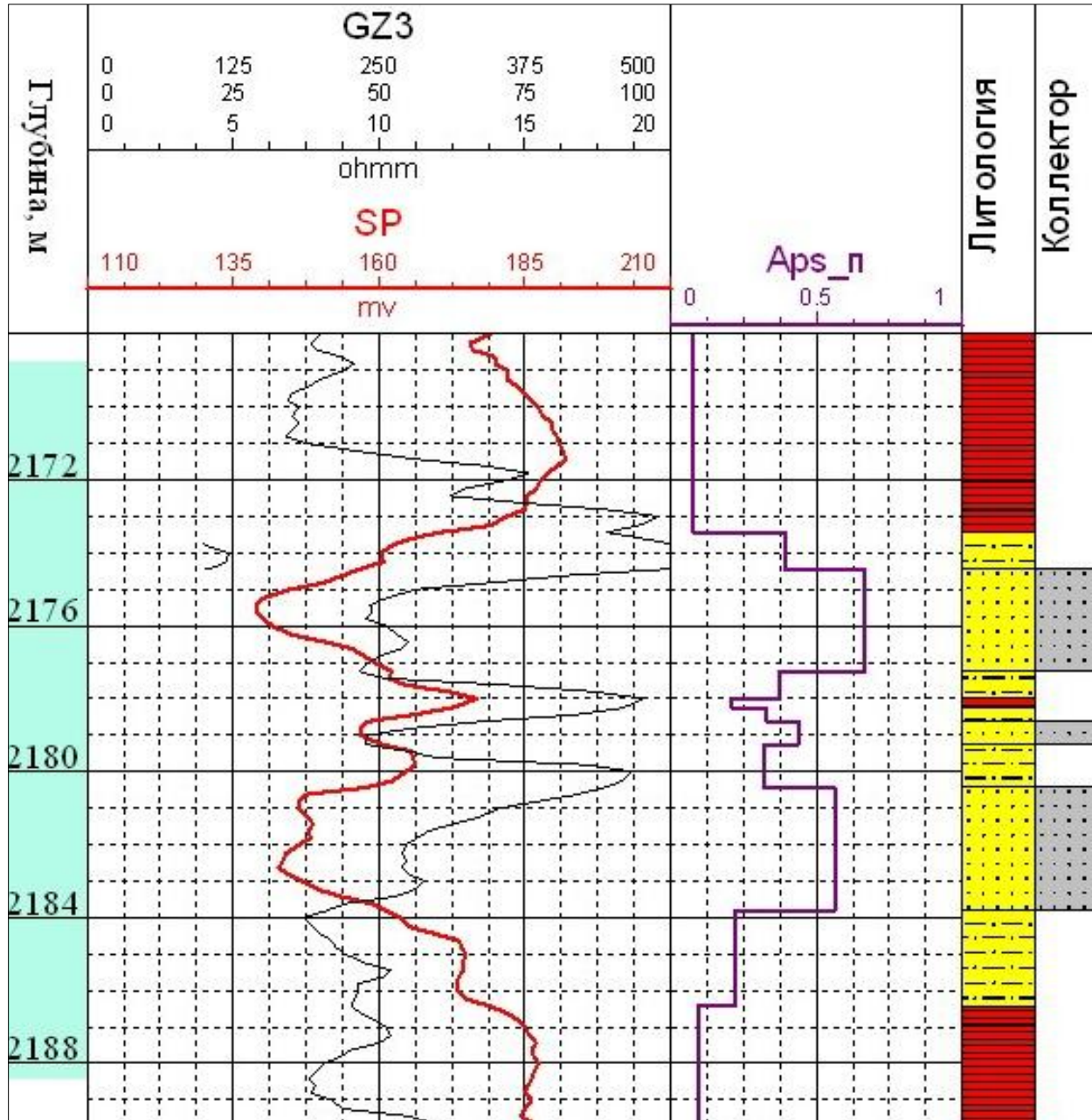
Стратиграфические разбивки

Скважина	Горизонт	X	Y	Z
1	Кровля Ю ₁ ¹	89438.12	65216.63	-2548.49
1	Подошва Ю ₁ ¹	91049.45	72282.89	-2556.88
1	Кровля Ю ₁ ²	95297.14	72315.65	-2561.01
1	Подошва Ю ₁ ²	95488.57	72003.86	-2576.61

Поточечная (непрерывная) интерпретации ГИС



Поинтервальная (попластовая) интерпретации ГИС



LAS-формат

**The Canadian Well Logging
Society's Floppy Disk Committee**

ASCII код

***American Standard Code for
Information Interchange -***

**американский стандартный код для
обмена информацией**

ASCII представляет собой кодировку для представления десятичных цифр, латинского и национального алфавитов, знаков препинания и управляющих символов.

Структура LAS-файла

6 разделов:

- ~V, ~W, ~C, ~P, ~O, ~A**
- ~Version information**
- ~Well information**
- ~Curve information**
- ~Parameter information block**
- ~Other information**
- ~ASCII Log Data**

Пример файла формата LAS

~Version information

VERS. 1.20: CWLS LAS - VERSION 1.20

WRAP. NO: One line per depth step

~Well information

MNEM.UNIT

=====;=====

STRT.M 2498.000: First depth in file

STOP.M 2491.400: Last depth in file

STEP.M -.200: Depth increment

NULL.M -9999.00: Null values

COMP. COMPANY: Tomskneft

WELL. WELL: 17P

FLD . FIELD: Severnaya

LOC . LOCATION:

CNTY. COUNTY:

STAT. STATE:

CTRY. COUNTRY: RUSSIA

Литологические и петрофизические параметры коллекторов

1. Количественные (определения ФЕС) и качественные (описания) исследования керна;

2. Уравнения петрофизических зависимостей

- типа «керна-керна»

$$K_p = f(K_{vo}), K_{pr} = f(K_p), K_{pr} = f(K_{vo}),$$

- типа «керна-ГИС»

$$K_p = f(\alpha_{пс}), R_n = f(K_v);$$

3. Средние и граничные значения коллекторских свойств

Оценка ФЕС коллекторов по ГИС

- **Модель коллектора** (литологические исследования керна)
- **Выделение коллекторов** (по ГИС - прямые качественные признаки и косвенные количественные признаки)
- **Определения коэффициента пористости** (связи типа «керна-керна» или «керна-ГИС»)
- **Определение коэффициента проницаемости** (связи типа «керна-керна», «ГДИ-ГИС»)
- **Определение коэффициента нефтегазонасыщенности** (по данным ГИС, по связям «керна-ГИС»).

Отбивки флюидных контактов

А.о. ВНК, ГВК, ГНК – используются для построения карт флюидных контактов и геометризации залежей.

Интервалы перфорации, результаты испытаний и работы скважин, гидродинамического каротажа используются для обоснования и корректировки положения флюидных контактов.

Общие и геологические данные

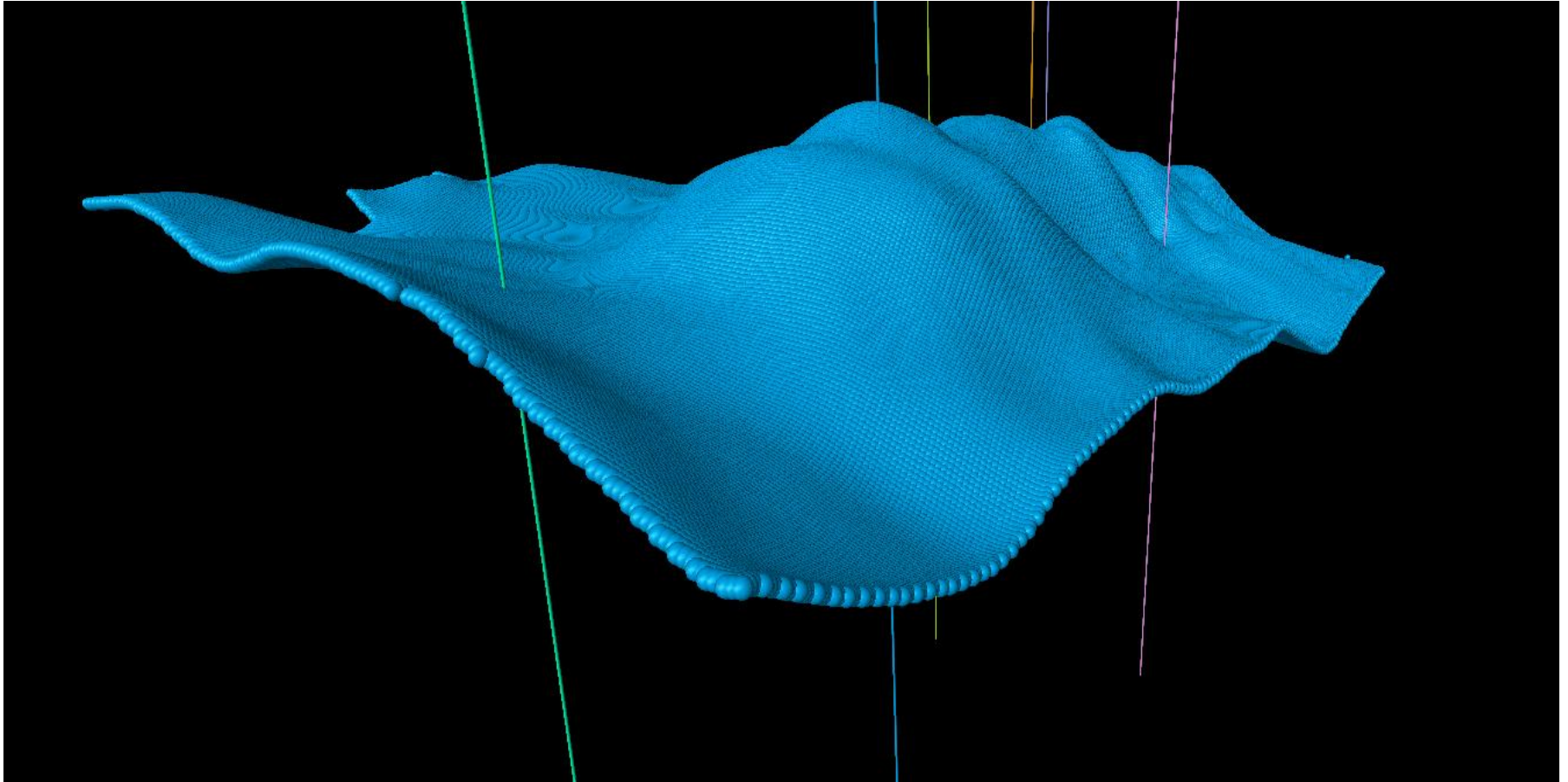
- результаты ранее проведенных исследований (текст отчета, геологические карты, сводная таблица подсчетных параметров и запасов УВ);
- топоснова, полигоны лицензионных участков, нарушений, зон замещения и выклинивания, водоохранных зон, категорий запасов.

Раздел 2. Методологические основы компьютерного моделирования

ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ 3D ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

1. Сбор, анализ и подготовка необходимой информации, загрузка данных.
2. Построение структурного каркаса.
3. Создание 3D сетки.
4. Осреднение скважинных данных на сетку.
5. Фациальное (литологическое) моделирование.
6. Параметрическое моделирование.
7. Подсчет запасов углеводородов.
8. Подготовка данных для фильтрационного моделирования

I. Сбор, анализ и подготовка исходной информации, загрузка данных



II. ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНО-СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО КАРКАСА

- 1) Корреляция разрезов скважин,
- 2) Прослеживание опорных сейсмических горизонтов,
- 3) Создание модели тектонических нарушений,
- 4) Выявление закономерностей пространственного распространения пластов-коллекторов

ДЕТАЛЬНАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ

- 1) Выделение в разрезах скважин региональных и локальных реперов и рабочей части разреза.
- 2) Выделение общих закономерностей строения продуктивной толщи.
- 3) Выявление эталонной скважины с наиболее полным разрезом и индексація пластов.
- 4) Проведение парной корреляции.
- 5) Выделение разных типов разрезов.
- 6) Оформление корреляционных схем.

Результаты корреляции – отбивки стратиграфических границ продуктивного горизонта, кровли и подошвы пластов-коллекторов.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОРРЕЛЯЦИЯ

- 1) Возможность работы с сотнями и тысячами скважин;
- 2) Прослеживание до сотни отметок;
- 3) Повышение производительности труда;
- 4) Проверка качества полученных результатов, обнаружение ошибок и повышение надёжности процедуры корреляции;
- 5) Быстрая проверка различных гипотез и подбор вариантов, дающих наиболее правдоподобную геологическую картину.

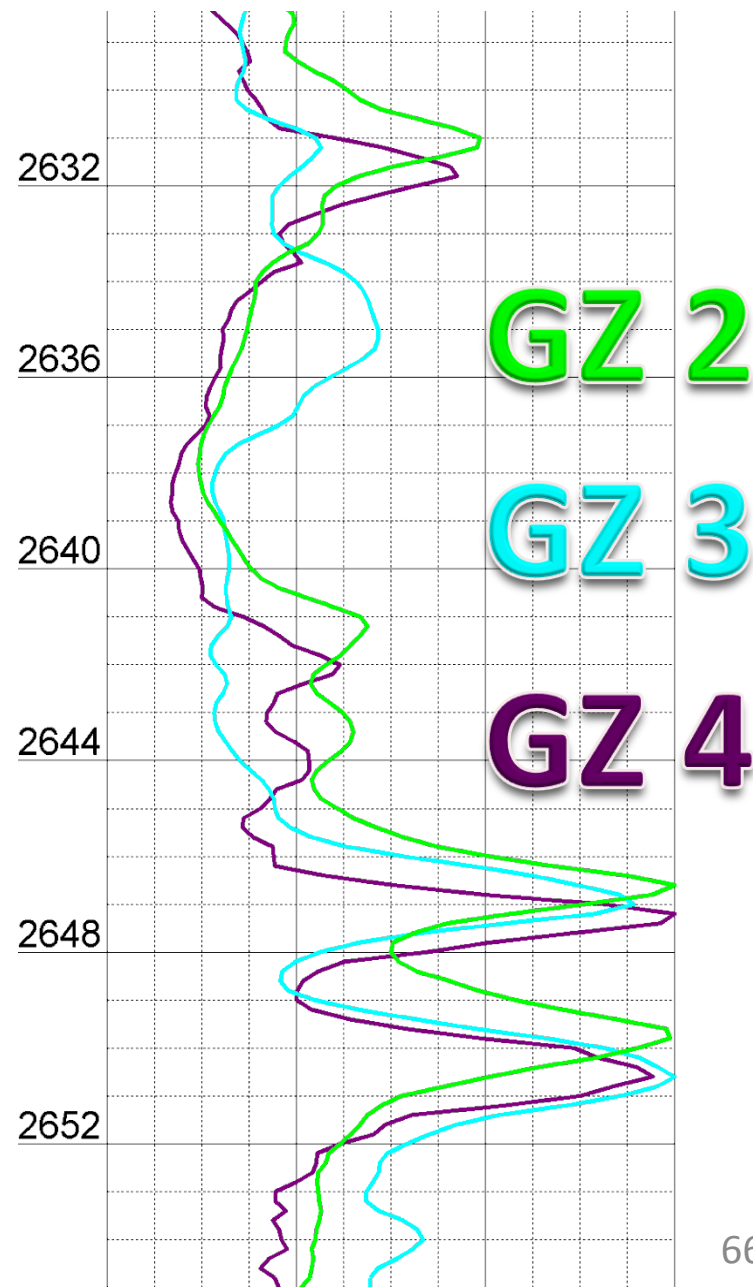
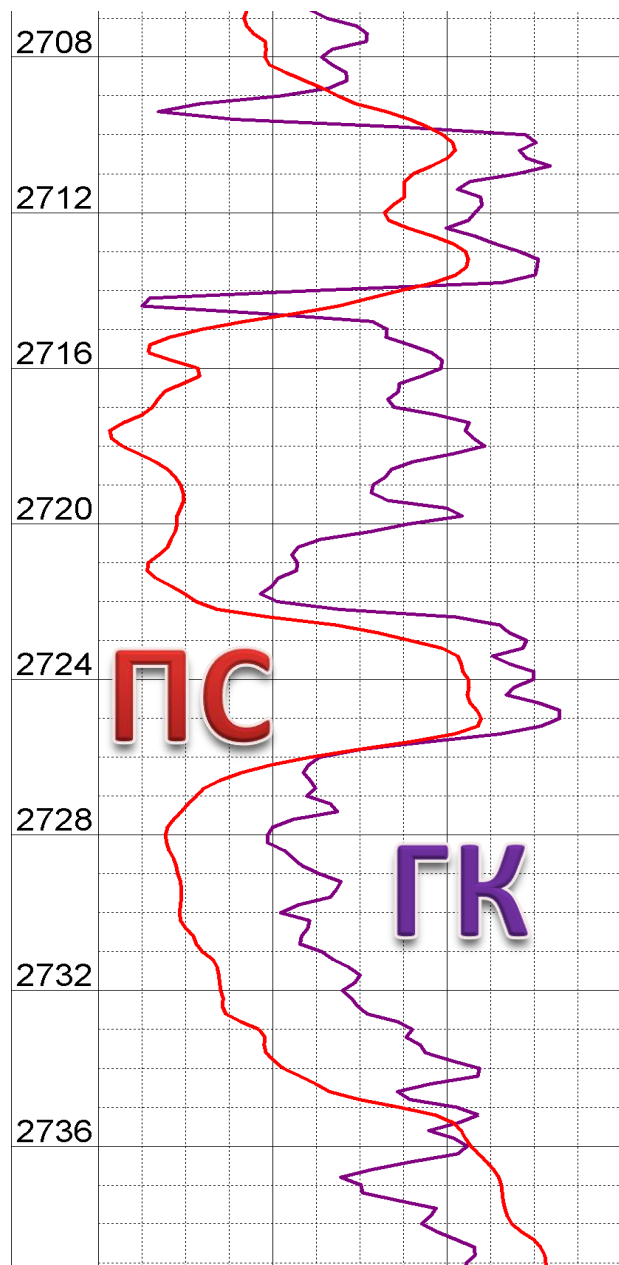
Автоматическая корреляция осуществляется в два этапа:

- 1) Осуществление парных корреляций всех соседних скважин и подсчет ошибки по всем треугольникам триангуляционной сети.
- 2) Согласование всех парных корреляций и построение схем корреляций.

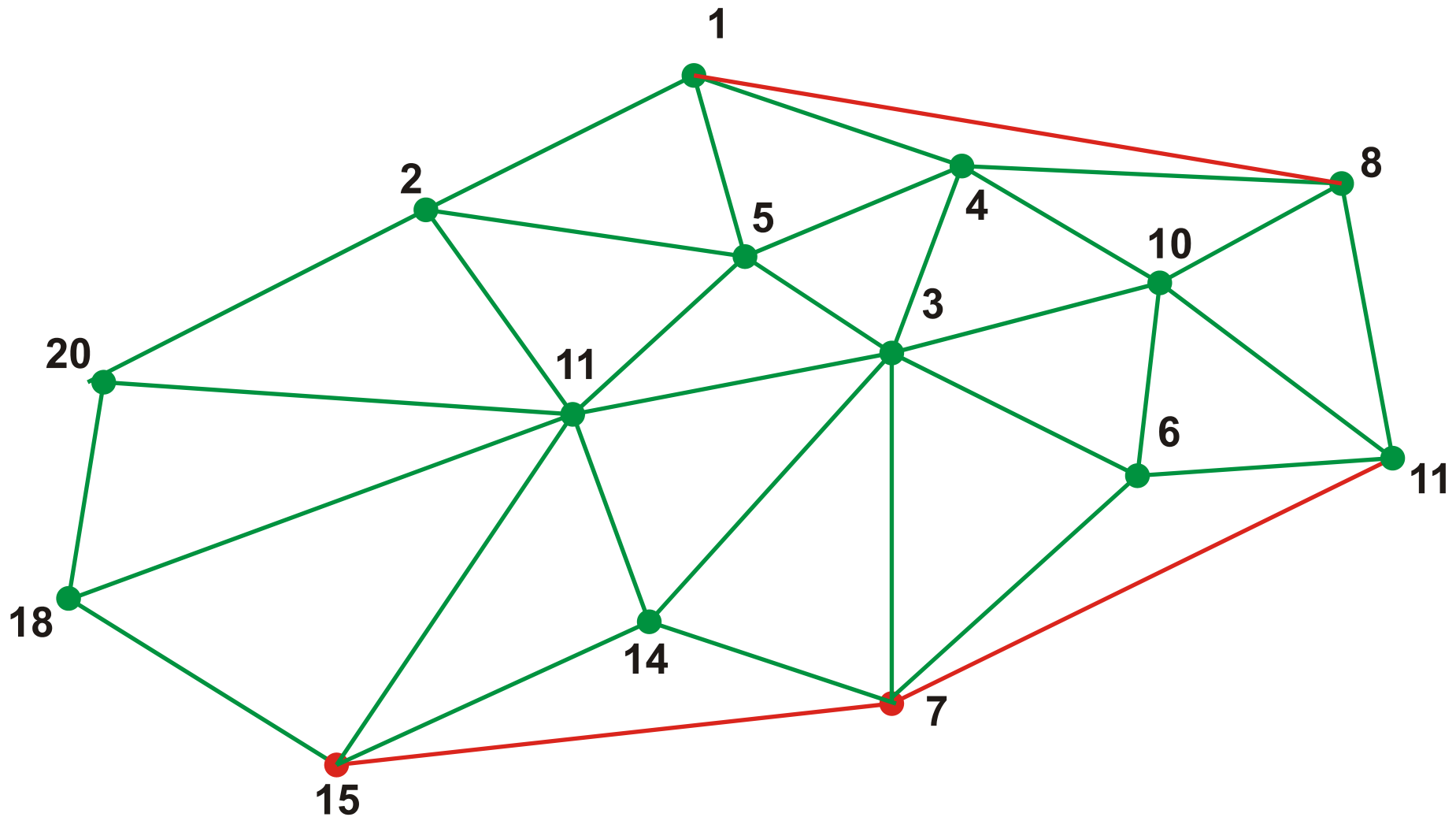
Ход работы:

- 1) Выбор каротажных кривых ГИС для автоматической корреляции.
- 2) Создание триангуляционной сети скважин.
- 3) Настройка параметров корреляции.
- 4) Проверка согласованности парных корреляций.
- 5) Интерактивный контроль автоматической корреляции.
- 6) Построение детальной схемы корреляции.

1) Выбор кривых ГИС



2) Триангуляционная сеть



3) Настройка параметров корреляции

Определение схожести участков:

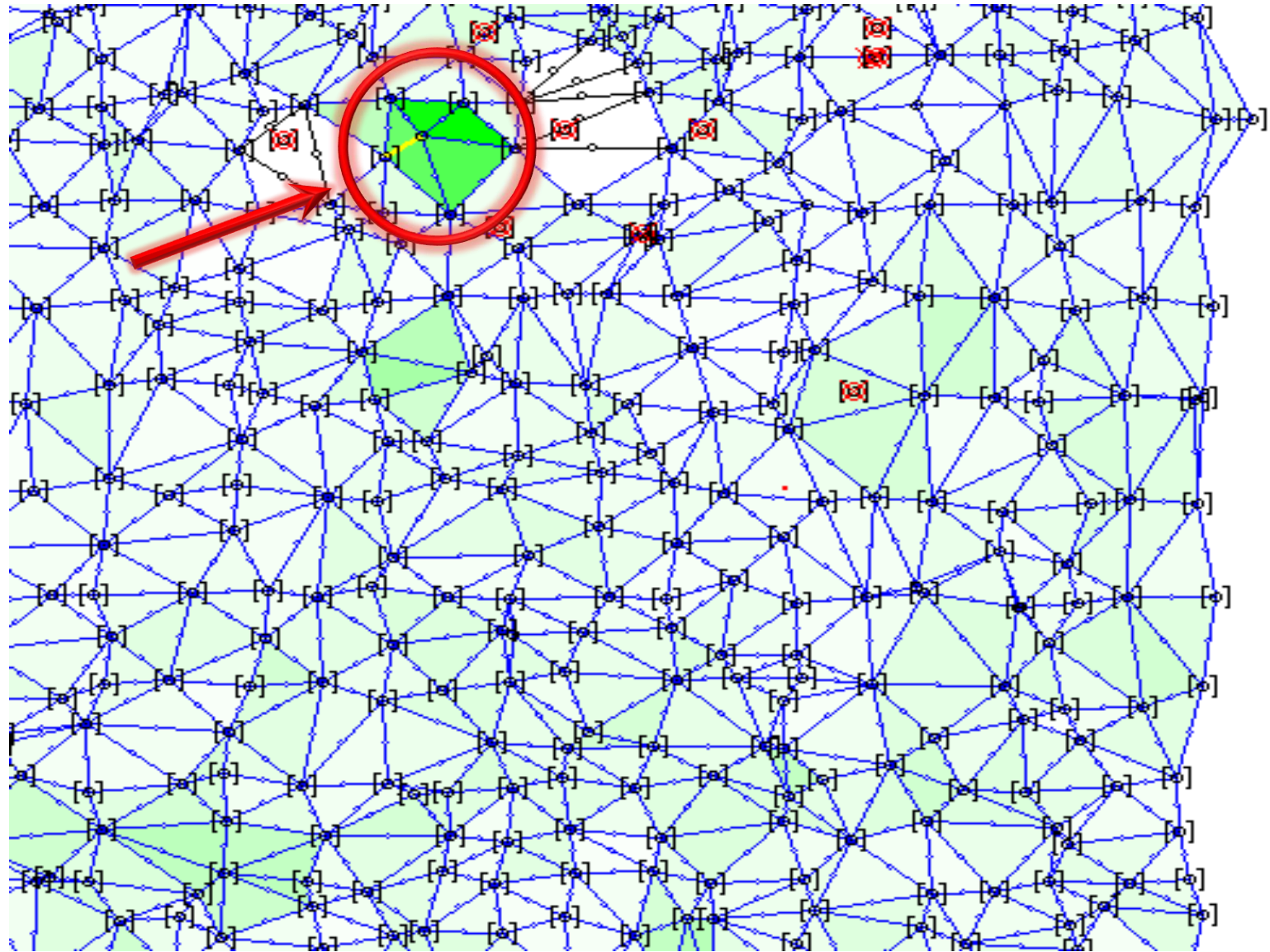
1. Должны сравниваться каротажные кривые соответствующие разным степеням детализации.
2. Если две или более кривых имеют высокую похожесть на некотором участке каротажа, то участок в целом должен быть признан похожим, даже если по другим кривым схожести не наблюдается.

Изменчивость кривых ГИС

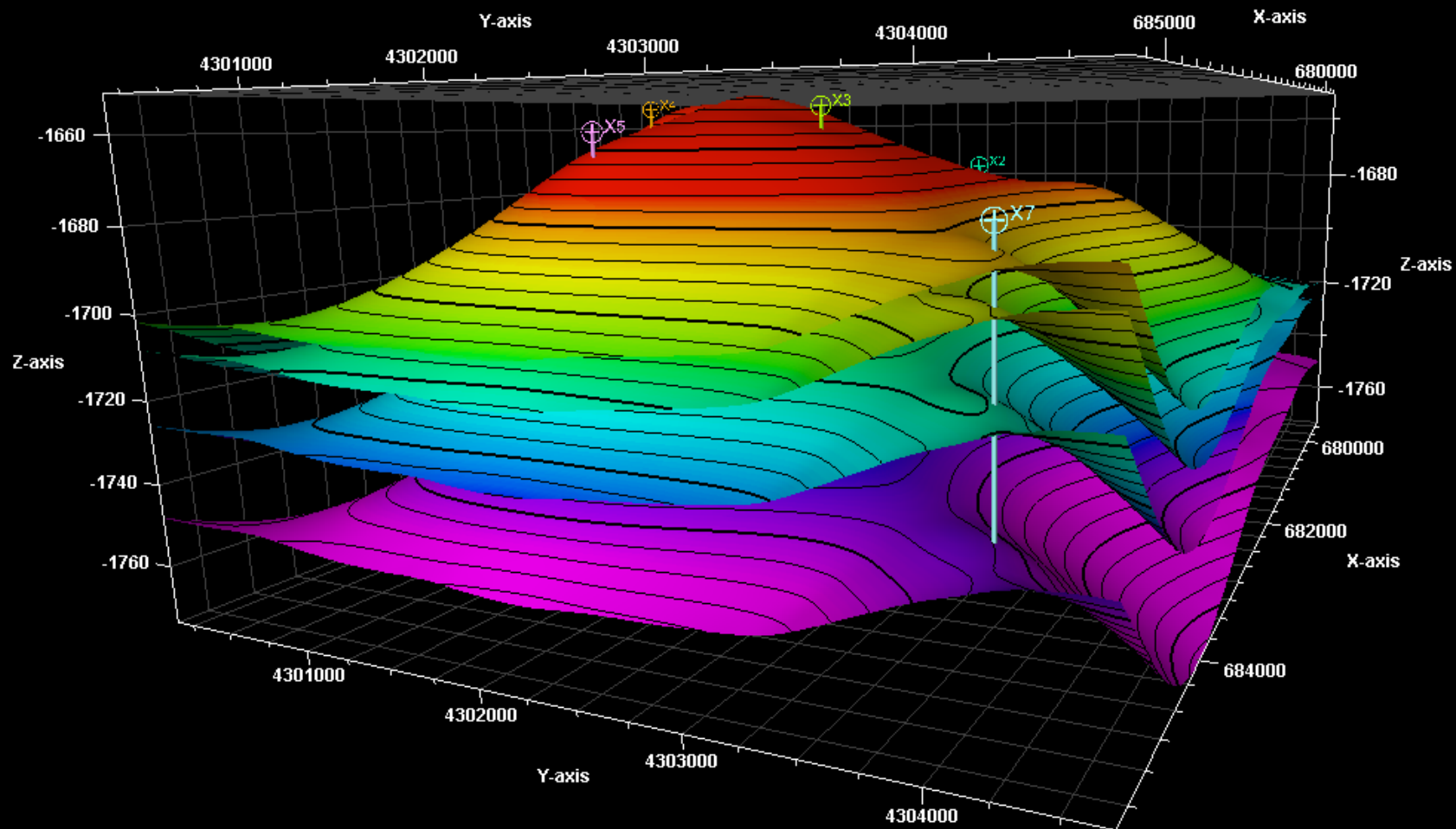
Факторы изменчивости:

- 1) Фациальные замещения
- 2) Выклинивания
- 3) Изменения толщины
- 4) Локальное отсутствие каротажа

4) Проверка согласованности парных корреляций



ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ



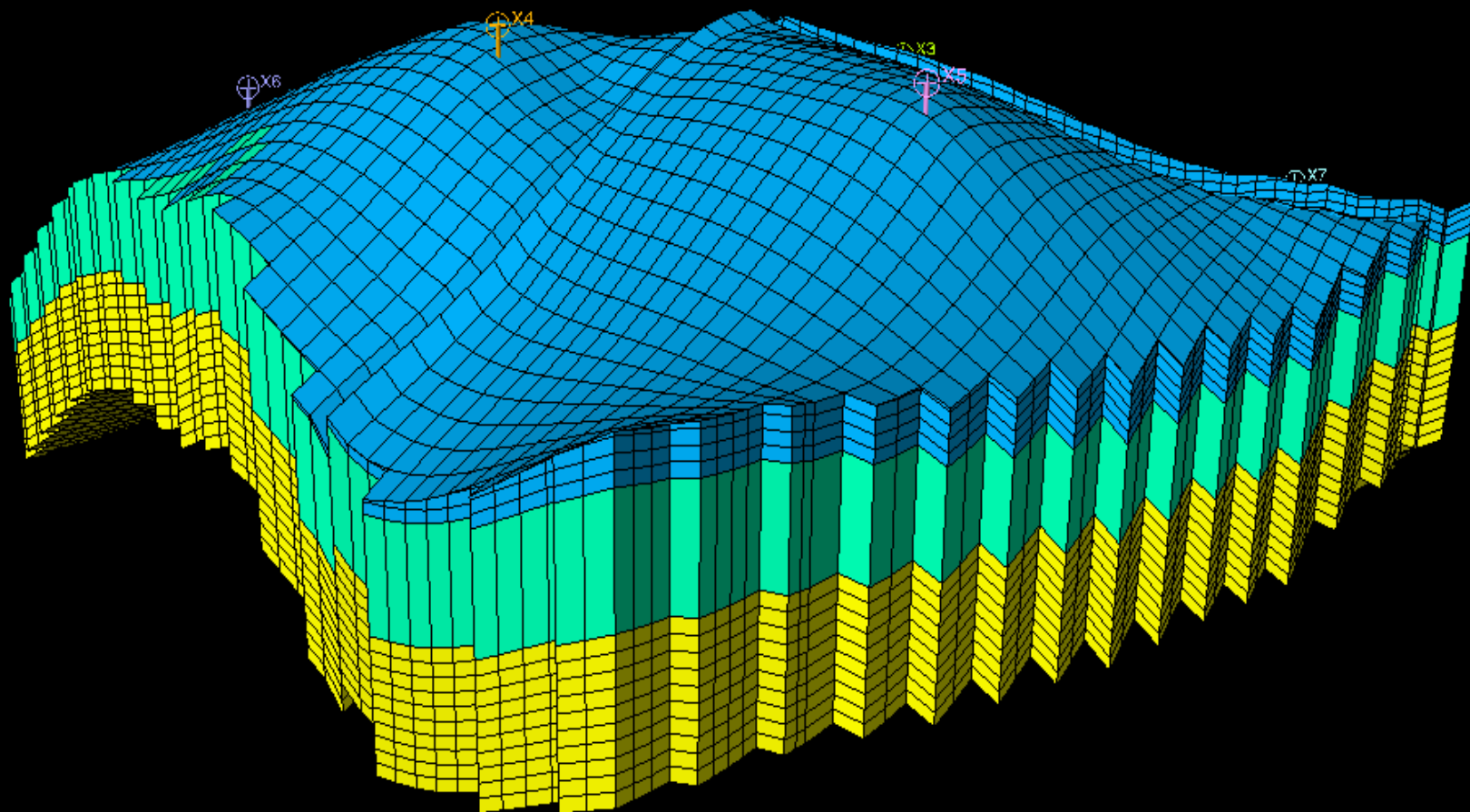
Структурные построения проводятся в 2 этапа:

- 1) Построение структурного каркаса по стратиграфическим поверхностям;
- 2) Построение поверхностей по кровле и подошве коллектора на базе стратиграфических поверхностей.

МАССИВ СКВАЖИННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНОГО КАРКАСА И РАСЧЕТА ОБЪЕМОВ УВ

- А. о. стратиграфической кровли и подошвы;
- А. о. кровли и подошвы коллектора;
- $H_{\text{общ}}$ и $H_{\text{эф}}$ пласта-коллектора (изохоры);
- Индекс отсутствия коллектора (Z – замещение, B – выклинивание);
- Коэффициент песчанистости;
- Толщина глинистой покрышки по вертикали;
- Толщина глинистой перемычки по вертикали;
- А. о. флюидных контактов

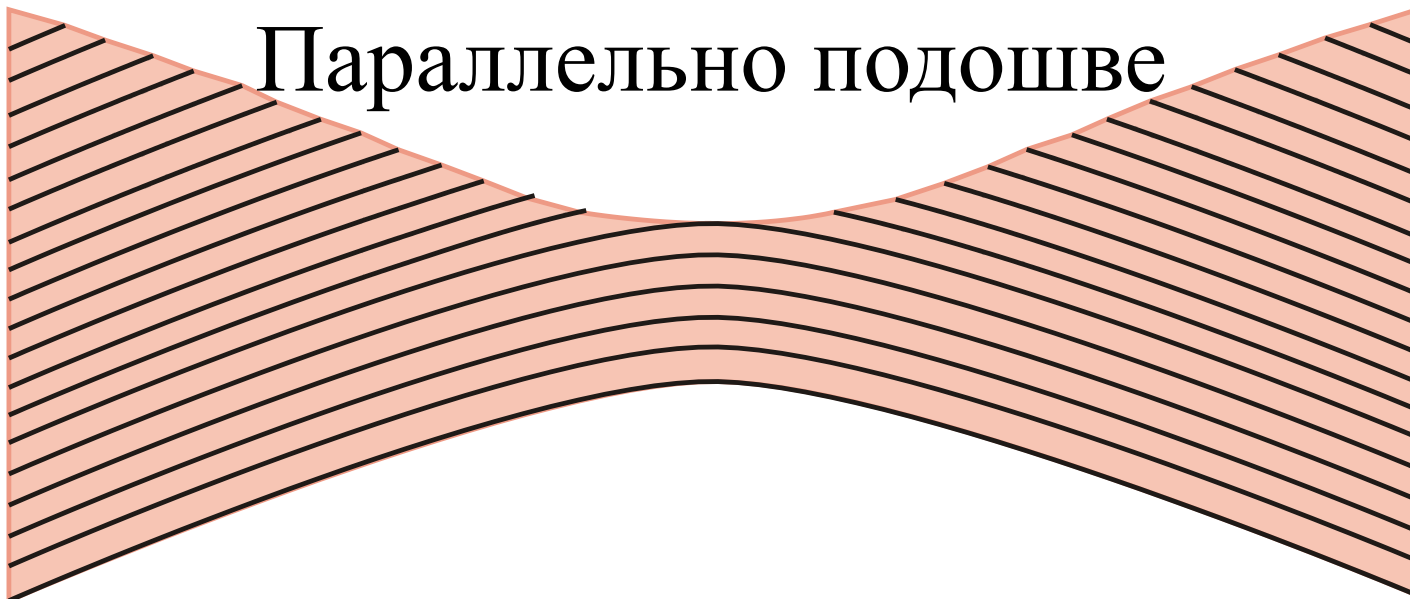
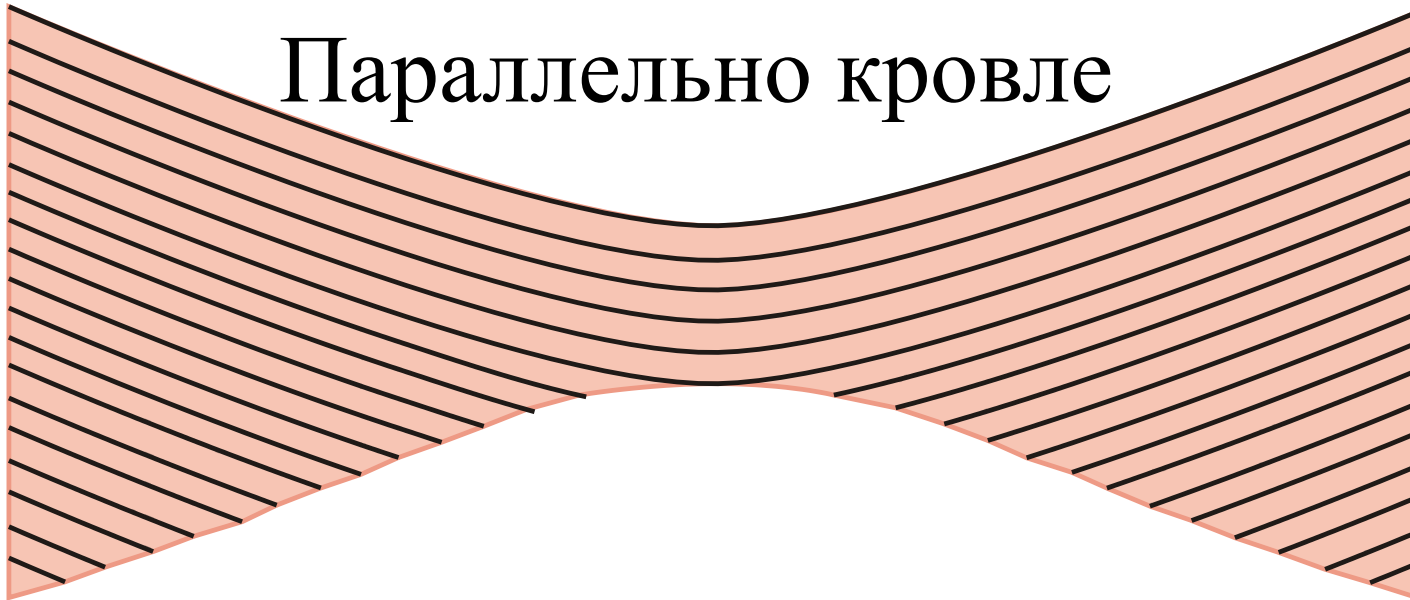
III. СОЗДАНИЕ 3D СЕТКИ



Модели осадконакопления

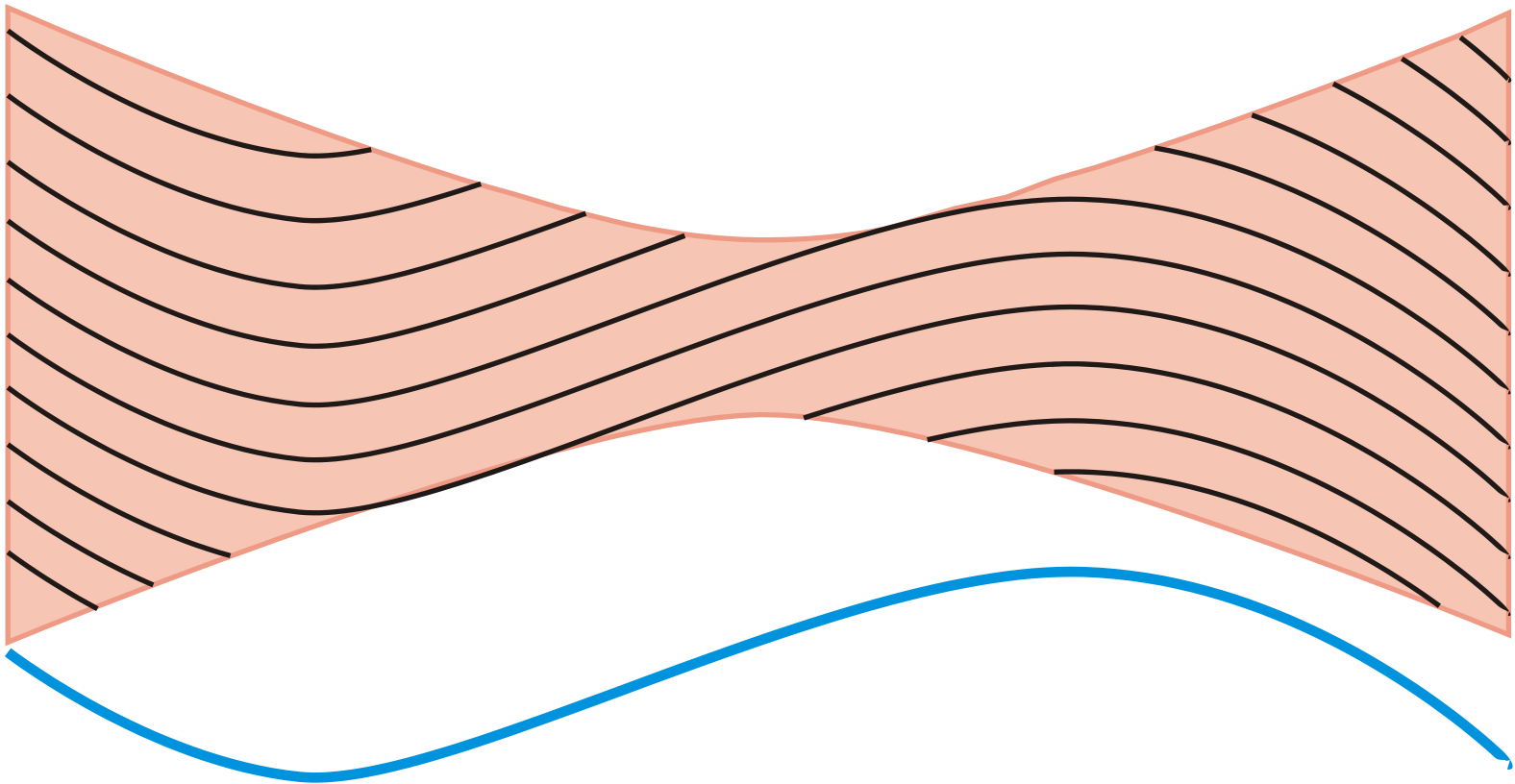
1. **Согласное залегание относительно кровли пласта (перерыв в осадконакоплении снизу);**
2. **Согласное залегание относительно подошвы пласта (перерыв в осадконакоплении сверху);**
3. **Согласное залегание относительно кровли и подошвы пласта (перерывы отсутствуют).**

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ РАЗБИЕНИЕ

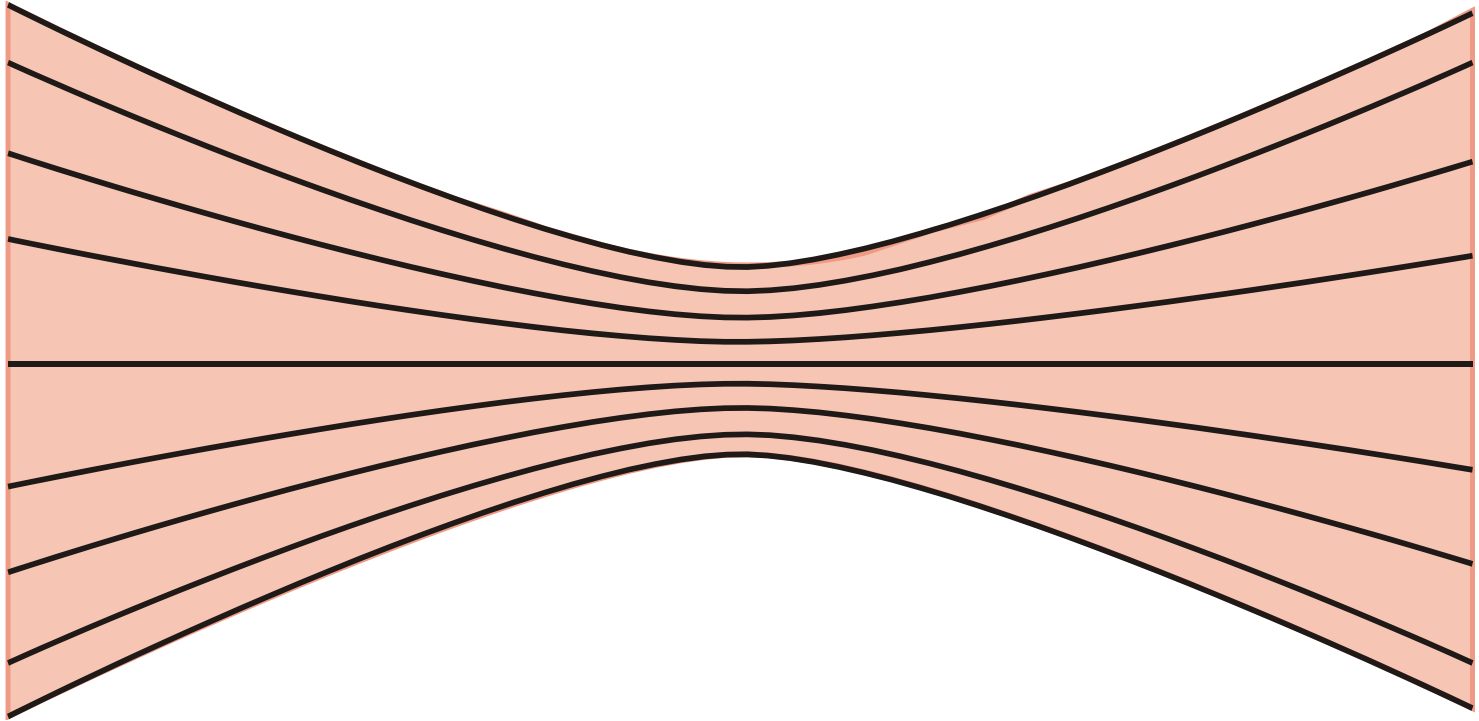


ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ РАЗБИЕНИЕ

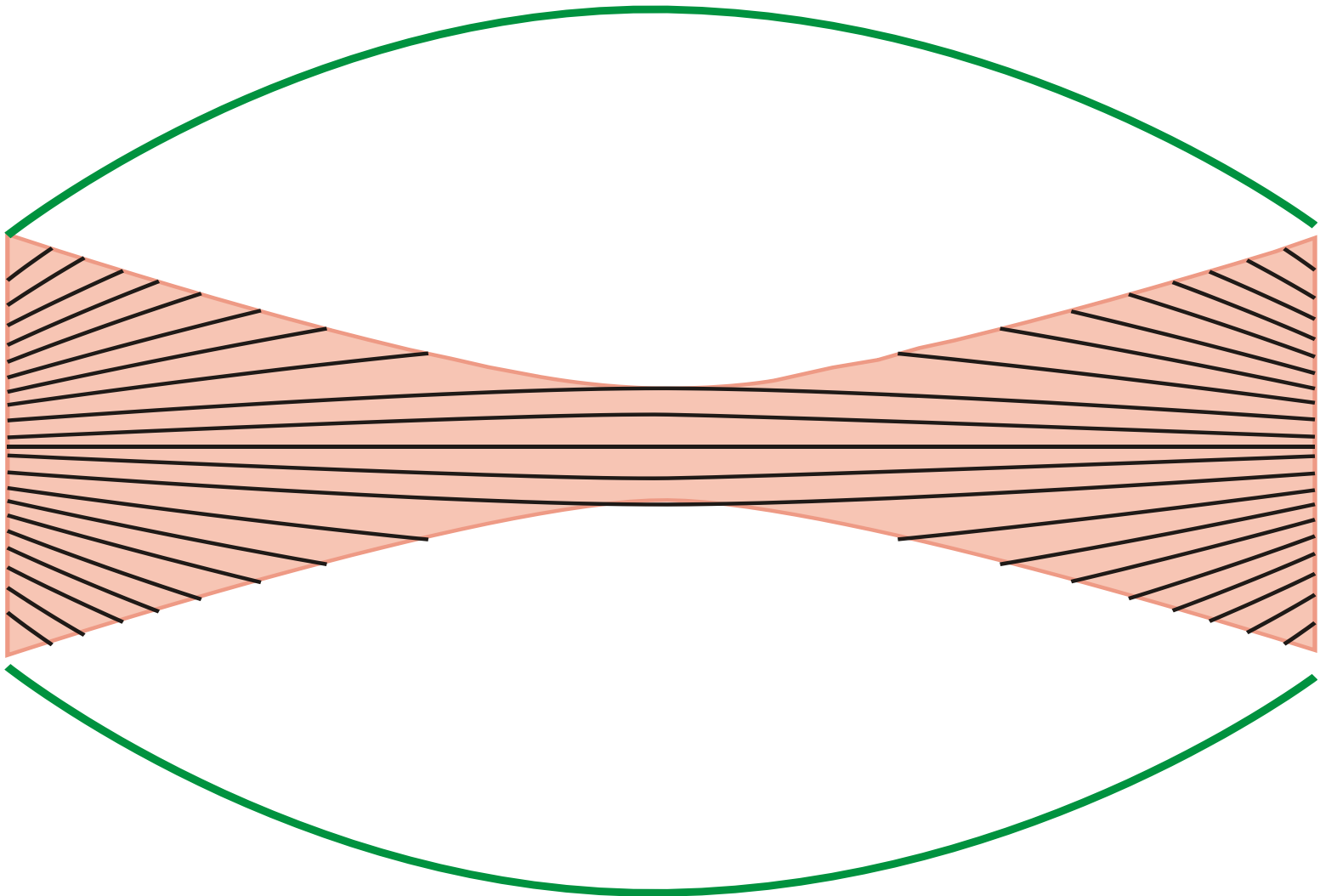
Параллельно стратиграфии



ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЕ РАЗБИЕНИЕ



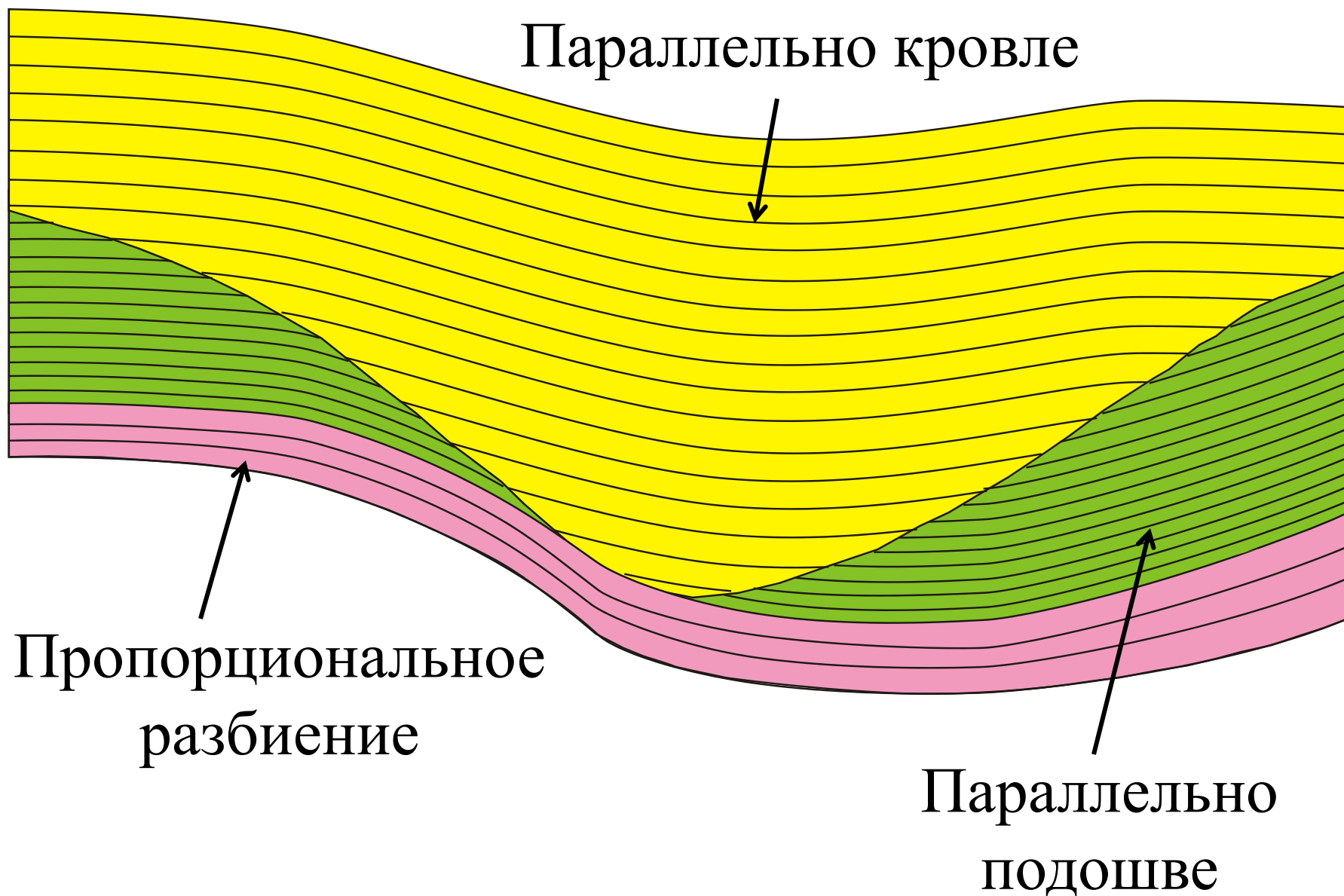
Пропорциональное разбиение между двумя независимыми поверхностями



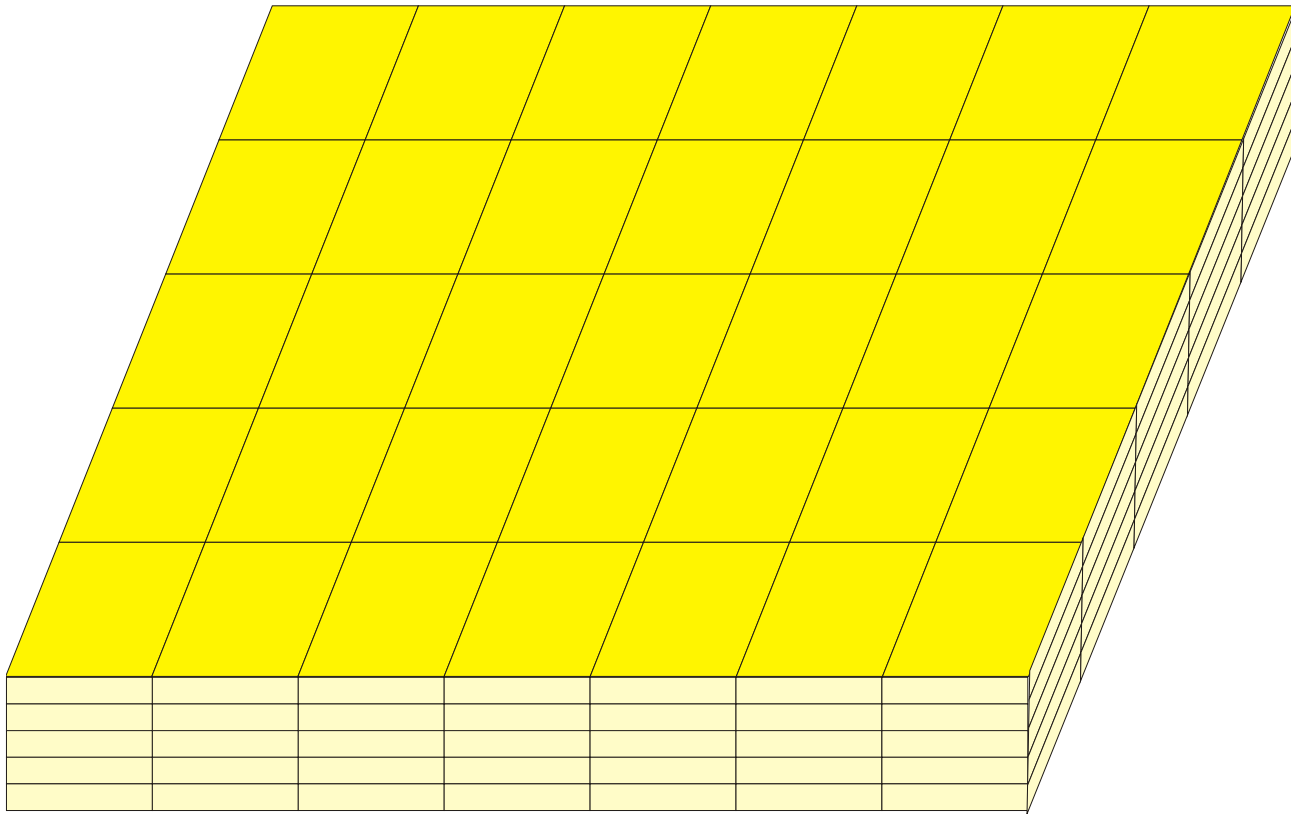
Размер ячейки по вертикали определяется:

- геологической неоднородностью разреза и минимальными мощностями, которые необходимо сохранить в детальном геологическом гриде;
- шагом дискретизации скважинных данных;
- общей толщиной разбиваемого интервала;
- техническими ограничениями компьютера.

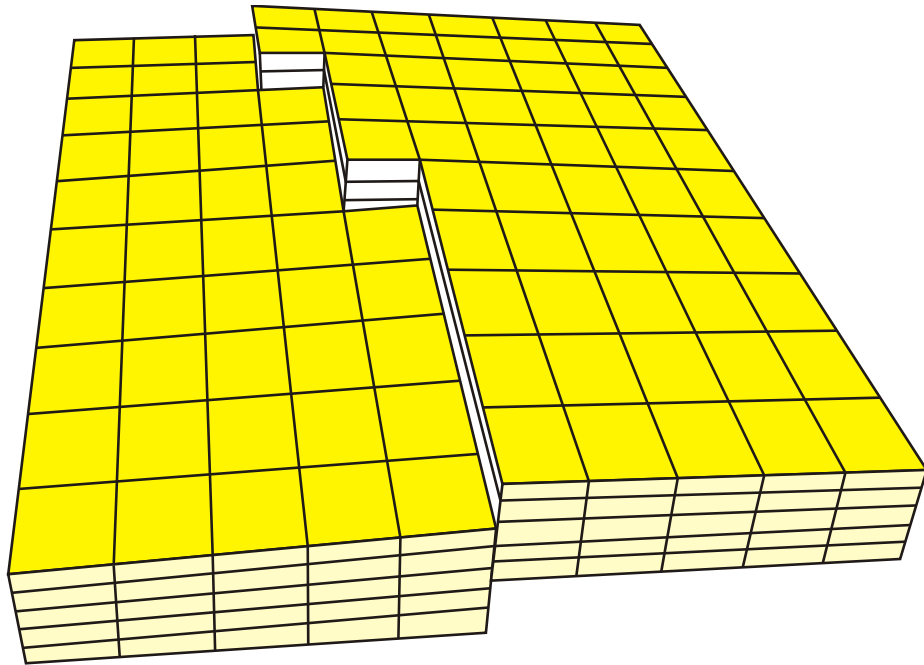
Сетка с эрозионным врезом



СТРУКТУРИРОВАННЫЕ ТРЕХМЕРНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СЕТКИ

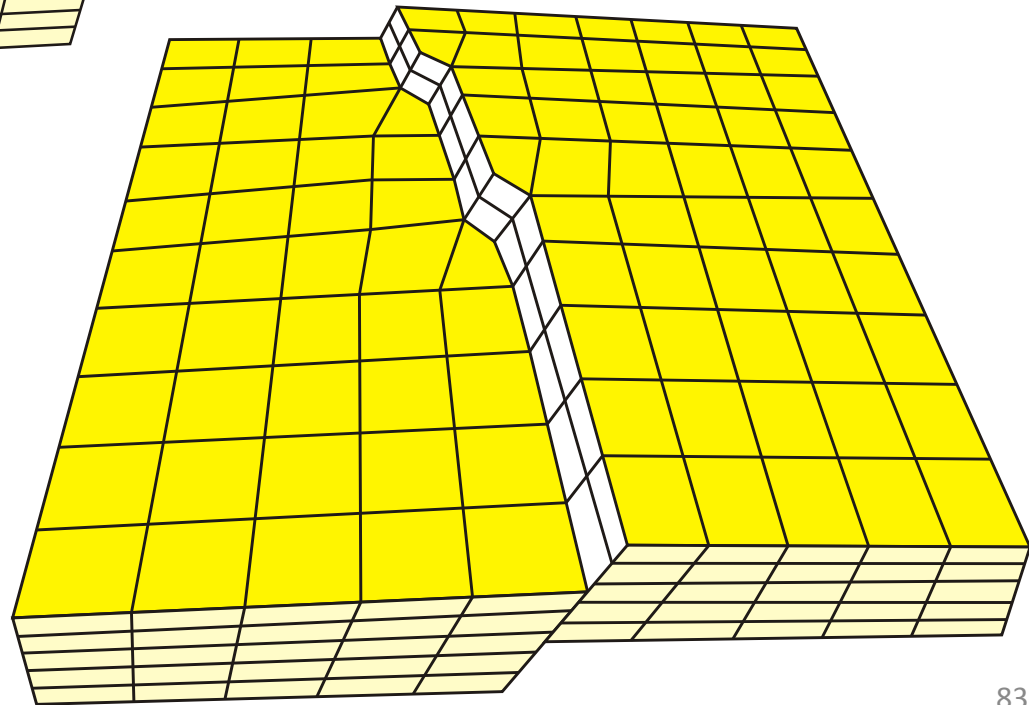


СТРУКТУРИРОВАННЫЕ СЕТКИ



Регулярная
геометрия

Геометрия типа
«угловой точки»



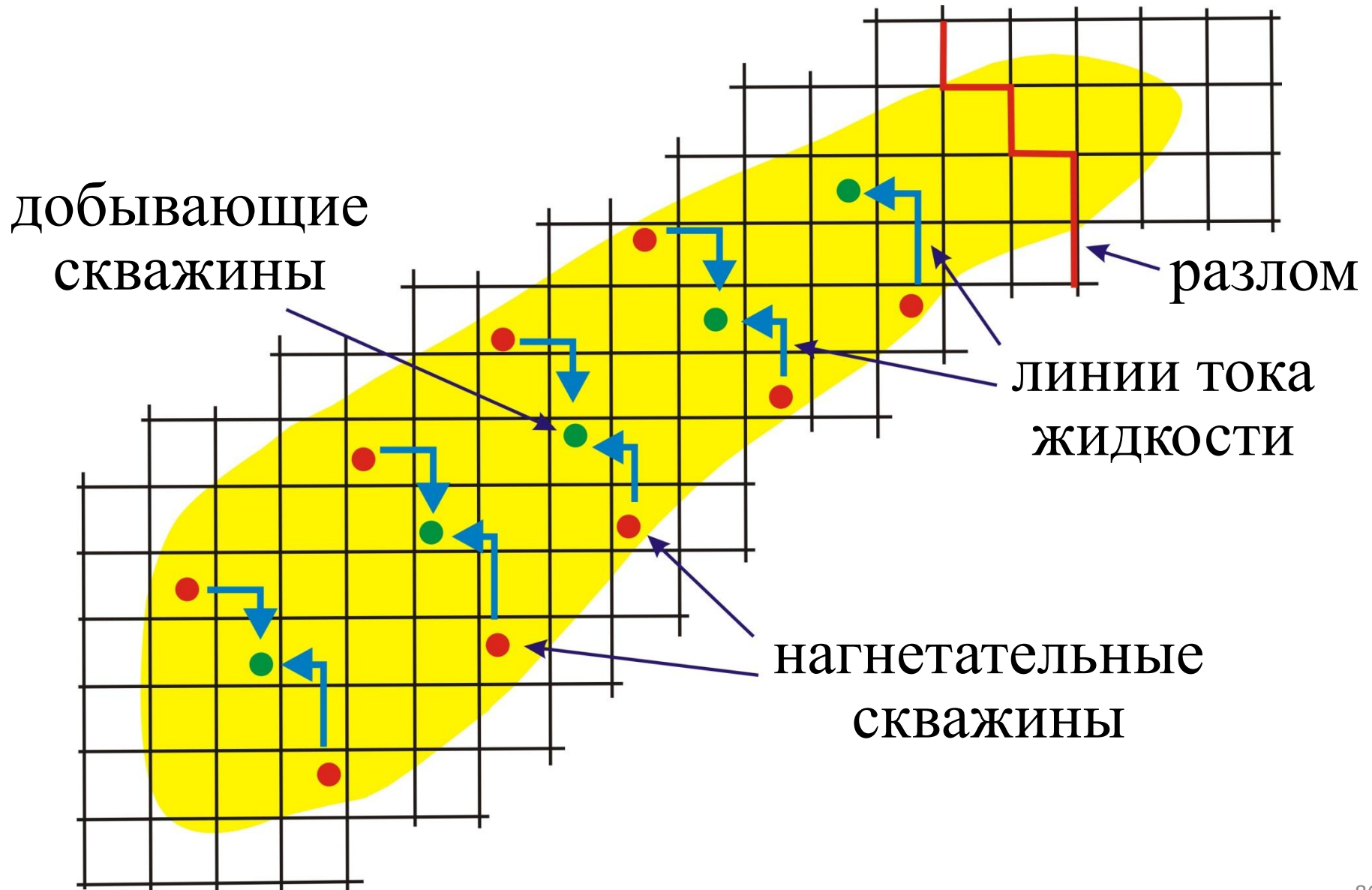
РЕГУЛЯРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ

- упрощенное описание;
- быстрый расчет геометрии;
- все ячейки имеют одинаковую длину и ширину;
- ребра всех ячеек всегда строго вертикальны;
- невозможно встроить разломы.

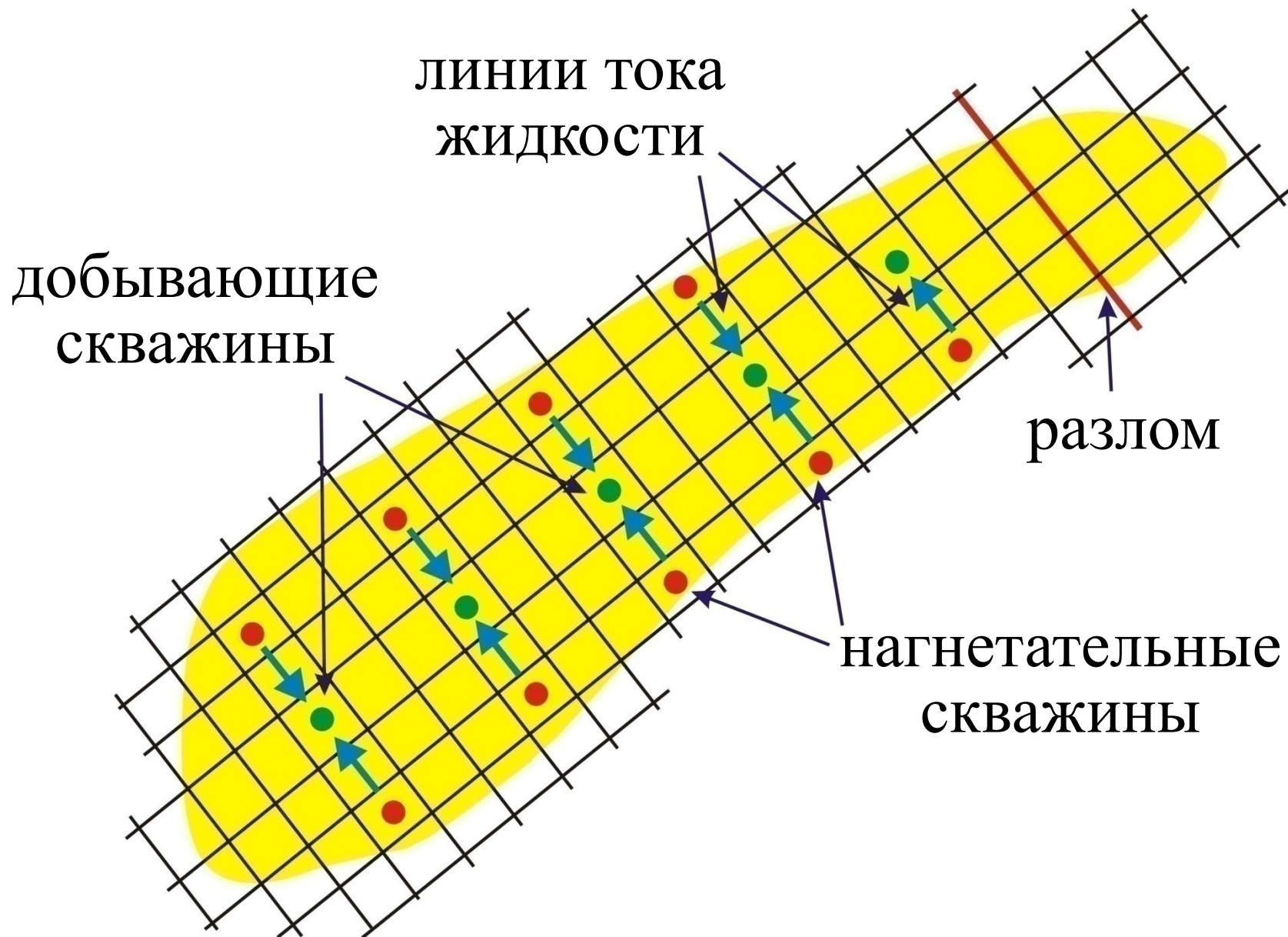
ГЕОМЕТРИЯ ТИПА «УГЛОВОЙ ТОЧКИ»

- более сложное описание;
- все ячейки могут иметь произвольную длину и ширину;
- ребра ячеек могут быть наклонными;
- можно встраивать разломы;
- можно задавать разное горизонтальное разрешение в разных частях сетки.

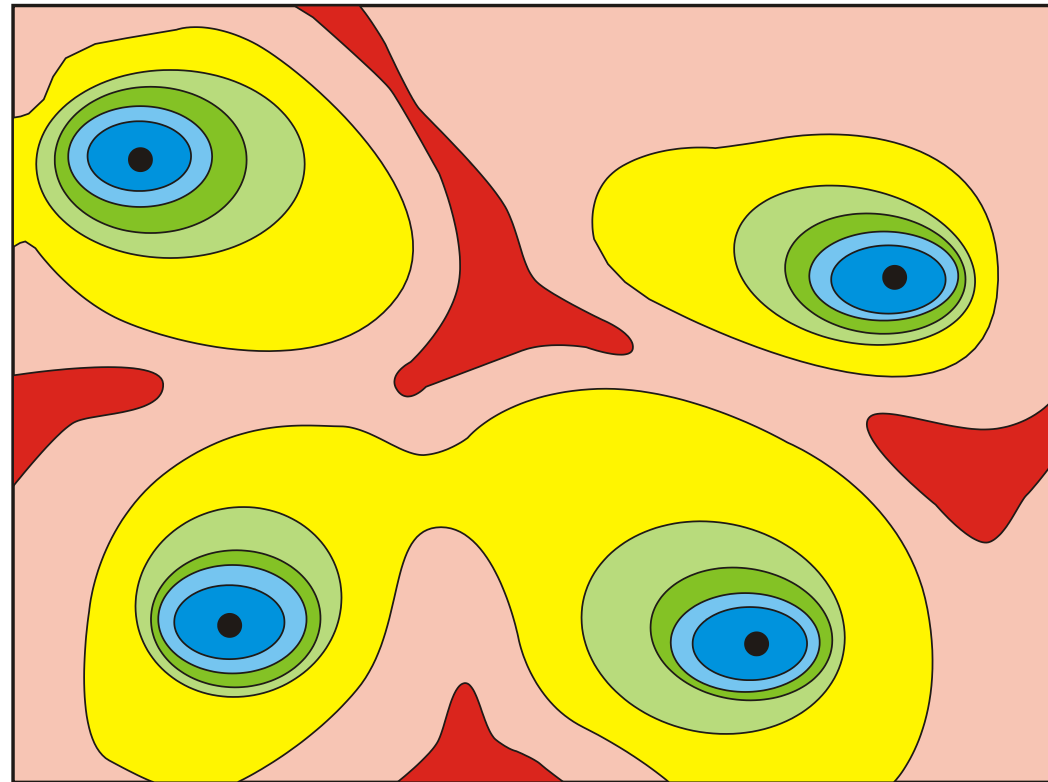
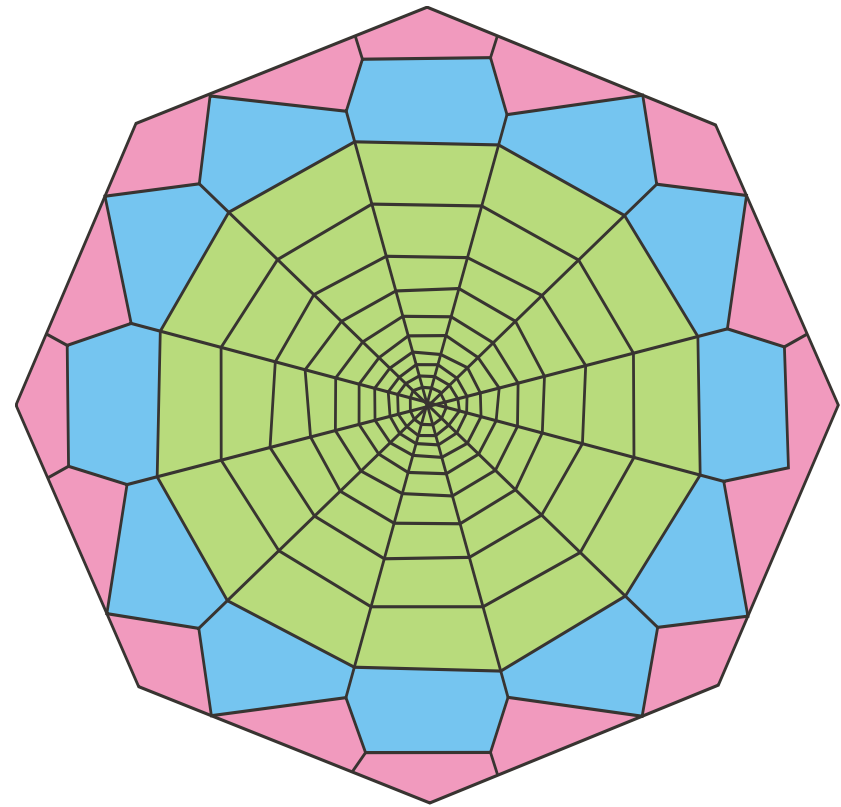
ПОВОРОТ СЕТКИ



ПОВОРОТ СЕТКИ



НЕСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ТРЕХМЕРНЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СЕТКИ



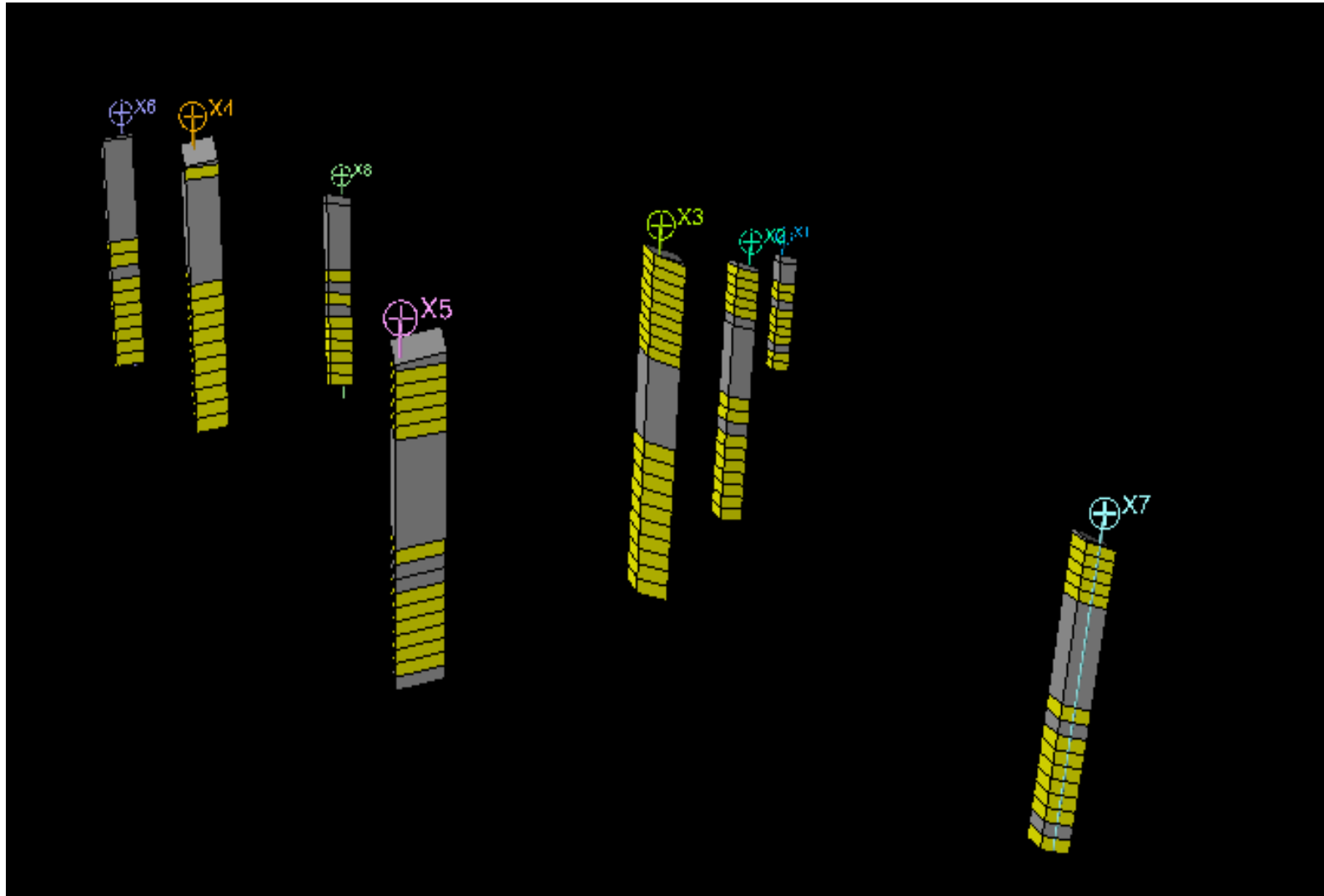
ПРЕИМУЩЕСТВА НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК

- гибкость;
- произвольная форма и размер ячеек;
- точная дискретизация околоскважинного пространства (высокая степень измельчения);
- возможность одновременного корректного учета большого количества сложных особенностей (разломы, трещиноватость, петрофизика);
- минимизирование количества ячеек при максимальном учете геологической неоднородности.

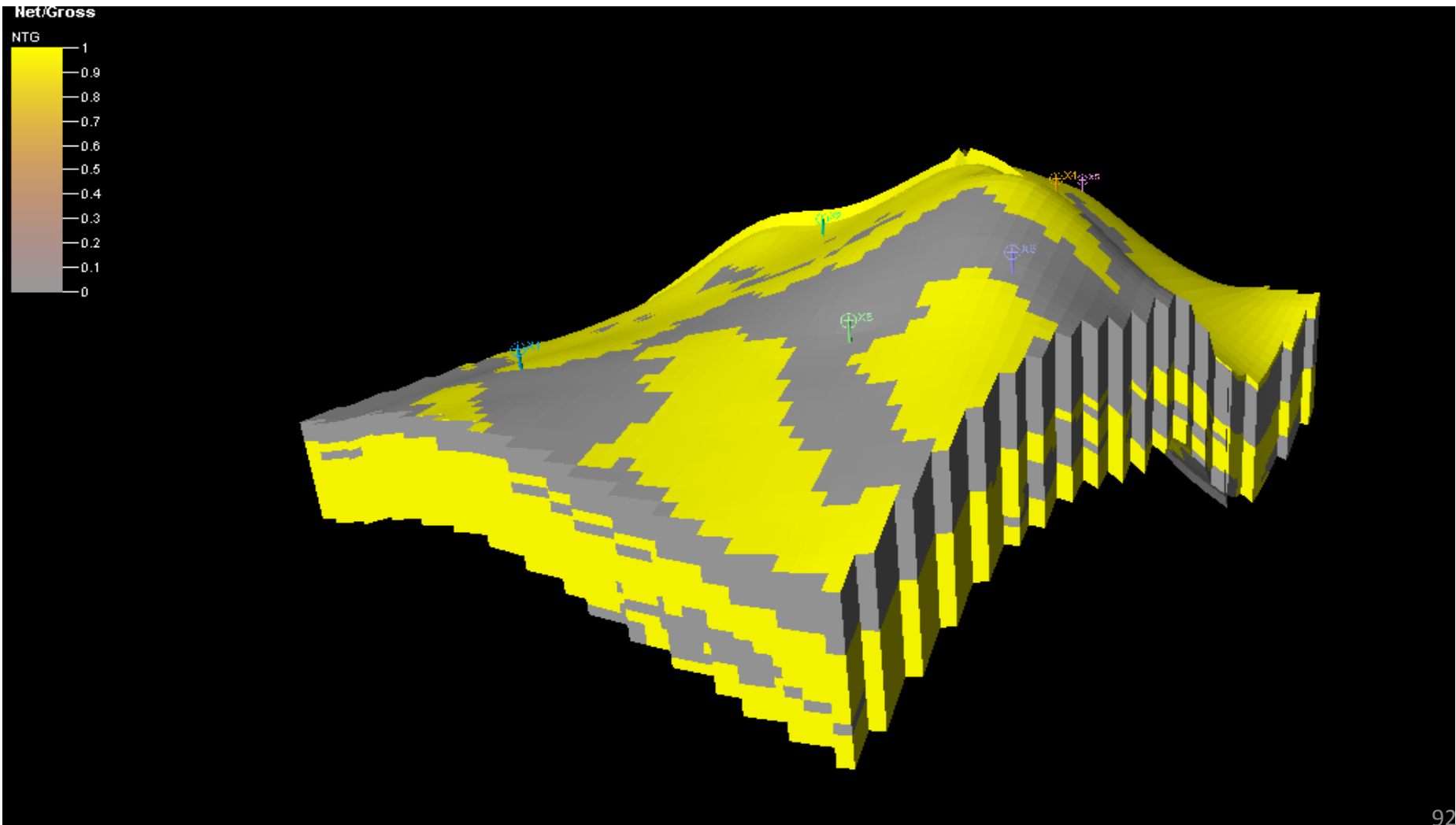
НЕДОСТАТКИ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ СЕТОК

- ограниченная поддержка современными гидродинамическими симуляторами;
- недостаточная распространенность (мало примеров практического применения);
- значительное увеличение времени гидродинамических расчетов.

IV. Перемасштабирование (осреднение скважинных данных на сетку)



V. Литологическое (фациальное) моделирование



ЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ



```
graph TD; A[ЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ] --> B[Детерминированные методы]; A --> C[Стохастические методы]; C --> D[Пиксельное моделирование]; C --> E[Объектное моделирование];
```

The diagram is a hierarchical flowchart. At the top is a box with the title 'ЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ'. Two arrows point down from this box: a short one to the left leading to 'Детерминированные методы', and a long one to the right leading to 'Стохастические методы'. From 'Стохастические методы', two arrows point down to 'Пиксельное моделирование' and 'Объектное моделирование'.

**Детерминированные
методы**

**Стохастические
методы**

**Пиксельное
моделирование**

**Объектное
моделирование**

МЕХАНИЗМ ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ:

- Геолог определяется с формой и параметрами тел;
- Алгоритм встраивает эти тела в скважины (с учетом данных ГИС);
- Алгоритм встраивает эти тела в межскважинное пространство до тех пор, пока не добьется соответствия заданным трендам.

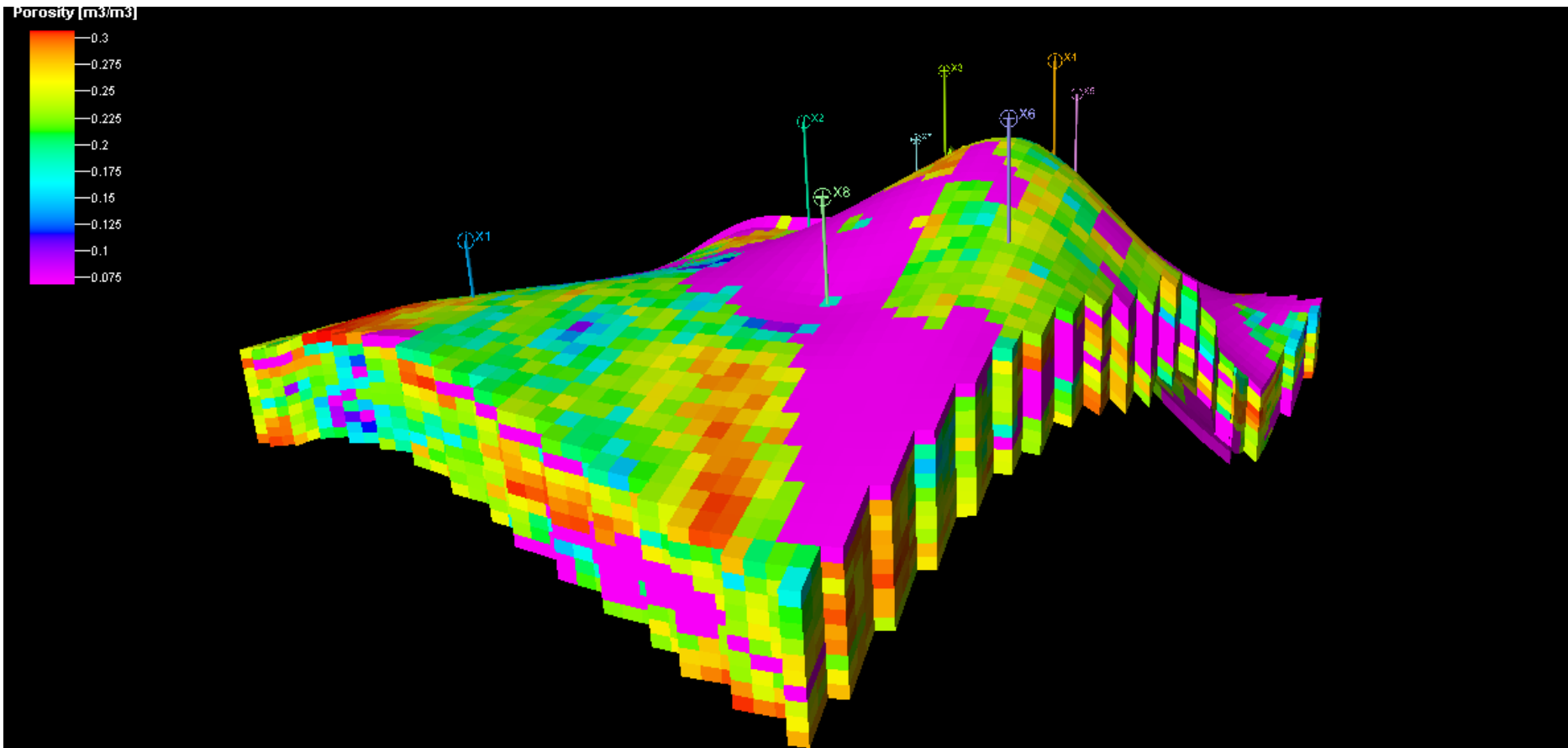
Алгоритм моделирования выбирается исходя из общих представлений об условиях седиментации и сравнением количественных оценок результатов построения с данными по скважинам.

Зоны распространения *коллекторов* и *неколлекторов* должны вырисовываться в физически реальную картину, отражающую геологическое строение данного месторождения.

Способы влияния на интерполяцию:

- введение искусственных скважин,
- создание трендовых параметров (ГСР, карты песчанистости и т.д.)
- использование сейсмических атрибутов (зоны замещения, выклинивания)

VI. Петрофизическое моделирование (создание кубов ФЕС)



ПОСТРОЕНИЕ КУБА ПОРИСТОСТИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ:

- результаты интерпретации ГИС (РИГИС),
- куб литологии,
- геологические закономерности вертикальной и горизонтальной изменчивости пористости: гистограммы, трендовые карты и кубы, ГСР, полигоны зон замещения и выклинивания коллекторов, уравнения зависимостей.

ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ

```
graph TD; A[ОЦЕНКА ПРОНИЦАЕМОСТИ] --> B[Абсолютная проницаемость]; A --> C[Фазовая проницаемость]; B --> D[Керн]; B --> E[«Керн-ГИС»]; B --> F[«Керн-керн»]; C --> G[«ГДИ-ГИС»]; C --> H[ГДИ];
```

**Абсолютная
проницаемость**

Керн

«Керн-ГИС»

«Керн-керн»

**Фазовая
проницаемость**

«ГДИ-ГИС»

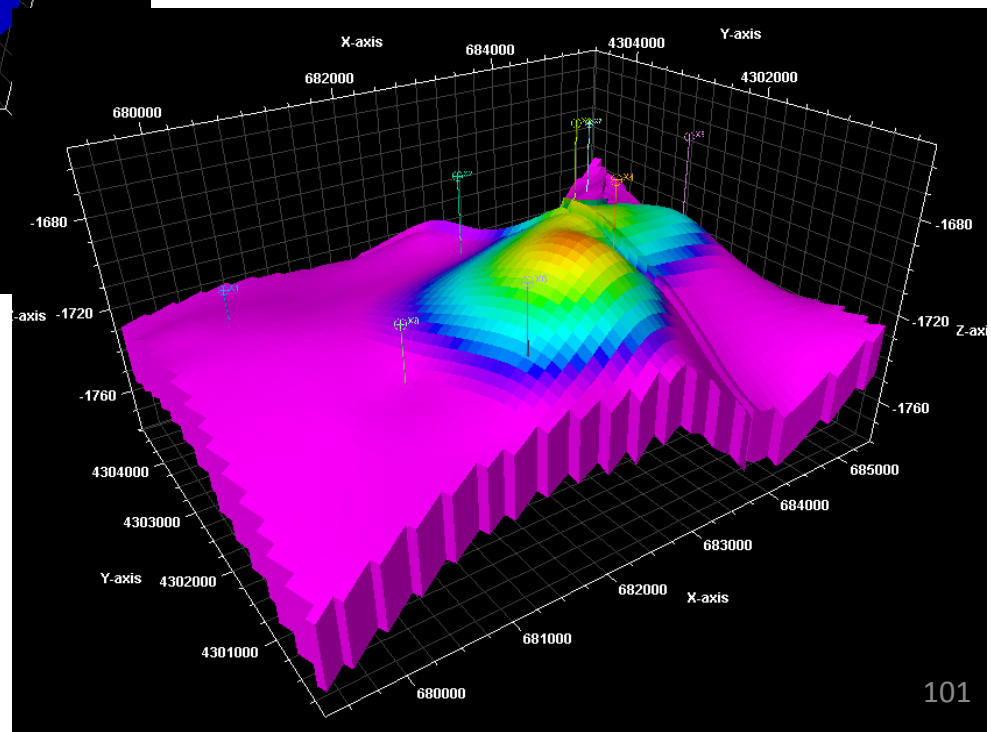
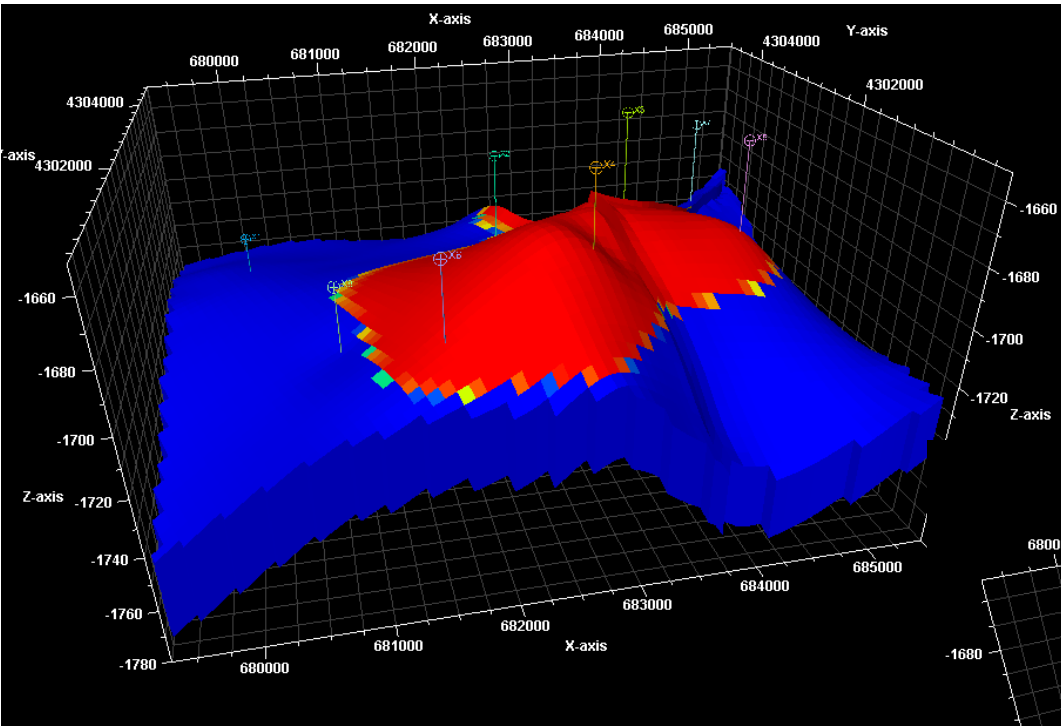
ГДИ

Для неколлекторов
значения ФЕС условно
принимаются равными:

$$K_{п} = 0, \text{ или } K_{п} < K_{п.гр}$$

$$0 < K_{пр} < K_{пр.гр}$$

ПОСТРОЕНИЕ КУБА НЕФТЕГАЗОНАСЫЩЕННОСТИ



ВНК – граничная поверхность в переходной зоне нефтяной залежи, ниже которой фазовая проницаемость для нефти равна нулю, а выше которой из пласта получают ***промышленный приток нефти с водой***

*справочник по нефтепромысловой геологии (1994 г.)
под ред. М.М.Ивановой

Уровень зеркала чистой воды (ЗЧВ) – поверхность, ниже которой коэффициент водонасыщенности равен 1.

Поверхности ВНК в пределах одной зоны могут быть горизонтальными, горизонтально-неровными, наклонными, наклонно-неровными.

Контурь залежи – полигоны ЧНЗ, ВНЗ, ЧГЗ, ГНЗ, ГНВЗ и ВЗ.

Модель переходной зоны — это физическая закономерность изменения коэффициента начальной нефте-(водо)насыщенности по высоте залежи от уровня ВНК (или зеркала чистой воды) в зависимости от ФЕС коллекторов.

Выше ВНК — $K_n \geq K_{n.гр.}$

Ниже ВНК — $K_n = 0$, $K_n = K_{но}$

или $0 < K_n < K_{n.гр.}$

VIII. ОЦЕНКА ЗАПАСОВ УВ

$$Q_{3D} = \sum_{i=1, n} V_i * NTG_i * K_{pi} * K_{ni}$$

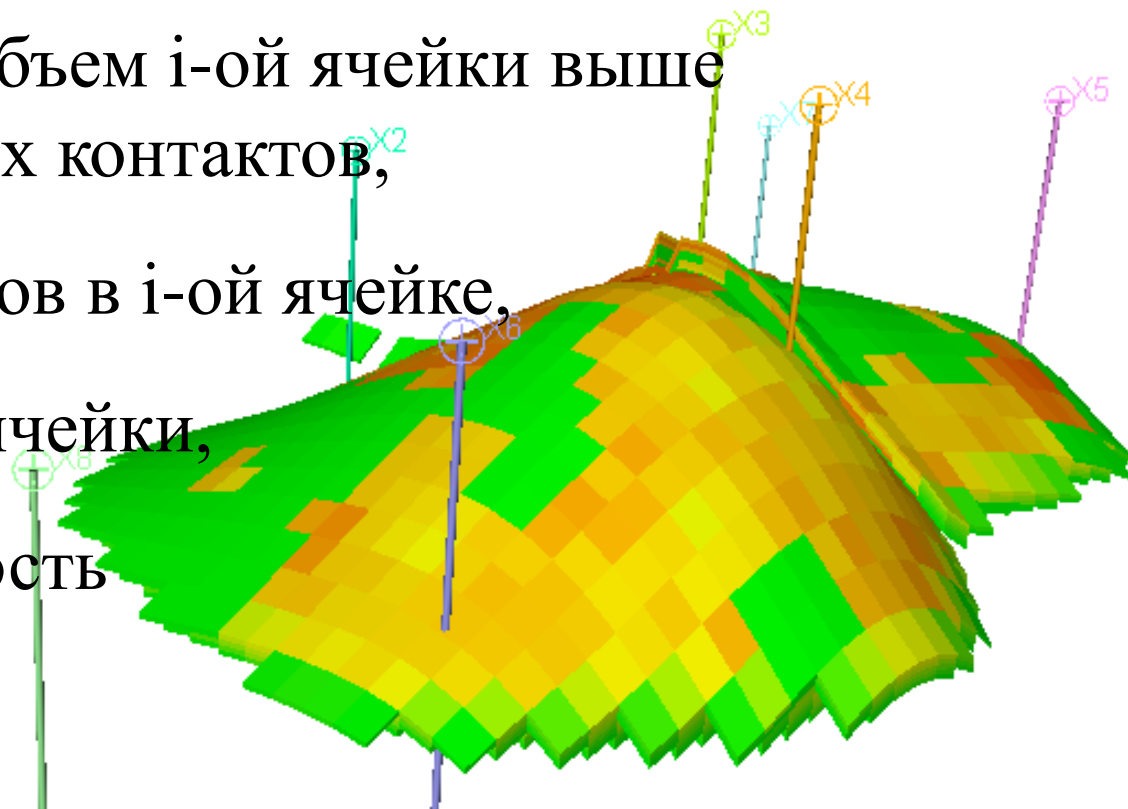
Q_{3D} – интегральный объем запасов нефти в пласте,

V_i – геометрический объем i -ой ячейки выше поверхности флюидных контактов,

NTG_i – доля коллекторов в i -ой ячейке,

K_{pi} – пористость i -ой ячейки,

K_{ni} – нефтенасыщенность i -ой ячейки



$$Q_{2D} = S * H_{эфф.н} * K_{п.ср} * K_{н.ср}$$

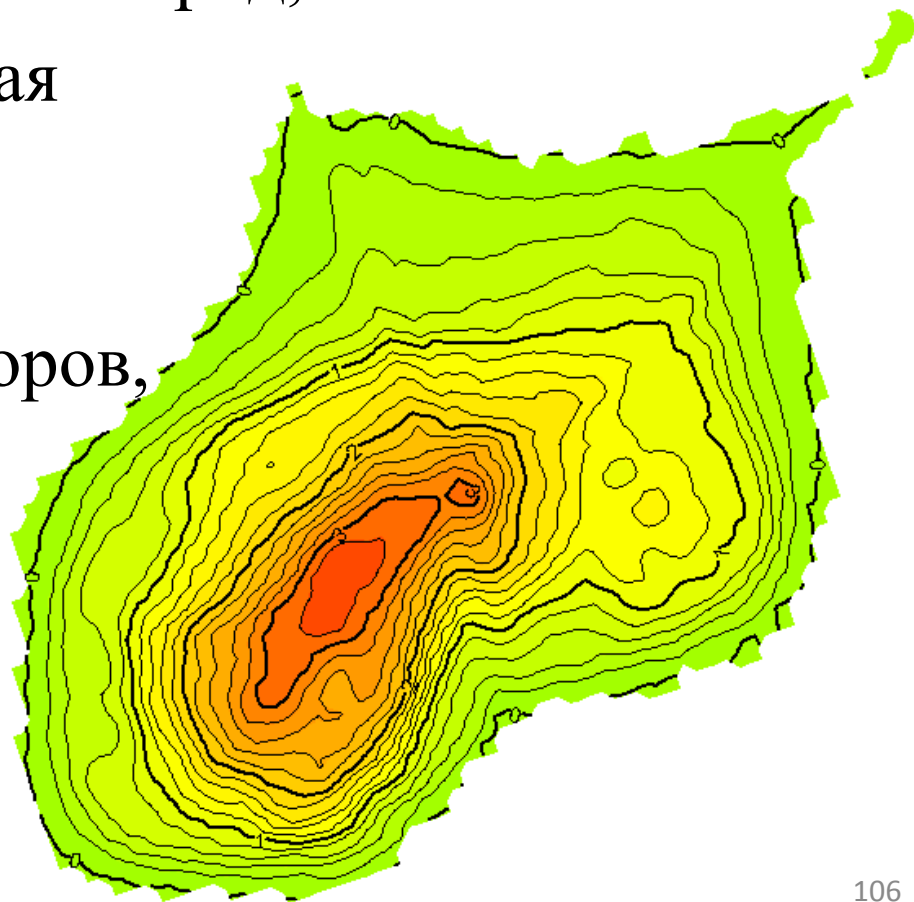
Q_{2D} – объем запасов нефти в пласте,

S – площадь нефтенасыщенных пород,

$H_{эфф.н}$ – средняя эффективная нефтенасыщенная толщина

$K_{п.ср}$ – средняя пористость продуктивных ячеек-коллекторов,

$K_{н.ср.}$ – средняя нефтенасыщенность продуктивных ячеек-коллекторов

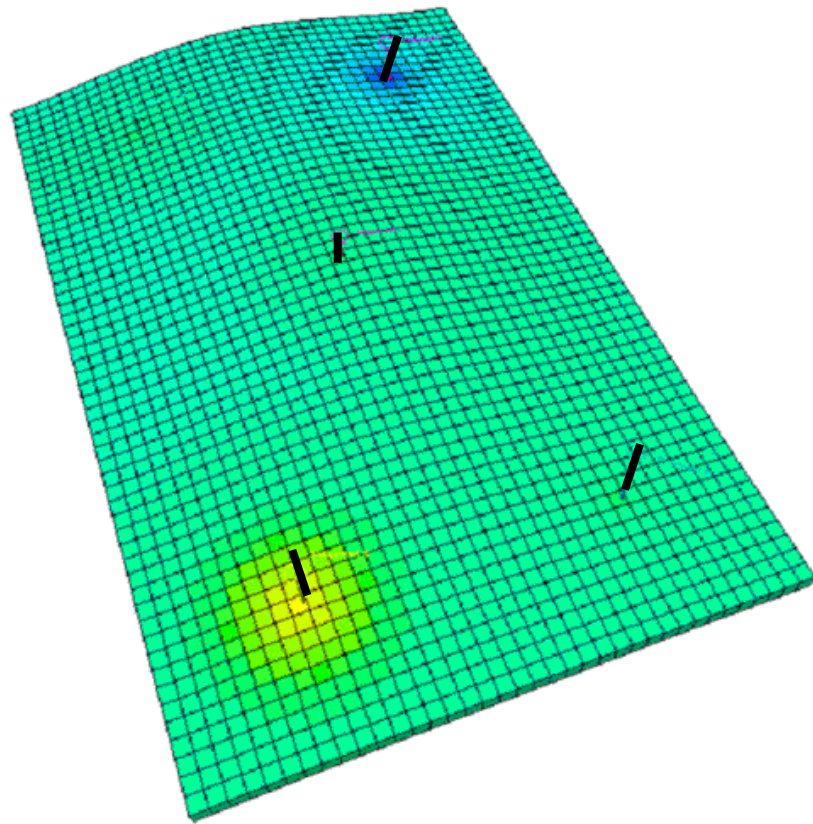


Раздел 3. Геостатистика.

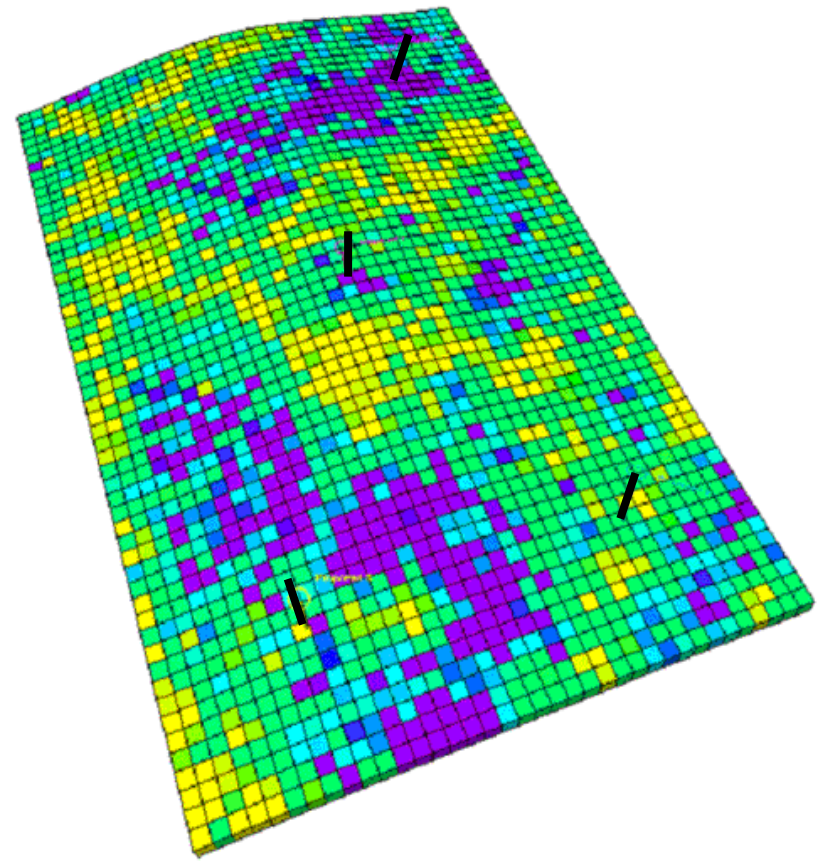
Принципы и методы геолого-математического моделирования

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ



СТОХАСТИЧЕСКИЕ



ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ

Kriging - использует вариограмму, выражающую пространственную изменчивость входных данных.

Moving average (скользящее среднее) - находит среднее значение входных данных согласно расстоянию от скважин.

Functional (функциональное моделирование) - создает трехмерную функцию (параболическую, простую параболическую, плоскую, билинейную), используемую в интерполяции.

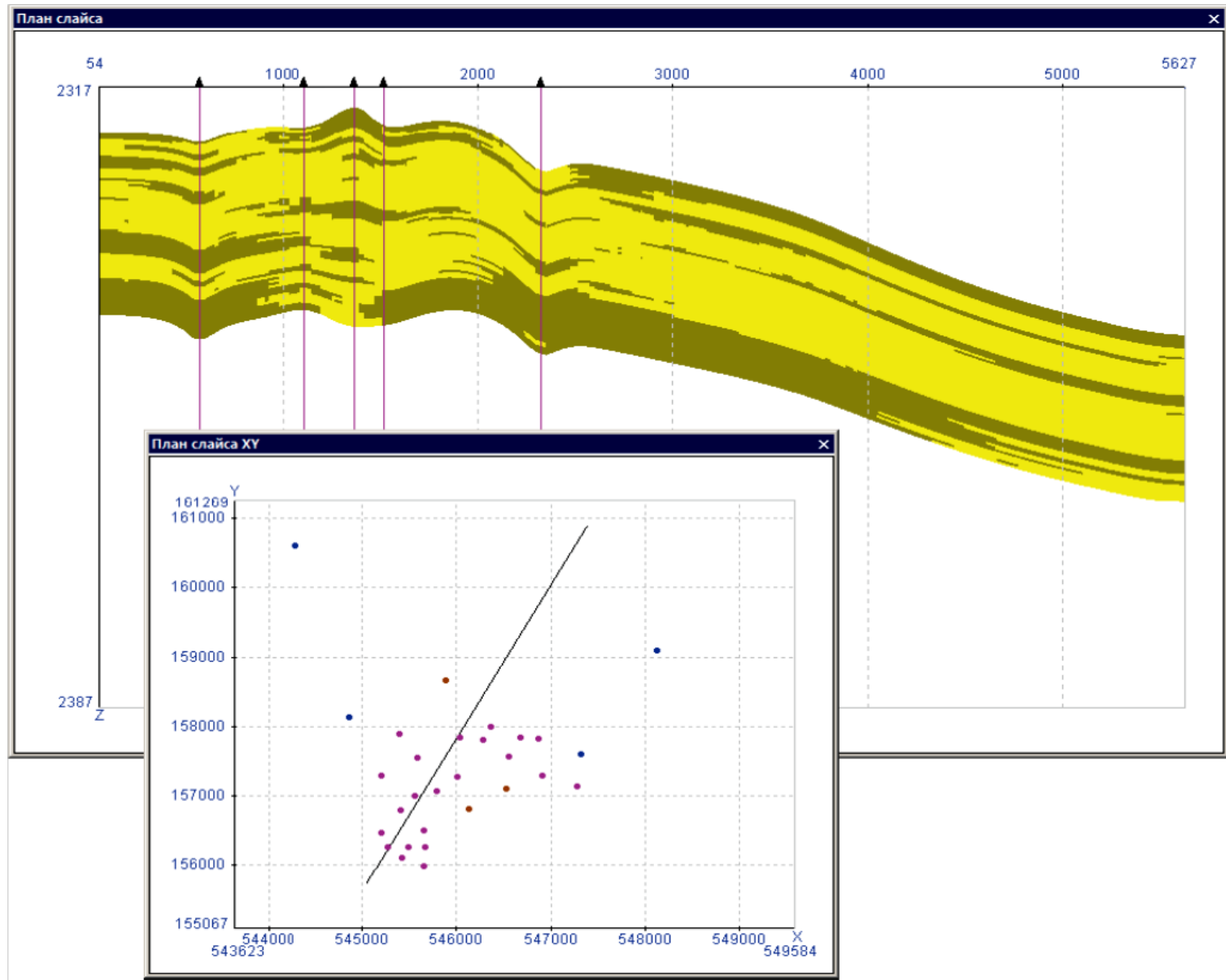
СТОХАСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Sequential Gaussian Simulation (последовательное моделирование Гаусса) - учитывает скважинные данные, входные распределения, вариограммы и тренды.

Object Modeling (моделирование объектов) позволяет наполнять модель дискретных фаций разнообразными телами различной геометрии, кодом фаций и фракции.

Facies Transition Simulation (моделирование перехода фаций) — позволяет выполнять стохастическое распределение фаций на основе заданного перехода между фациями, и направления тренда.

Сечение куба литологии, рассчитанного детерминированным методом

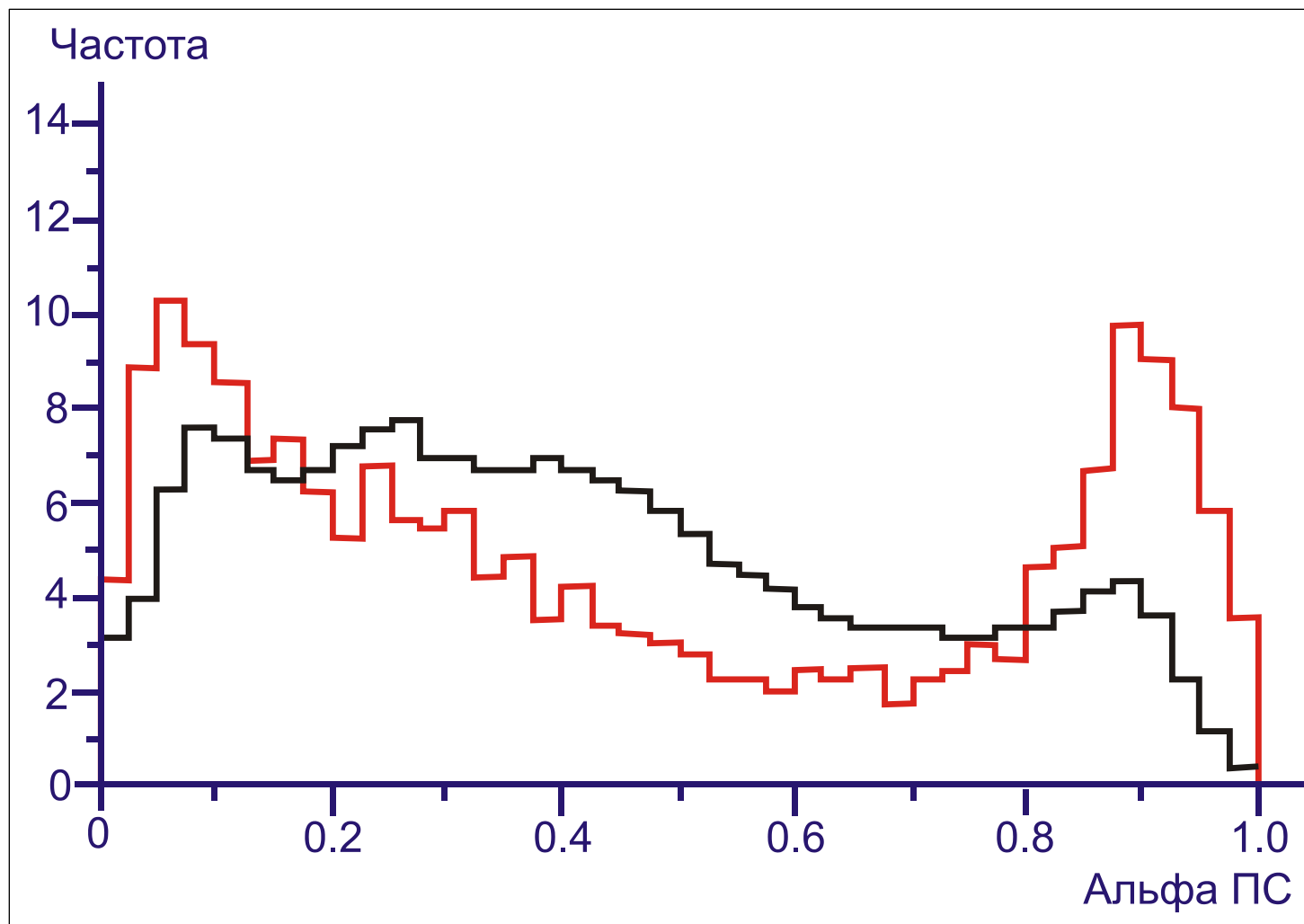


Геостатистика — набор методов интерполяции точечных данных, позволяющих воспроизводить в пространстве их истинную изменчивость.

Геостатистическая (стохастическая) модель — представляет собой не единственную (детерминированную) модель, а набор равновероятных стохастических реализаций.

Геостатистика — это раздел статистики, который изучает пространственные соотношения известных значений некоторой величины, расположенных в определенных точках изучаемого пространства, с целью моделирования неизвестных значений этой величины в остальных точках пространства.

КАТЕГОРИАЛЬНОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ



СТАЦИОНАРНОСТЬ СЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

Случайная переменная – это такая переменная, которая принимает определенные значения с определенными вероятностями.

Среднее значение – это величина, относительной которой случайная переменная одинаково часто принимает большие и меньшие значения.

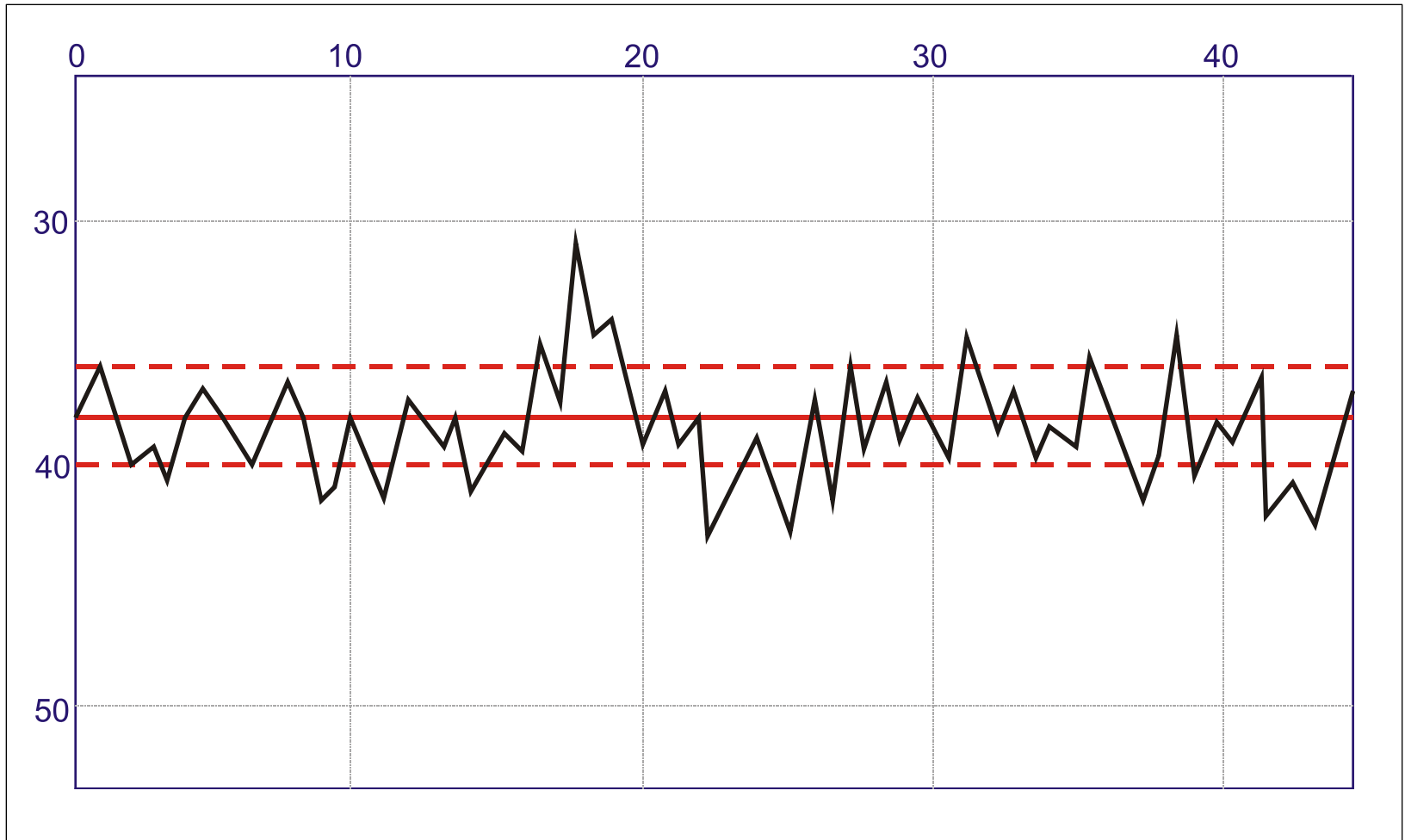
$$m_X = \frac{1}{N} \sum_{i=1, N} X_i$$

Дисперсия – мера разброса данной случайной величины, то есть её отклонение от среднего значения.

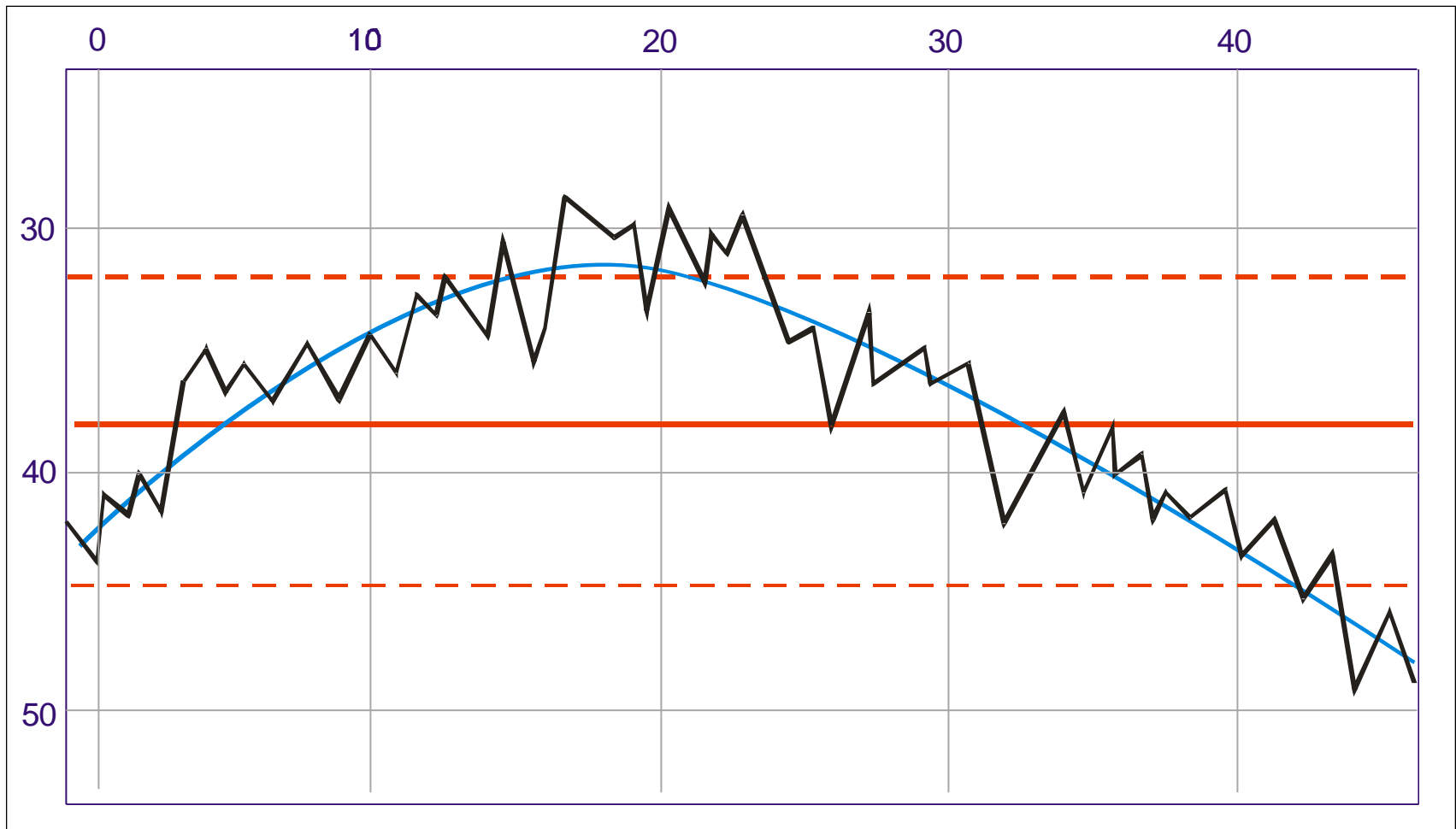
$$\delta_X^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1, N} (X_i - m_X)^2$$

Среднеквадратичное отклонение – квадратный корень из дисперсии .

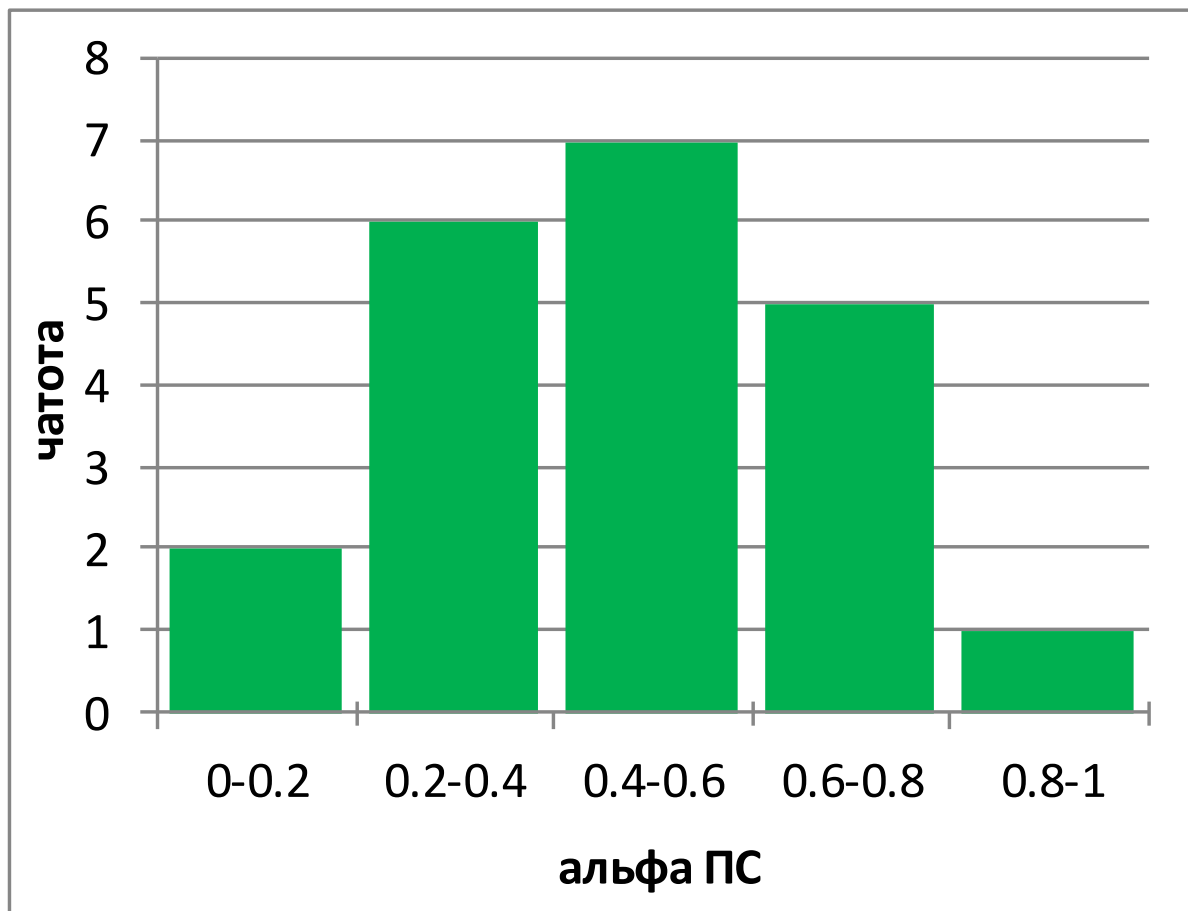
Стационарное поведение случайной переменной



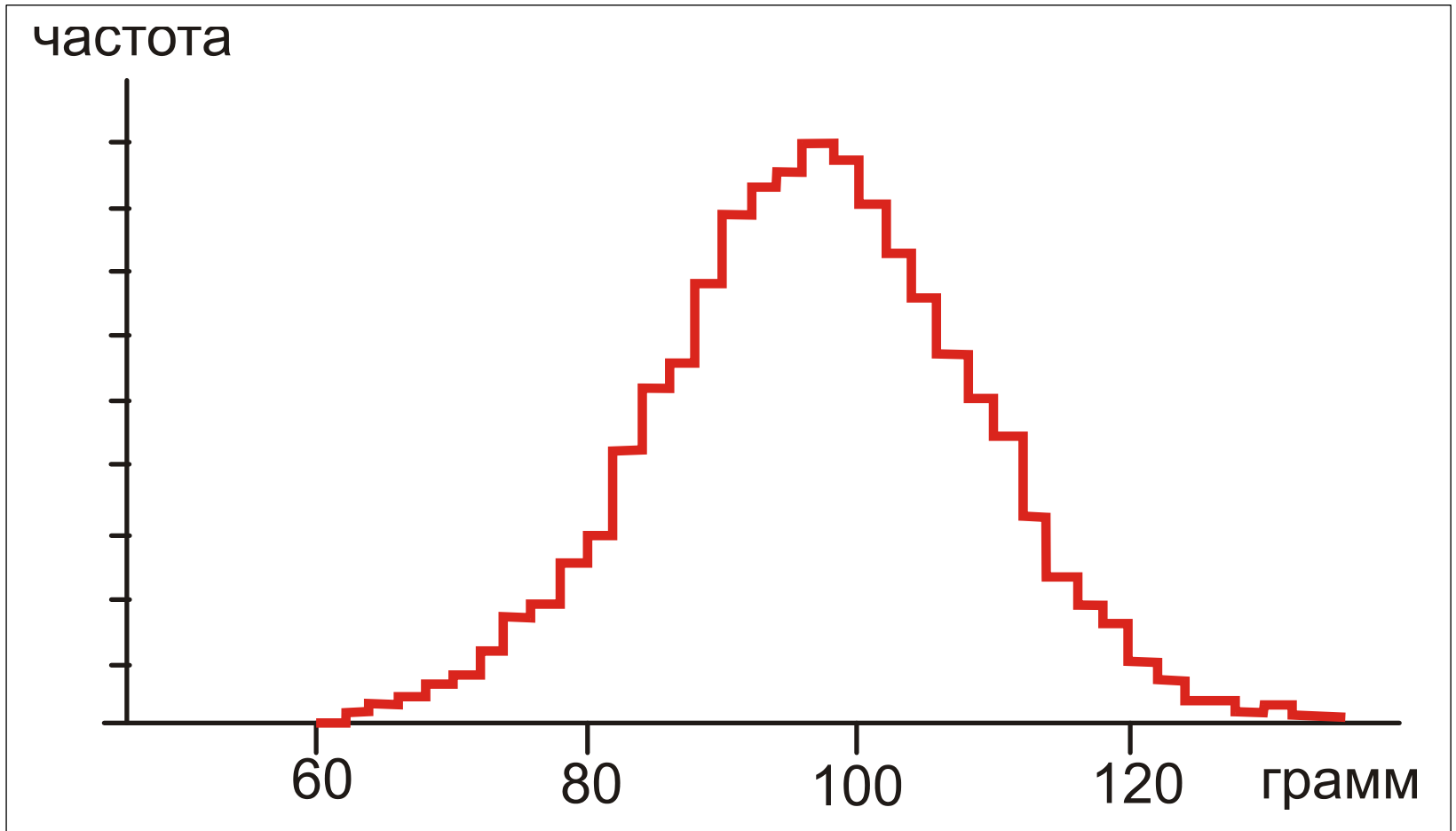
Нестационарное поведение случайной переменной



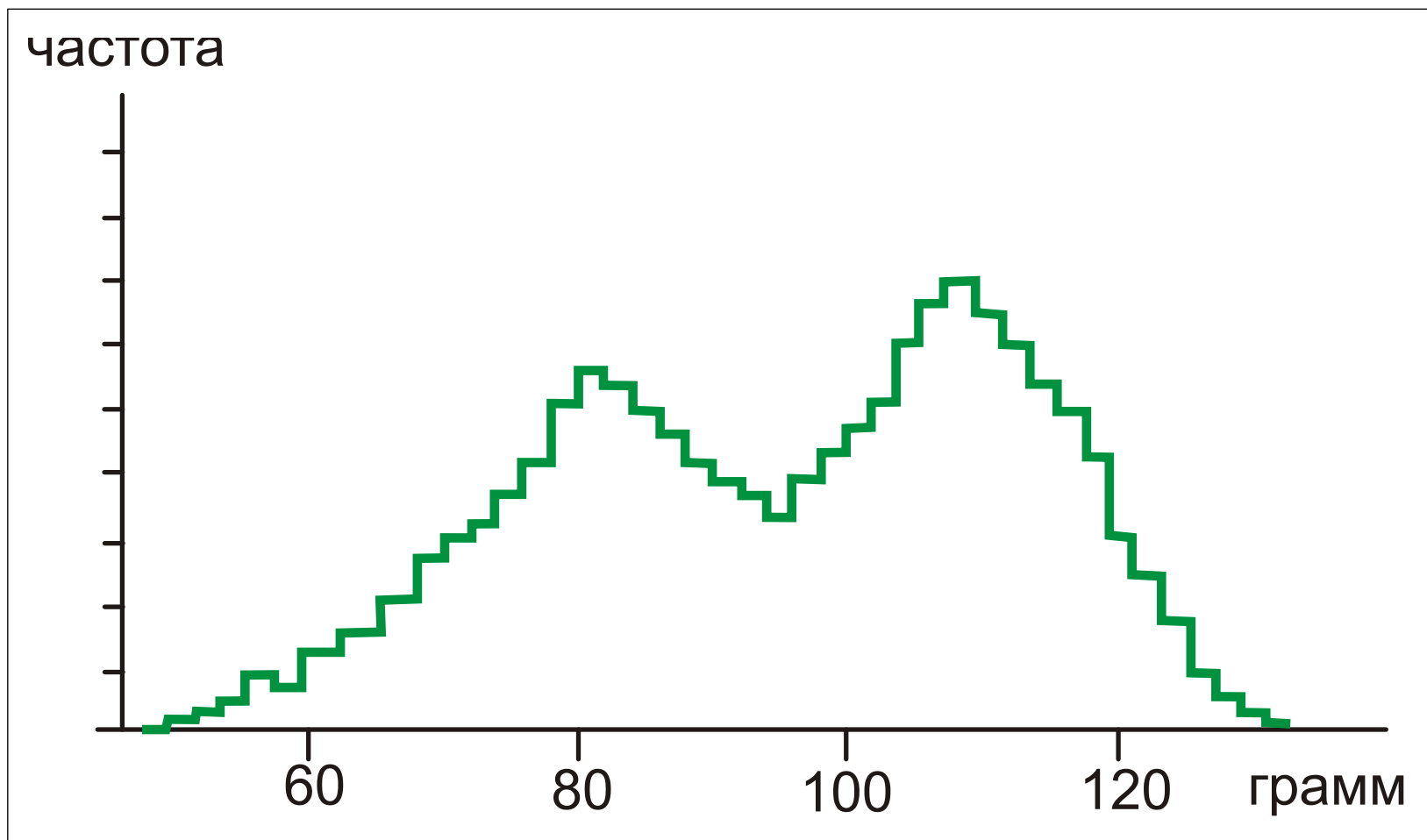
ГИСТОГРАММА



Распределение Гаусса (одномодальное)

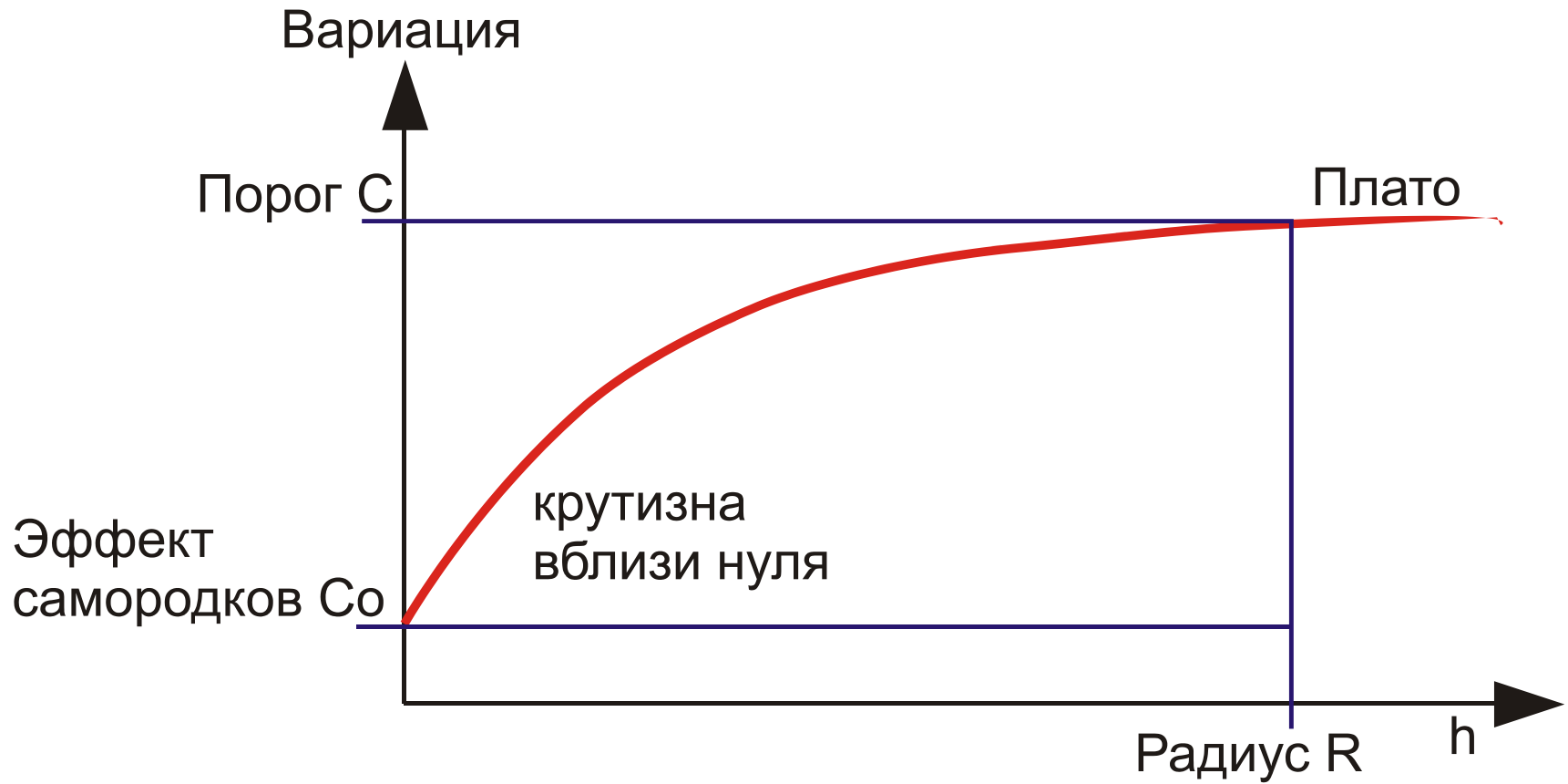


Негауссовское распределение (бимодальное)



ВАРИОГРАММА - измеряет степень корреляционной связи между точками в пространстве и является основным инструментом геостатистики.

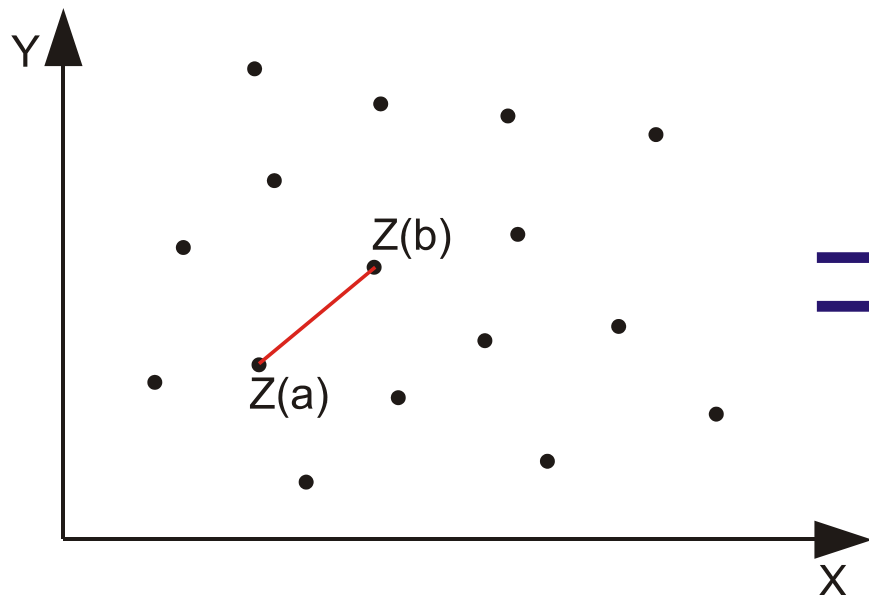
ВАРИОГРАММА



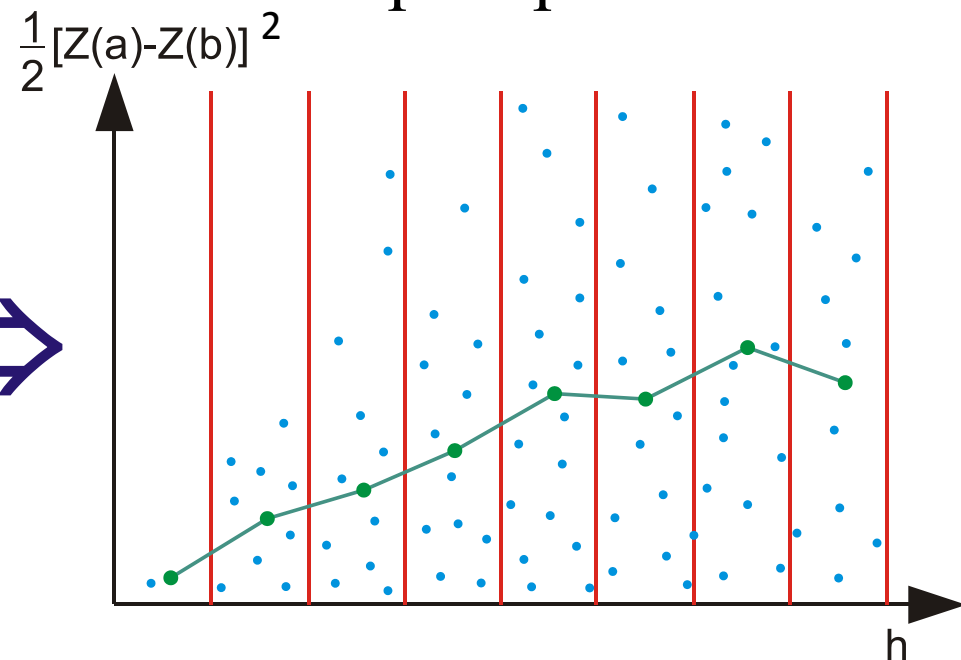
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВАРИОГРАММА

Точки на площади

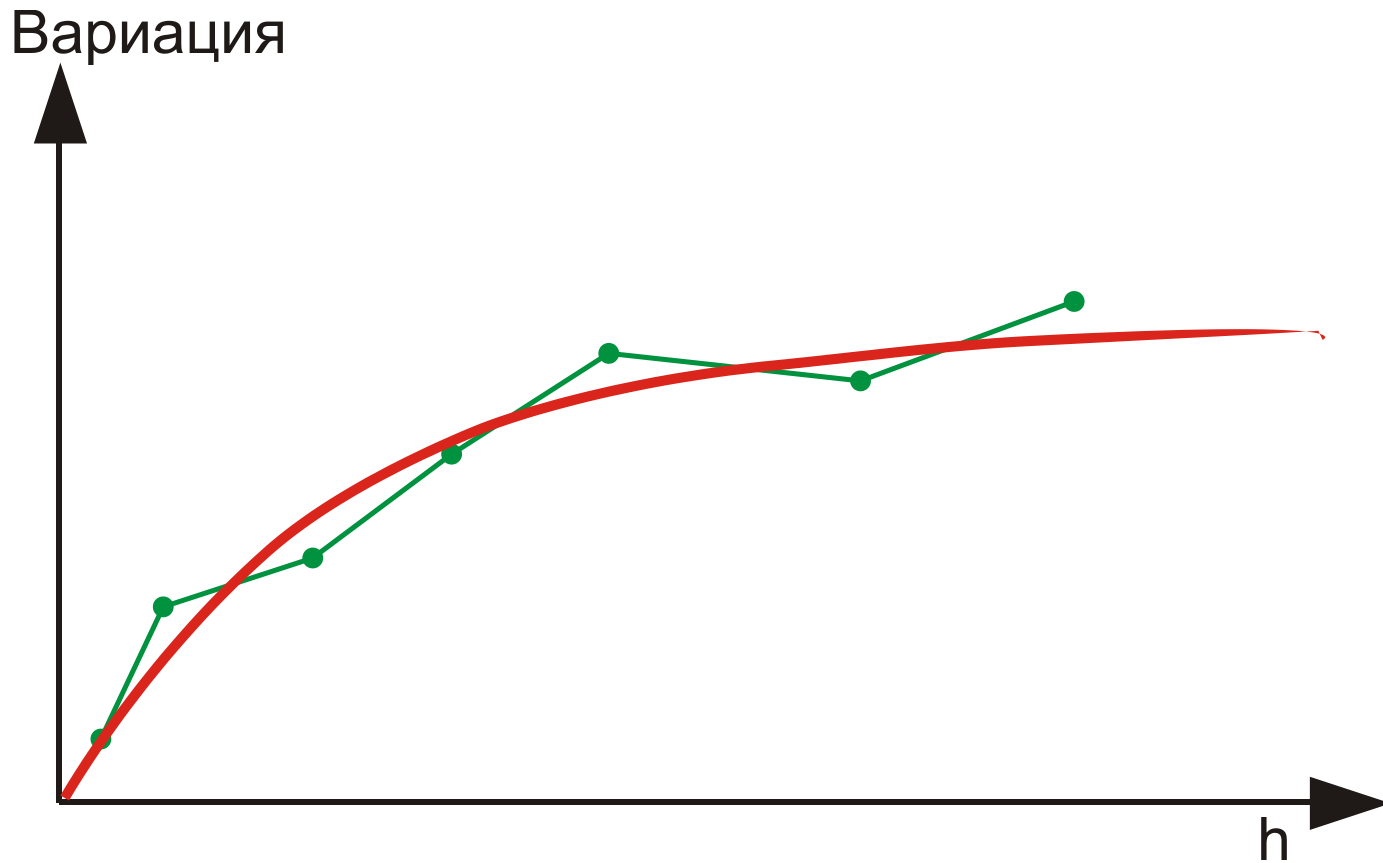
Количество пар = $(N-1)*N/2$



Вариограммное облако
и экспериментальная
вариограмма

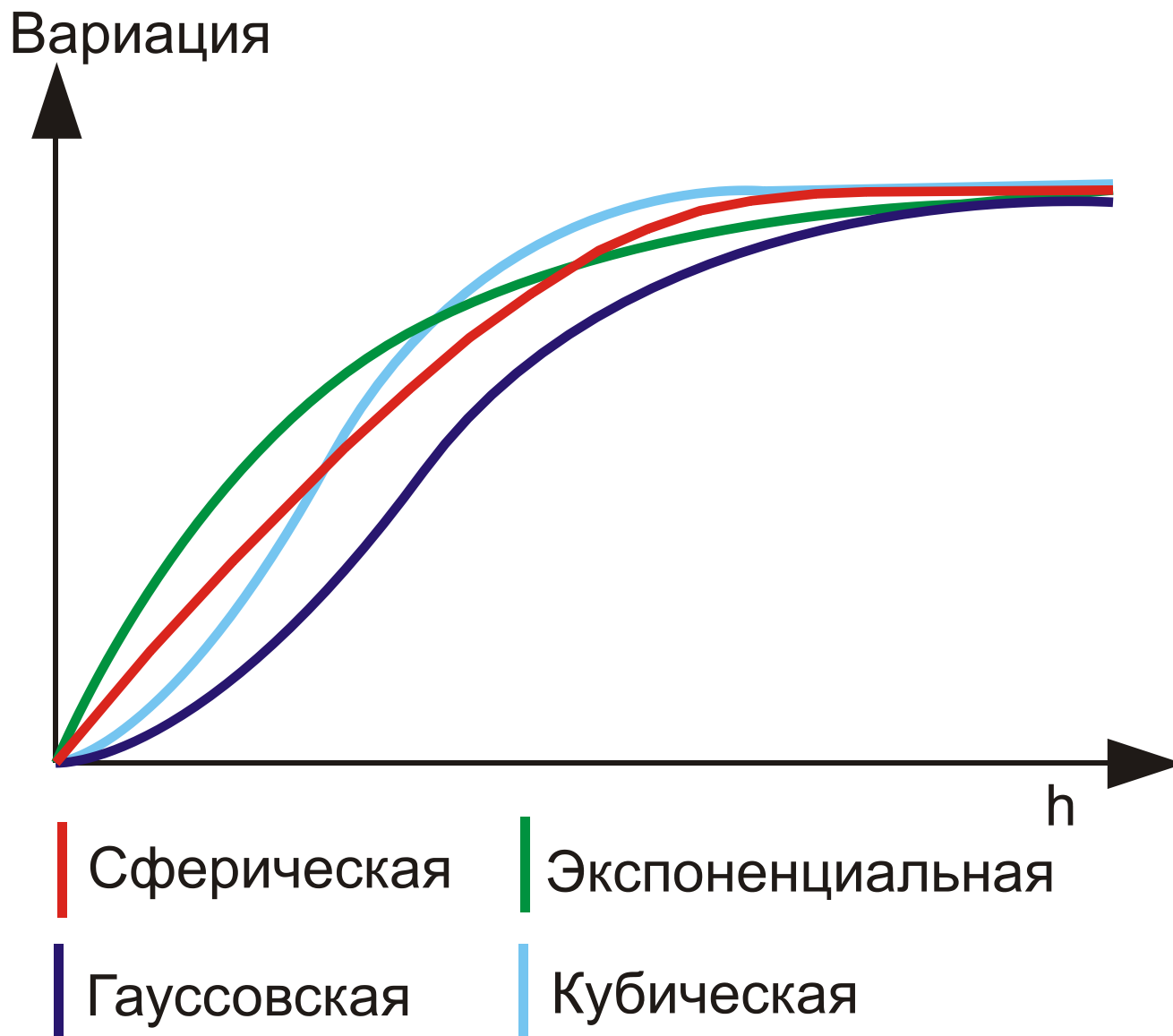


АППРОКСИМАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВАРИОГРАММЫ



Аппроксимация – приближение, замена одних значений другими, но близкими

МОДЕЛИ ВАРИОГРАММ

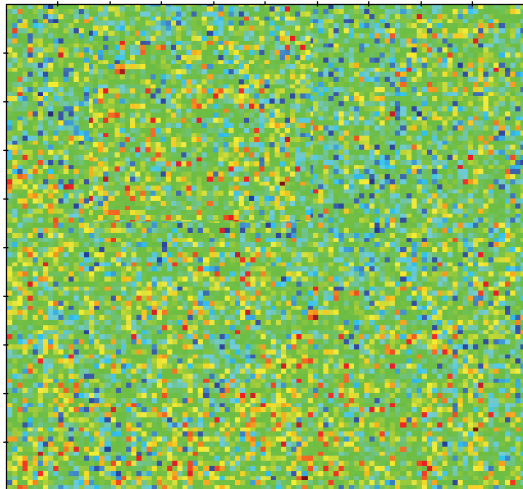


Априорная модель случайной переменной — описывается средним значением, дисперсией и вариограммой.

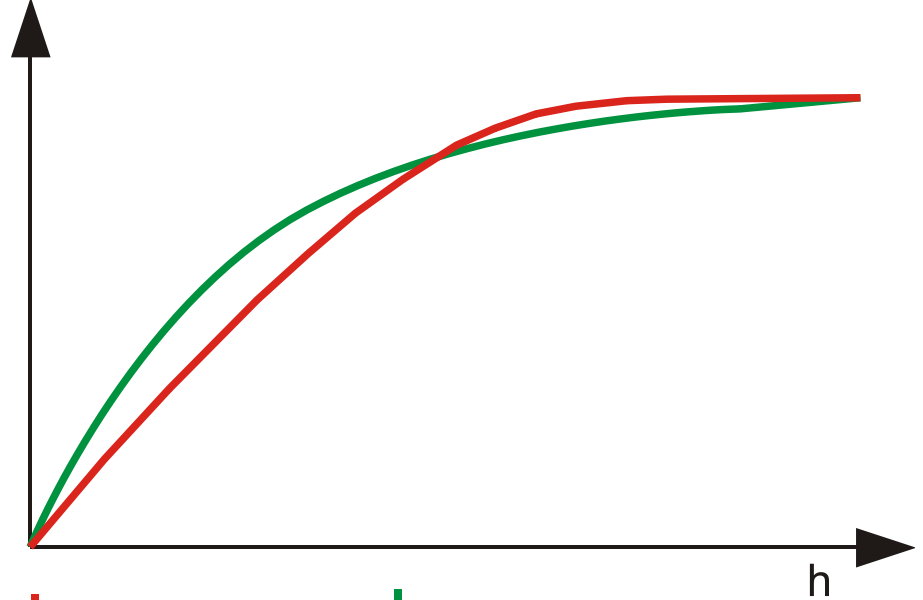
Априорная модель показывает насколько резко меняются значения случайной переменной вокруг своего среднего и в коридоре, определяемом дисперсией.

АПРИОРНЫЕ МОДЕЛИ

1. Белый шум



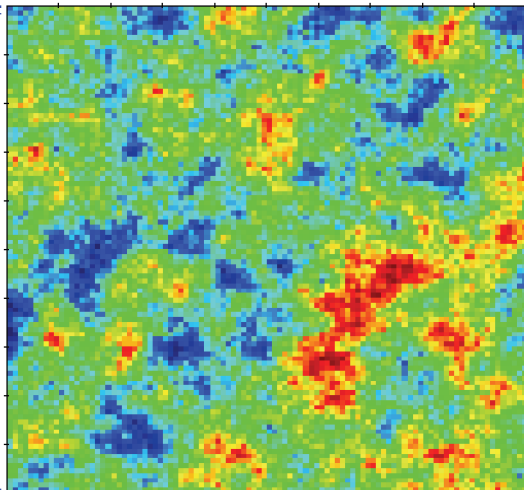
Вариация



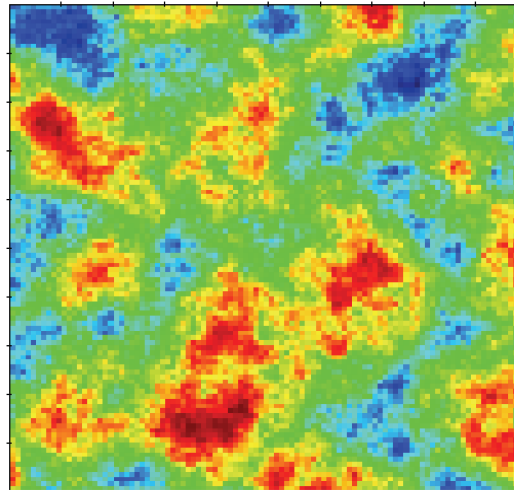
Сферическая

Экспоненциальная

2. Экспоненциальная

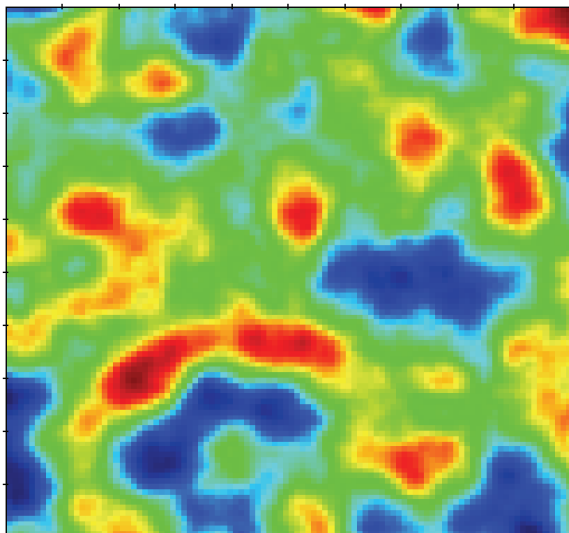


3. Сферическая

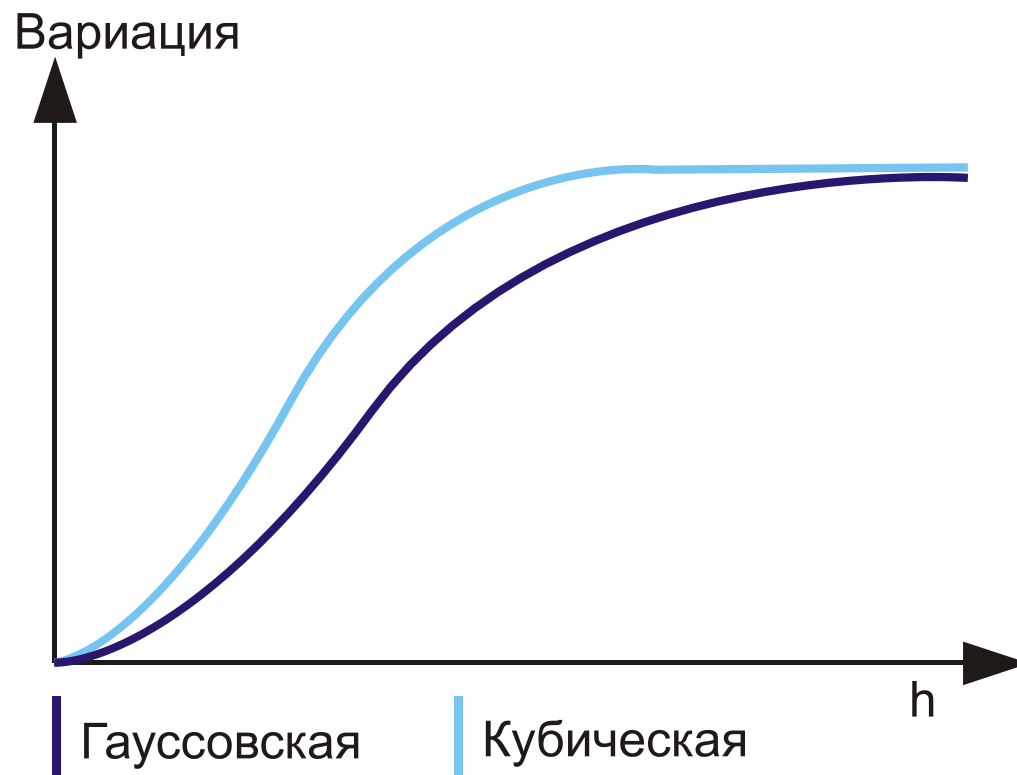
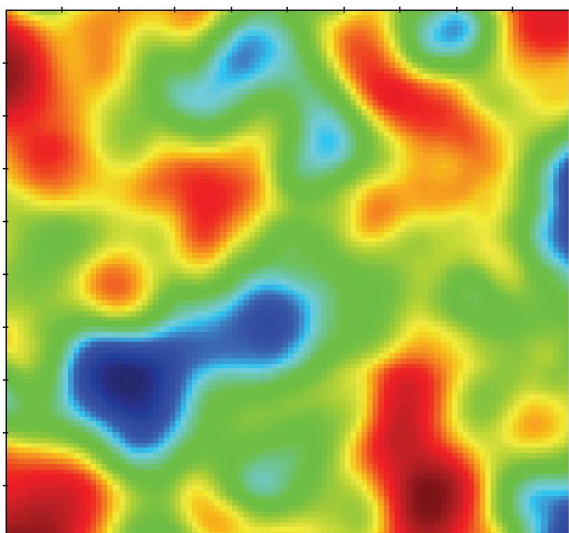


АПРИОРНЫЕ МОДЕЛИ

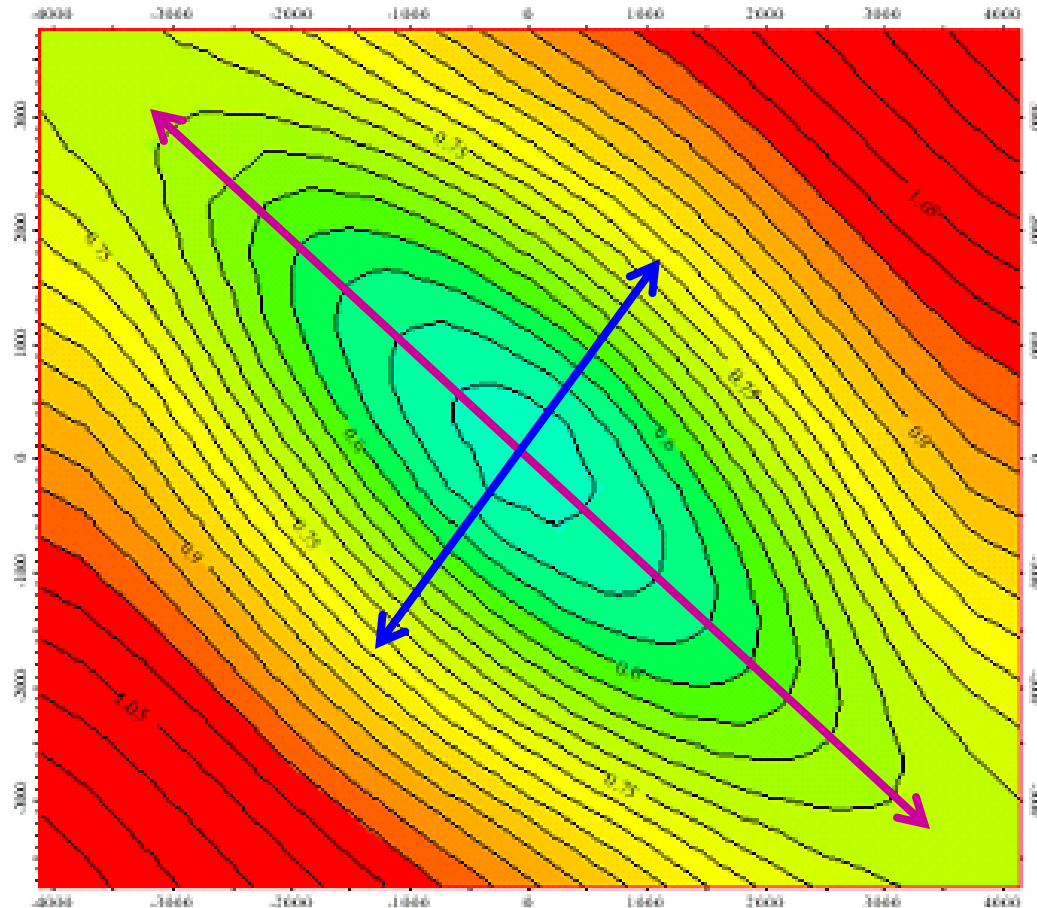
4. Кубическая



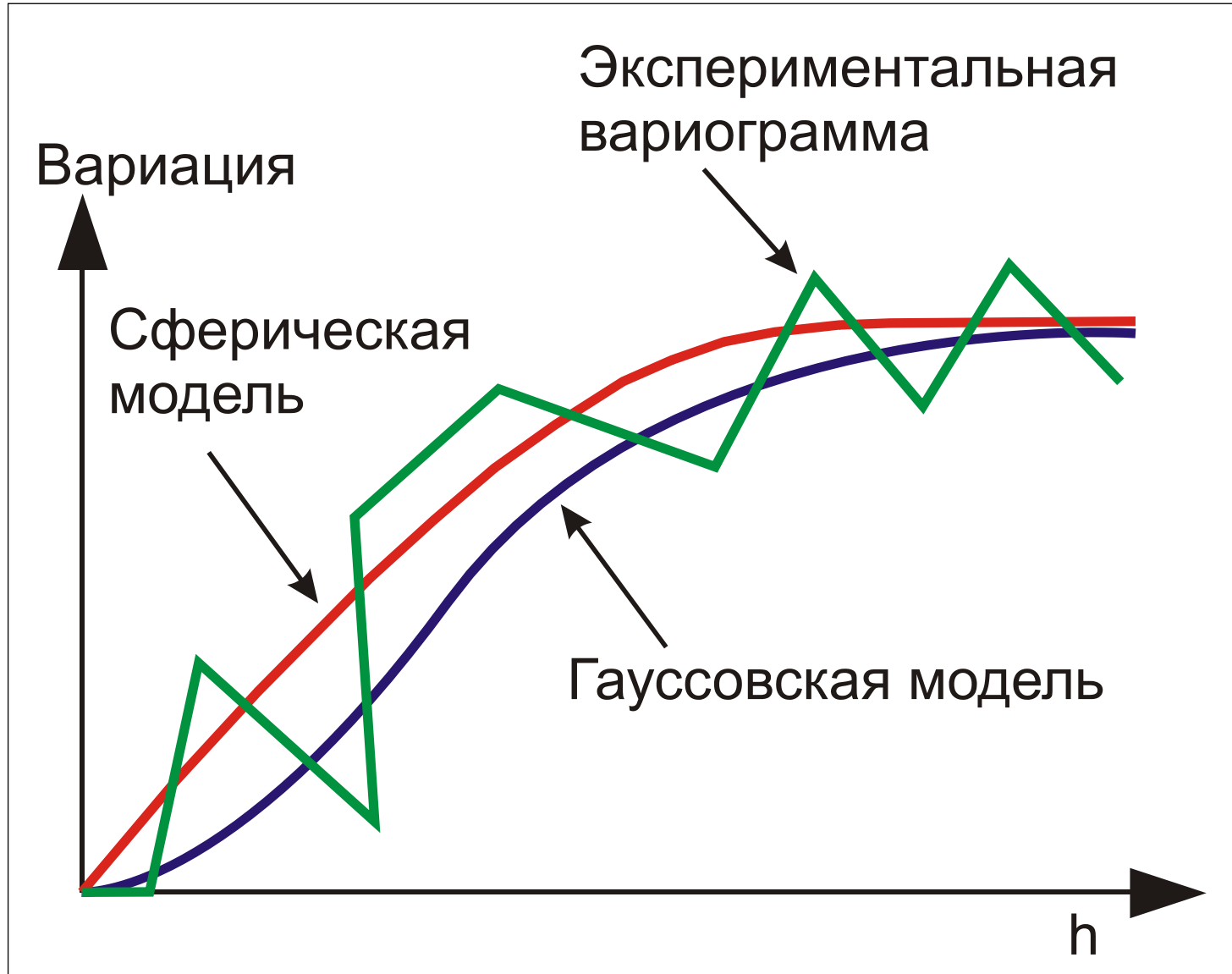
5. Гауссовская



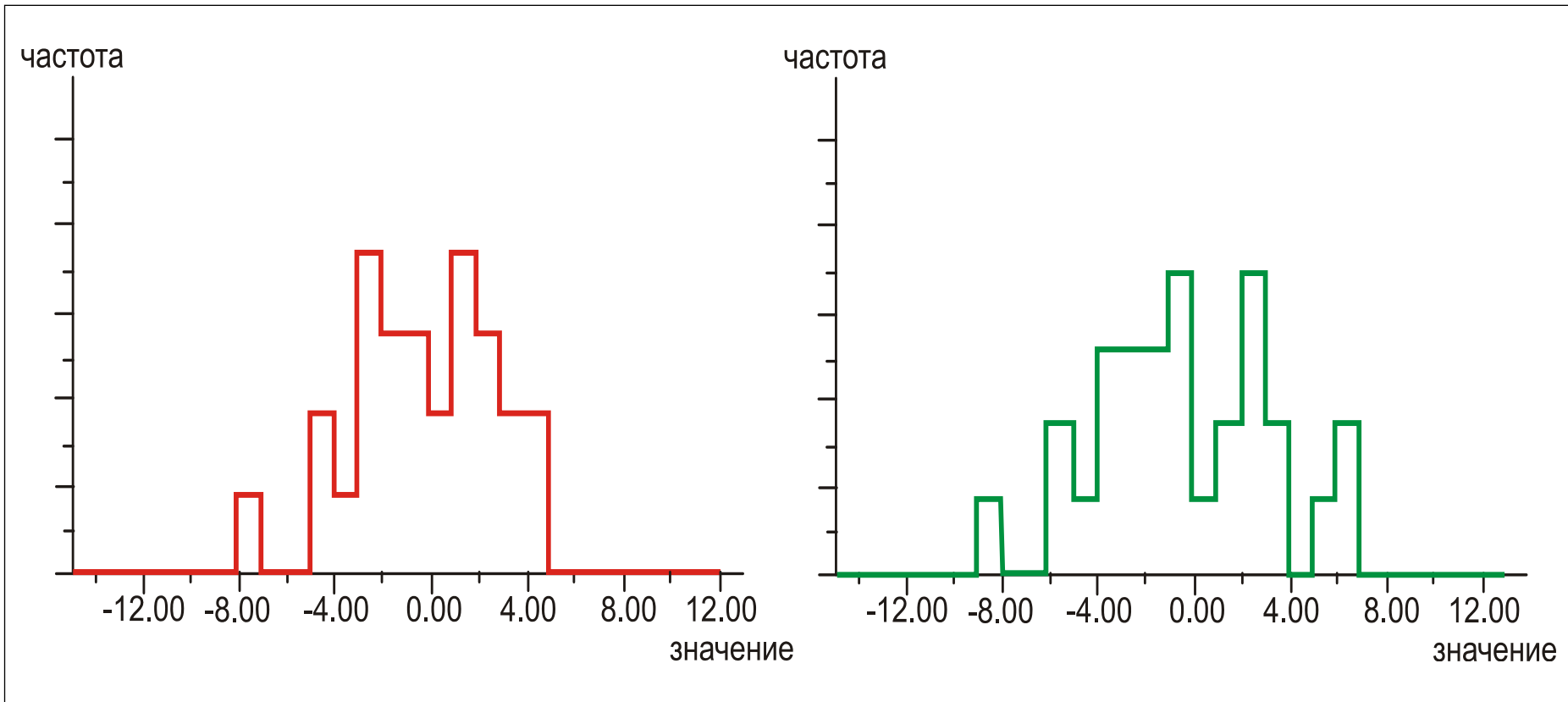
Анизотропия – неодинаковость свойств среды в различных направлениях этой среды, зависимость свойств от направления.



Контроль качества интерполяции



Перекрестная проверка





Оценка неопределенности подсчета запасов

