



**Анализ
неопределенностей
и оценка рисков при
подсчете запасов на
разных стадиях
разработки
месторождений УВ**

Ставинский П.В., Левин Д.Н. – УГММ КНТЦ

- Цели и задачи курса
- Определение понятий «риск» и «неопределенность» при подсчете запасов
- Изученность месторождений и оценка запасов
- Методы подсчета запасов на разных стадиях изученности
- Статистика и теория вероятности для геологов (кратко)
- Анализ неопределенностей на стадии поисково-разведочных работ при подсчете запасов
- Анализ неопределенностей на стадии разведки и разработки при подсчете запасов

День 1-й (15 ноября)

10.00 – 12.00 – Входное тестирование, Цели и задачи курса, Определение понятий «риск» и «неопределенность» при подсчете запасов

12.00 – 13.00 – обед

13.00 – 14.00 – Изученность месторождений и оценка запасов, Методы подсчета запасов на разных стадиях изученности

14.00 – 16.00 – Статистика, геостатистика, метод Монте-Карло и теория вероятностей

16.00 – 17.00 – **промежуточный тест на пройденный материал**

День 2-й (16 ноября)

10.00 – 12.00 – Статистика, геостатистика, метод Монте-Карло и теория вероятностей (окончание)

12.00 – 13.00 – обед

13.00 – 14.00 – **Практические упражнения**

14.00 – 15.00 – Анализ неопределенностей на стадии поисково-разведочных работ при подсчете запасов

15.00 – 17.00 – Возможности Merak DTK (Принятие решений с использованием «деревьев решений»)

17.00 – 18.00 – **выполнение практических задач в Merak DTK**

День 3-й (17 ноября)

10.00 – 11.00 – Анализ неопределенностей на стадии разведки и разработки при подсчете запасов

11.00 – 12.00 – обучение работе в модуле *Uncertainty & optimization (Petrel)*

12.00 – 13.00 – обед

13.00 – 14.00 – обучение работе в модуле *Uncertainty & optimization (Petrel)*

14.00 – 17.00 – **выполнение практических задач в Petrel**

День 4-й (18 ноября)

10.00 – 12.00 – самостоятельное выполнение практических задач в Merak DTK и Petrel

12.00 – 13.00 – обед

13.00 – 16.00 – завершение самостоятельного выполнения практических задач в Merak DTK и Petrel, вопросы

16.00 – 16.30 – **заключительный тест по материалу курса**

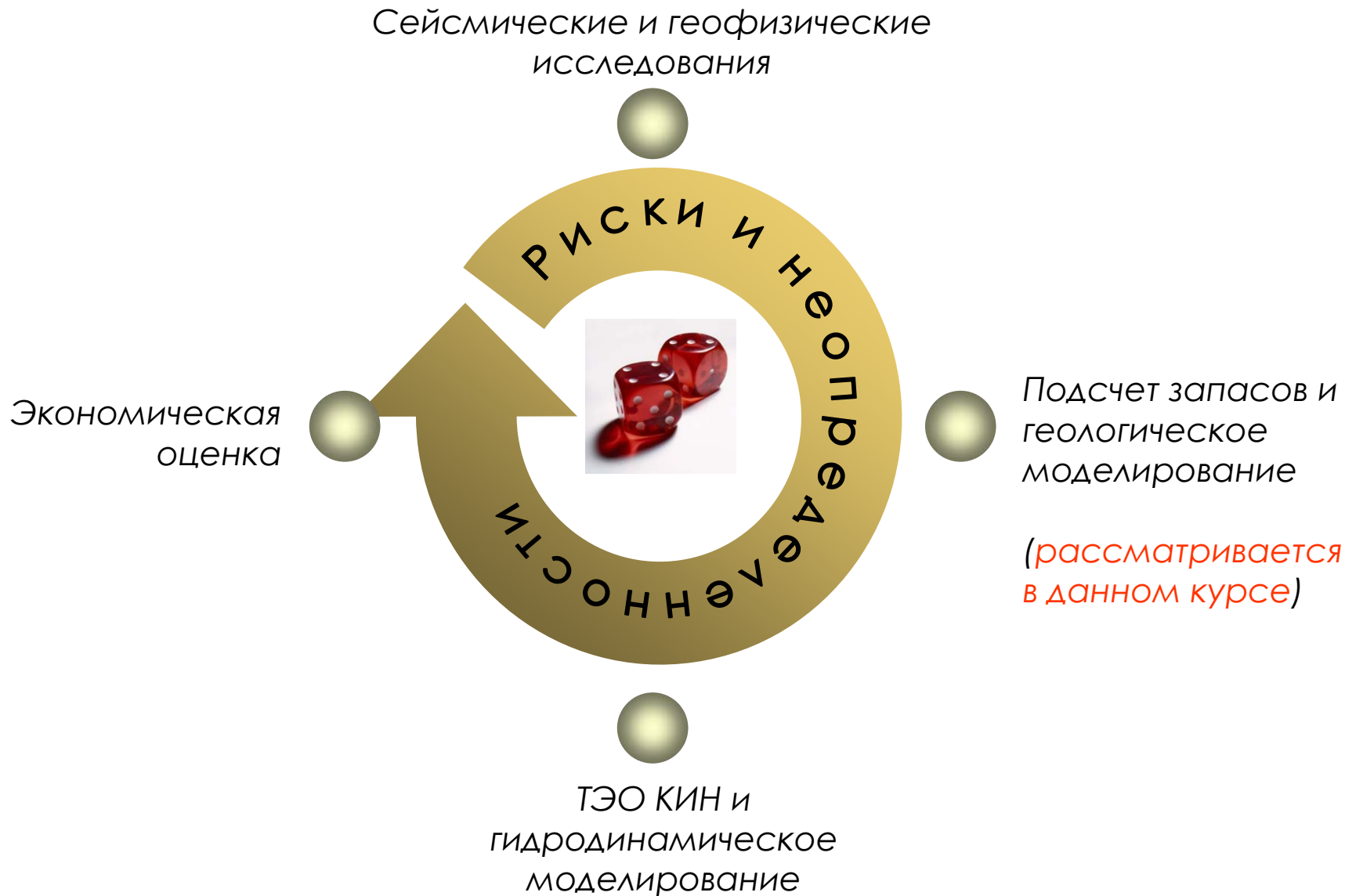
Подсчет запасов УВС является **наиболее важной** фазой работы нефтегазового инженера, так как большинство технических проблем базируется на рекомендациях, вытекающих из сопоставления **стоимости с результатами бурения и добычи**

Цель:

- Получить представление о всех неопределенностях, которые встречаются в процессе разработки месторождений УВС и как эти неопределенности влияют на принятие решения при разработке месторождений;
- Понять какое место и какой вес имеют неопределенности, связанные с подсчетом запасов УВС;
- Получить базовые навыки и знания, необходимые для анализа неопределенностей возникающих при подсчете запасов УВС на разных стадиях освоения месторождения;

Задача

- Научиться количественно оценивать неопределенности и риски , связанные с подсчетом запасов УВС;
- Получить навыки принятия решения с учетом неопределенностей для снижения рисков при подсчете запасов на основных стадиях освоения месторождения;



Риск

« ... при геологоразведочных работах определяется как **вероятность** того, что реальные **геологические запасы окажутся ниже** ожидаемого уровня или **фильтрационно-емкостные характеристики будут хуже** тех, что использовались при оценке ресурсов или запасов»

Количественно риск можно рассчитать через вероятности:

« ... вероятность отрицательного результата при поиске месторождений ... такая **вероятность** равна **произведению вероятностей** таких параметров как: существование структуры, наличие покрывки, наличие УВ и т.д. ... обычно эти **вероятности определяют экспертно**, что вносит элемент субъективизма ...»

/Ю.П. Ампилов/

Неопределенность

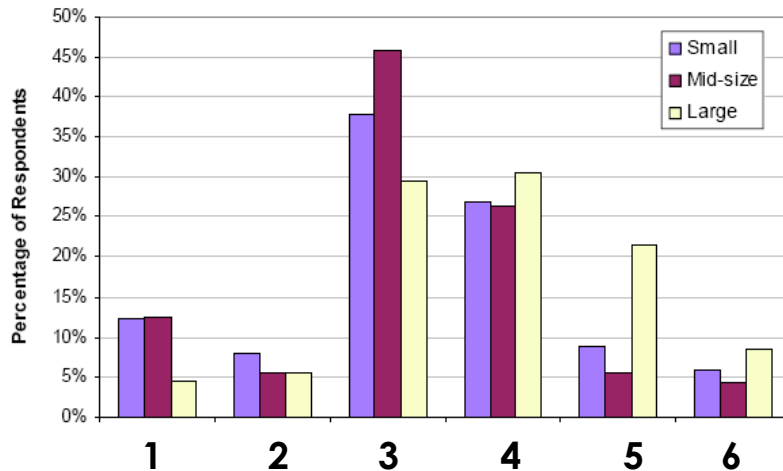
При подсчете запасов УВ – это **отличия** каждого фактора, влияющего на конечное распределение значений запасов УВ, **остающиеся** после согласования факторов с исходной информацией.

В качестве факторов, влияющих на изменение запасов УВ принимаются такие как: **построение структурных поверхностей, определение межфлюидных контактов, определение петрофизических параметров** и т.д.

Риск есть мера неопределенности: больше неопределенность в оценке параметров – больше риск и наоборот.

Свод статистики анализа рисков и
учета неопределенностей в мировой
практике подсчета запасов и
проектирования месторождений УВ
(обзор литературы)

Анализ принятия решения при капиталовложениях на месторождениях УВ в мире



Для первичного принятия решения при капитальных вложениях большинство компаний используют **детерминистический способ (с опред. чувствительности)** и **вероятностный для ключевых переменных**

Для принятия важных решений, какой уровень инвестиционного анализа они рекомендовали бы: большинство респондентов ответили, что **никогда на качественном уровне** и **обычно вероятностный для ключевых переменных**

Уровень инвестиционного анализа	Как часто было рекомендовано				
	Никогда/Редко	Иногда	Обычно	Всегда	Нет мнения
1. Качественный	47%	24%	6%	12%	11%
2. Детерминистический (базовый вариант)	29%	31%	15%	14%	11%
3. Детерминистический (с опред. чувствительности)	11%	29%	26%	24%	10%
4. Вероятностный для ключевых переменных	10%	25%	36%	19%	10%
5. По методу Монте-Карло для всех переменных	26%	29%	19%	13%	12%
6. Реальные варианты	39%	25%	10%	8%	18%

Сравнивая график и таблицу, видно, что в то время когда большие компании используют в основном метод Монте-Карло при первичном принятии решений и большинство опрошенных респондентов рекомендуют использовать Вероятностный уровень инвестиционного анализа для ключевых переменных при принятии важных решений

Потенциальное влияние анализа неопределенностей на процесс принятия решения при капиталовложениях

Неопределенности, ранжированные по влиянию на процесс

Неопределенность	Средний бал по шкале*	Важно/Значительно
Геологическая среда	4,4	82%
Цена на УВС	4,3	78%
Запасы УВС	4,1	71%
Бурение	3,9	67%
Капиталовложения	3,9	66%
Штатное расписание	3,6	57%
Добыча	3,5	53%
Мат. техническая база	3,5	52%
Операционные расходы	3,5	51%
Налоги	3,4	46%
Геополитика	3,2	43%

* 1- Единичное (небольшое) влияние; 2- Некоторое влияние; 3- Среднее влияние; 4- Важное влияние; 5- Значительное влияние;

Необходимость использования количественной оценки неопределенностей

Неопределенность	Средний бал по шкале**	Коэффициент успешности
Геологическая среда	3,5	47%
Запасы УВС	3,5	45%
Штатное расписание	3,4	41%
Бурение	3,4	41%
Капиталовложения	3,3	36%
Добыча	3,3	36%
Операционные расходы	3,2	34%
Мат. техническая база	3,2	30%
Цена на УВС	3,1	29%
Геополитика	2,9	24%
Налоги	2,8	20%

** 1- Уменьшение производительности с увеличением детальности; 2- Улучшение не гарантировано; 3 – Гарантировано небольшое улучшение; 4- Улучшение гарантировано; 5- Гарантировано значительное увеличение;

Неопределенности, ранжированные по влиянию на процесс

Неопределенность	Средний бал по шкале*	Важно/Значительно
Геологическая среда	4,4	82%
...	...	...
Запасы УВС	4,1	71%
...	...	...
Налоги	3,4	46%
Геополитика	3,2	43%

Необходимость использования количественной оценки неопределенностей

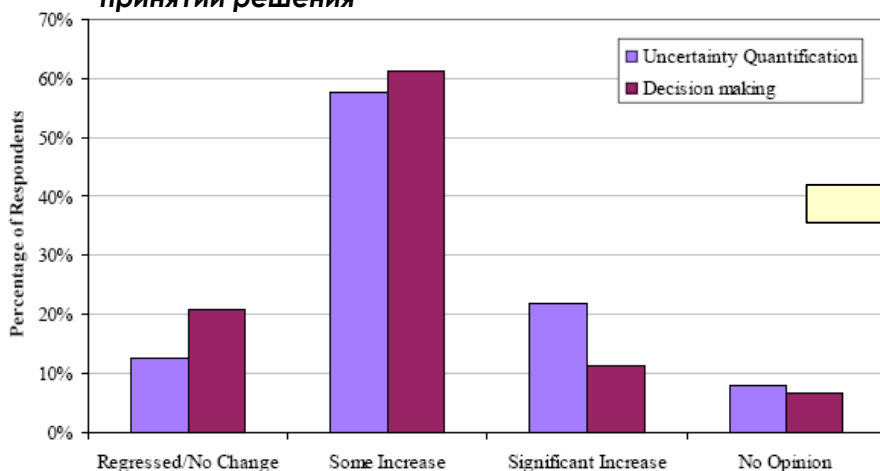
Неопределенность	Средний бал по шкале**	Коэффициент успешности
Геологическая среда	3,5	47%
Запасы УВС	3,5	45%
...	...	...
Геополитика	2,9	24%
Налоги	2,8	20%

Вывод:

1. **Наиболее значимыми** являются неопределенности, связанные с **геологическим строением месторождения и запасами УВС**, учет этих неопределенностей **гарантирует улучшение** в процессе принятия решения при капиталовложениях;
2. **Налоги и геополитика** в **средней степени** влияют на процесс принятия решения при капиталовложениях и их учет **не гарантирует** положительного результата;

По результатам опроса различных мировых компаний на предмет использования анализа неопределенностей при принятии решения выявлено **непонимание руководством компаний** полезности такого анализа

Использование анализа неопределенностей при принятии решения

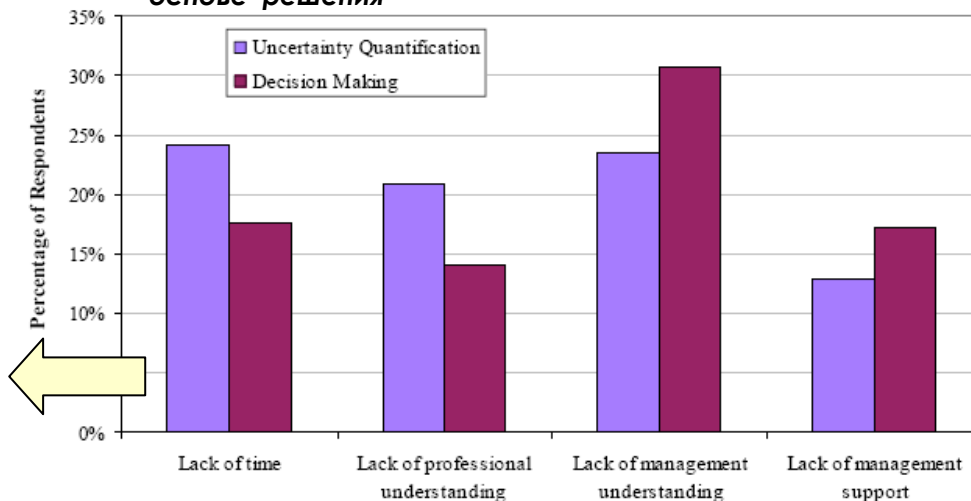


- Наиболее значительными помехами для более чем 25% является **отсутствие понимания у руководства**
- Основными помехами названы: **отсутствие времени и непонимание со стороны специалистов**

- **10%** компаний считают, что в их компаниях анализ неопределенностей **не поможет**; **20%** компаний считают, что возможность принятия решения на основе анализа неопределенностей **ничего не изменит** в их компаниях;

- более **20%** компаний сообщают о **значительной помощи** в результате учета анализа неопределенностей; и только **10%** из них считают, что **могут принимать решения** на основе анализа неопределенностей

Наиболее значительные помехи для проведения анализа неопределенностей и принятия на их основе решения



➤ Для **принятия решения** и **максимального снижения рисков** в процессе поиска, разведки и разработки месторождений УВС необходимо **учитывать все неопределенности**, связанные с подсчетом запасов



➤ Специалисты **обязаны** детально и качественно обосновать руководству необходимость учета неопределенностей для снижения рисков Компании при разработке месторождений УВС

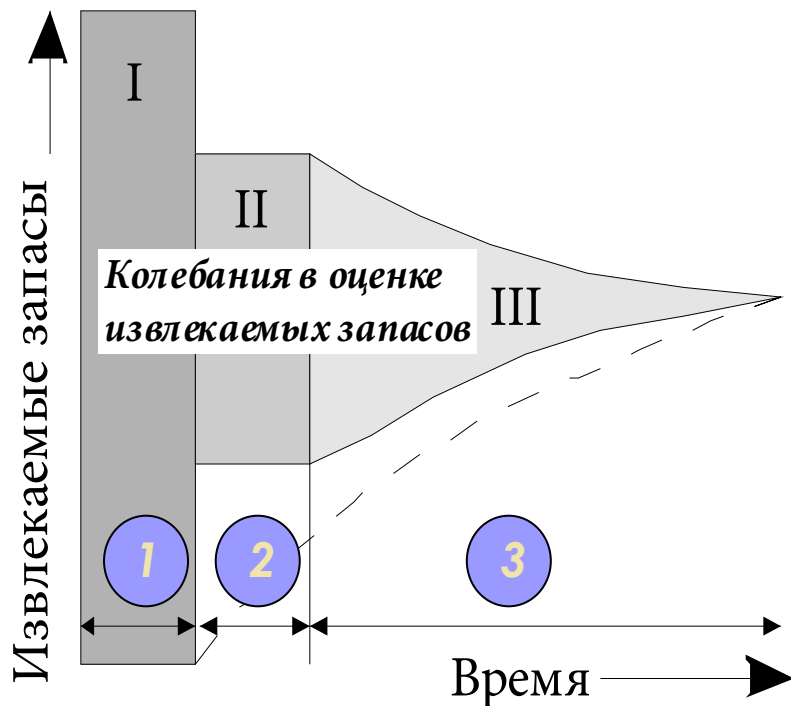
Изученность месторождения и оценка запасов

- ❑ Изучение любого месторождения УВС направлено на **подсчет запасов УВС и проектирование и реализацию** наиболее рациональной **технологии** их извлечения

- ❑ Развитие работ на месторождении **необходимо увязать** с подсчетом запасов УВС и историей разработки

- ❑ Существует 3 основных известных методики **увязки подсчета запасов и стадийности производства работ:**
 1. «Зависимость относительной точности подсчета запасов нефти и газа от состояния изученности залежи» (**по Арпсу**)
 2. «Количественная жизнь запасов» (**по Хадсону и Ньюсу**)
 3. «Стадийность работ и подсчета запасов» (**По Гарбу**)

«Зависимость относительной точности подсчета
запасов нефти и газа от состояния изученности
залежи» (**по Арпсу**)



I - Подсчет по аналогии

II - Подсчет объемным методом, м^3 на ед. объема

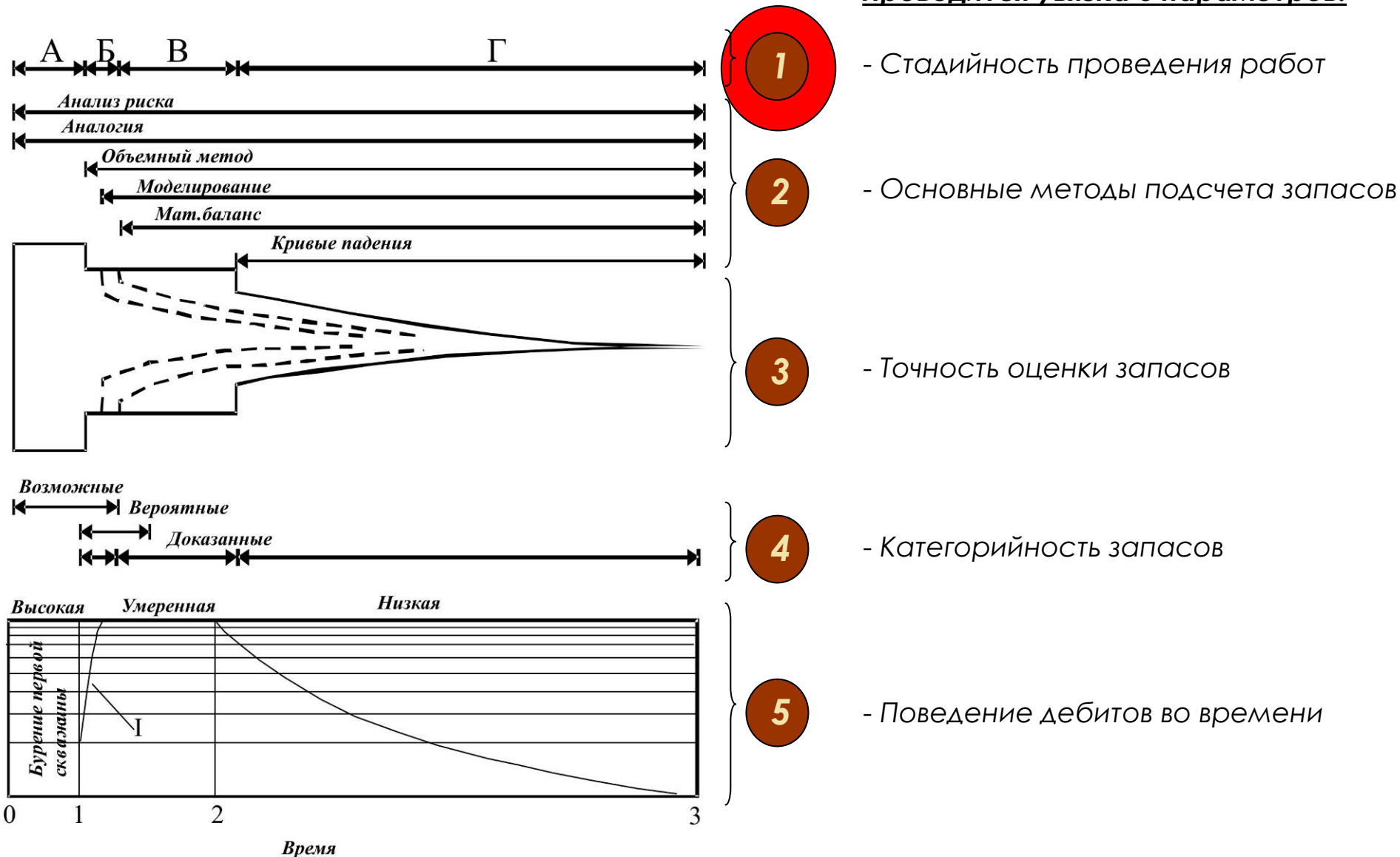
III - Подсчет на основании данных эксплуатации

- 1 - Область возможных пределов отклонений в оценках
- 2 - Действительное значение извлекаемых запасов
- 3 - Кривая накопленной добычи

✓ Методика основана на связи **абстрактной** залежи с методами и точностью подсчета запасов

«Количественная жизнь запасов»
(по Хадсону и Ньюсу)

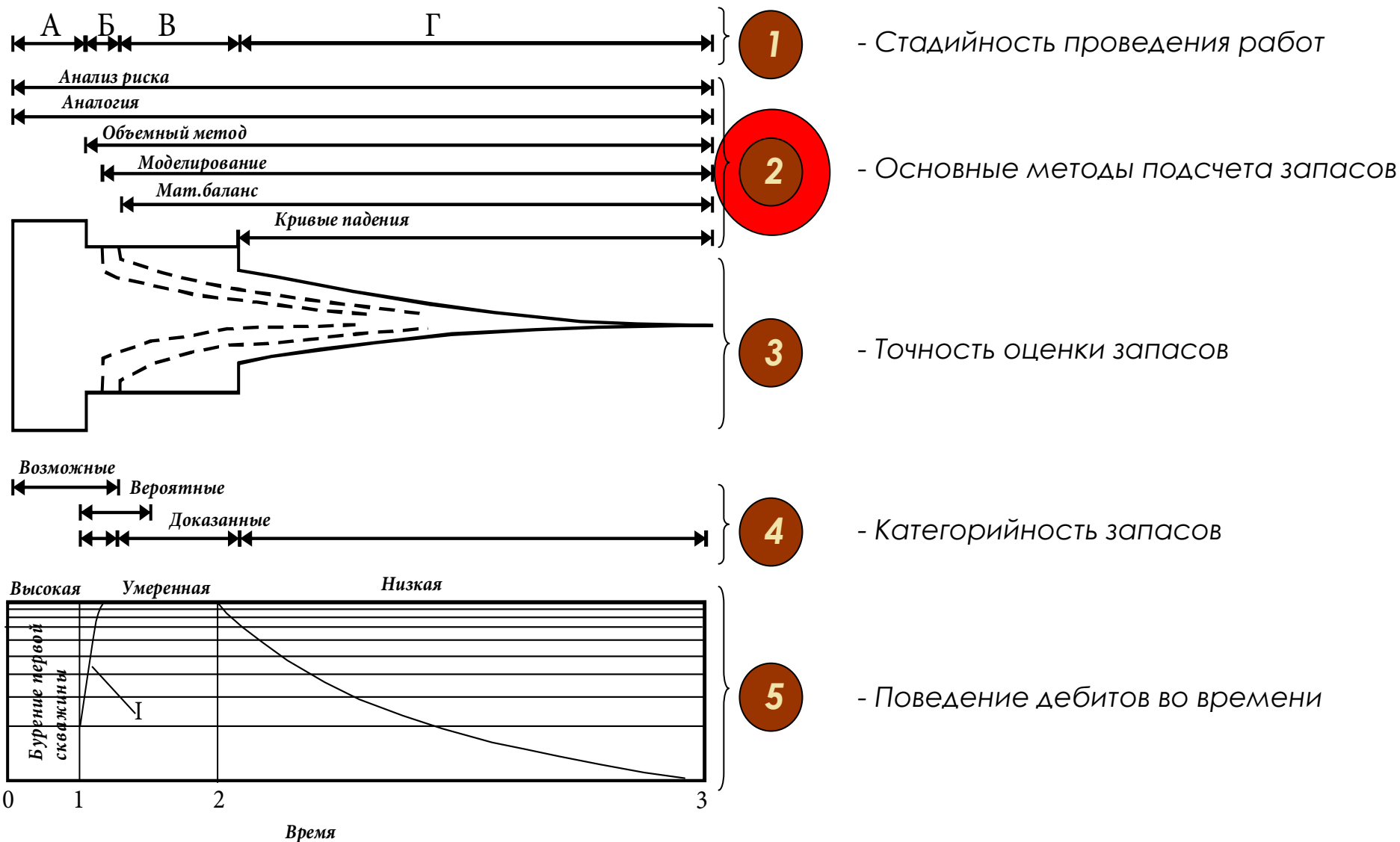
Проводится увязка 5 параметров:



1

- ☐ А – стадия **« нового открытия »**, длится до начала добычи.
- ☐ Б – **« ранняя »** стадия длится до тех пор, пока не будут получены достаточные данные для суждения о возможном поведении добычи.
- ☐ В – **« юная »** стадия, начинается с того времени, как становится возможным использование методов подсчета, основанных на поведении добычи во времени.
- ☐ Г – **« зрелая »** стадия длится до конца разработки.

Проводится увязка 5 параметров:



2

Увязка методов подсчета запасов со временем, когда они могут быть применены с наиболее благоприятным результатом

□ Аналогия – сравнение с **известным резервуаром**, находящимся в **непосредственной** близости от изучаемого объекта.

(Анализ риска – **на базе** строгого математического анализа (**Монте-Карло**) получение **наиболее вероятного** значения запасов)

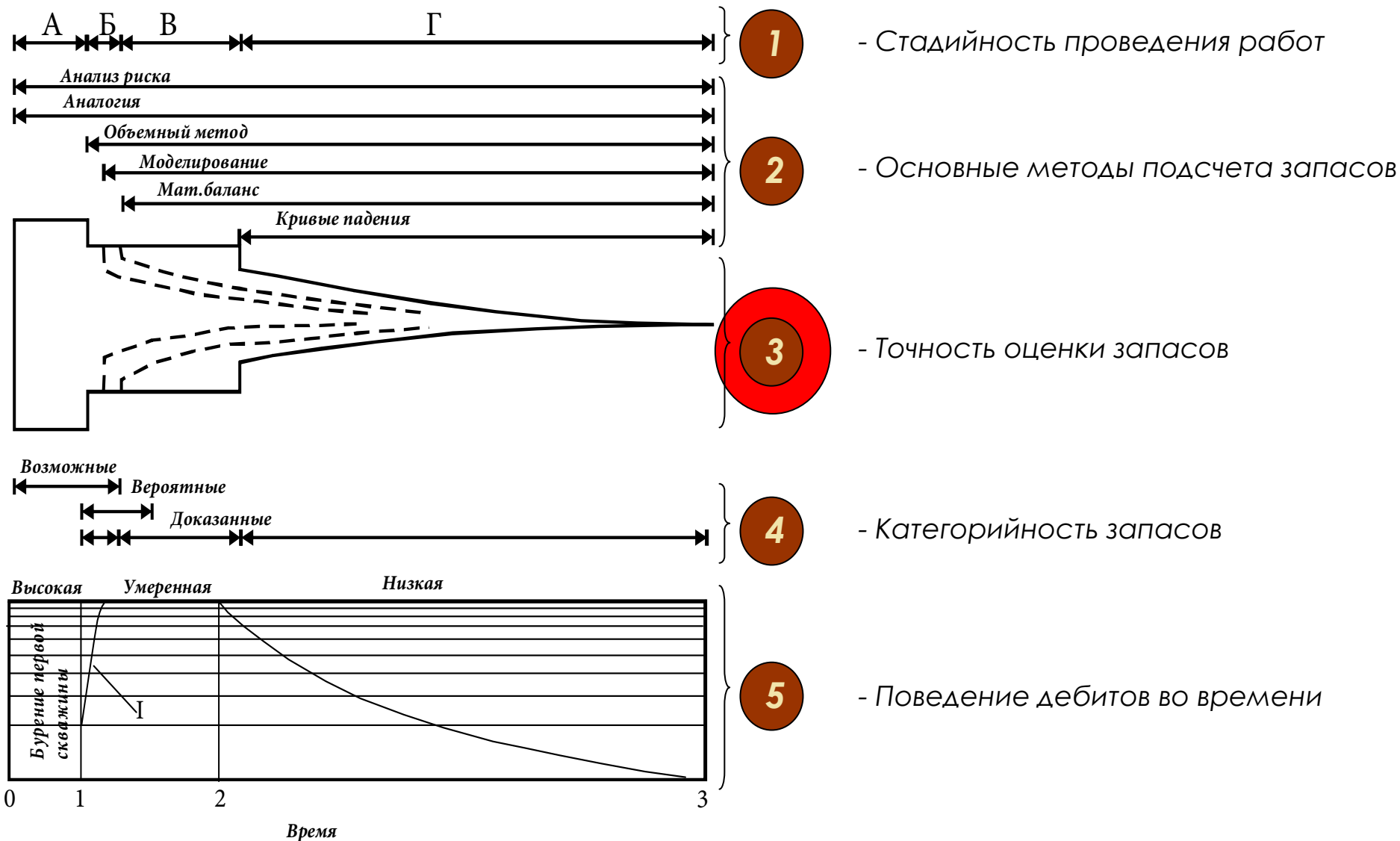
□ Объемный метод – определение площади дренажа, средней эффективной газо- или нефтенасыщенной толщины пласта, условий залегания УВ (пористости и водонасыщенности), эффективности извлечения УВ.

(Моделирование – подсчет запасов по результатам **цифрового геологического моделирования**)

□ Материальный баланс – определение **начальных запасов** в пласте по реальным данным изменения **пластового давления** и **свойств пластовых флюидов** в зависимости от **накопленной добычи**.

□ Кривые падения добычи – использование закономерностей **прошлой добычи** для прогнозирования ее в **будущем** до конца разработки – **самый точный метод определения доказанных запасов**.

Проводится увязка 5 параметров:

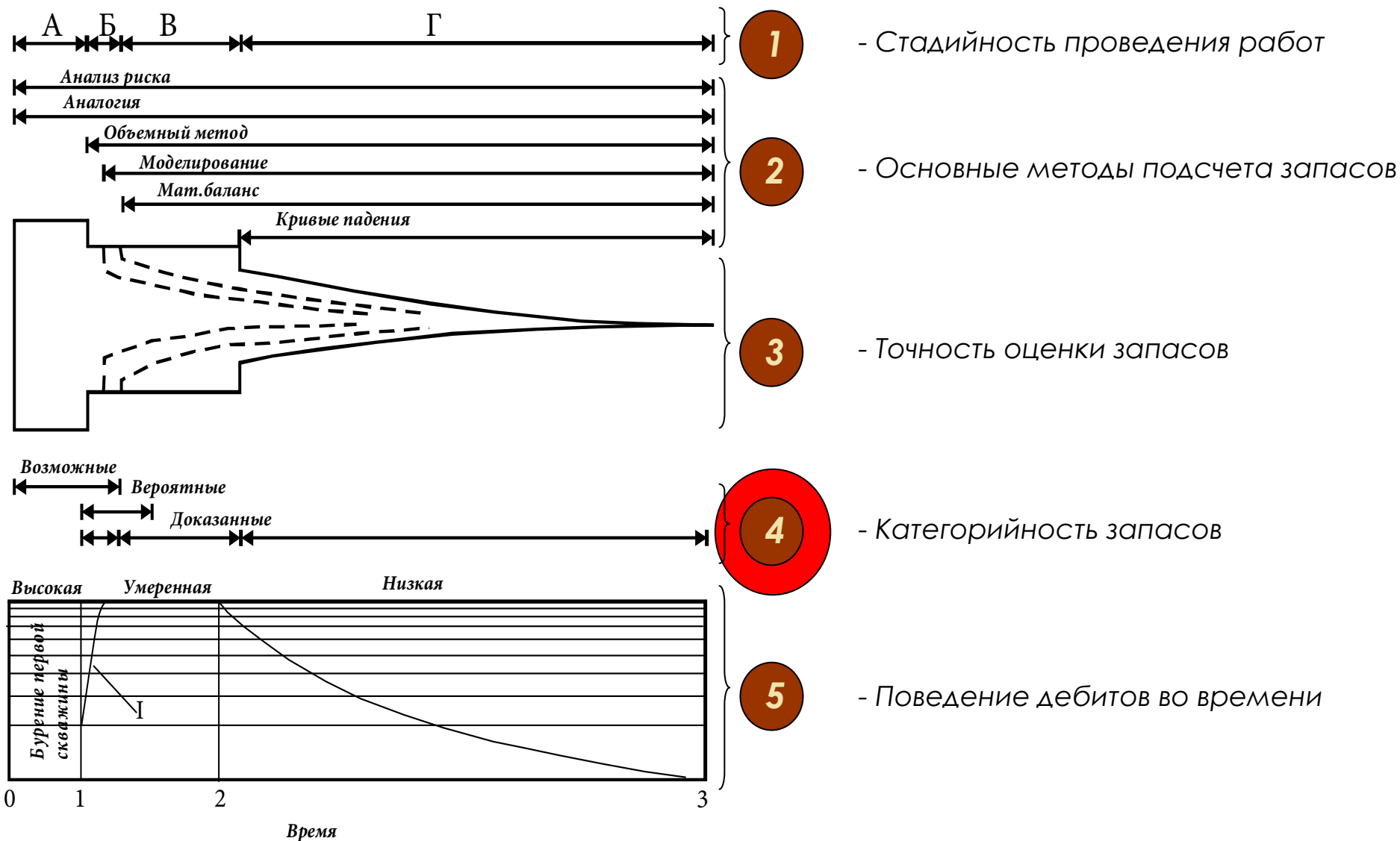


3

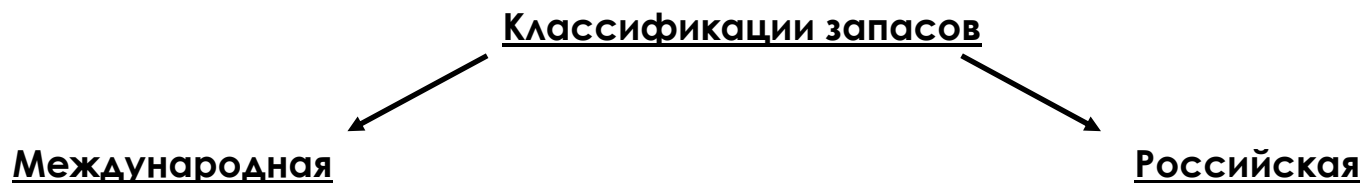
Описывает возможные колебания в определении цифры запасов УВС:

- ☐ Во время 0 (до открытия) колебания максимальные – максимальная ошибка
- ☐ После открытия месторождения колебания постоянно уменьшаются с увеличением изученности месторождения
- ☐ Время 3 характеризуется максимальной точностью в определении цифры запасов и минимальным колебанием

Проводится увязка 5 параметров:



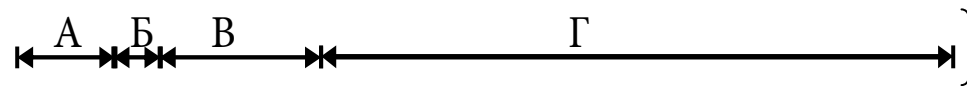
4



Сравнение Российской и Международной классификаций
(по И.С. Гутману)

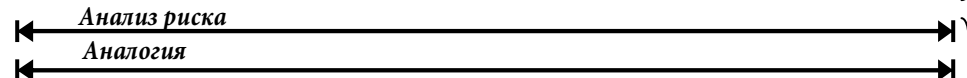
Классификация	Категории					
Российская	Запасы				Ресурсы	
	Разведанные			Предварительно оцененные	Перспективные/Прогнозные	
	A	B	C1	C2	C3	D
Международная	Доказанные		Вероятные		Возможные	

Проводится увязка 5 параметров:



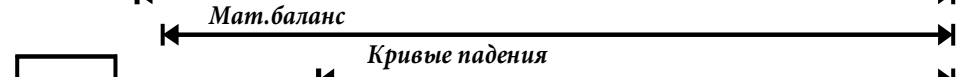
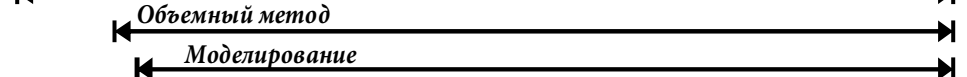
1

- Стадийность проведения работ



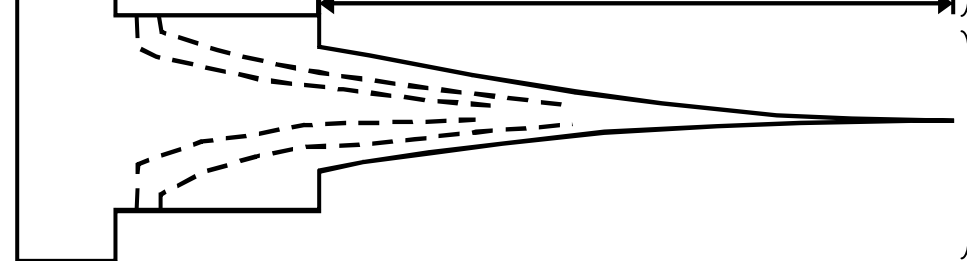
2

- Основные методы подсчета запасов



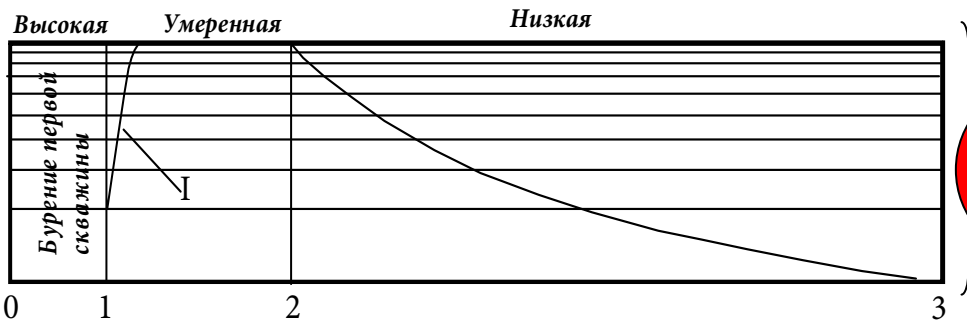
3

- Точность оценки запасов



4

- Категорийность запасов

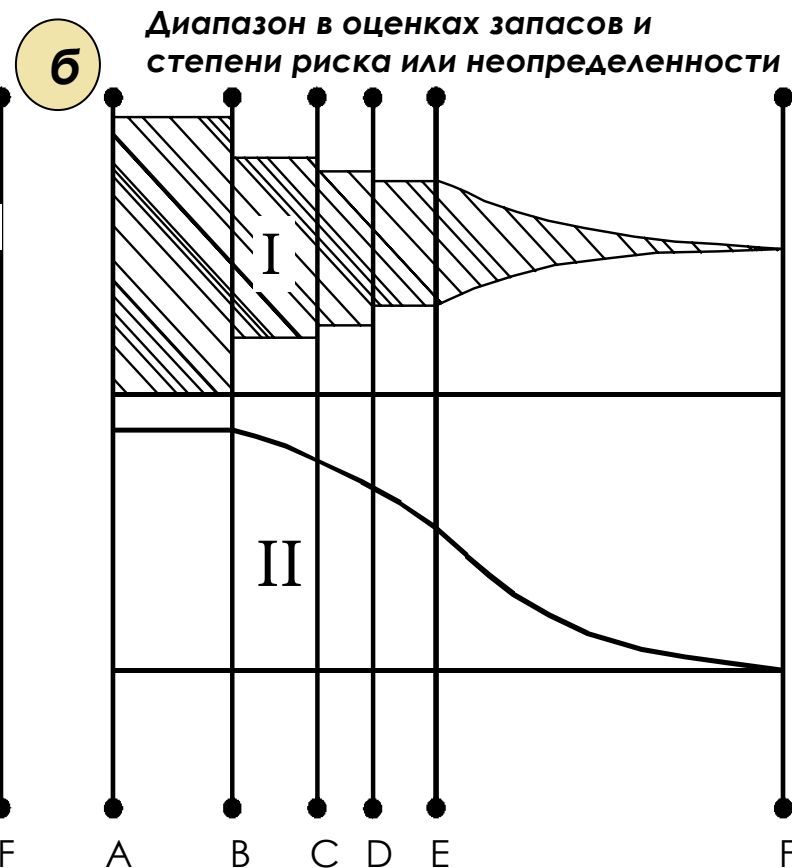
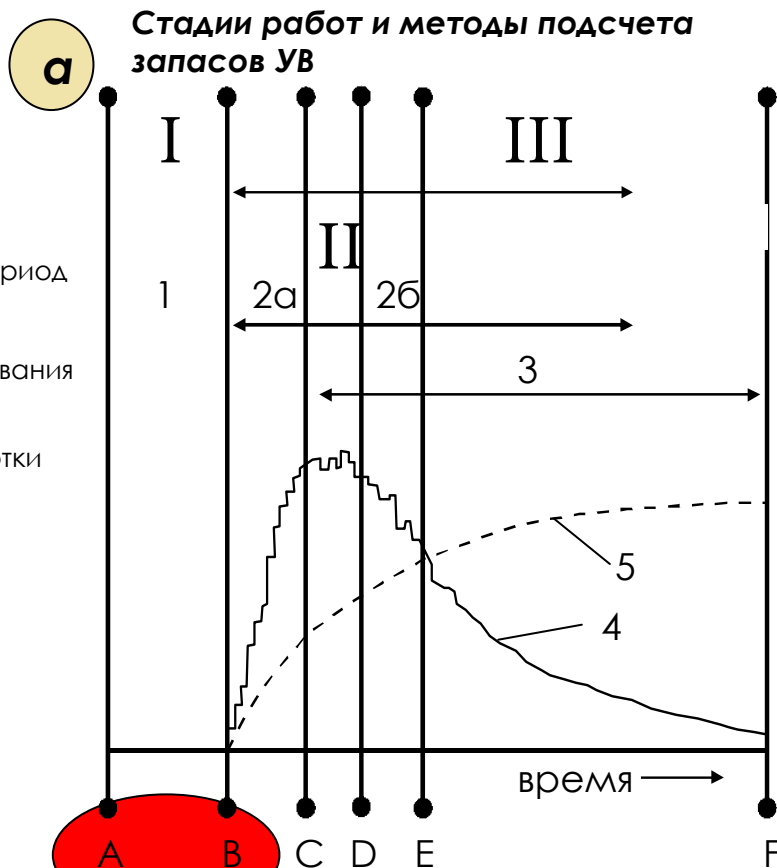


5

- Поведение дебитов во времени

Время

«Стадийность работ и подсчета запасов»
(По Гарбу)



A-B**Предбуровой период:**

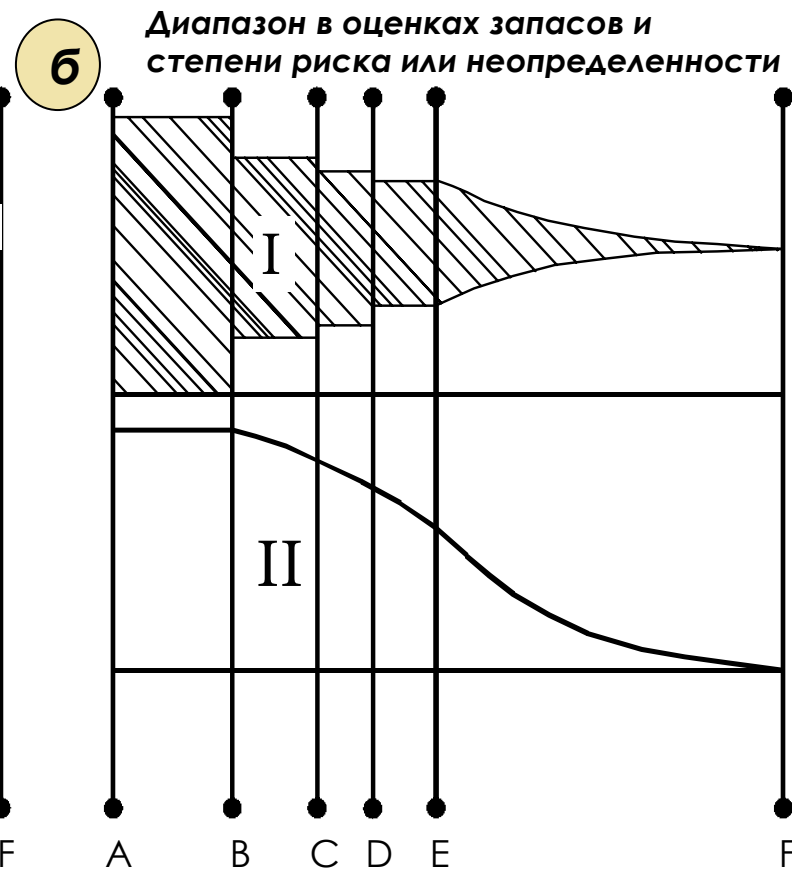
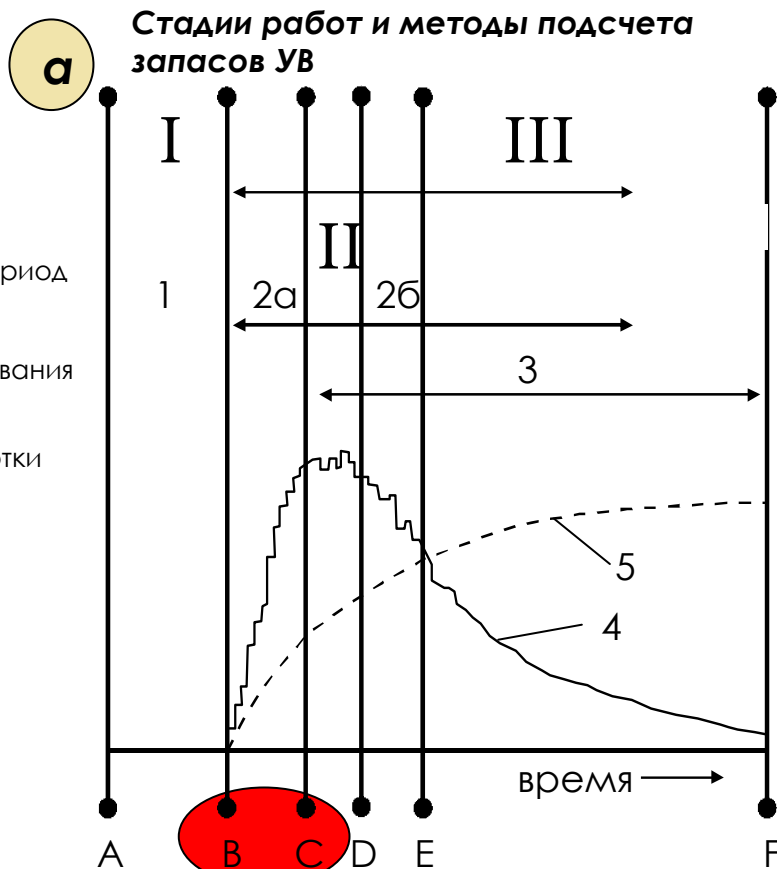
- ☐ Период риска на разведочных площадях
- ☐ Период неопределенности, если программа связана с бурением опережающей скважины, либо скважины, предназначенной для заводнения

**Методика
подсчета запасов**

- в этот период применяется **метод аналогии** или расчет запасов на единицу площади

**Риски и
неопределенности**

- период **максимального риска** и **наименьшей точности** при подсчете запасов и предсказании будущей добычи



В-С**Период разбуривания:**

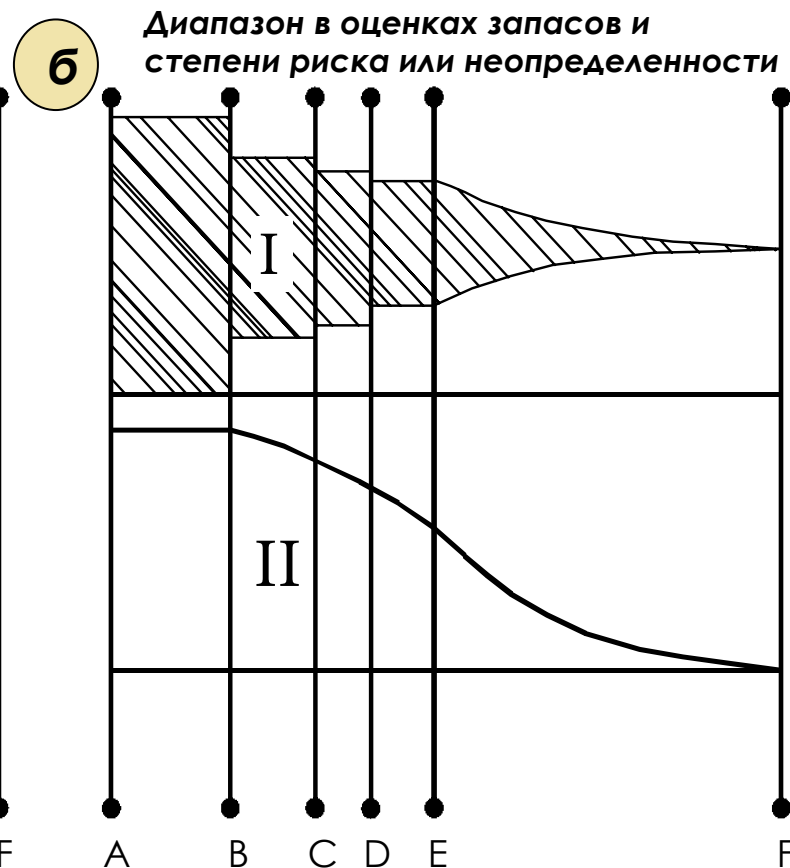
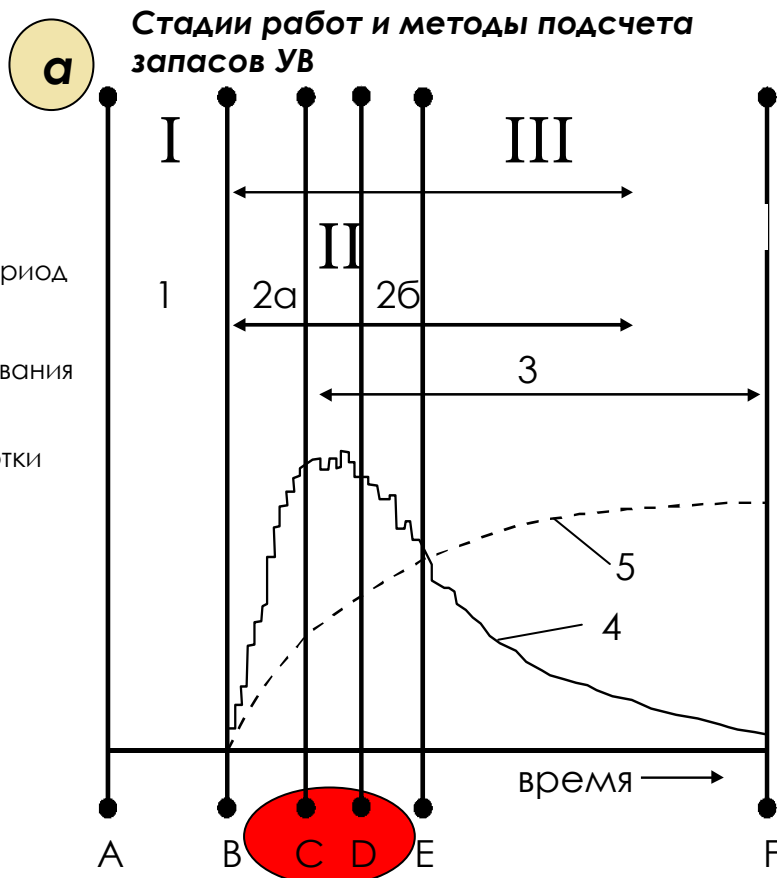
- ☐ Период **начала** разработки месторождения (возможно получение фонтанных притоков)
- ☐ Период нехватки данных для проведения подсчета запасов методами, основанными на анализе тенденций производительности

**Методика
подсчета запасов**

- в этот период применяется **объемный метод** подсчета запасов

**Риски и
неопределенности**

- период **неопределенности**, связанные с прослеживанием продуктивного горизонта по площади, неоднородностью и т.д.



C-D

Период разбуривания:

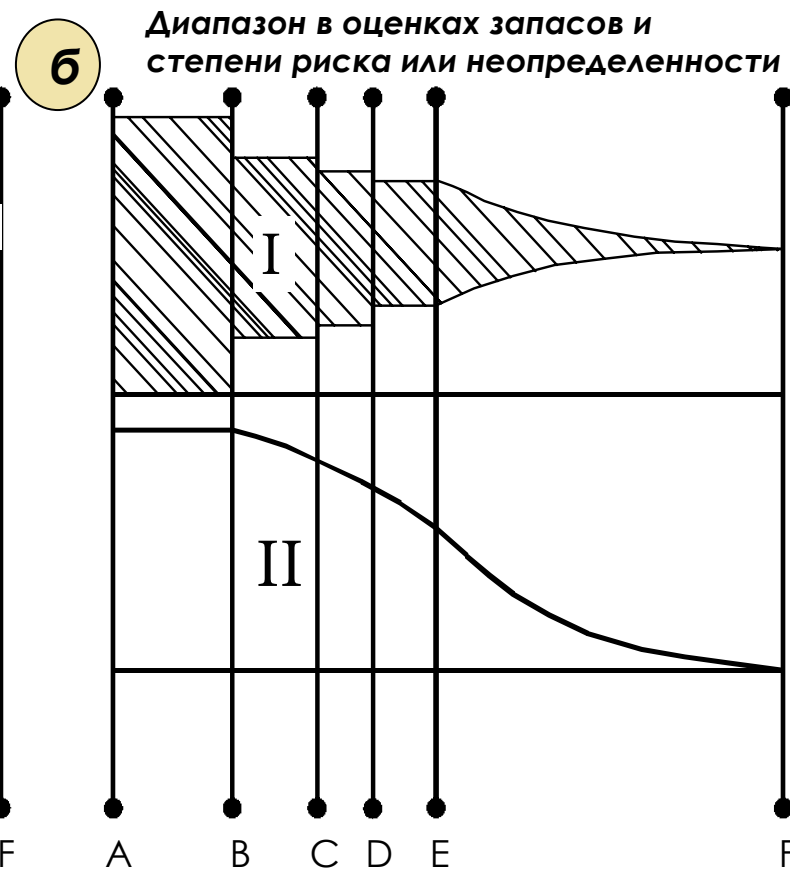
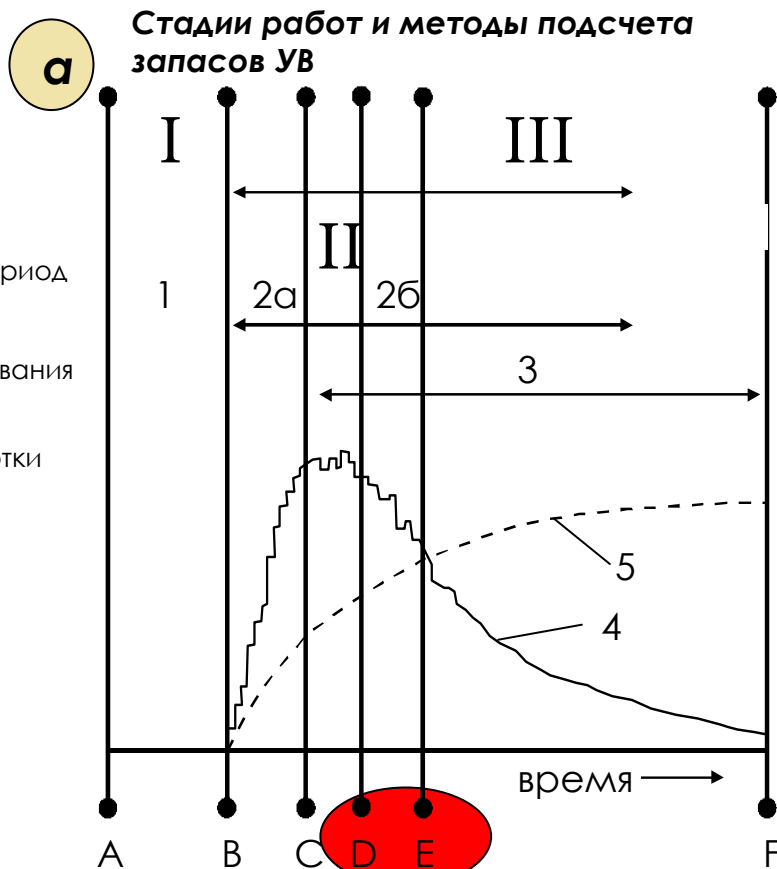
- ☐ Период **активного** разбуривания
- ☐ Наличие цифровых моделей залежи

Методика
подсчета запасов

- в этот период применяется **метод материального баланса**

Риски и
неопределенности

- **уверенное представление** о поведении пласта и распределении параметров



I - предбуровой период

II - период разбуривания

III - период разработки

I - относительная точность подсчета запасов

II - степень риска или неопределенности

1 – подсчет по аналогии (м^3 на ед. площади)

2а – подсчет объемным методом (м^3 на ед. площади)

2б – подсчет объемным методом (м^3)

3 – подсчет на основании данных эксплуатации

4 – текущая добыча

5 – накопленная добыча

D-EПериод разбуривания:

- ☐ **Заключительный** этап разбуривания
- ☐ Период **начала** падения добычи

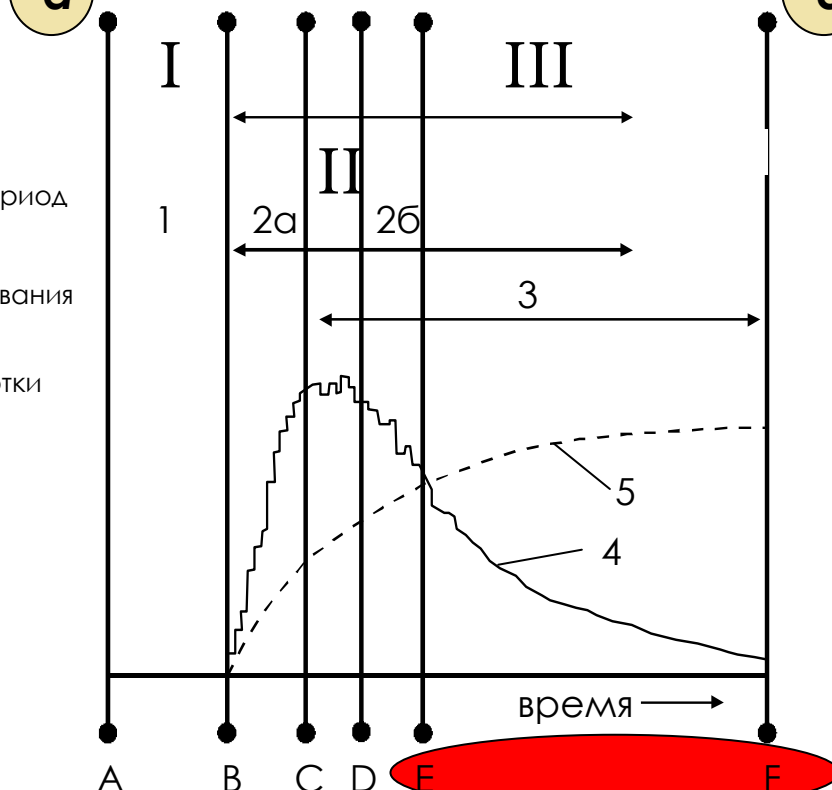
**Методика
подсчета запасов**

- в этот период применяются **любые известные** методы подсчета запасов

**Риски и
неопределенности**

- **уверенное представление** о поведении пласта и распределении параметров, значительное **снижение неопределенностей и рисков** при бурении

а Стадии работ и методы подсчета запасов УВ

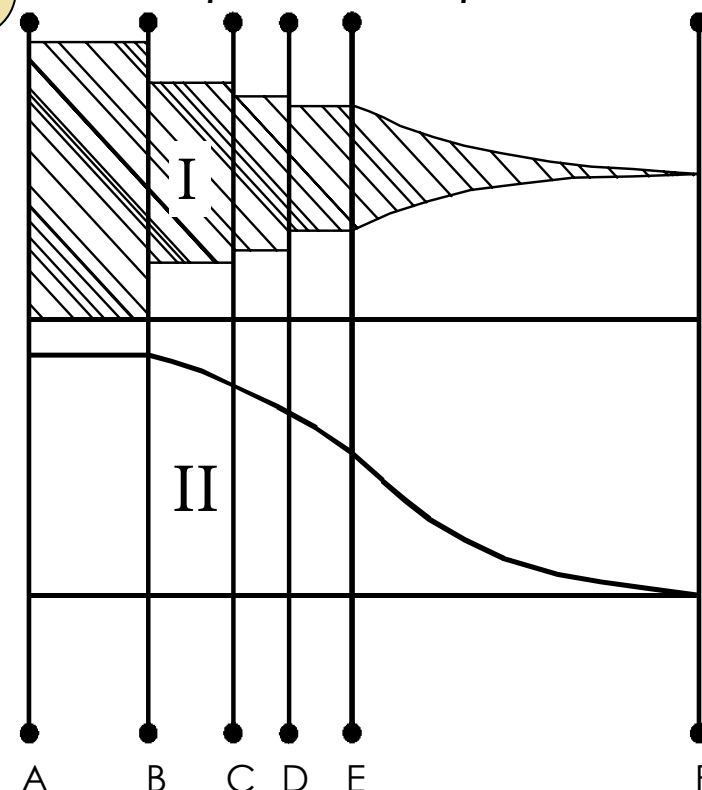


I - предбуровой период

II - период разбуривания

III - период разработки

б Диапазон в оценках запасов и степени риска или неопределенности



I - относительная точность подсчета запасов

II - степень риска или неопределенности

1 – подсчет по аналогии (м^3 на ед. площади)

2а – подсчет объемным методом (м^3 на ед. площади)

2б – подсчет объемным методом (м^3)

3 – подсчет на основании данных эксплуатации

4 – текущая добыча

5 – накопленная добыча

E-F**Период окончания разработки:**

- ☐ **Заключительный** этап разработки месторождения
- ☐ **Расчет мероприятий** по воздействию на залежь **в целях увеличения** коэффициентов извлечения УВ **в условиях снижения добычи**

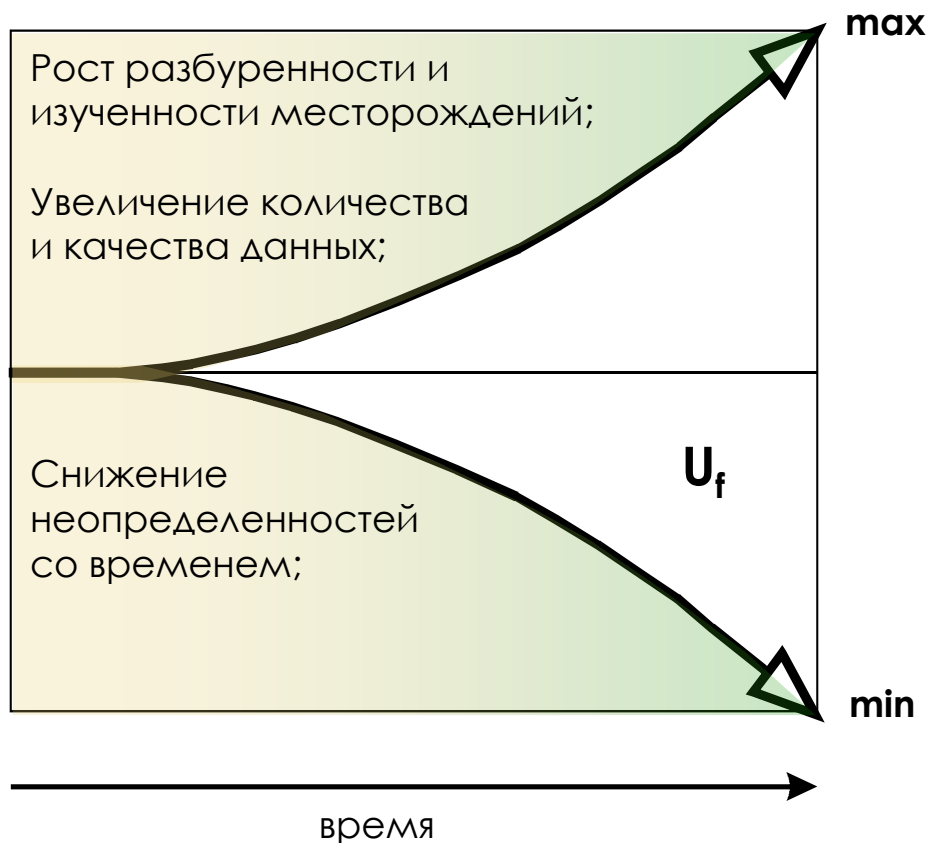
**Методика
подсчета запасов**

- в этот период наиболее часто применяются методы **материального баланса** при естественном режиме работы объекта

**Риски и
неопределенности**

- период **минимального риска** и **наибольшей точности** при подсчете запасов и предсказании будущей добычи

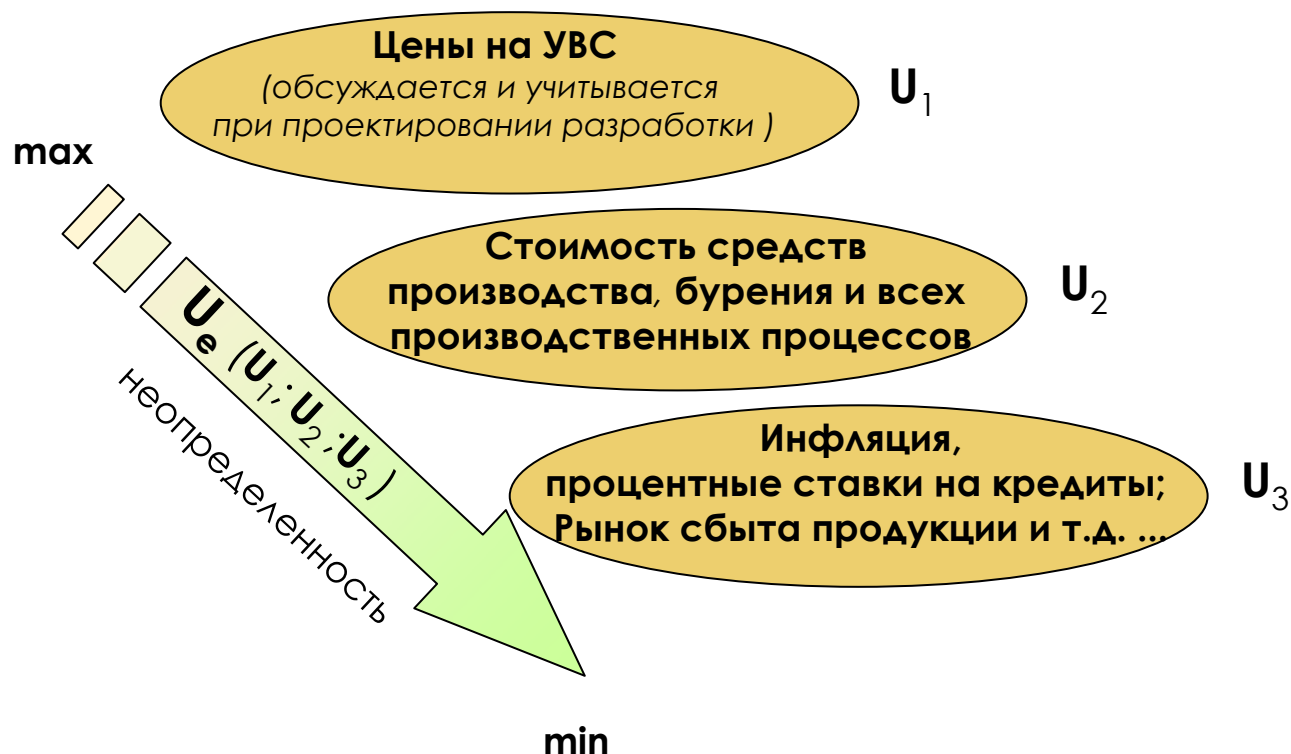


Техническая неопределенность (геолого-гидродинамическая)

Основана на точности
расчета геологами и
гидродинамиками
**объемов запасов и
проектирования темпов
отбора УВ**

Экономическая неопределенность

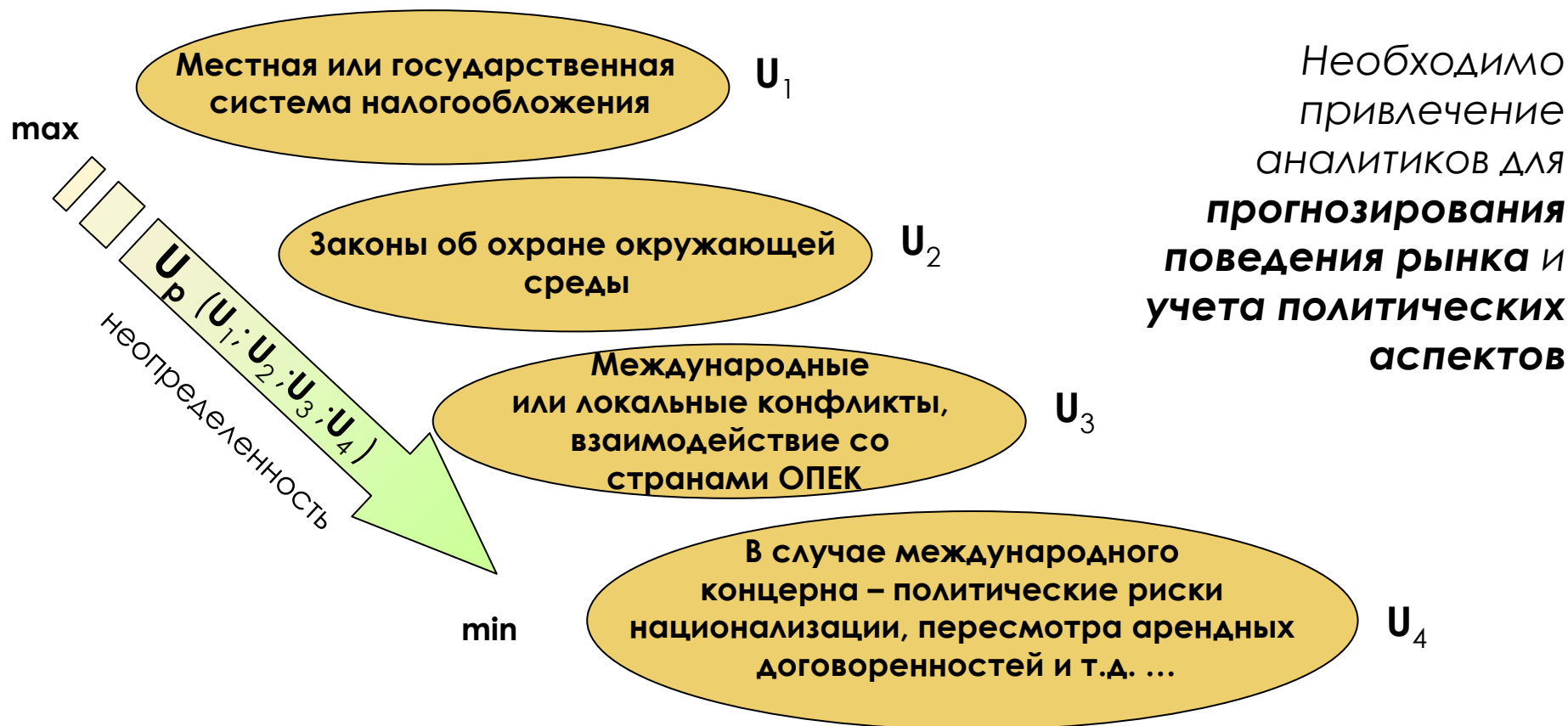
Для снижения неопределенности необходимо учесть:

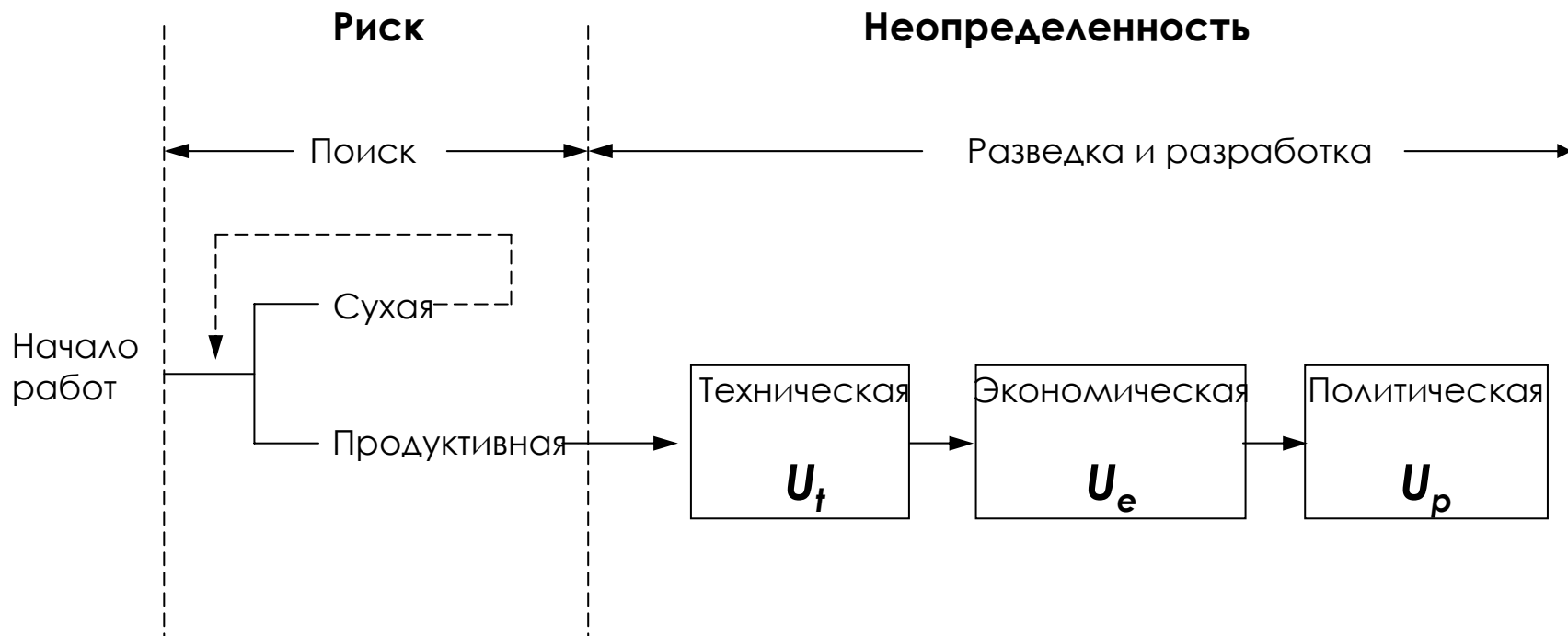


Необходимо привлечение аналитиков-финансистов и экономистов для **прогнозирования поведения рынка и экономических показателей**

Политическая неопределенность

Для снижения неопределенности необходимо учесть:





Необходимо разделить два понятия:

... понятие **«РИСК»** больше связано с поиском и разведкой, когда существует риск того, что скважина окажется непродуктивной.

... понятие **«НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ»** наиболее часто употребляется по отношению к уже находящимся в разработке залежам.

- ❑ *Общий коэффициент неопределенности проекта равен произведению всех неопределенностей, $U_f = U_t * U_e * U_p$*
- ❑ *Ожидаемая оценочная стоимость месторождения УВС равна произведению проектной стоимости на U_f*
- ❑ *Снижение стоимости проектов (разработки месторождений УВС) зависит от корректного учета всех перечисленных неопределенностей*

Методы подсчета запасов на разных стадиях изученности

Существует несколько основных методик оценки и подсчета запасов:

- ☐ Метод аналогий (объемно-генетический)
- ☐ Объемный метод
- ☐ Метод кривых эксплуатации или статистический (рассматриваться не будет)
- ☐ Метод материального баланса (рассматриваться не будет)

Метод аналогий

Используется для оценки запасов и ресурсов на стадиях геологоразведочных работ и ранних стадиях разработки при ограниченном объеме данных о непосредственных измерениях подсчетных параметров.

Сущность методики принятия по аналогии заключается в предположении о сопоставимости рассматриваемого пласта пластам-аналогам в отношении коллекторских свойств пород и свойств флюида, влияющих на определение величины конечных извлекаемых запасов.

Параметры для определения пластов-аналогов

Геология и геофизика

- тип бассейна, ловушек, УВ
- обстановки осадконакопления
- геодинамический режим
- возраст коллектора
- литология, фации
- наличие газовой шапки
- ср.глубина залегания и площадь коллектора
- ВНК, ГНК, ГВК
- петрофизические параметры коллектора
- ...

PVT свойства

- нач. пластовое и текущее давление
- давление насыщения
- температура
- плотность и вязкость нефти
- нач.газосодержание
- объемный коэф-т нефти
- плотность воды
- вязкость воды
- минерализация
- сжимаемость нефти, воды, газа
- ...

Разработка

- выработанность
- фонд скважин
- накопленная добыча нефти, газа, конденсата
- текущий средний дебит нефти, газа, жидкости
- обводненность
- режим залежи
- плотность сетки скважин
- тек.газовый фактор
- тип системы разработки
- ...

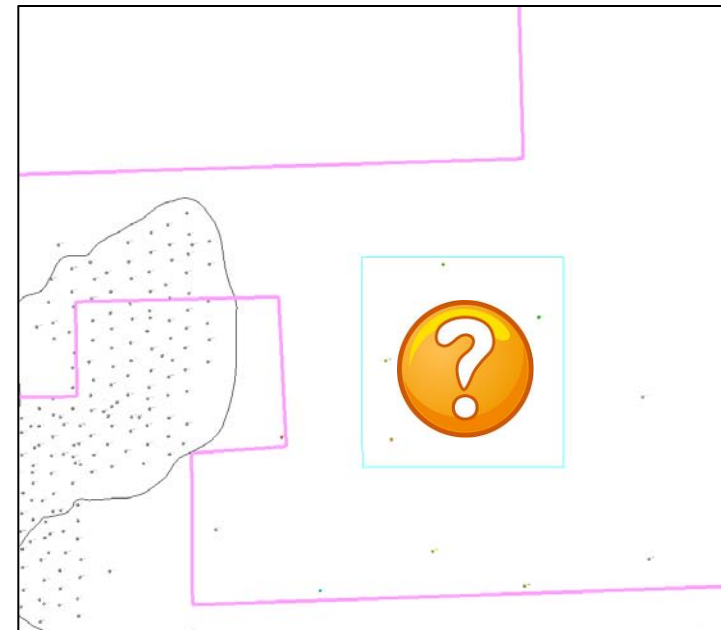
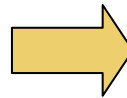
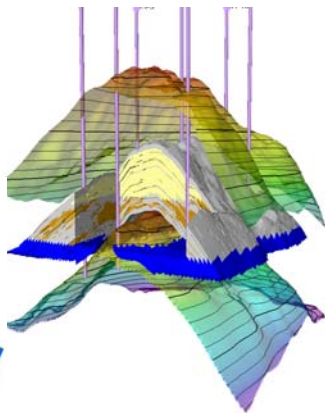
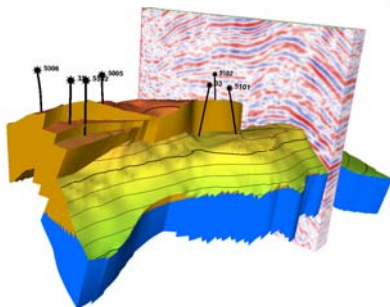
Запасы и КИН

- НГЗ нефти, газа, конденсата
- НИЗ нефти, газа, конденсата
- КИН
- КИГ
- КИК
- ...

Сужения диапазона неопределенности при оценке извлекаемых запасов можно добиться путем сопоставления рассматриваемого пласта с несколькими пластами-аналогами.

Однако следует учитывать, что даже при общей схожести характеристик пластов одного возраста, расположенном в одном географическом районе, такая схожесть сама по себе не может считаться определяющим фактором при выборе пластов-аналогов.

Совокупность данных по месторождениям - аналогам



Объемный метод подсчета запасов

Используется для подсчета запасов на всех этапах и стадиях геолого-разведочных работ, а также в процессе опытной эксплуатации и разработки месторождений нефти и газа.

Сущность метода заключается в определении массы нефти или объема свободного газа, приведенных к стандартным условиям залегающих в пустотном пространстве пород-коллекторов.

Последовательность подсчета:

- Определение объема пород-коллекторов, содержащих углеводороды
- Определение средней пористости пород-коллекторов
- Определение средней нефтегазонасыщенности пород-коллекторов
- Приведение объема углеводородов к стандартным условиям

Объемный метод можно считать практически универсальным для подсчета запасов любой залежи или ее части при любой степени изученности

Начальные геологические запасы нефти подсчитываются по формуле:

$$Q_{HO} = F * h_{эф.н} * K_p * K_H * \theta * \sigma_H$$

Q_{HO} - начальные геологические запасы нефти подсчитываются по формуле, тыс.т

F – площадь залежи, тыс. м²

$h_{эф.н}$ – эффективная нефтенасыщенная толщина, м

K_p - коэффициент открытой пористости, доли ед.

K_H - коэффициент нефтенасыщенности, доли ед.

θ - пересчетный коэффициент, учитывающий усадку нефти, доли ед.

σ_H - плотность нефти в поверхностных условиях, т/м³

$F * h_{эф.н}$ – объем коллекторов залежи (ее части)

$F * h_{эф.н} * K_p$ - объем пустотного пространства пород-коллекторов

$F * h_{эф.н} * K_p * K_H$ - объем пустотного пространства пород-коллекторов, насыщенный нефтью

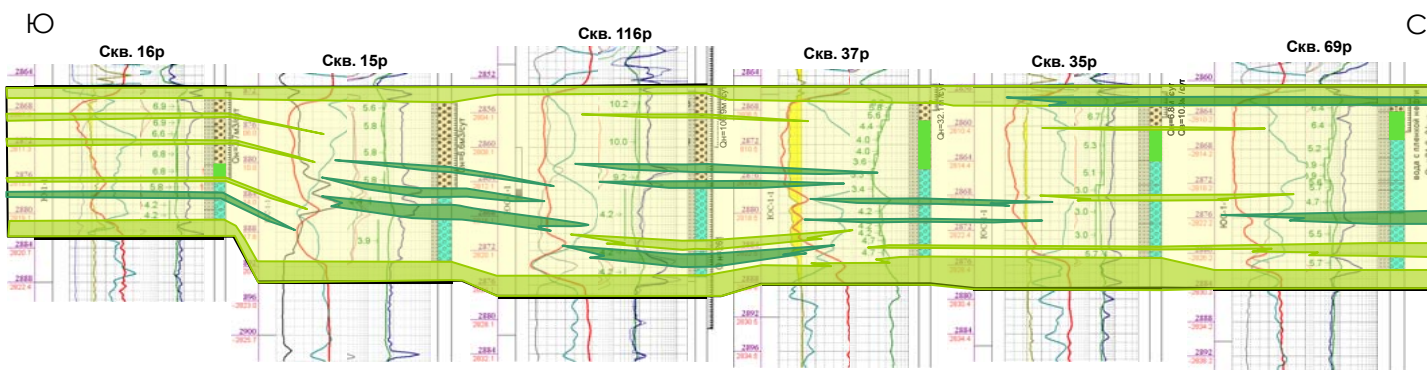
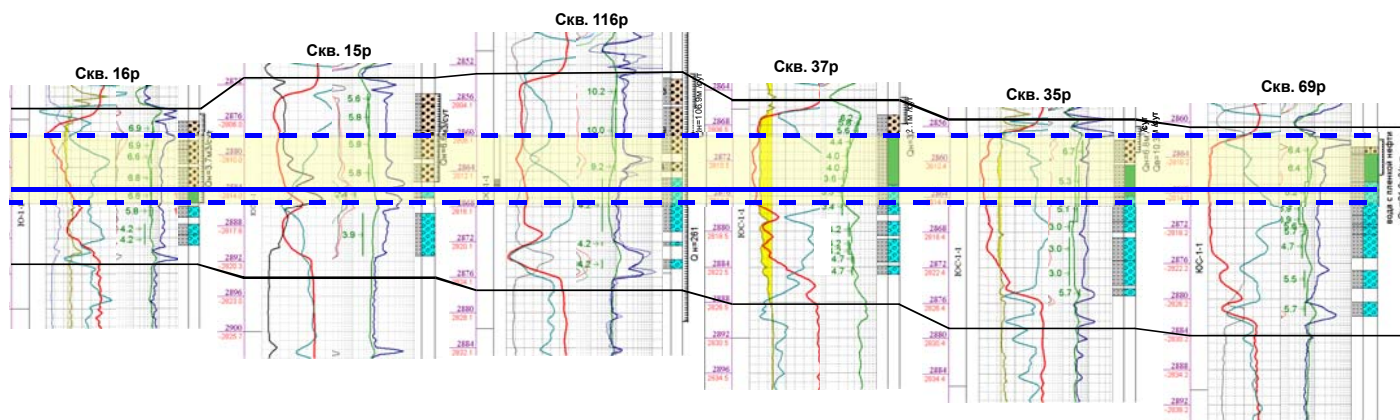


16p (60.7) 2804.3 (57.4) 116p (51.9) 2800.9 (70.6) 3138 15p (70.0) 2801.3 (67.2) 3720 37p (61.5) 2803.8 (66.8) 4124 35p (49.6) 2805.3 (69.0) 2843 63p (53.8) 2806.8 (66.3)

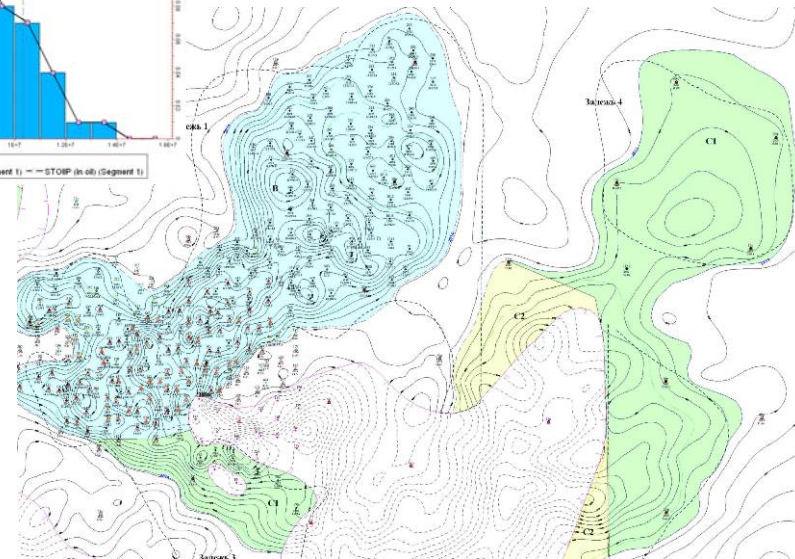
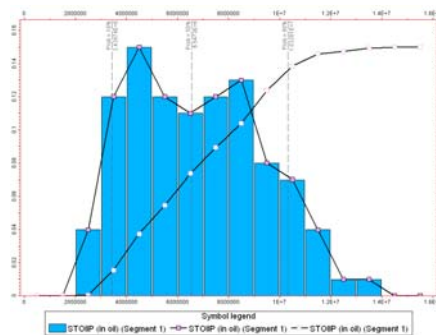
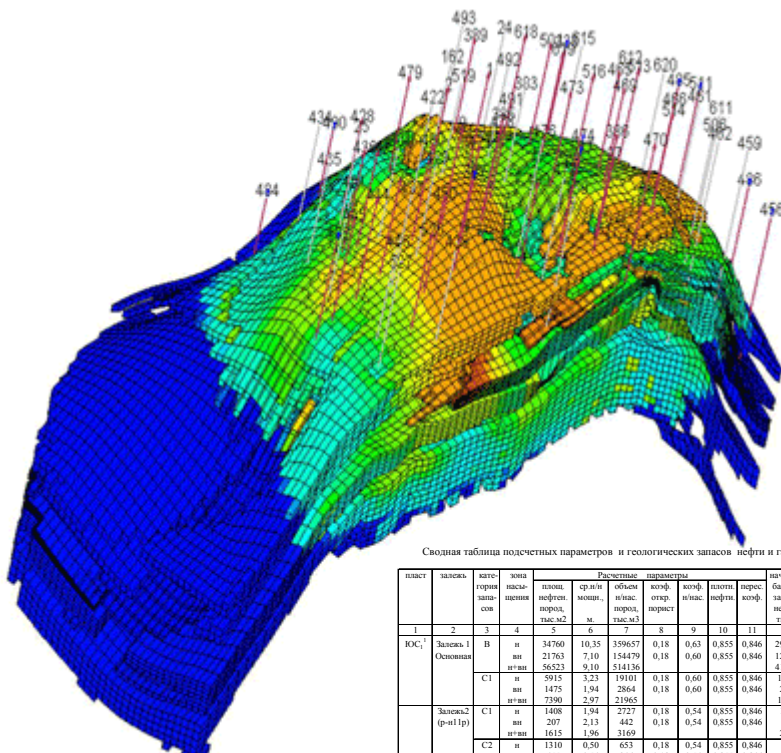
нефть 108.9
нефть 3.7
нефть 3.2
вода 21.6
нефть 92.8
нефть 26.0
нефть 18.0
нефть 6.6
нефть 3.5
нефть 9.5
нефть 32.1
нефть 2.3
нефть 3.6
вода 2.1
нефть 5.5
вода 1.3
ФБР
вода 21.6
вода 6.0

u11
u12
u13
u13_bdr

- **Выделение пластов-коллекторов и определение параметров пласта и насыщающих его флюидов** (в каждой скважине выделяются эффективные и нефтегазонасыщенные толщины пласта, определяются емкость (пористость) продуктивных пластов в каждом пластопересечении, нефте(газо)насыщенность, абсолютные отметки ВНК и ГВК, параметры нефти в пластовых и поверхностных условиях, начальные пластовые давление и температура)



➤ **Построение статической геологической модели залежей углеводородов (подсчетных объектов) и подсчет запасов в соответствии со степенью изученности залежи** (на этом этапе проводится: обоснование начальных и текущих отметок ВНК, ГНК и ГВК залежи в целом или по отдельным блокам, обоснование и выделение границ залежи и подсчетных объектов, их геометризация и обоснование параметров подсчета, определение границ категорий запасов и составление подсчетного плана, подсчет запасов по каждому подсчетному объекту и залежи в целом).



Сводная таблица подсчетных параметров и геологических запасов нефти и газа по Угутскому месторождению на 01.01.2007г.

п/п	залежь	категория запасов	зона подсчета	площадь, нефтян. порода, тыс. м2	объем, нефтян. порода, тыс. м3	коэф. пористости	коэф. нефтепроницаемости	начальная нефтян. порода, тыс. м3	добыча нефти, тыс. т	текущие запасы нефти, тыс. т	газов. запас, тыс. м3	начальная нефтян. порода, тыс. м3	добыча нефти, тыс. т	текущие запасы нефти, тыс. т	газов. запас, тыс. м3	начальная нефтян. порода, тыс. м3	добыча нефти, тыс. т	текущие запасы нефти, тыс. т	газов. запас, тыс. м3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	ЮС, 1	Залежь 1 Основная	В	34760	10,35	359657	0,18	0,63	0,855	0,846	29501	5491	24010	70	2065	384	1681		
			и	21763	7,10	154479	0,18	0,60	0,855	0,846	12068	1909	10159	70	845	134	711		
			ни	5623	9,10	51436					41569	7460	34109	70	2910	518	2392		
			и	5915	3,23	19101	0,18	0,60	0,855	0,846	1492	163	1329	70	104	11	93		
			и	1475	1,94	2864	0,18	0,60	0,855	0,846	224	1716	1716	70	16	16	16		
			и	7390	2,97	21965					1406	1,04	2727	70	120	13	13		
			и	207	2,13	442	0,18	0,54	0,855	0,846	31	192	31	70	2	2	2		
			и	1615	1,96	3169					223	31	223	70	16	16	16		
			и	1310	0,50	653	0,18	0,54	0,855	0,846	46	46	70	3	1	1	1		
			и	455	0,54	246	0,18	0,54	0,855	0,846	17	17	70	1	1	1	1		
			и	1765	0,51	899					63	63	63	70	4	4	4		

Проводится для определения коммерческой ценности открытого месторождения

➤ **Объект подсчета**

— залежи или продуктивный пласт в целом

➤ **Структурная карта**

— по данным бурения и сейсморазведки (методом схождения)

➤ **Контур залежи**

— с учетом определенного положения межфлюидного контакта. Если контакт не вскрыт скважинами, то отметка принимается с учетом закономерностей изменения положения контактов залежей в пределах зоны нефтегазонакопления; по аналогии с соседними залежами; по характеру уменьшения K_n с глубиной

➤ **Выделение пород-коллекторов**

— по прямым качественным признакам на диаграммах ГИС или с учетом граничных значений, принятых по аналогии с соседними залежами

➤ **Параметры залежи**

— по скважинным данными и результатам лабораторных исследований керна или с привлечением аналогий по соседним одновозрастным и однотипным по геологическому строению залежам

➤ **Пересчетный коэффициент и плотность нефти**

— по данным анализа пластовых проб, по результатам дифференциального разгазирования или по аналогии с соседними одновозрастными залежами

Проводится для подготовки информации к проектированию промышленного освоения месторождения

➤ **Объект подсчета**

— залежь

➤ **Структурная карта**

— по данным бурения и сейсморазведки

➤ **Контур залежи**

— с учетом определенного по данным ГИС с использованием результатов опробования положения межфлюидного контакта

➤ **Выделение пород-коллекторов**

— по данным ГИС с учетом опробования скважин

➤ **Параметры залежи**

— по данным интерпретации данных ГИС и результатам лабораторных исследований керна; данные керна используются в качестве петрофизической основы интерпретации и для обоснования достоверности полученных оценок

➤ **Пересчетный коэффициент и плотность нефти**

— по данным анализа глубинных проб при дифференциальном разгазировании

Проводится для оценки запасов и для составления или корректировки проектных документов разработки

➤ **Объект подсчета**

— разрабатываемая залежь, разбуренная в соответствии с утвержденным технологическим документом; при неоднородном строении резервуара проводится дифференциация залежи на подсчетные объекты

➤ **Структурная карта**

— по данным сейсморазведки, скорректированная по данным бурения всех вертикальных скважин и наклонно-направленных скважин, в которых достаточна точность определения абс. отм.

➤ **Контур залежи**

— с учетом определенного по данным ГИС с использованием результатов опробования и исследования положения межфлюидного контакта; для определения абс. отм. контактов необходимо использовать скважины, по которым характер насыщенности не искажен процессом разработки

➤ **Выделение пород-коллекторов**

— по данным ГИС с учетом опробования скважин

➤ **Параметры залежи**

— по данным интерпретации данных ГИС; данные кернa используются в качестве петрофизической основы интерпретации и для обоснования достоверности полученных оценок

➤ **Пересчетный коэффициент и плотность нефти**

— по данным анализа поверхностных и глубинных проб, по которым свойства флюидальной системы не искажены процессом разработки

Основы теории вероятностей и математической статистики

☐ **Теория вероятностей и математическая статистика**

- Понятие случайной величины и ее распределения
- Числовые характеристики случайных величин
- Графическое представление распределений случайных величин
- Основные примеры распределений случайных величин

☐ **Метод Монте-Карло**

- Понятие имитационного и численного моделирования
- Примеры моделирования методом Монте-Карло
- Применения метода Монте-Карло к задаче оценки запасов

☐ **Геостатистика**

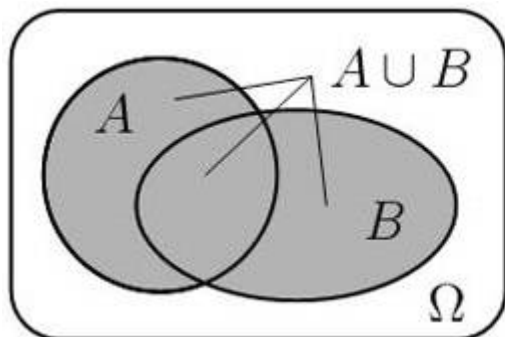
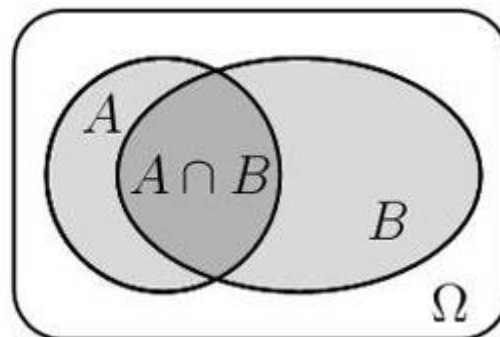
- Понятие вариограммы
- Основные алгоритмы геостатистического моделирования

☐ **Оценка точности параметров залежей**

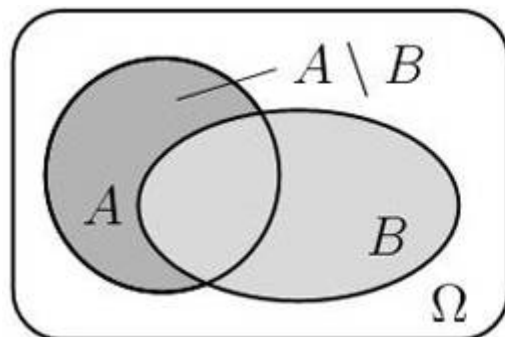
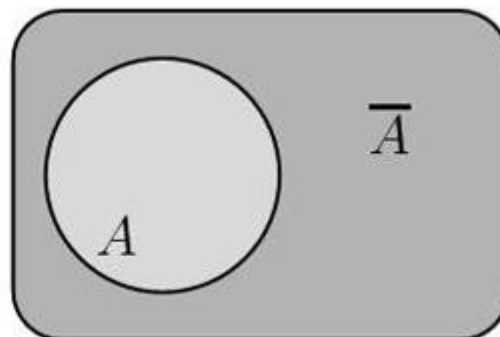
- Систематические и случайные погрешности
- Примеры погрешностей при определении подсчетных параметров

□ **Пространством элементарных исходов** называется множество Ω , содержащее все возможные взаимоисключающие результаты данного случайного эксперимента. Элементы множества Ω называются **элементарными исходами** и обозначаются буквой ω .

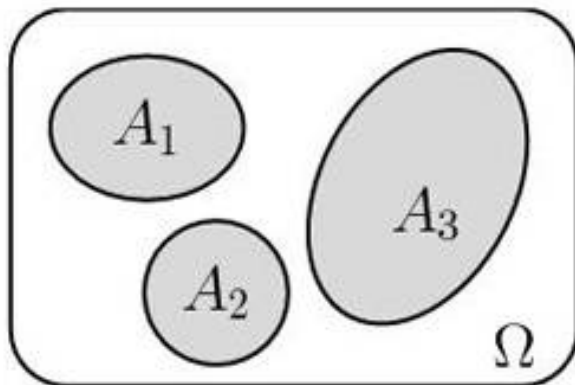
□ **Событиями** называются подмножества множества Ω . Говорят, что произошло событие A если эксперимент завершился одним из элементарных исходов, входящих в множество A .

Объединение событий**Пересечение событий**

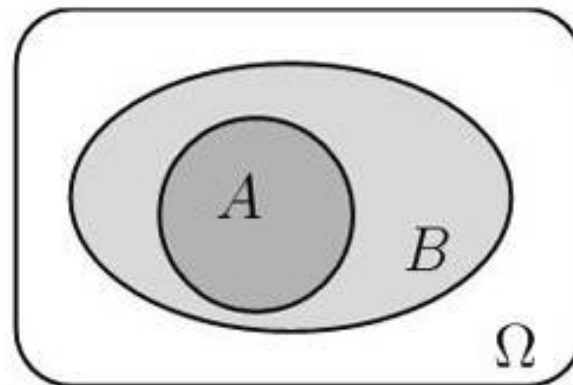
$$\overline{A \cup B} = \bar{A} \cap \bar{B}, \quad \overline{A \cap B} = \bar{A} \cup \bar{B}.$$

Дополнение событий**Противоположное событие**

Попарно несовместные события



Вложенные события



❑ **Достоверным** называется событие, которое обязательно происходит в результате эксперимента, т.е. единственное событие, включающее все элементарные исходы

❑ **Невозможным** называется событие, которое не может произойти в результате эксперимента, т.е. событие, не содержащее ни одного элементарного исхода

□ Эксперимент описывается **классической вероятностной моделью**, если пространство его элементарных исходов состоит из конечного числа равновозможных исходов

$$P(A) = p_{i_1} + \dots + p_{i_k} = k \cdot \frac{1}{N} = \frac{|A|}{|\Omega|}.$$

□ Вычисление вероятности в классической схеме сводится к подсчету общего числа исходов и числа исходов, благоприятствующих событию

□ Пусть Ω - пространство элементарных исходов, $\mathcal{F}$ - алгебра его подмножеств (событий). **Вероятностью** или **вероятностной мерой** на $(\Omega, \mathcal{F})$ называется функция $P : \mathcal{F} \rightarrow \mathbb{R}$ обладающая свойствами:

1. $P(A) \geq 0$ для любого события $A \in \mathcal{F}$;
2. для любого счетного набора попарно несовместных событий $A_1, A_2, A_3, \dots \in \mathcal{F}$ имеет место равенство

$$P\left(\bigcup_{i=1}^{\infty} A_i\right) = \sum_{i=1}^{\infty} P(A_i);$$

3. вероятность достоверного события равна единице $P(\Omega) = 1$

□ Тройка $\langle \Omega, \mathcal{F}, P \rangle$ называется вероятностным пространством.

□ Конечный или счетный набор попарно несовместных событий $H_1, H_2, \dots$ таких, что $P(H_i) > 0$ и $H_1 \cup H_2 \cup \dots = \Omega$ называется **полной группой** событий или **разбиением** пространства Ω

□ События $H_1, H_2, \dots$, образующие полную группу событий, часто называют **гипотезами**

□ **Теорема (формула полной вероятности)**

Пусть дана полная группа событий $H_1, H_2, \dots$. Тогда вероятность любого события A может быть вычислена по формуле

$$P(A) = \sum_{i=1}^{\infty} P(H_i) P(A | H_i).$$

Основным объектом исследования теории вероятностей и математической статистики является изучение закономерностей, которым подчиняются **случайные величины**

Основные понятия математической статистики:

- ☐ случайная величина
- ☐ выборка
- ☐ генеральная совокупность

- ❑ **Случайной** называют **величину**, которая в результате испытания примет одно и только одно возможное значение, наперед неизвестное и зависящее от случайных причин, которые заранее не могут быть учтены
- ❑ Множество значений случайной величины, принимаемых в результате конкретного эксперимента, называется **выборкой**
- ❑ Множество всех значений, которые может принимать случайная величина в результате эксперимента, называется **генеральной совокупностью**

Примеры

При **бросании обычной игральной кости** случайная величина X может принимать неизвестные до эксперимента значения $1, 2, \dots, 6$

Генеральной совокупностью такой случайной величины является множество $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

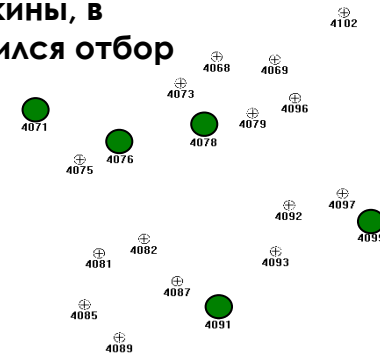
Если в результате эксперимента, заключающегося в трехкратном бросании игральной кости, выпали значения $2, 5, 5$, то множество $\{2, 5, 5\}$ называется выборкой случайной величины X

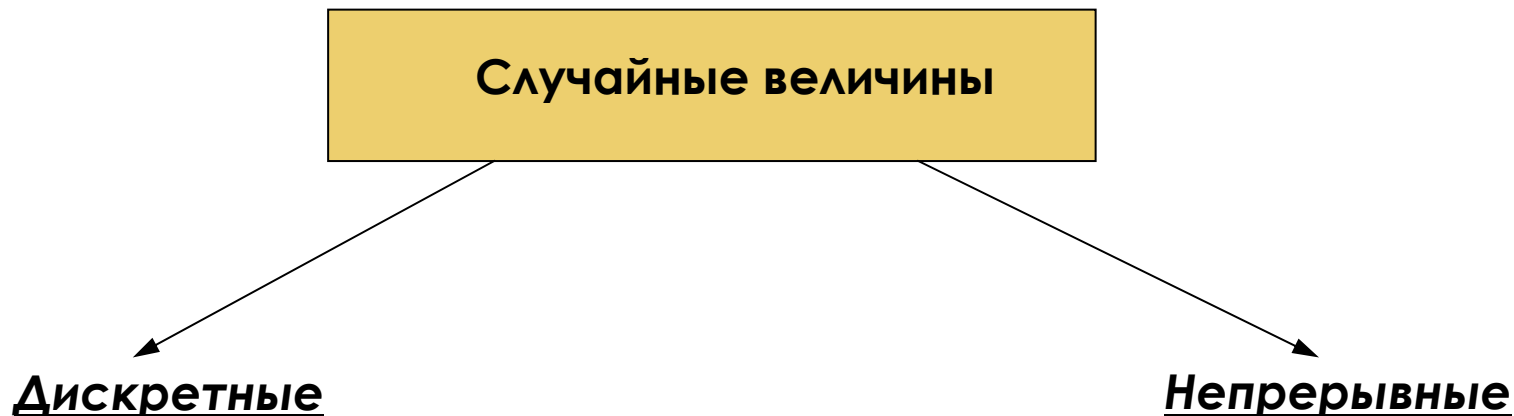
- ❑ Генеральной совокупностью являются все скважины на исследуемой площади
- ❑ Примером выборки может служить набор скважин, в которых был проведен отбор керна

**Генеральная
совокупность – все
скважины на площади**



**Выборка – скважины, в
которых проводился отбор
керна**





□ **Дискретной** называют случайную величину, которая принимает отдельные возможные значения $x_i, i = \overline{1, n}$ (или $i = \overline{1, \infty}$) с определенными вероятностями

□ **Непрерывной** называют случайную величину, которая может принимать все значения из некоторого конечного или бесконечного промежутка. Число возможных значений непрерывной случайной величины, независимо от величины промежутка, бесконечно

График интегральной функции распределения непрерывной случайной величины



График интегральной функции распределения дискретной случайной величины

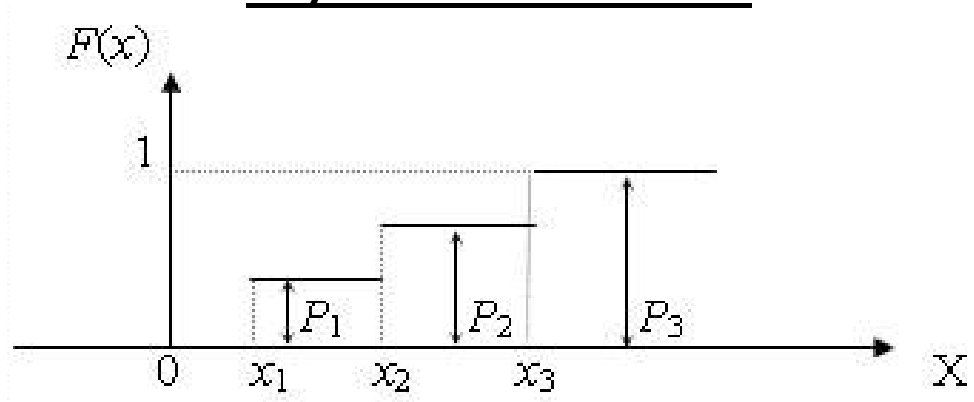
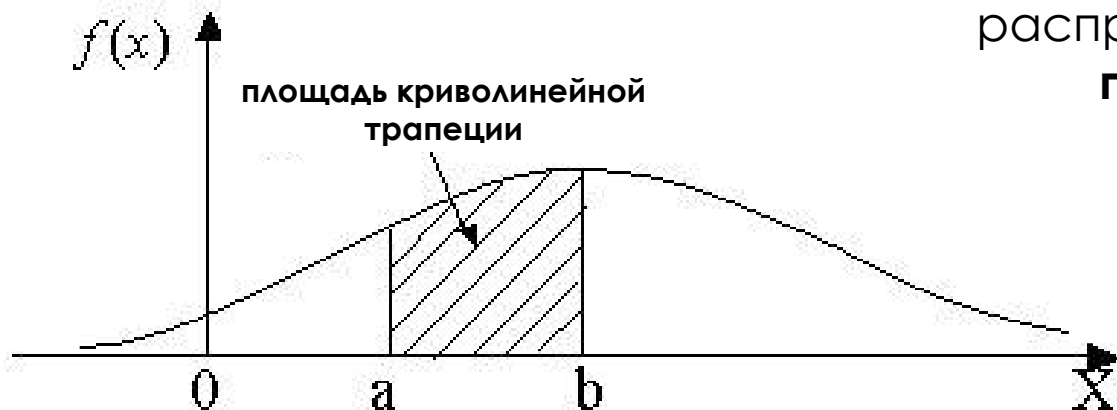


График дифференциальной функции распределения принято называть **плотностью распределения**



Свойства дифференциальной функции распределения:

1. Дифференциальная функция распределения неотрицательна, т. е.

$$f(x) \geq 0$$

2. Если все возможные значения случайной величины принадлежат интервалу (a, b) , то

$$\int_a^b f(x) dx = 1.$$

Пример интегральной и дифференциальной функции

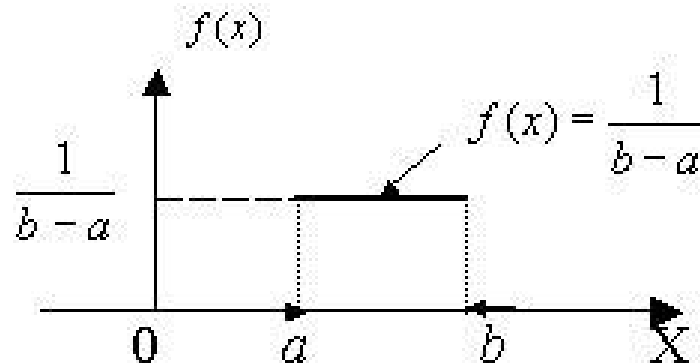


График дифференциальной функции
равномерного распределения

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a, \\ \frac{1}{b-a}, & a < x \leq b, \\ 0, & x > b, \end{cases}$$

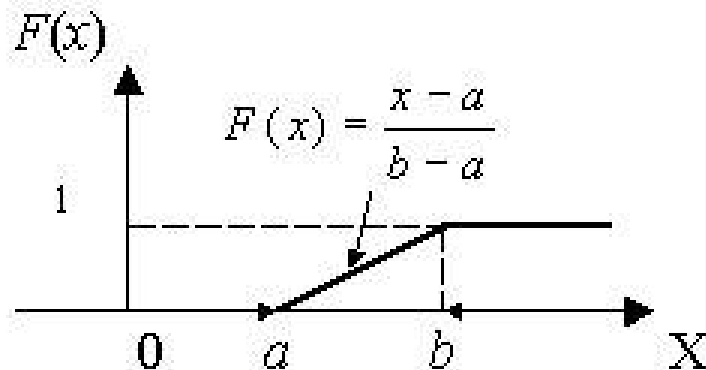
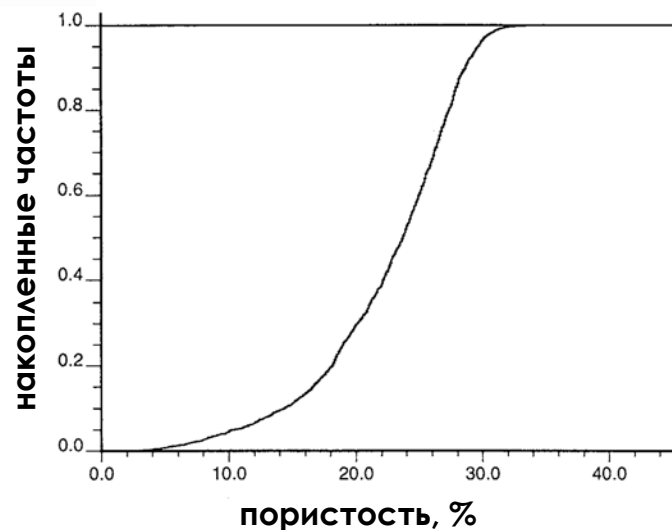
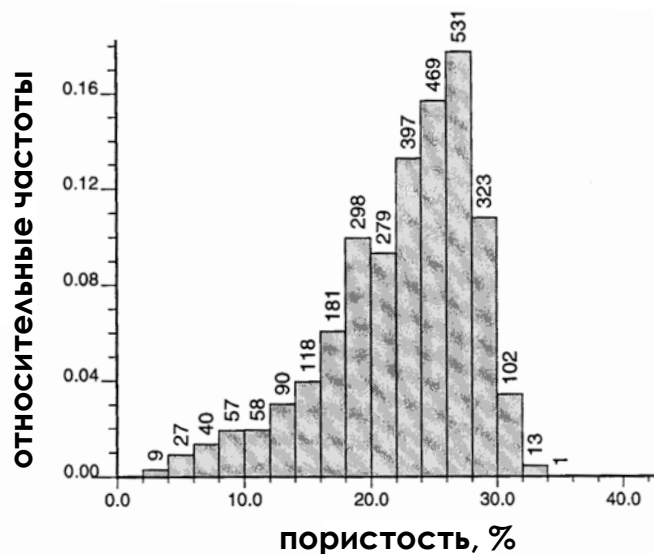


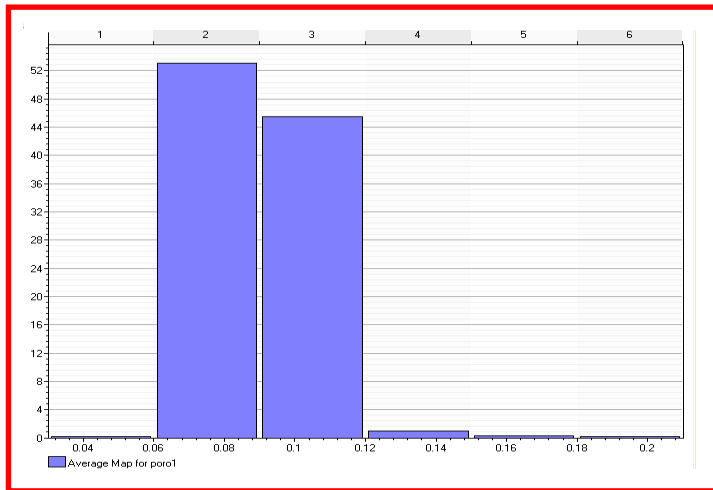
График интегральной функции
равномерного распределения

$$F(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a, \text{ т.к. здесь } f(x) = 0; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{Если } a < x \leq b, \text{ т.к. } F(x) = \int_a^x \frac{1}{b-a} dx = \frac{x-a}{b-a}; \\ 1, & \text{если } x > b, \text{ т.к. } F(x) = \frac{b-a}{b-a} = 1. \end{cases}$$

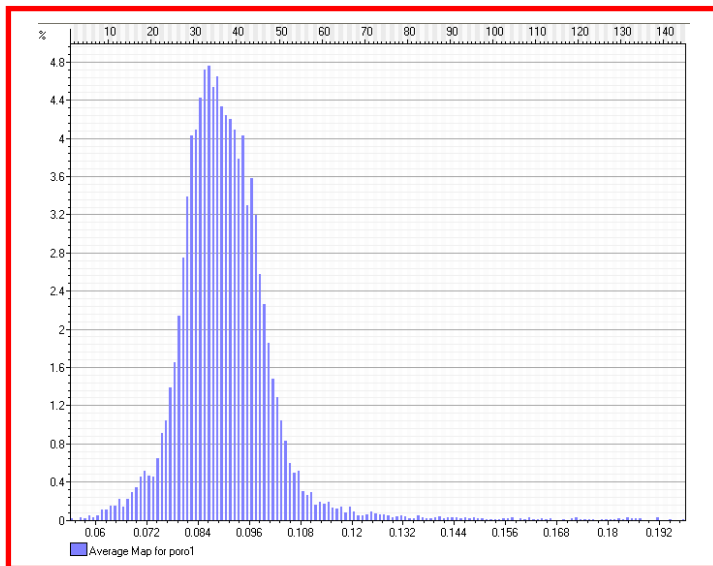
Для построения **гистограммы** в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают отрезки, соответствующие интервалам значений случайной величины, и на этих отрезках как на основании строят прямоугольники с высотами, равными частотам соответствующего $w_i = n_i / N$ интервала.



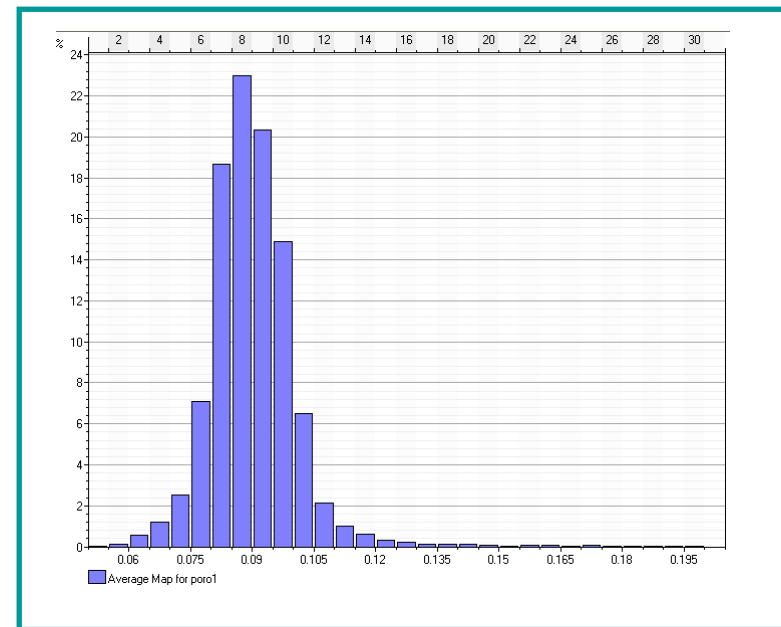
Недостаточная детальность



Избыточная детальность



Оптимальная детальность



Основные характеристики

- ☐ Математическое ожидание
- ☐ Мода
- ☐ Медиана
- ☐ Дисперсия
- ☐ Среднеквадратичное отклонение

Вспомогательные характеристики

- ☐ Ассиметрия
- ☐ Эксцесс

- ❑ **Математическое ожидание дискретной случайной** величины X – это сумма произведений всех ее возможных значений на их вероятности

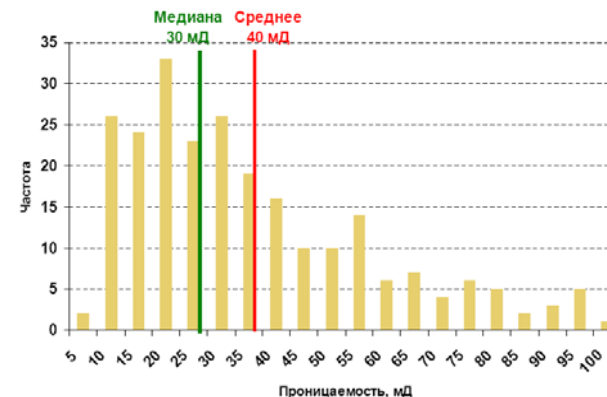
$$MX = x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

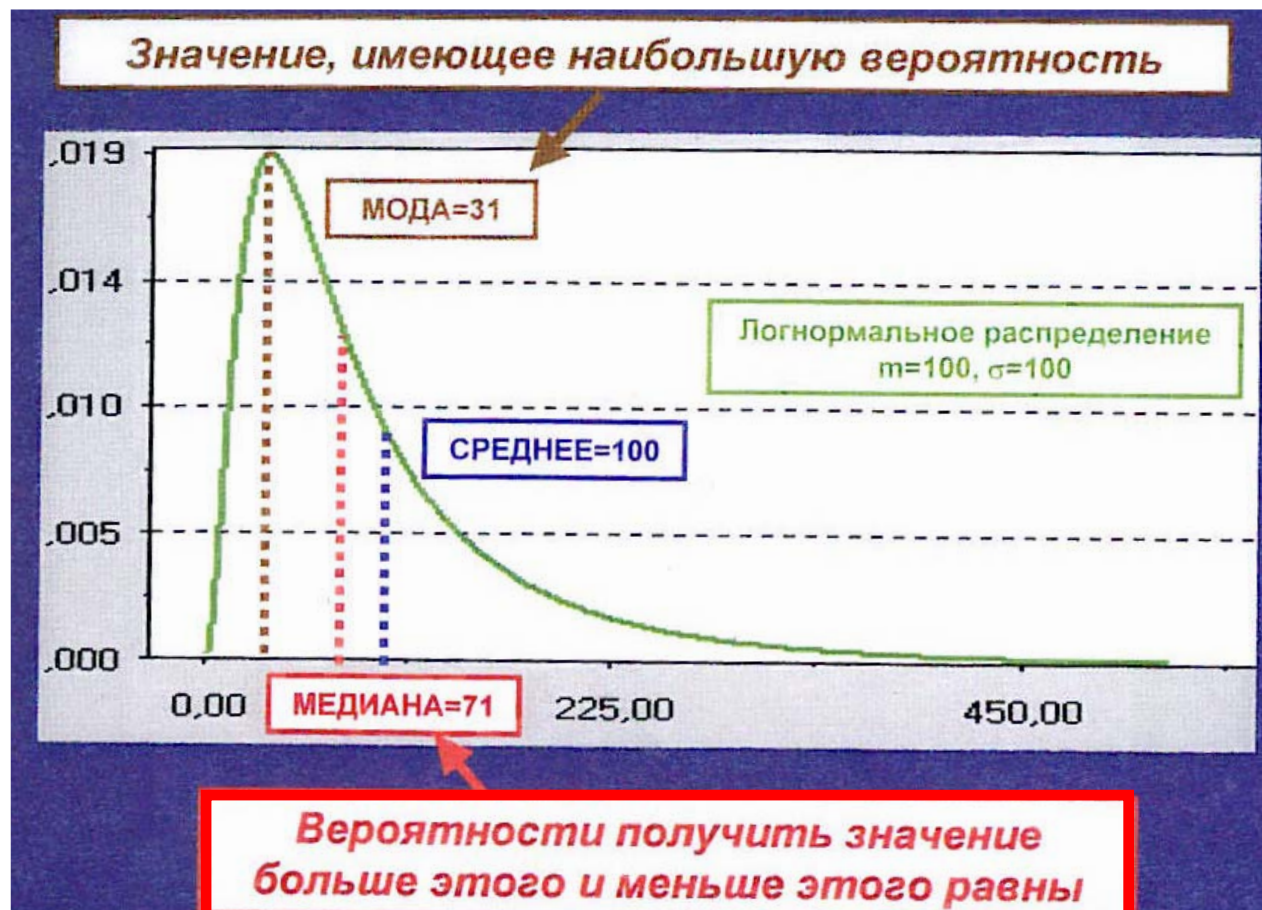
- ❑ **Математическое ожидание случайной величины** (как дискретной, так и непрерывной) есть неслучайная величина. Она характеризует среднее значение случайной величины
- ❑ Математическое ожидание обозначается MX или $\overline{X}$

- ❑ **Модой случайной величины** называется такое ее значение, при котором функция плотности распределения максимальна. В случае, если функция распределения случайной величины имеет несколько выраженных максимумов, то такое распределение называется **полимодальным**. Распределение, плотность которого не имеет максимумов, называется антимодальным.



- ❑ **Медианой случайной величины** называется такое значение, вероятность которого равна 0.5.





- ❑ **Дисперсией случайной величины** (как дискретной, так и непрерывной) называют математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания
- ❑ **Несмещенная оценка дисперсии** случайной величины X определяется выражением:

$$DX = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$$

- ❑ **Средним квадратичным (стандартным) отклонением случайной величины X** называют квадратный корень из дисперсии

$$\sigma(X) = \sqrt{DX}$$

Физический смысл:

Дисперсия (среднее квадратичное отклонение) является **мерой рассеяния** (разброса) случайной величины вокруг математического ожидания

Пример

Пусть дана случайная последовательность $X = \{ 3 \ 6 \ 7 \ 5 \ 9 \}$.

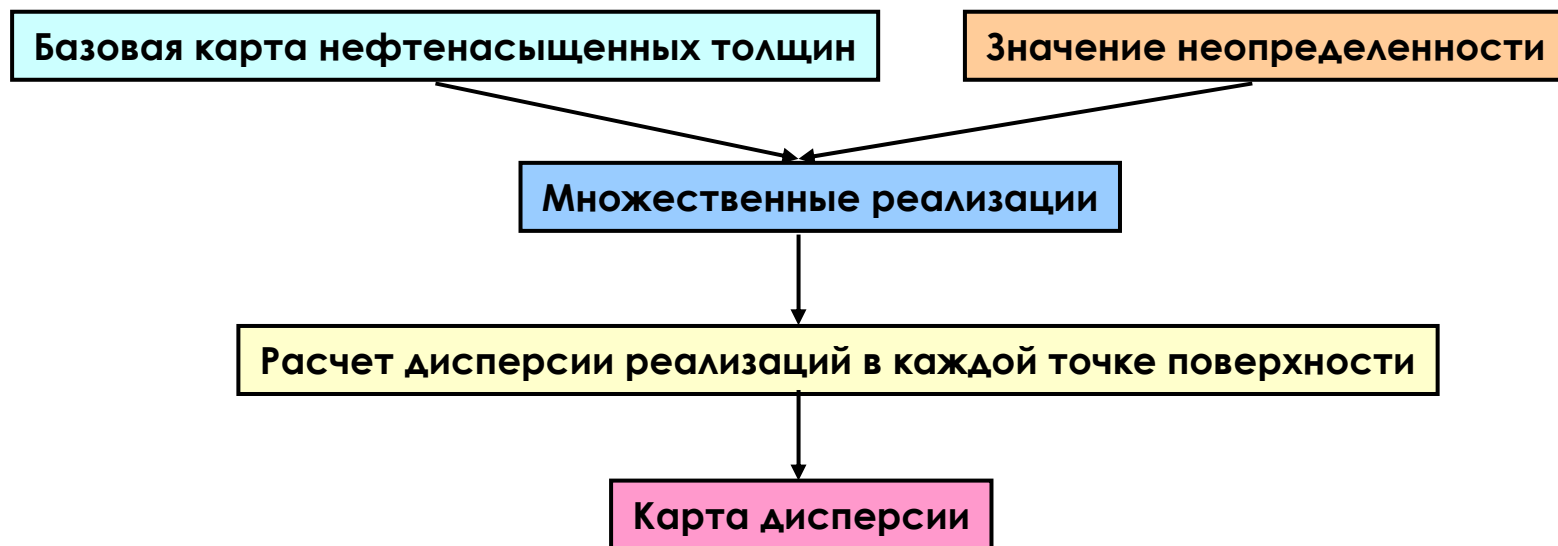
$$MX = \sum_{i=1}^n x_i p_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$MX = (3+6+7+5+9)/5 = 6$$

$$DX = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2$$

$$DX = (9+0+1+1+9)/4 = 5$$

- Для определения зон наибольшего риска при бурении скважин строится **карта дисперсии** эффективных нефтенасыщенных толщин



- В точках скважин значение дисперсии равно 0
- **Максимальные значения дисперсии соответствуют наибольшему риску**

□ Для оценки степени зависимости двух случайных величин X и Y используется **корреляционный момент**

$$K_{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})$$

□ Для независимых случайных величин корреляционный момент равен нулю, в противном случае существует зависимость между случайными величинами.

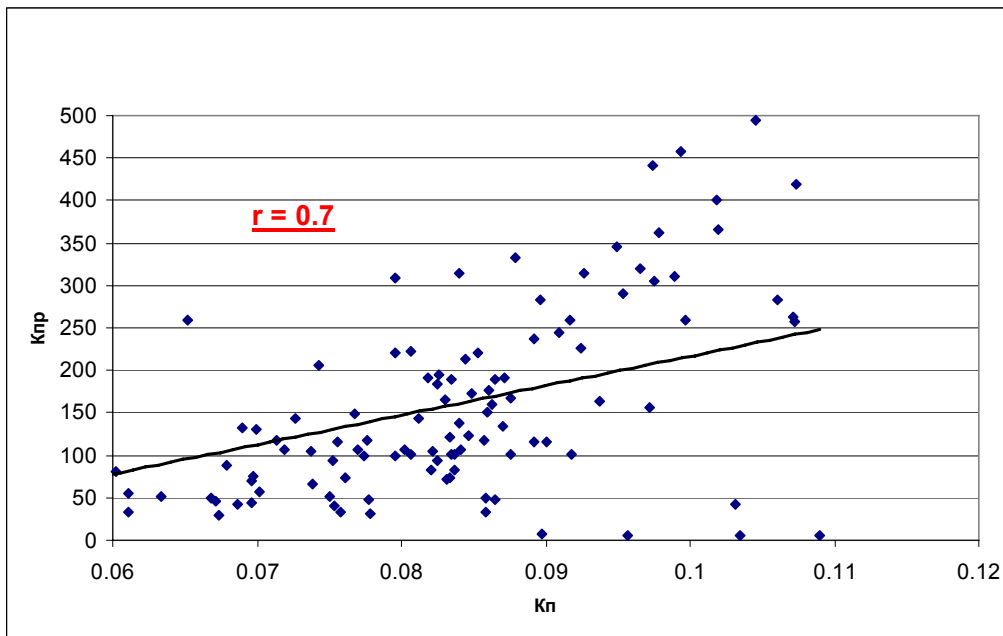
□ Для характеристики связи между случайными величинами в чистом виде переходят к безразмерной величине – **коэффициенту корреляции**:

$$r_{xy} = \frac{K_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

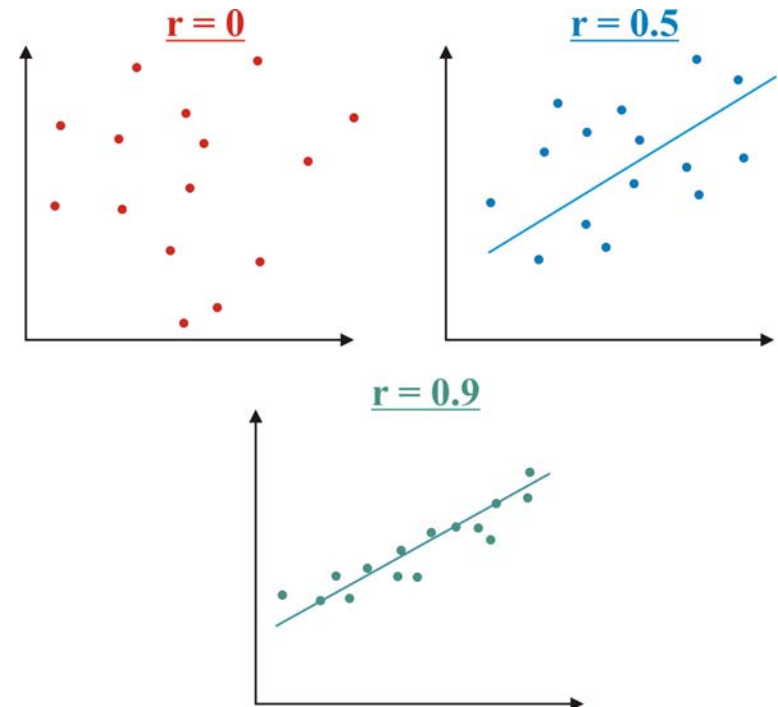
□ Если коэффициент корреляции двух случайных величин равен нулю, то такие случайные величины называются **некоррелируемыми**. При значениях коэффициента корреляции близких к единице – **коррелируемыми**. В случае, когда значение коэффициента корреляции близко к минус единице, между случайными величинами существует **обратная корреляционная** связь.

□ Основное назначение коэффициента корреляции – определение взаимосвязи параметров

Кросс-плот зависимости
коэффициента проницаемости от
коэффициента пористости



Различная степень взаимосвязи
данных



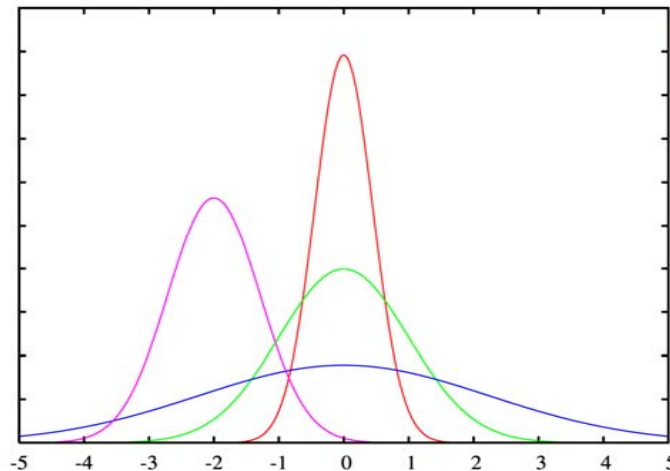
Основные распределения случайных величин:

- ☐ равномерное распределение
- ☐ **нормальное (гауссово) распределение**
- ☐ логарифмически нормальное распределение
- ☐ показательное (экспоненциальное) распределение
- ☐ гамма-распределение

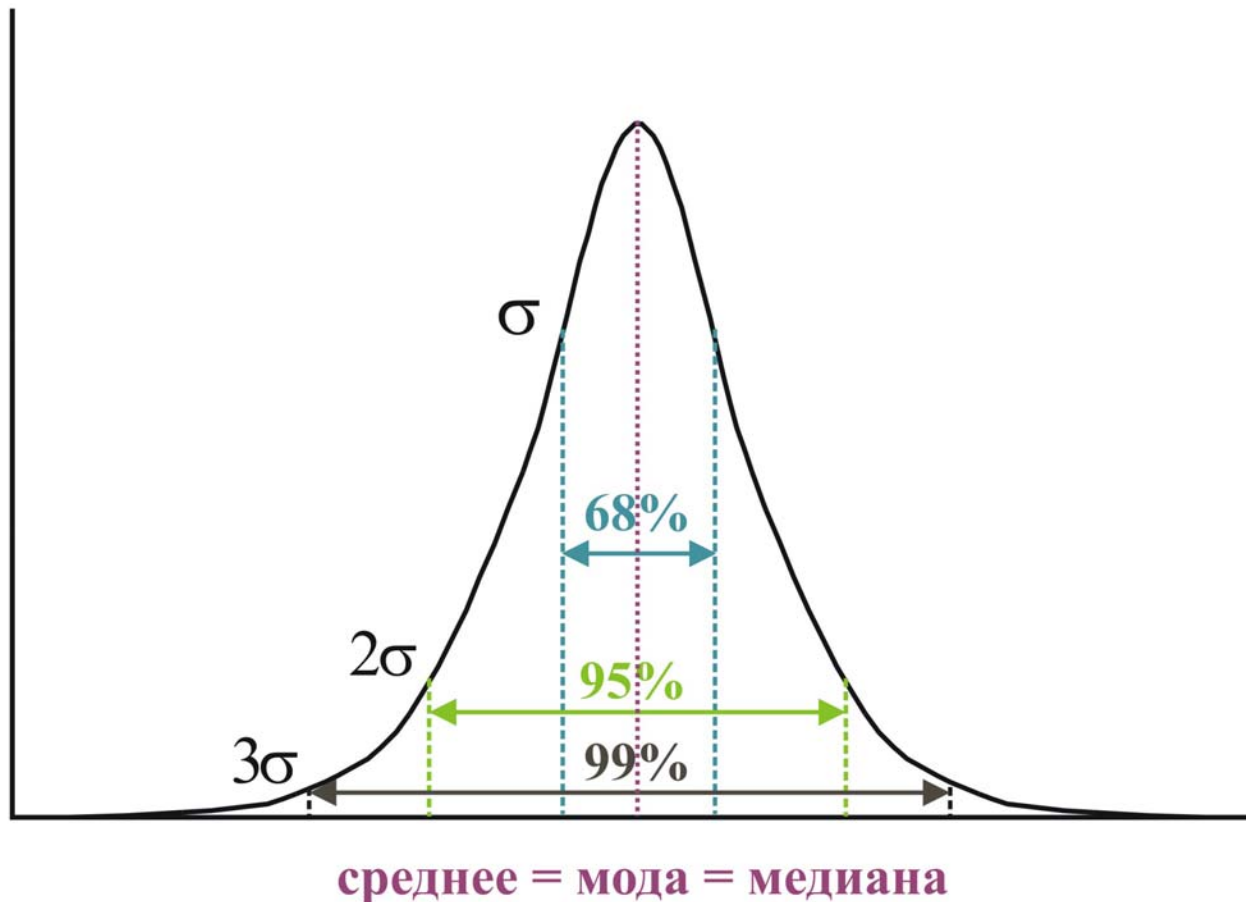
- ❑ **Закон нормального распределения** вероятностей непрерывной случайной величины описывает большинство случайных явлений, встречающихся в природе
- ❑ **Нормальным** называют закон распределения вероятностей случайной величины, который описывается дифференциальной функцией

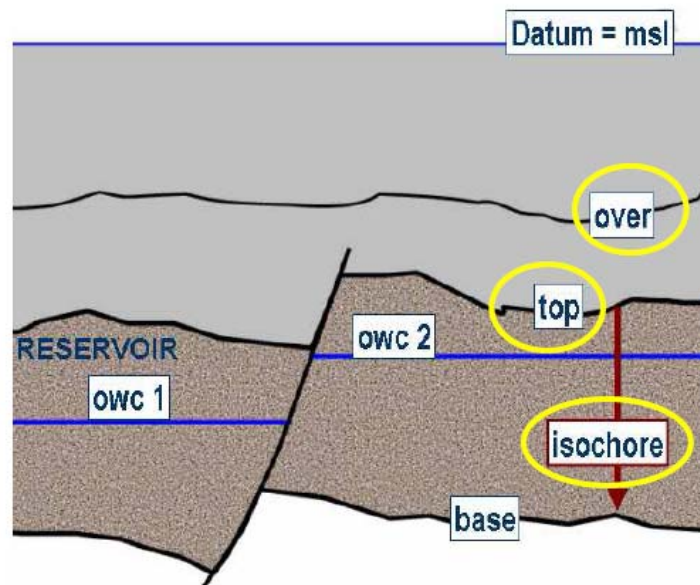
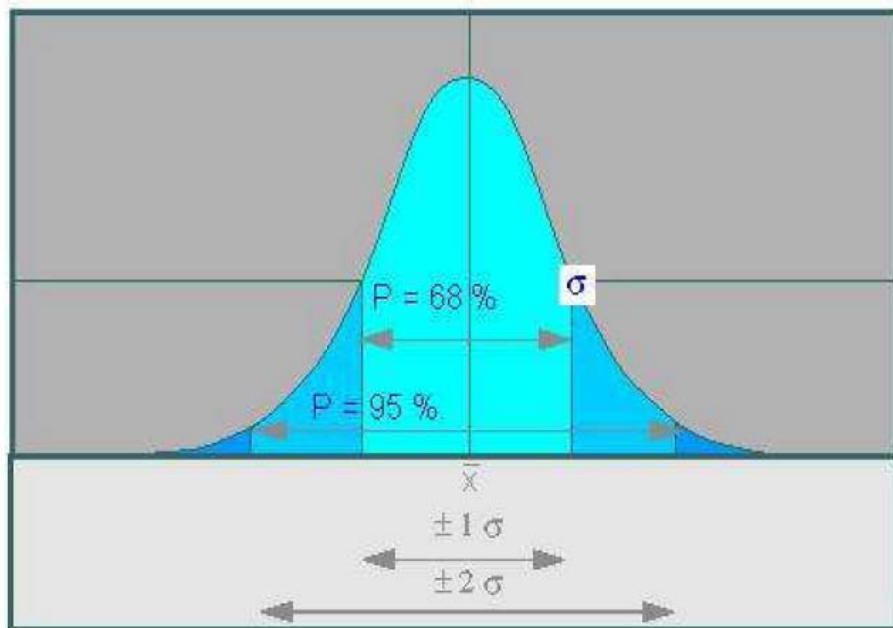
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}\right)$$

a - математическое ожидание случайной величины;
 σ - среднее квадратичное отклонение;



- График дифференциальной функции нормального распределения называют **нормальной кривой плотности вероятности**

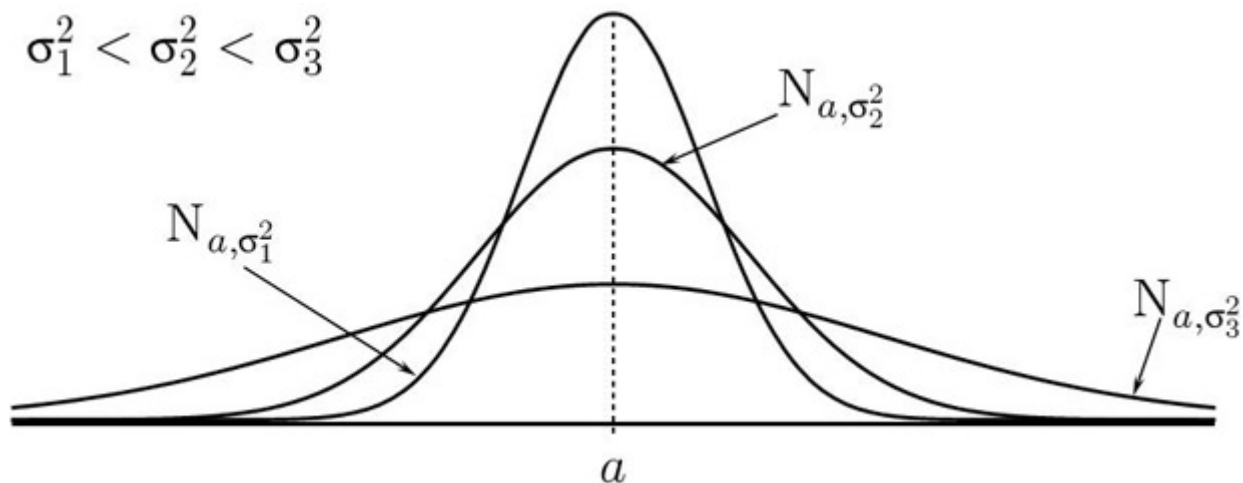




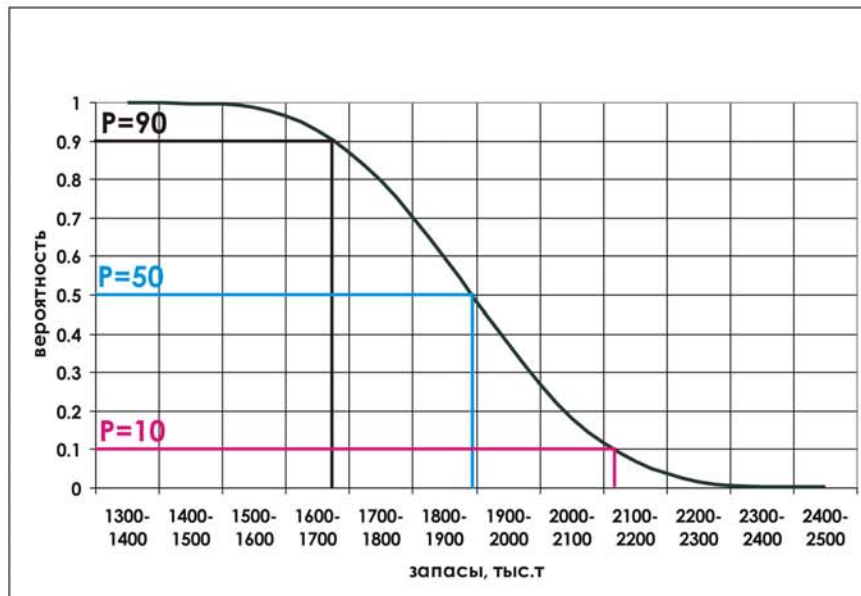
$\pm 1\sigma$: дает значения ошибки среднеквадратичного отклонения.

Example: Вероятность того, что поверхность "over" (рисунок справа) выше или ниже 20 м чем оригинальная поверхность "over", 68.3 %

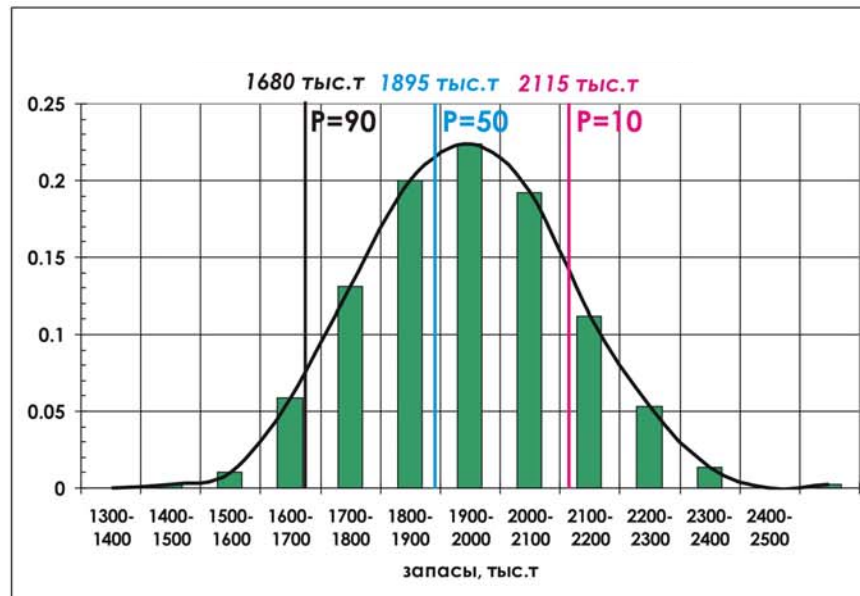
- ❑ Нормальное распределение с произвольными параметрами μ и σ называется **стандартным нормальным распределением**
- ❑ Нормальное распределение с параметрами $\mu = 0$ и $\sigma = 1$ называется **нормированным распределением**



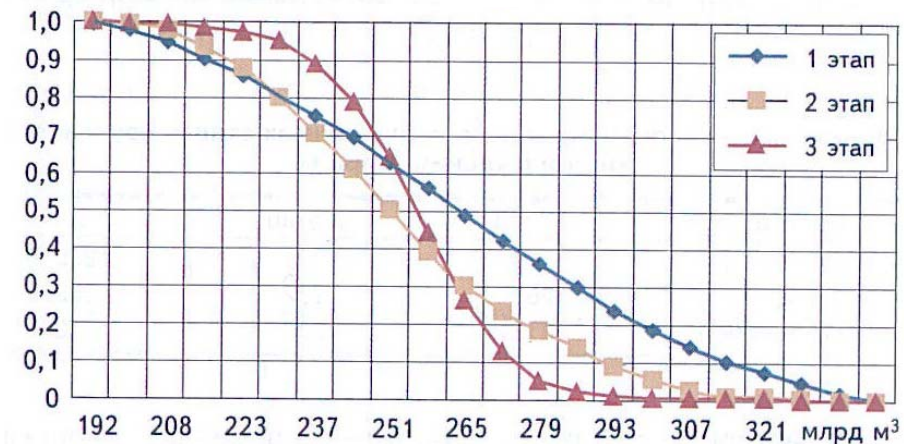
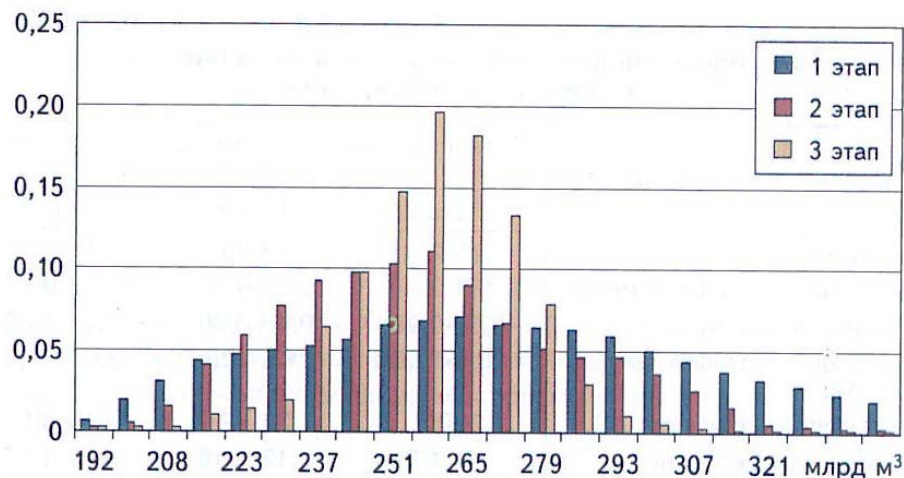
Функция распределения



Гистограмма



☐ **Квантилем**, отвечающим заданному уровню вероятности, называется такое значение параметра, при котором функция распределения принимает значение этого уровня вероятности.



Метод Монте-Карло

- ❑ **Метод Монте-Карло** — это метод решения различных задач с помощью генерации случайных последовательностей. Приемы метода Монте-Карло были известны и до 40-х годов, но не получили широкого распространения из-за больших объемов вычислений. Появление ЭВМ сделало их практически применимыми

- ❑ Официальной датой рождения метода Монте-Карло принято считать **1949 год**, когда в журнале Journal of American Statistical Association была опубликована статья **С. Улама** и **Н. Метрополиса**. Впрочем, сам термин появился еще во время Второй мировой войны, когда **Джон фон Нейман** и **Станислав Марцин Улам** работали в Лос-Аламосе над моделированием нейтронной диффузии в расщепляемом материале.

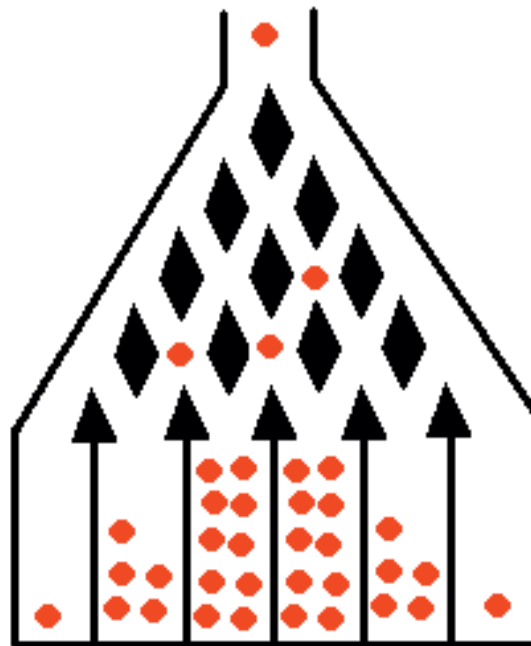
❑ **Метод Монте-Карло** относится к **имитационному моделированию**, в котором при расчете какой-либо системы воспроизводится и исследуется поведение всех ее компонентов.

❑ Если поведение системы достаточно сложно и нет возможности описать его строгими математическими формулами, необходимо поставить определенное число экспериментов (так называемых случайных испытаний) с каждым из узлов этой системы для того, чтобы оценить, как они себя ведут.

□ Простейшим примером моделирования методом Монте-Карло является эксперимент по определению вероятностей 2-х возможных исходов при подбрасывании монеты.

Результаты эксперимента по подбрасыванию монеты		
Исследователь	Число подбрасываний	Вероятность
Жорж Бюффон	4040	0,507
Огастес де Морган	4092	0,5005
Уильям Джевонс	20480	0,5068
Вс. Романовский	80640	0,4923
Карл Пирсон	24000	0,5005
Уильям Феллер	10000	0,4979

Машина Гамильтона



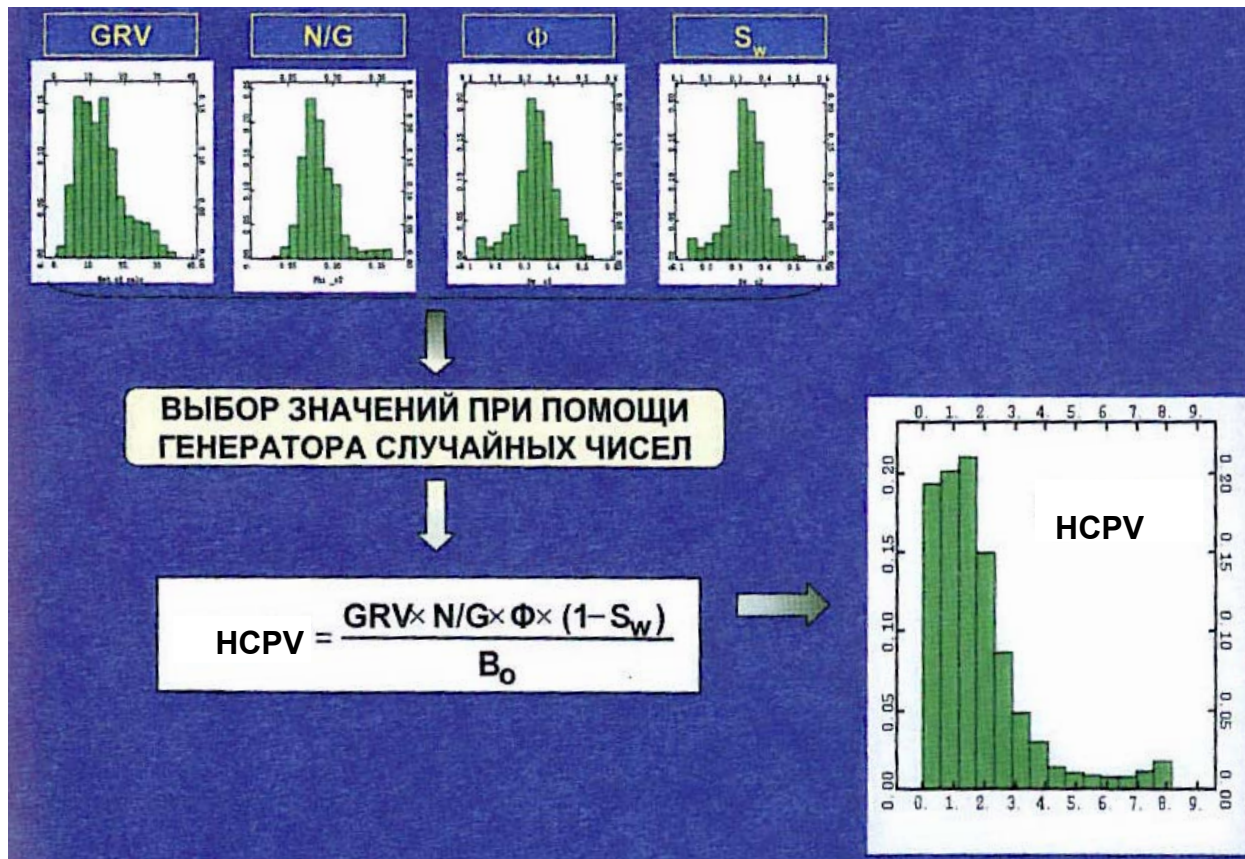
❑ В этом случае мы имеем дело с гауссовым (или нормальным) распределением.

Чтобы моделировать какой-либо процесс, необходимо знать, какому распределению он подчиняется. Далее следует составить математическую модель процесса.

Процесс расчета показателей вероятностной оценки методом Монте-Карло происходит в следующей последовательности:

1. Выбор независимых переменных и их распределений, в качестве которых могут выступать любые исходные геолого-промысловые характеристики объекта и параметры, определяющие экономические условия его освоения.
2. Выбор зависимых переменных, в качестве которых наиболее часто выступают такие основные показатели геолого-экономической оценки, как извлекаемые запасы, накопленная добыча, объем инвестиций, чистый дисконтированный доход и пр.
3. Проведение статистических испытаний по методу Монте-Карло. Для каждого из рассматриваемых объектов вероятностной оценки в процессе расчетов проводятся многократные случайные испытания.
4. На основании проведенных расчетов для результирующих показателей строятся графики их плотностей вероятностей и интегральных распределений, на основании которых можно судить о степени риска при освоении рассматриваемых объектов углеводородного сырья.
5. Интерпретация результатов, полученных в процессе имитационных расчетов.

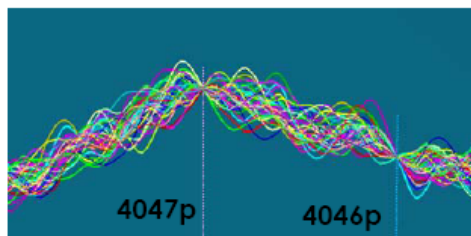
Пример моделирования методом Монте-Карло



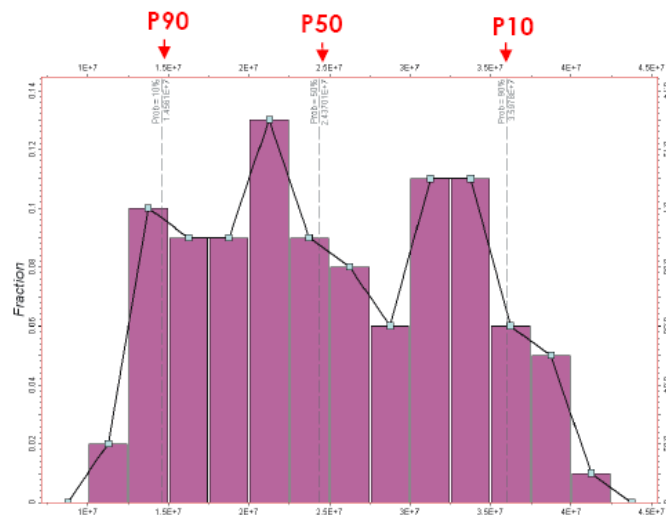
□ Данная схема используется при моделировании во всех пакетах геологического моделирования при анализе неопределенностей

Представление результатов моделирования методом Монте-Карло

Равновероятное изменение
структуры в межскважинном
пространстве ± 10 м

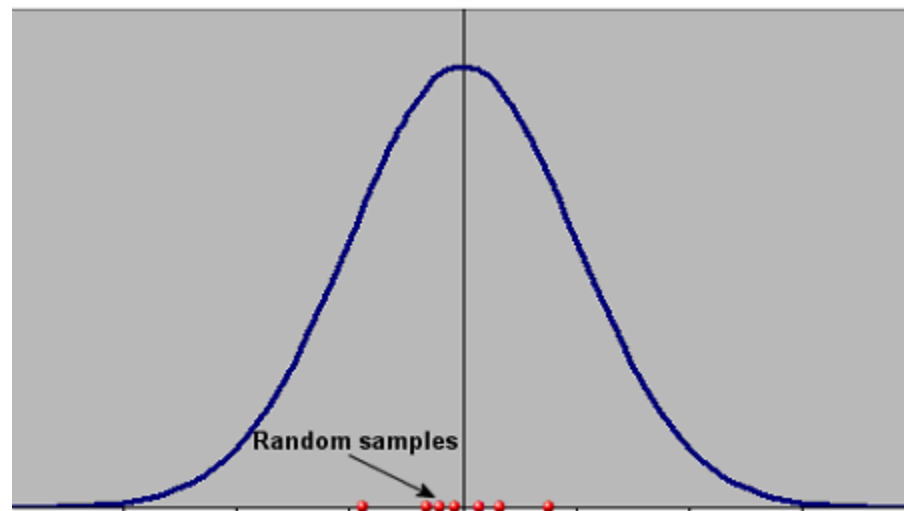


Вероятность (P,%)
распределения объемов коллектора



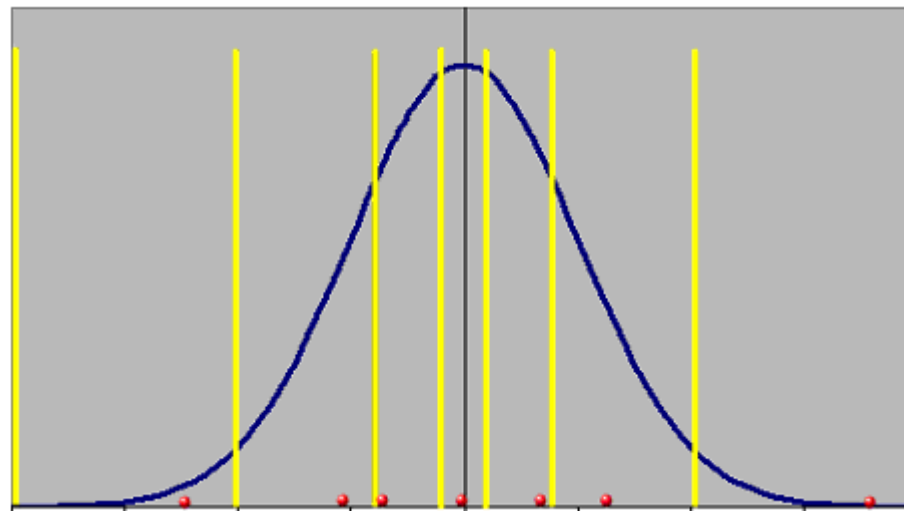
Метод Монте-Карло:

- ☐ смоделированные значения группируются вокруг среднего
- ☐ при малом числе итераций моделирования не отображается дисперсия



Метод Латинского Гиперкуба:

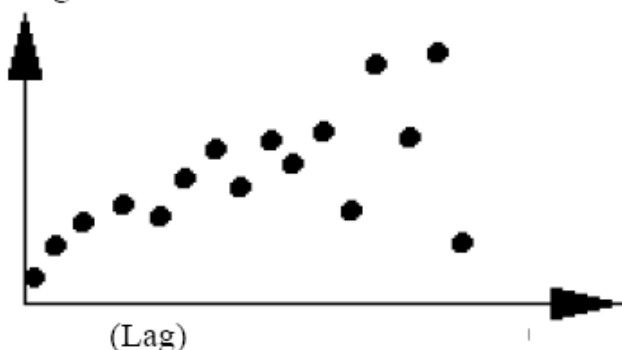
- ☐ ось значений разбита на интервалы в соответствии с интенсивностью плотности распределения
- ☐ проводится полноценное моделирование всей области определения



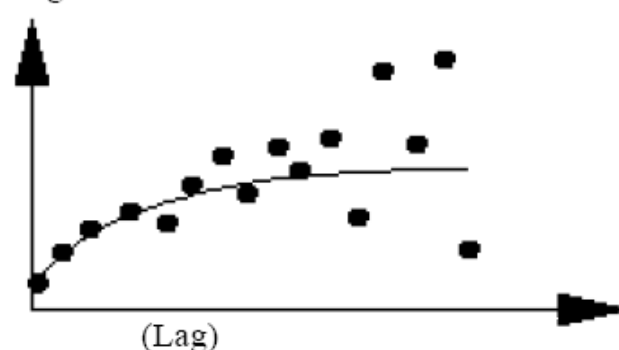
Геостатистика

❑ **Вариограмма** - это математический инструмент, используемый для определения пространственной корреляции (непрерывности или изменчивости) геологической переменной.

Variogram estimate

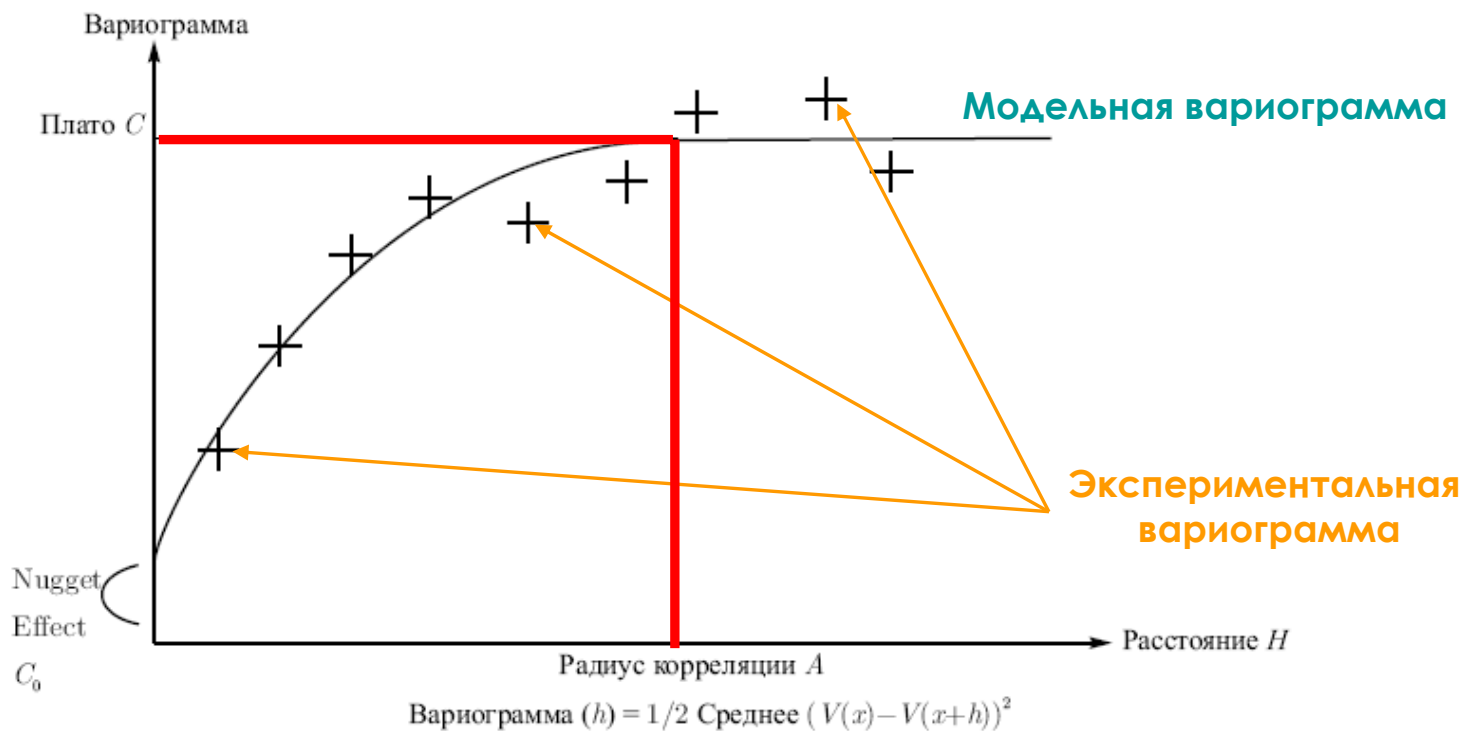


Variogram estimate and curve

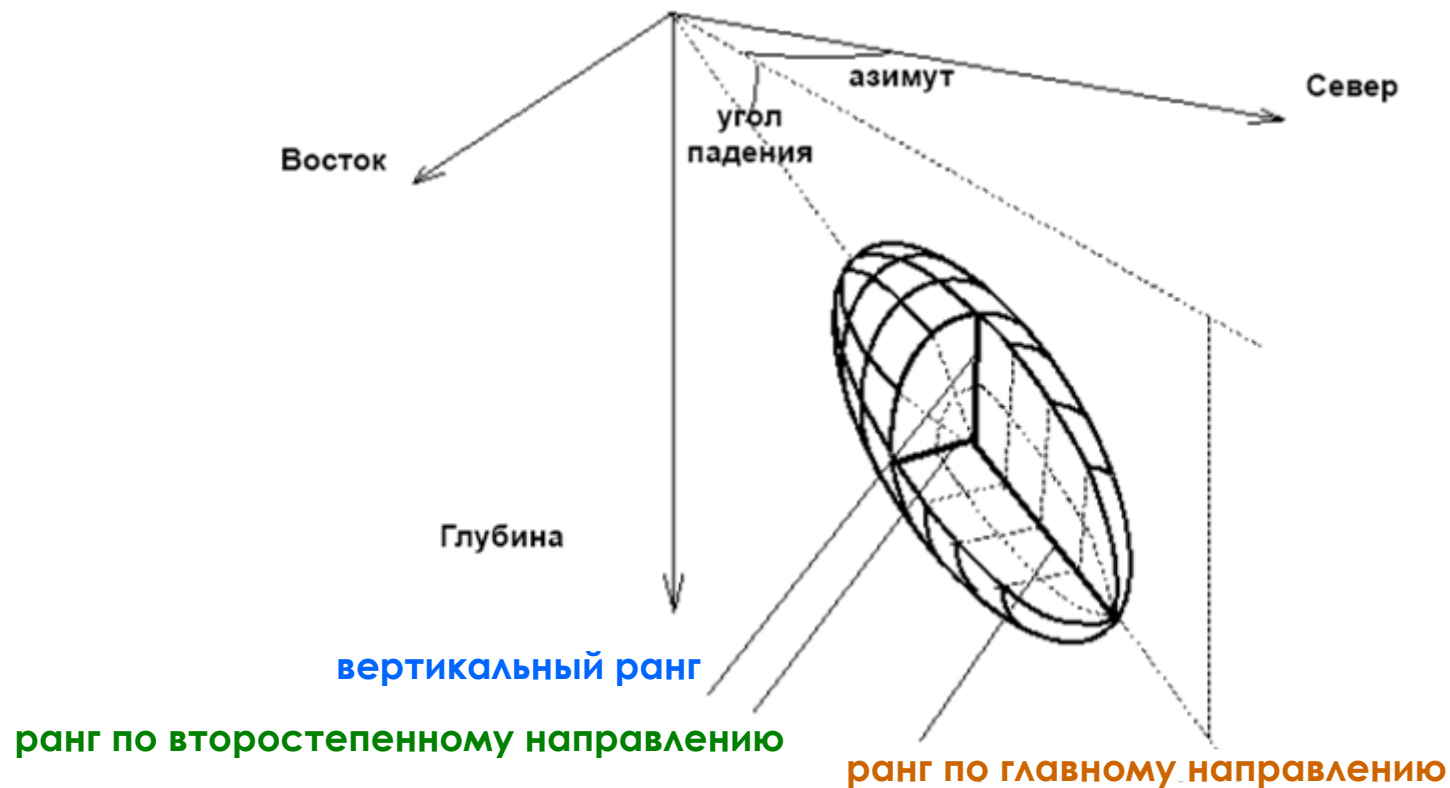


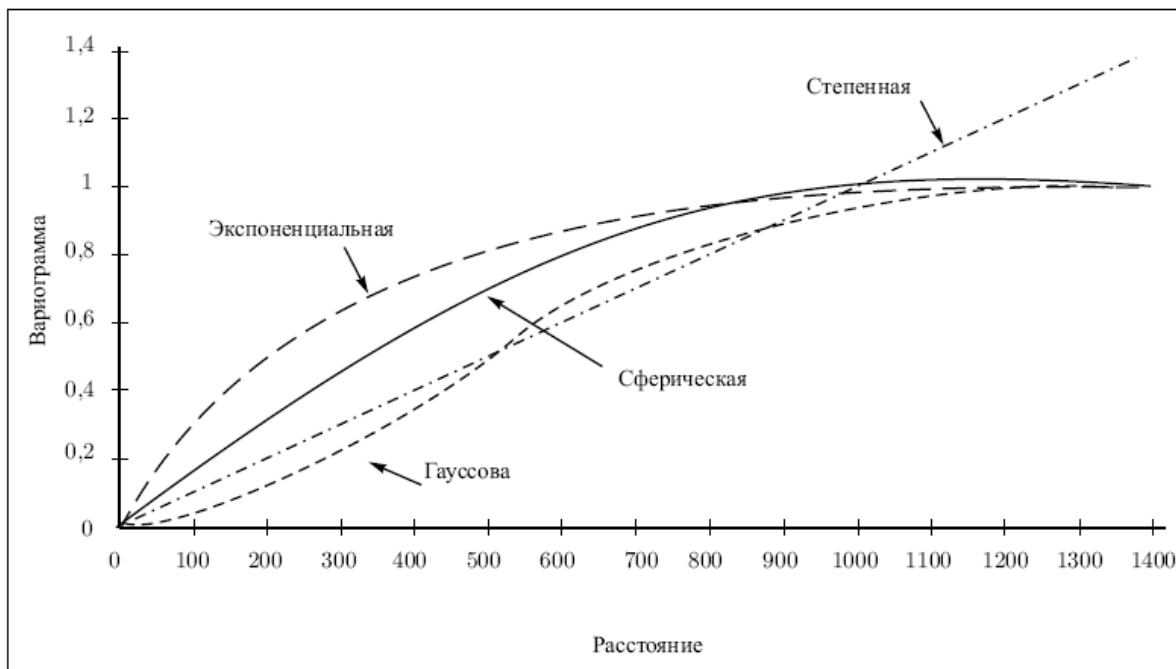
❑ **Сходство** двух наблюдений **зависит** от **расстояния** между ними: то есть **изменчивость увеличивается с увеличением расстояния** между данными. Эта изменчивость определяется путем вычисления дисперсии значения параметра в зависимости от расстояния.

Экспериментальная и модельная вариограммы



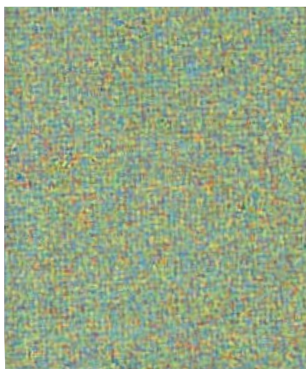
Вариограммный эллипсоид вокруг ячейки 3D сетки



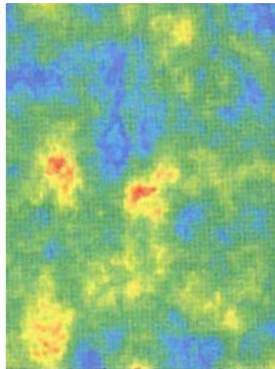


Характер поведения переменной

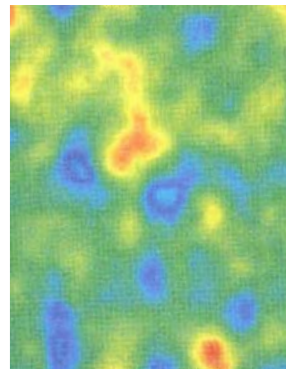
Чистый
«эффект самородков»



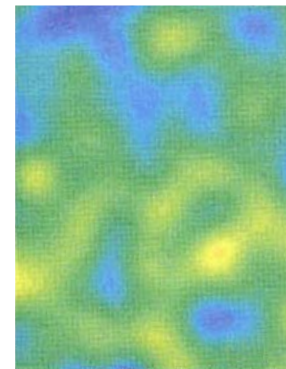
Экспоненциальная

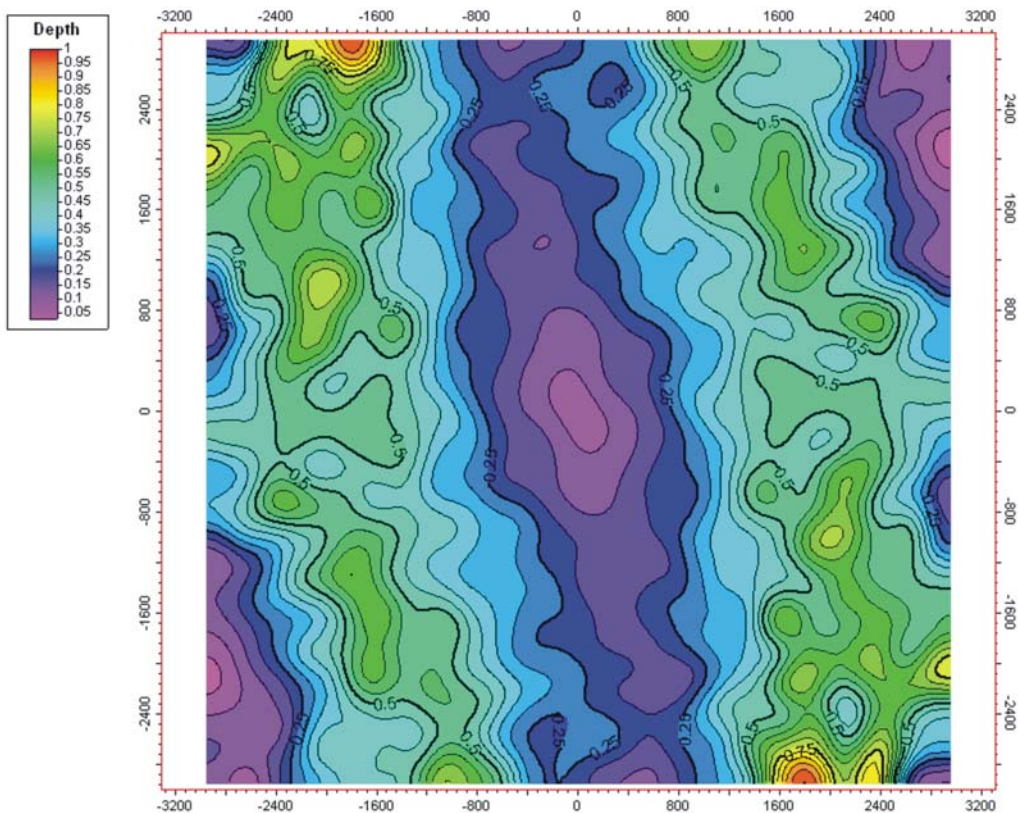


Сферическая



Гауссовская



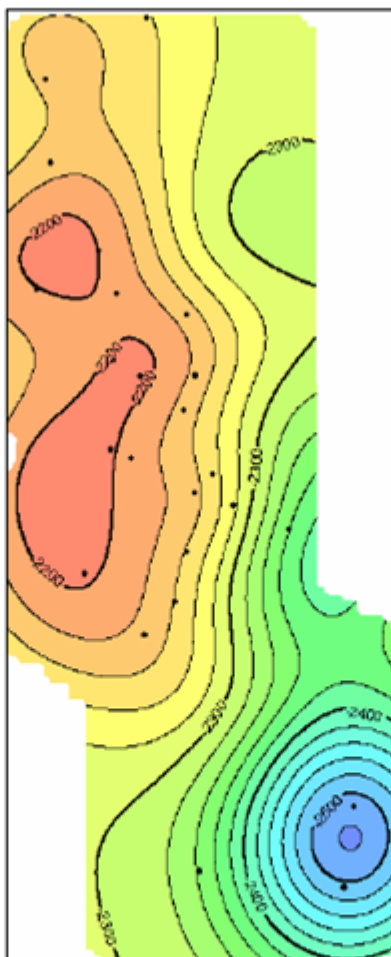


❑ **Карта вариограммы** представляет собой поточечное 2D изображение всех эмпирических оценок вариограмм в плане

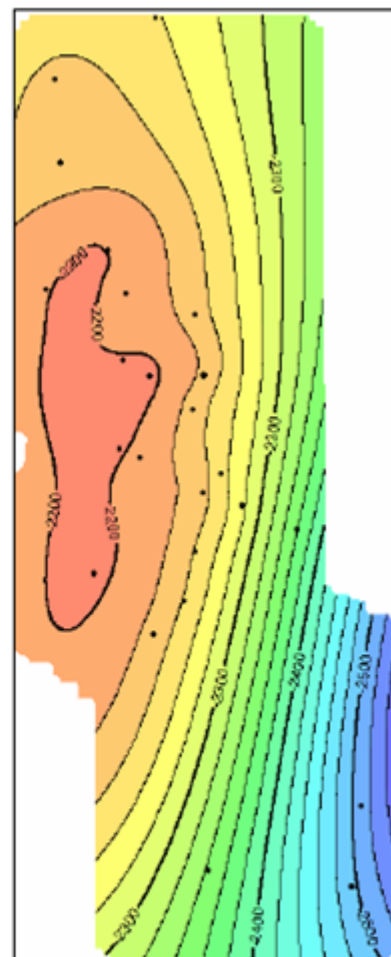
❑ Если угол падения равен 0, то по этой карте можно оценить **ранги вариограммы** (их соотношение) и **азимут**



Кригинг,
радиус 1000 м



Кригинг,
радиус 5000м

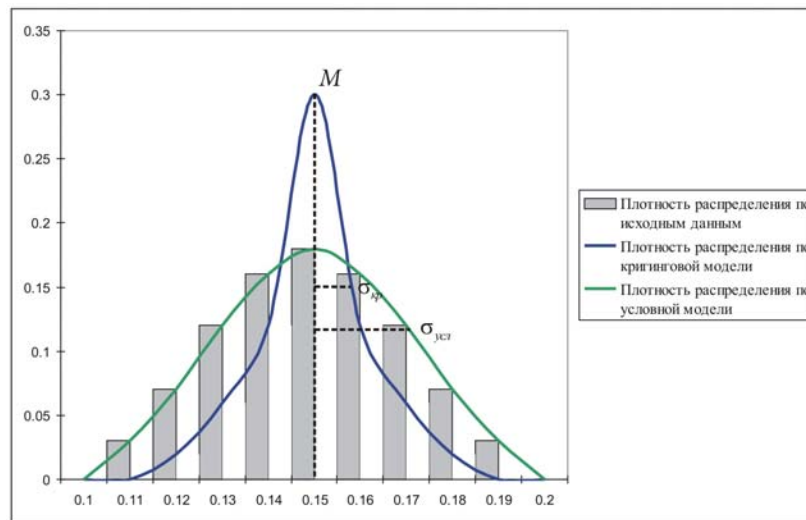


Кригинг,
радиус 15000 м

Основные методы геостатистического моделирования

- ☐ **кригинг**
- ☐ **условное моделирование**
- ☐ **объектное моделирование (не рассматривается)**
- ☐ **многоточечная статистика (не рассматривается)**

	Условное моделирование	Кригинг
Представление полученных данных	Равновероятные реализации	Одна «детерминированная» модель
Свойства	Соответствует скважинным данным Соответствует гистограмме, вариограмме	Соответствует скважинным данным Минимизирует среднюю ошибку
Изображение	С помехами, одинаковая изменчивость по всему объему	Гладкое, особенно на расстоянии от скважин
Применение	Гидродинамическое моделирование, расчеты элементов неопределенности	Картирование, подсчет запасов



- ❑ Базовый метод геостатистического моделирования – **кригинг**

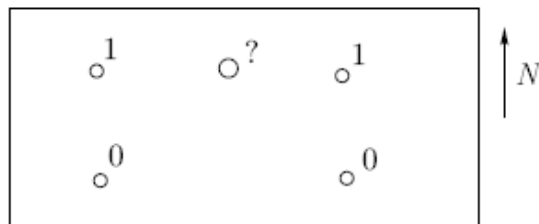
- ❑ Кригинг позволяет получить **наиболее вероятное значение** моделируемого параметра **на основе исходных данных и модели вариограммы**

- ❑ За пределами радиуса корреляции кригинговая модель выходит на **среднее значение**

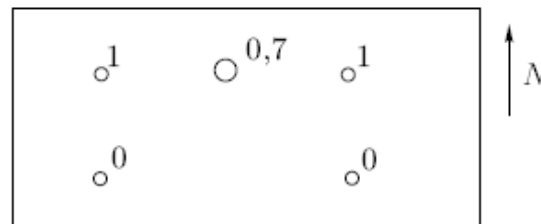
- ❑ Основные модификации кригинга:
 - **ко-кригинг**
 - **универсальный кригинг**
 - **байессов кригинг**

Алгоритм условного моделирования

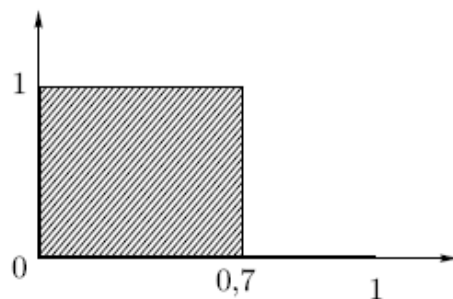
1. Задать случайным образом некоторую точку между скважинами



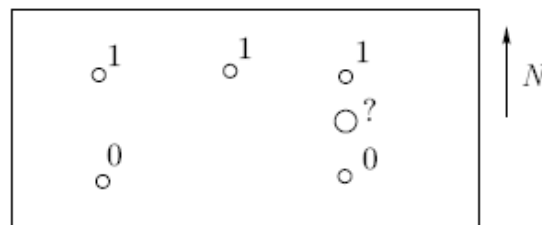
2. Определить значение $P(l = 1)$ в случайной точке



3. Выбрать значение индикаторной переменной с вероятностью, равной 0,7



4. Объединить отобранное значение с имеющимися данными и задать новую точку



- ☐ При запуске анализа стохастической неопределенности можно управлять значением начального числа **SEED**, которое будет использовано в каждой конкретной реализации
- ☐ **SEED** – это целочисленная переменная, которая является начальным числом генератора последовательности случайных чисел
- ☐ При обработке каждой реализации модели при анализе неопределенностей будет использоваться новое значение начального числа
- ☐ Использование различных значений **SEED** позволяет генерировать различные реализации

Значение SEED определяет начальную точку моделирования

Реализация №1

SEED 1 ●

Реализация №2

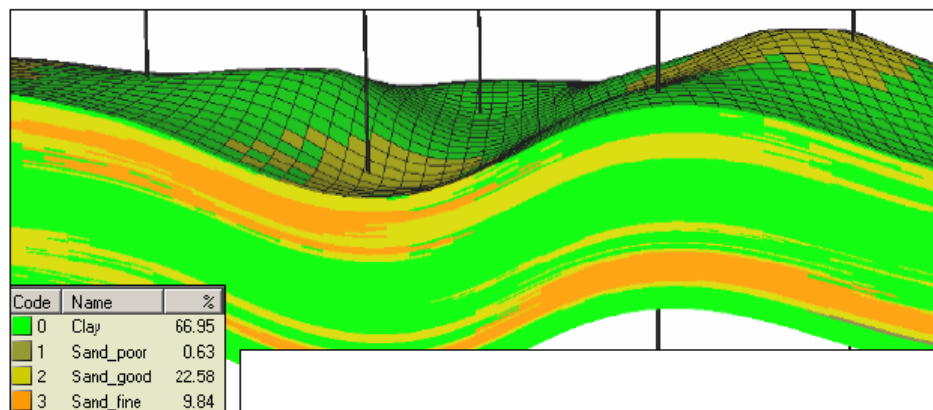
● SEED 2

Реализация №3

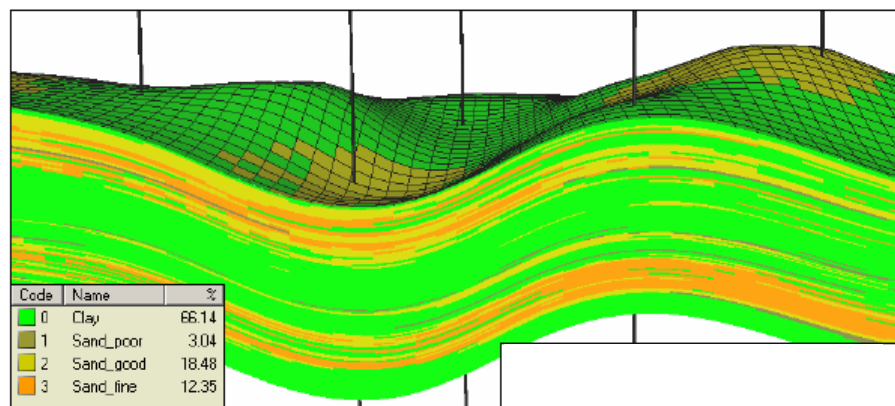
SEED 3 ●

Сравнение кригинга и условного моделирования

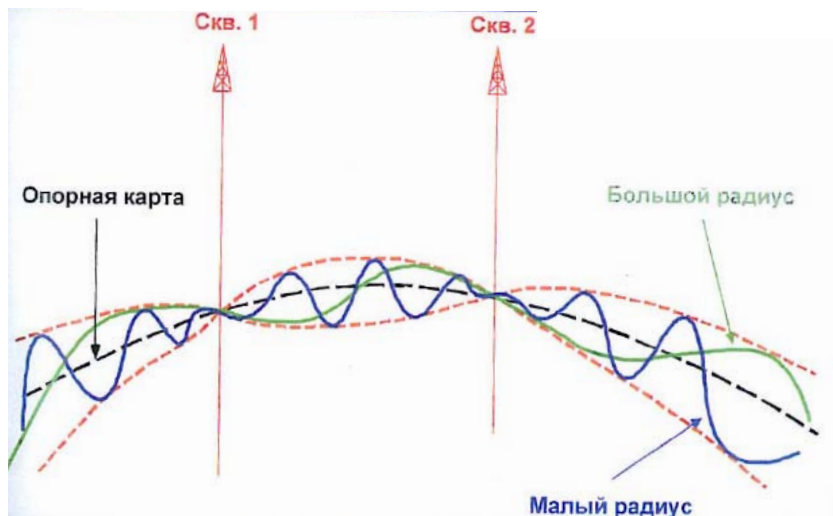
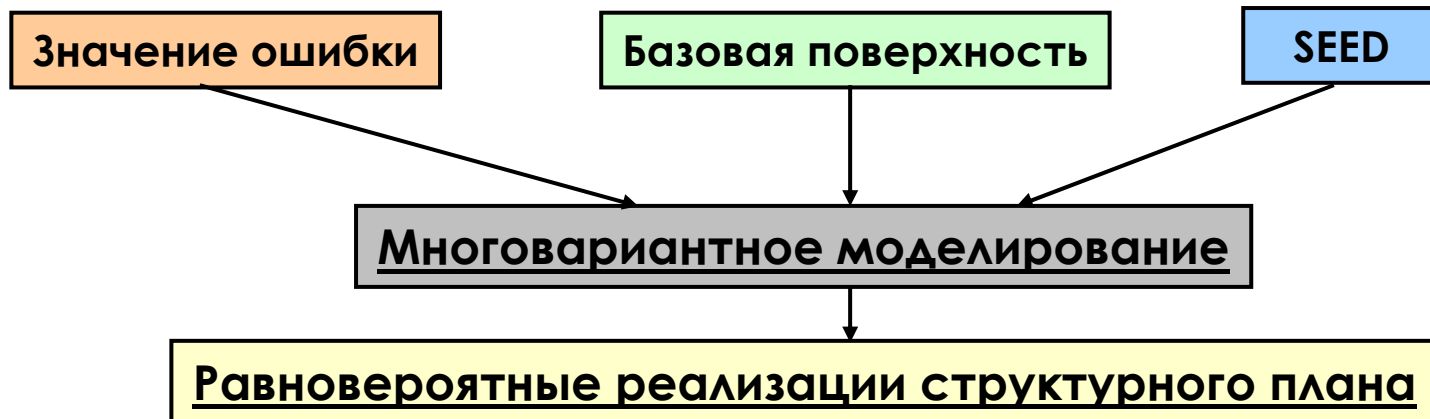
Кригинг



Условное моделирование

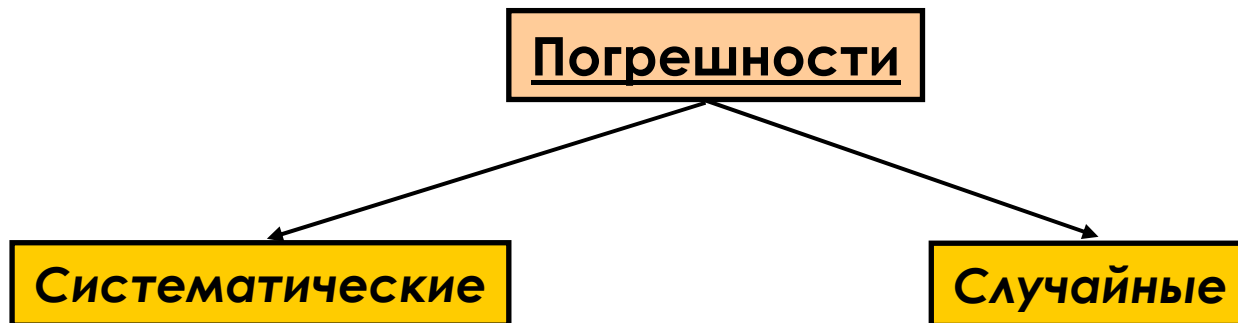


Методология построения возможных вариантов структуры



□ Все реализации лежат в диапазоне неопределенности по данным сейсморазведки

Оценка точности параметров залежей



- ❑ связаны с методами измерения параметров

- ❑ являются мерой правильности измерений

- ❑ могут быть устранены путем введения поправки на измерение

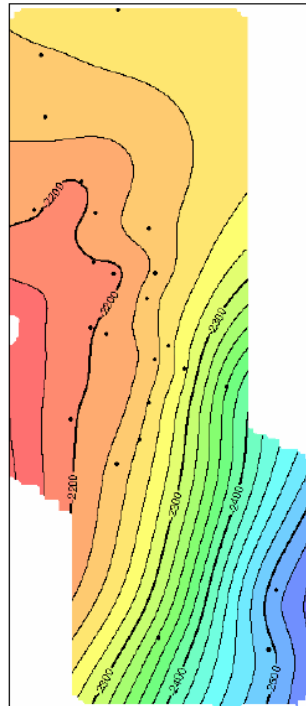
- ❑ присутствуют при каждом определении величины параметра

- ❑ являются мерой точности измерения

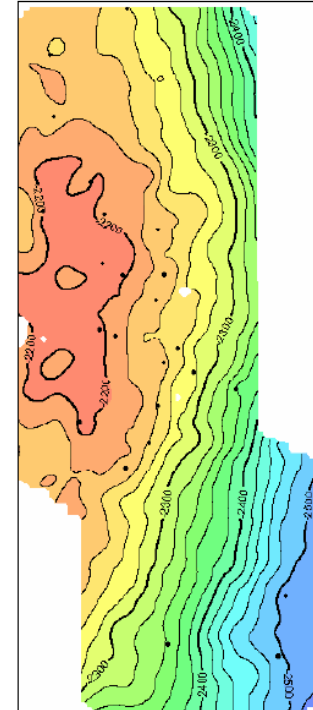
- ❑ могут быть уменьшены до определенной величины, однако полностью исключить их из результата невозможно

Искажение структурного плана при использовании только скважинных данных

Структурная карта по скважинным данным

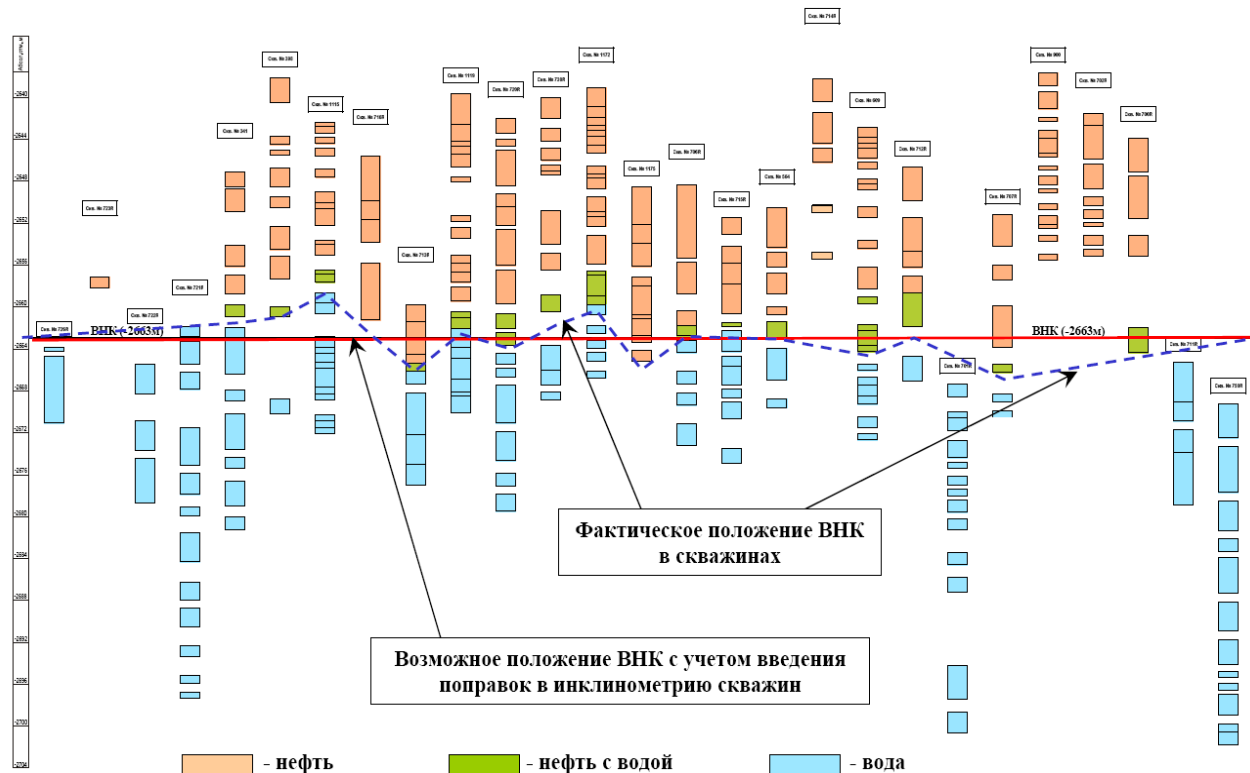


Структурная карта по скважинным и сейсмическим данным



- ☐ Для устранения подобных погрешностей необходимо анализировать достоверность структурных построений по данным сейсморазведки
- ☐ Использование сейсмических данных определяется степенью сходимости структурных планов по данным бурения и сейсморазведки

Систематические погрешности определения положения ВНК и ГНК



❑ Для исключения систематической погрешности определения отметки ВНК требуется анализ инклинометрии скважин и введение соответствующей поправки

Систематические погрешности определения эффективной мощности

□ Основными причинами систематических погрешностей определения эффективной мощности являются:

- *неполный комплекс ГИС в интервалах продуктивных отложений***
- *неправильное определение граничных значений коллекторов***
- *непредставительность выборки для обоснования граничных значений***
- *различные методические подходы определения граничных значений для одного объекта***

□ Методы минимизации подобных погрешностей:

- *введение поправки на основе скважин, равномерно распределенных по площади залежи***
- *повышение представительности выборки керна***
- *равномерное освещение данными керна разрезов скважин и площади залежи***
- *использование единой методики интерпретации данных керна и ГИС***

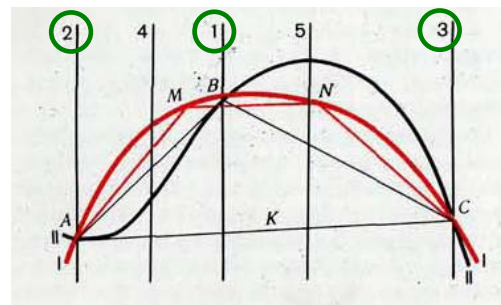
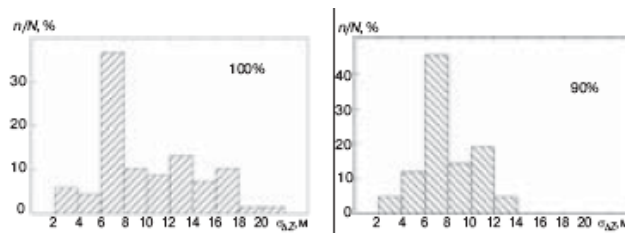
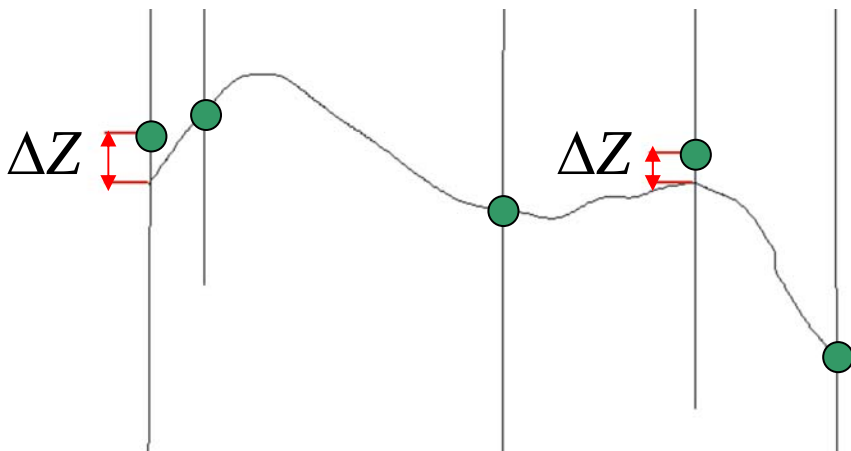
К систематическим погрешностям также относятся:

- ☐ погрешности определения нефтенасыщенности (например, методами центрифугирования или капиллярной пропитки)
- ☐ возможная изменчивость свойств нефти (например, повышение плотности от свода к контуру)
- ☐ погрешности расчета средних значений из ряда замеров параметра в результате неучета различной точности отдельных измерений

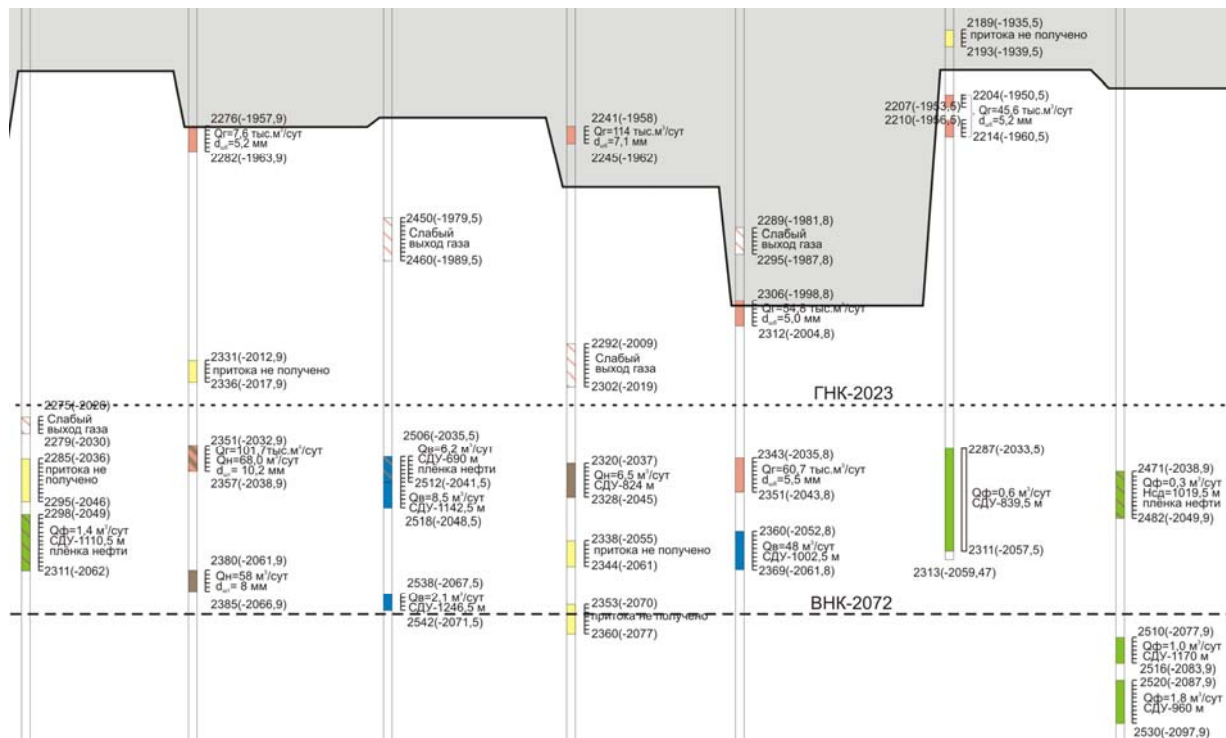
❑ Возможные погрешности глубин в межскважинном пространстве можно получить **следующими способами**:

- **вычислением среднеквадратического отклонения**
- **на основе регрессионных зависимостей**
- **методами cross-validation или jack-knife**

❑ На основе результатов проверки точности структурных построений последующим бурением установлены **типовые уровни ошибок** для основных нефтегазоносных районов России



Случайные погрешности определения отметок ВНК и ГНК



❑ Случайные погрешности определения положения ВНК и ГНК зависят от степени изученности объекта

❑ В случае определения положения контакта по данным о плотности флюида и замерам пластового давления необходимо учитывать инструментальные погрешности

❑ Погрешности определения эффективных толщин, пористости, проницаемости, нефтенасыщенности, плотности нефти и пересчетного коэффициента определяются как погрешности средних арифметических значений по формуле:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$$

❑ Для расчета погрешностей определения пористости, проницаемости и нефтенасыщенности применяется формула:

$$S_X = \sqrt{\frac{DX}{K} - \frac{DX}{\bar{n}}}$$

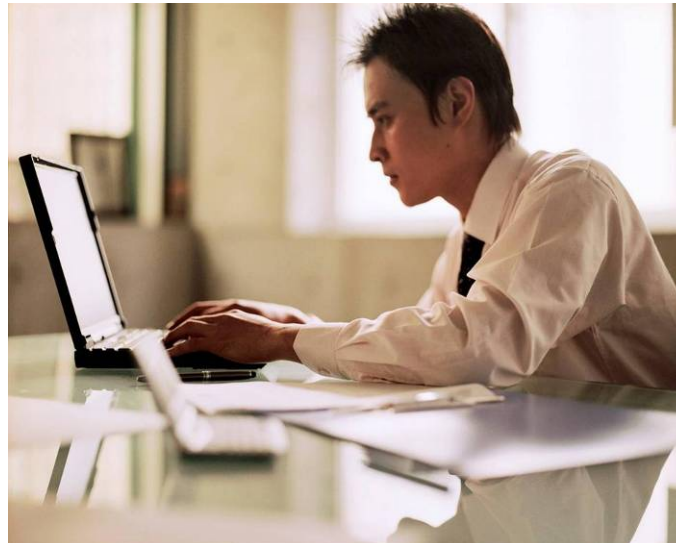
❑ Погрешность определения ФЕС учитывает как дисперсию пористости по всей выборке, так и дисперсию средних значений по скважинам

- ☐ Рассмотрены основные понятия теории вероятности и математической статистики
- ☐ Представлены основные числовые и графические характеристики случайных величин
- ☐ Показаны основные типы распределений случайных величин и их особенности
- ☐ Рассмотрен основной метод имитационного моделирования – метод Монте-Карло – и его приложения
- ☐ Рассмотрены основные понятия геостатистики
- ☐ Введены понятия систематической и случайной погрешностей. Рассмотрены основные погрешности определения подсчетных параметров и возможные причины их возникновения

1. Аронов В.И. «Методы математической обработки геологических данных на ЭВМ». М.: Недра, 1977
2. Вентцель Е.С. «Теория вероятностей». М.: Наука, 1964
3. Гуськов О.И., Кушнарев П.И., Таранов С.М. «Математические методы в геологии. Сборник задач». М.: Недра, 1991
4. Дюбруль О. «Геостатистика в нефтяной геологии». М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2009
5. Дюбруль О. «Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных». М.: EAGE, 2005
6. Золоева Г.М., Денисов С.Б., Билибин С.И. «Геолого-геофизическое моделирование залежей нефти и газа». М.: МАКС Пресс, 2008
7. Матерон Ж. «Основы прикладной геостатистики». М.: Мир, 1968
8. «Справочник по нефтепрмысловой геологии». Под. ред Быкова Н.Е., Максимова М.И., Фурсова А.Я. М.: Недра, 1981
9. Чоловский И.П., Иванова М.М., Брагин Ю.И. «Нефтегазопромысловая геология залежей углеводородов». М.: ФГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2006
10. Clark I. «Practical Geostatistics». 2001
11. Deutsch C.V. «Geostatistical Reservoir Modeling». Oxford University Press, 2002

Анализ неопределенностей и оценка рисков при подсчете запасов на стадии поисково- разведочных работ

- Выявление геологических аномалий
- Измерение геологических аномалий путем установления шанса на успех и обнаружение запасов (переведенных в прибыльность)
- Специалисты – геологоразведчики должны быть **профессионально объективными**



Поисково – разведочные работы включают в себя широкий диапазон исследований и производственных процессов, которые начинаются с **геологического изучения** района работ

Анализ объективности исходных данных и выбор наиболее вероятного значения запасов на фоне экономических условий конкретного предприятия и общего состояния отрасли составляют **основу анализа рисков**

На данном этапе при подсчете запасов(ресурсов) широко распространен **метод аналогий**:

- основные параметры для оценки запасов(ресурсов) берутся по аналогии с близлежащими месторождениями
- привлечение опыта успешности поискового бурения на близлежащих месторождениях

Субъективная
вероятностная
оценка

Статистические
предположения, основанные
на анализе успешности
прошлого бурения

Математические
модели

1960-е гг.

В Р Е М Я,
РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

2000-е гг.

В настоящее время используются все методы оценки рисков

Оценка базируется на **личном мнении** и **умении объективно рассуждать**,
несмотря на предубеждения и эмоции

Оценка заключается в **анализе вероятностей** каждого из отдельных
параметров и **определении их влияния** на общую оценку запасов и
степени риска



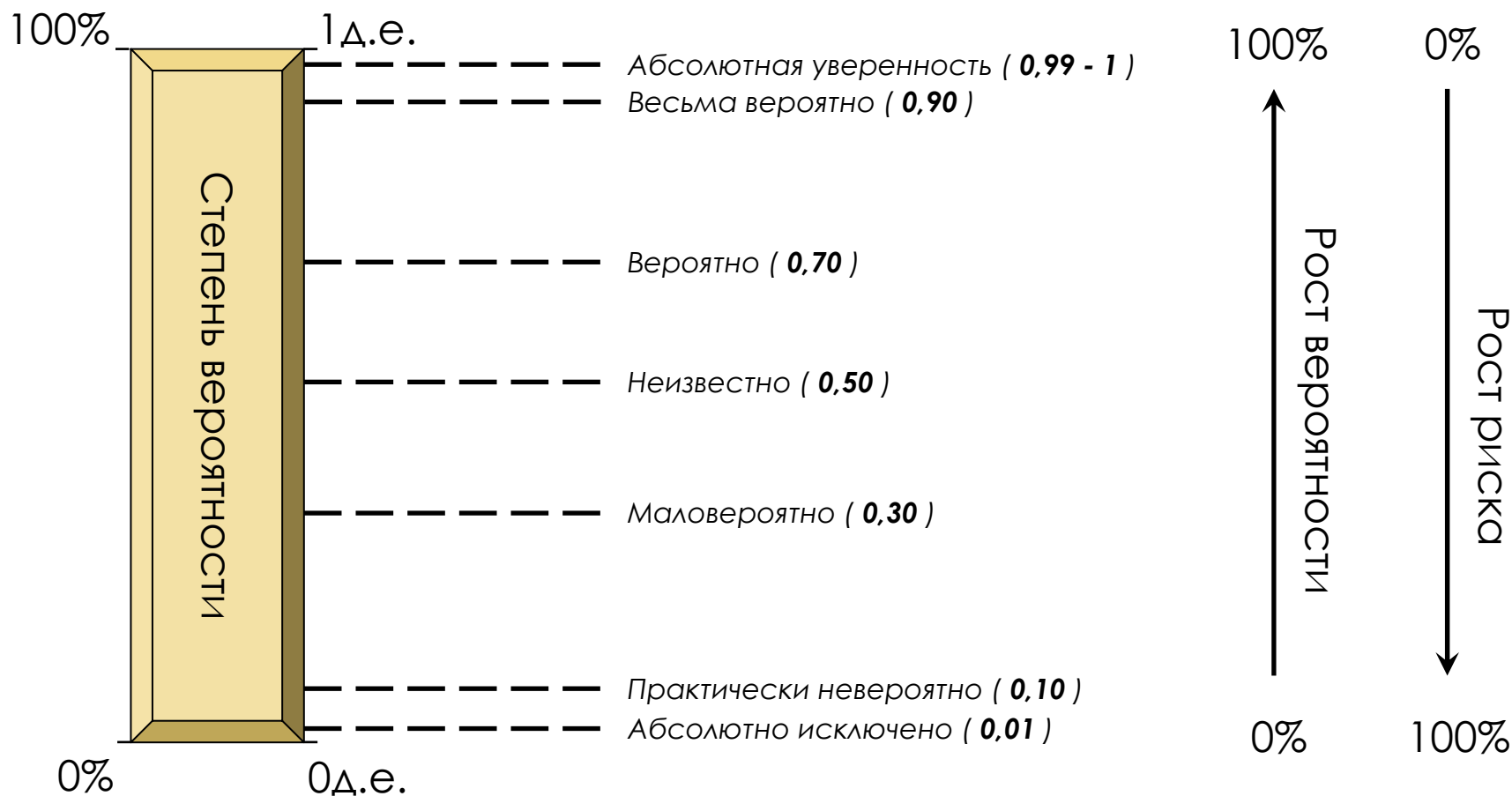
На этом этапе практически все решения
принимаются исходя из
субъективной оценки вероятности того или
иного события

При вероятностном подходе каждый параметр, участвующий в формуле подсчета запасов (ресурсов), рассматривается как случайная величина, а значение запасов (ресурсов) – как функция этих случайных параметров.



Наиболее распространен подход, при котором для каждого подсчетного параметра на основе имеющейся априорной информации, определяют возможные значения параметров и задают тип и характеристики распределения вероятностей

Определим шкалу, по которой будем оценивать **степень вероятности** наличия **первичной информации** для субъективной вероятностной оценки



При расчете общей вероятности анализируются такие параметры как:

- 1.Наличие и характер насыщения ловушки - $P(1)$
- 2.Наличие и свойства коллектора - $P(2)$
- 3.Нефтегазонасыщенность - $P(3)$
- 4.И пр. - $P(n)$

$$P_{\text{общ}} = P(1) * P(2) * P(3) * P(n)$$

(Вероятность совместного наступления нескольких независимых событий равна произведению вероятностей этих событий)

$$\text{Степень Риска} = 1 - P_{\text{общ}}$$

Для количественного определения неопределенностей и рисков, возникающих на поисковой стадии проводится статистическое моделирование



Статистическое моделирование - это способ изучения сложных процессов и систем, подверженных случайным возмущениям, с помощью **имитационных моделей**.

Имитационное моделирование – ...

- это метод проведения вычислительных экспериментов с математическими моделями, имитирующими поведение реальных процессов и систем (**РПС**) во времени, в течении заданного периода для реальных объектов.

✓ При этом функционирование **РПС** разбивается на элементарные явления

- позволяет построить математическую модель для проекта с неопределенными значениями параметров, и, зная вероятностное распределения параметров проекта, а также связь между изменениями параметров (корреляцию) получить распределение доходности проекта.

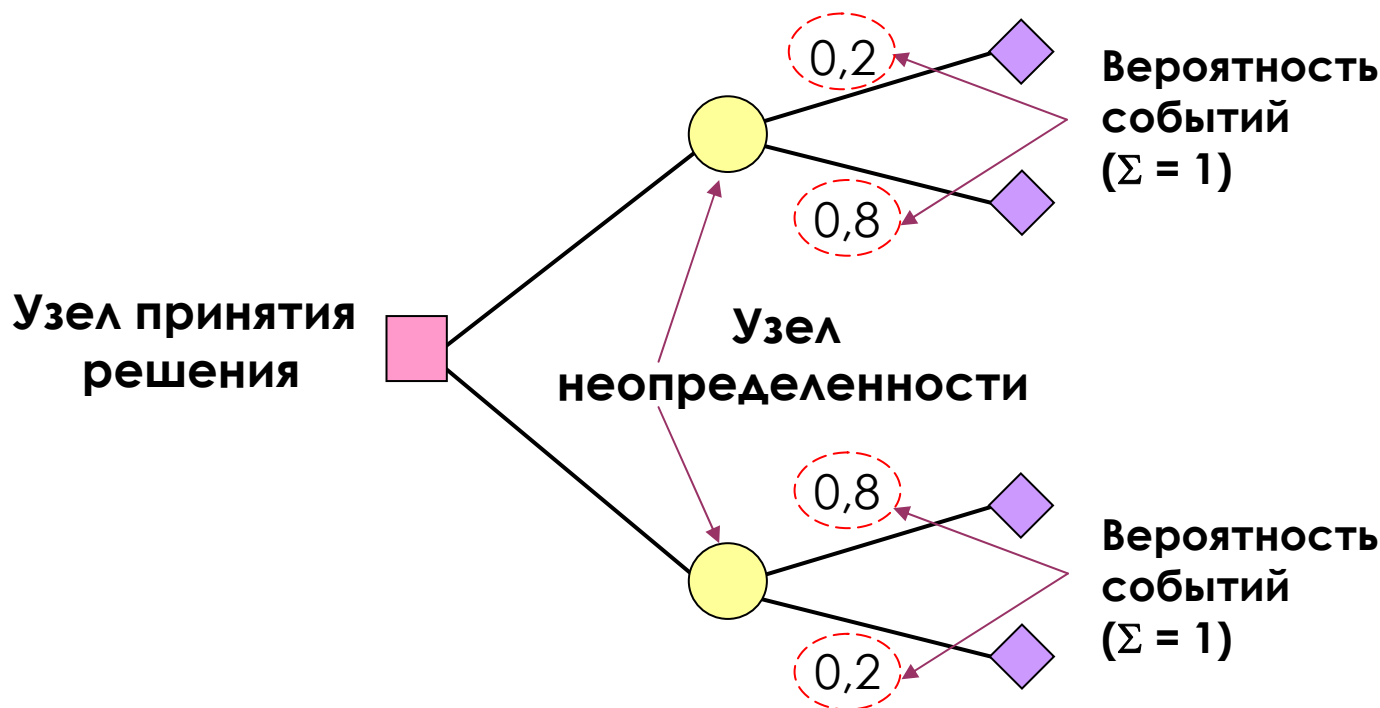
Имитационное моделирование обычно используют:

1. Если **не существует** законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания объекта моделирования. Имитационная модель служит **средством изучения явления**.
2. Если аналитические методы имеются, но математические процессы сложны и трудоемки, имитационное моделирование **дает более простой способ решения задачи**.
3. Когда кроме оценки влияния параметров (переменных) процесса или системы **желательно осуществить наблюдение за поведением компонент (элементов) процесса или системы (ПС)** в течение определенного периода.

Диаграмма решений – это удобное представление информации, которое состоит из узлов принятия решения и узлов неопределенностей.

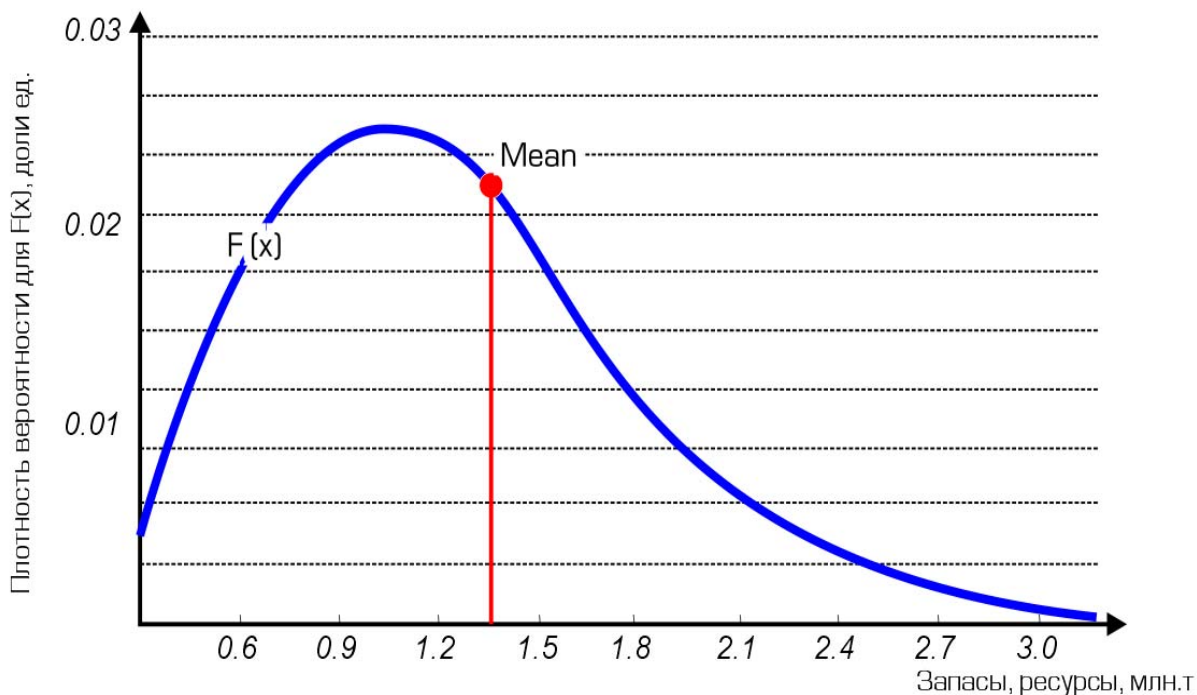
По своему виду эта диаграмма напоминает ветки дерева, поэтому ее часто называют «**дерево решений**».

Внешний вид простейшего «дерева решений»



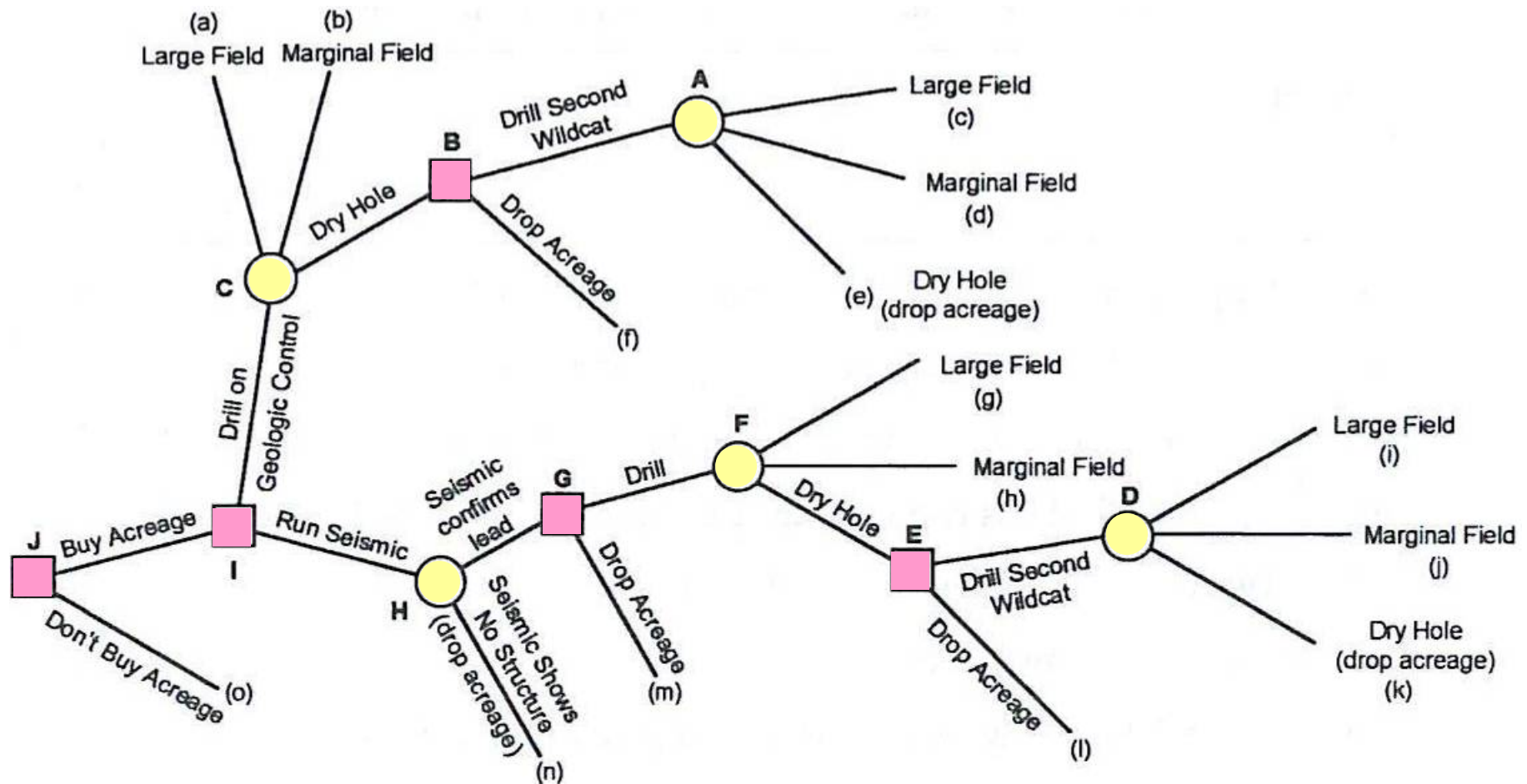
Построив характеристики субъективных вероятностных распределений для каждого из параметров, которые в дальнейшем трактуются как статистические функции распределения вероятности, методом Монте-Карло рассчитывают результирующее распределение величины запасов (ресурсов).

Полученная функция распределения вероятностей величины запасов (ресурсов) $F(x)$ интерпретируется как кривая, отражающая шансы на существование ресурсов в заданном диапазоне значений. **Для дальнейших технико-геологических и экономических расчетов принимается значение «Mean».**

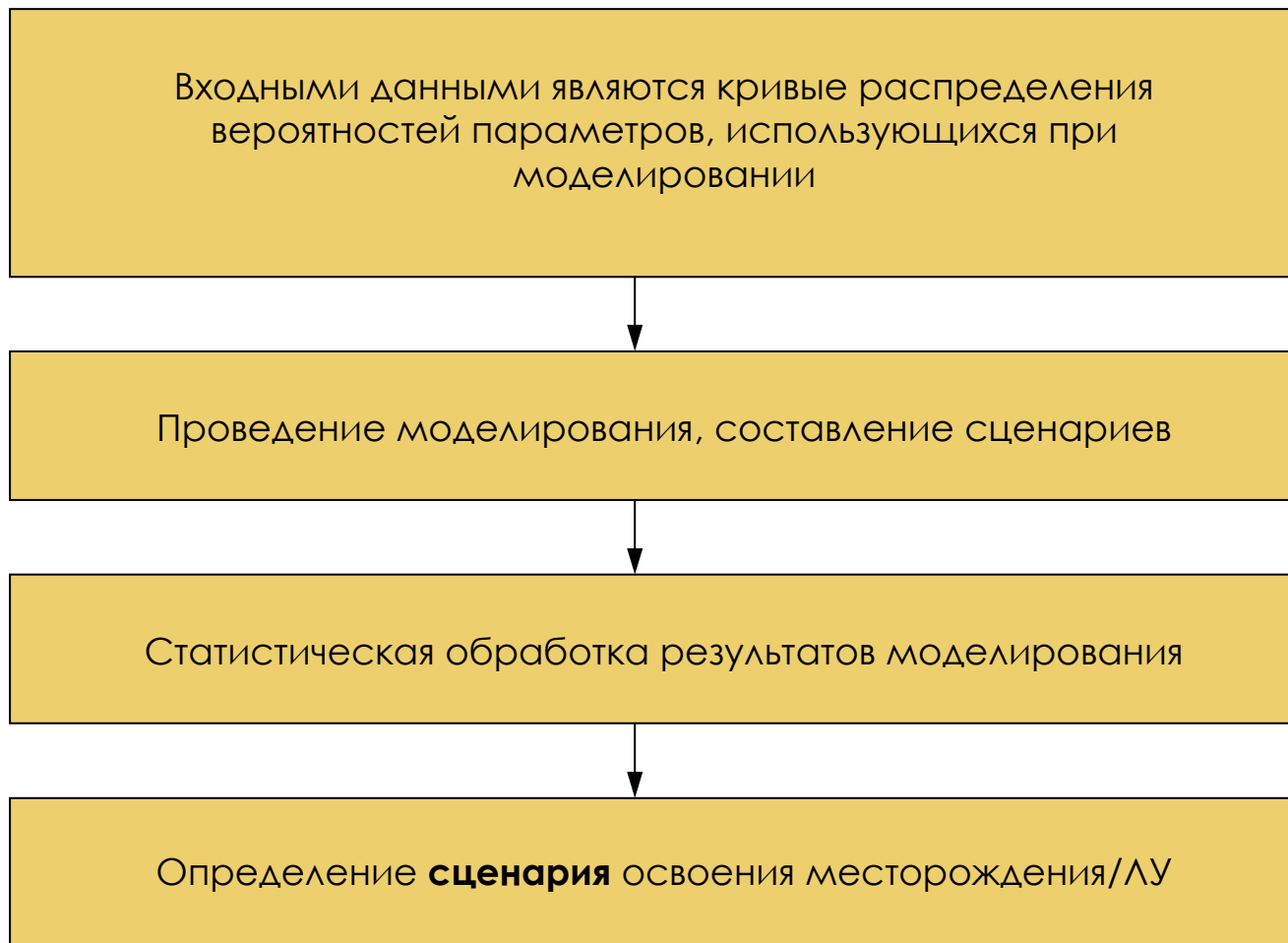


- ☐ Моделирование с использованием **«деревьев решений»** позволяет принять взвешенное решение при условии отсутствия исходных данных по участку/месторождению
- ☐ На вход подаются события, которые впоследствии приведут к снижению неопределенности всего проекта
- ☐ Каждое событие задается с какой то долей вероятности
- ☐ Вероятность события может быть принята группой экспертов или взята как результат деятельности на соседних месторождениях (по аналогии)
- ☐ В результате получаем оценку (экономическую, геологическую и т.д.), используя которую можно принять решение о том, какой **сценарий** лучше выбрать **для достижения цели** и тем самым снизить риски капиталовложений



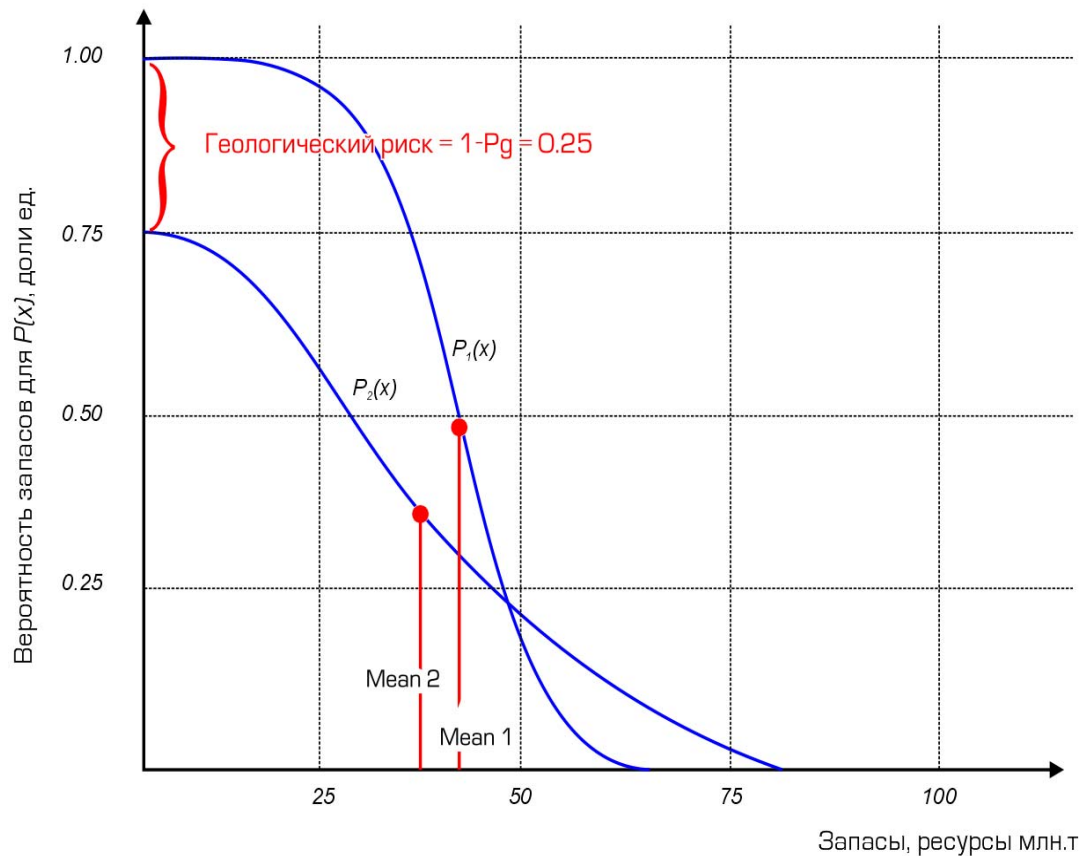


Анализ рисков с использованием метода статистического имитационного моделирования Монте-Карло представляет собой «**воссоединение**» методов **анализа чувствительности** и **анализа сценариев** на базе **теории вероятности**



- ☐ Моделирование **методом Монте-Карло** позволяет рассчитать распределение вероятности параметра, который может показать прибыльность проекта (запасы, ЧДД, КИН и т.д.)
- ☐ На вход подаются **распределения** основных параметров, необходимых для расчета показателя, связанного с прибыльностью проекта (площадь, NTG, Кп, Кпр и т.д.)
- ☐ Указывается **диапазон** статистических характеристик распределений
- ☐ Расчет производится по множеству реализаций (может быть неск. тысяч)
- ☐ В результате получаем **вероятностную кривую** (запасов, ЧДД, КИН и т.д.), используя которую можно оценить прибыльность проекта и тем самым снизить риски капиталовложений

В практических приложениях вместо функции распределения обычно используют функцию $P(Q) = 1 - F(Q)$, (где $F(Q)$ - общая вероятность всех параметров) которая показывает вероятность того, что запасы (ресурсы) по своей величине окажутся не менее 0. Эту функцию в связи с этим можно назвать функцией гарантированных запасов.

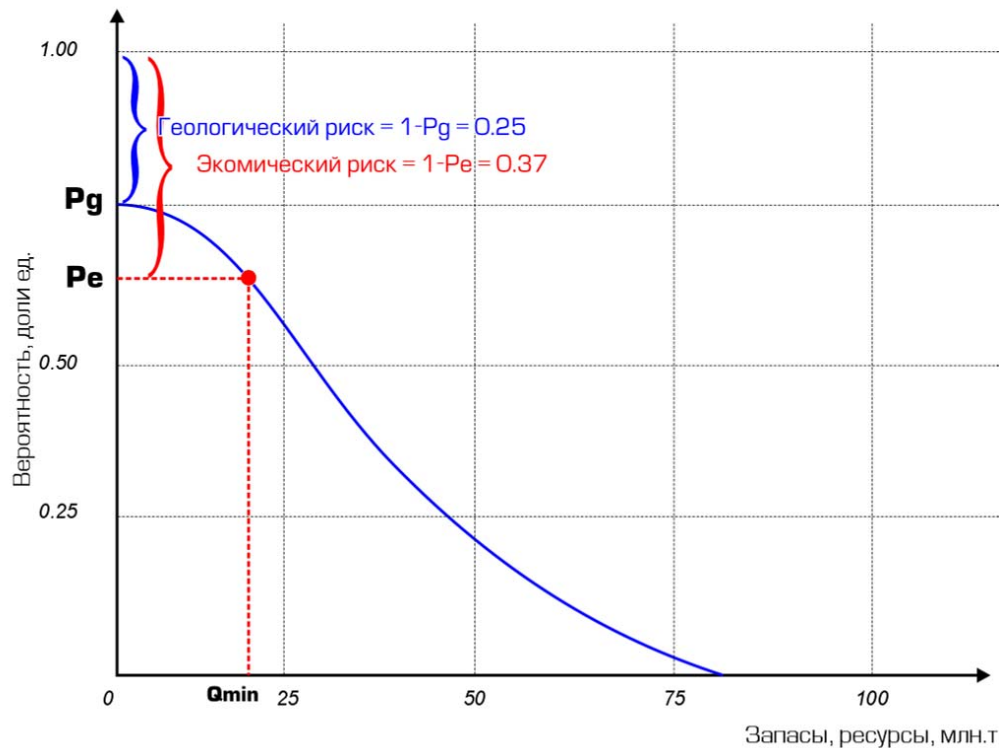


$P_1(x)$ – выявленное месторождение,
 $P_g=1$;

$P_2(x)$ – перспективный объект,
 $P_g=0.75$, риск = 0,25

Под вероятностью экономической успешности (P_e) подразумевается вероятность того, что разработка выявленных залежей окажется экономически рентабельной с учетом фактических дебитов, запасов и глубин залегания продуктивных отложений

Для определения P_e используют функцию $P(Q > Q_{min})$, которая показывает вероятность того, что ожидаемые запасы окажутся не менее Q_{min} (минимально-рентабельного)



Учет P_e при оценке ресурсов УВ, путем умножения на вероятность успешности, не приравнивает ресурсы к запасам

Оценка P_e зависит от качества и объема имеющихся данных

**Риски
снижаются**

- Используя имитационное статистическое моделирование происходит **снижение риска принятия неправильного решения**, так как перед глазами находится весь возможный сценарий ГРР

**Риски
растут**

- Используя имитационное статистическое моделирование происходит **увеличение риска капиталовложений при неправильном анализе сценария**

**Неопределенность
снижается**

- Неопределенность **снижается в любом случае** (не зависит от сценария), кроме одного случая - когда после анализа сценария есть решение сдать лицензию

Для снижения рисков на поисковой стадии необходимо помнить:

➤ Имитационное моделирование лишь **инструмент** для принятия решения, но не само решение



Для принятия решения, о том какой сценарий лучше, нельзя полагаться на мнение **одного специалиста** – это **коллективное творчество** (для снижения субъективизма в оценке)

DTK – Decision Tool Kit, программный продукт компании Шлюмберже.

Состоит из 3-х модулей:

1. DTK – Sensitivity
2. DTK – Trees
3. DTK – VMC (Visual Monte-Carlo)

1. DTK – Sensitivity

- Проводит анализ чувствительности для определения тех параметров, которые наиболее сильно влияют на расчет стоимости проекта или на запасы

Результат – диаграмма распределения параметров в различном виде: «торнадо – плот», «паук – диаграмма», «таблица» и т.д.

На ЛУ проведена оценка запасов.

Задача

Необходимо определить какой из параметров наиболее сильно влияет на цифру запасов.

Результат необходимо представить в виде торнадо-плота.

2. DTK – Trees

- Составляется сценарий проведения мероприятий на месторождении или ЛУ,
- Экспертно или по аналогии с соседними месторождениями или ЛУ задаются вероятности событий (например – бурить или не бурить скважину)

Результат – «дерево решений», которое отражает основные «вехи» работ на месторождении за заданный период времени и результат в виде денежных потерь или прибыли (или в виде цифр запасов)

Компания N приобрела лиц. участок для добычи нефти.

Ранее на этом ЛУ проводилась 2Д сейсморазведка, которая определила наличие положительной структуры. В последствии на ЛУ была пробурена одна поисковая скважина в районе склона структуры, но она оказалась «сухой».

Однако известно, что соседнее месторождение разведывалось точно по такому же сценарию, т.е. сначала были пробурены две непродуктивные скважины, зато потом после проведения 3Д сейсморазведки и бурения еще одной поисковой скважины предположительные запасы были подтверждены.

Задача.

Построить «диаграмму решений» и дать заключение – проводить ли доразведку на этом ЛУ или лучше сдать лицензию.

Исходные параметры:

Цена 1т нефти = 588руб.

Предполагаемые извлекаемые запасы нефти = 10.000.000 т. *

Стоимость одной поисково-разведочной скв. = 200.000.000 руб.

Стоимость сейсморазведочных работ на ЛУ = ~ 50.000.000 руб.

** Вероятность того, что запасы подтвердятся при удачном проведении сейсморазведочных работ или успешном поисковом бурении составляет 100%*

3. DTK – VMC (Visual Monte-Carlo)

- Объединяет в себе анализ чувствительности и составление «деревьев решений»
- В качестве входных данных используются распределения, их статистические характеристики, а также диапазон возможных изменений распределений
- В процессе может быть построено несколько тысяч реализаций

Результат – кривая распределения извлекаемых запасов или ЧДД

Компания N приобрела месторождение нефти. Затем было пробурено 3 поисково-разведочных скважины, провели 3Д сейсморазведку. По результатам ГРП структура месторождения и наличие нефти подтверждается. Из 3-х скважин 2 оказались продуктивными. Для построения геологической модели есть все данные, но нет времени. Необходимо срочно за 1 час (или быстрее) оценить цифры запасов на месторождении, для этого необходимо построить вероятностную кривую распределения запасов нефти.

Задача.

Построить вероятностную кривую распределения запасов нефти. И назвать цифры оптимистичного, пессимистичного и самого вероятного прогноза запасов.

Исходные параметры приведены в таблице **Распределение запасов.xls**

Анализ неопределенностей и оценка рисков при подсчете запасов на стадии разведки и разработки

Детерминистический

Детерминистический
и вероятностный

Вероятностный

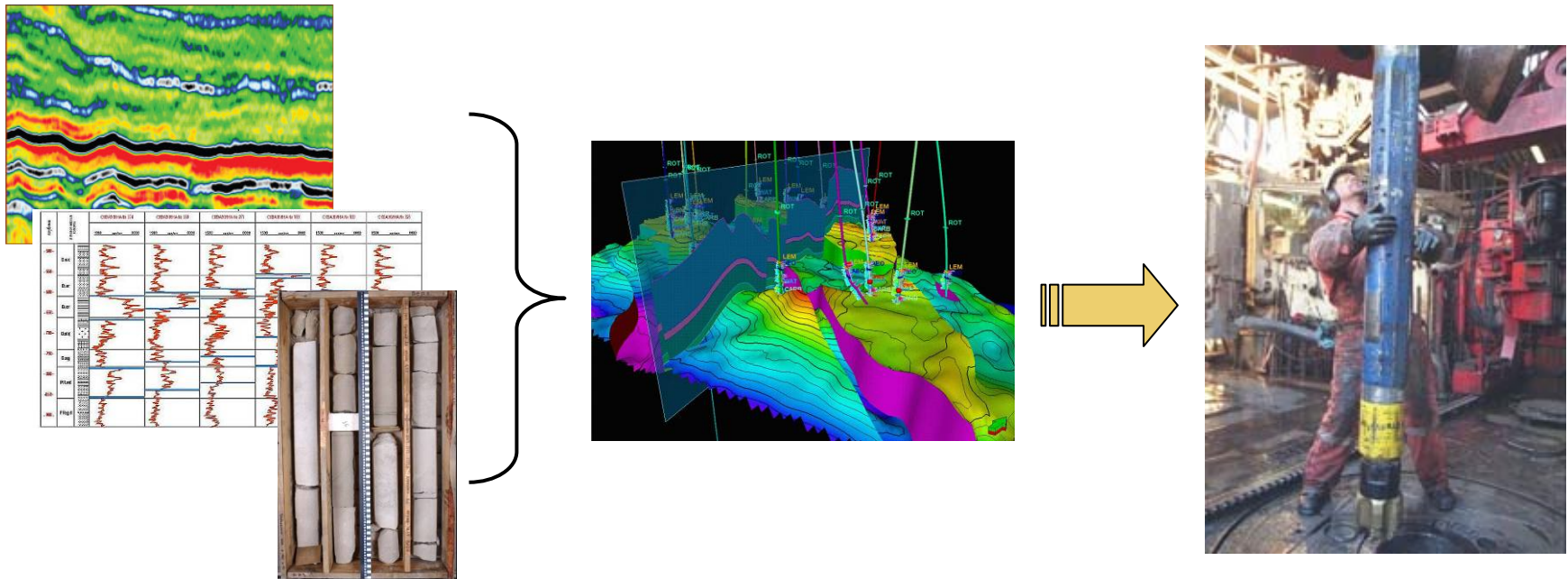
1960-е гг.

В Р Е М Я,
РАЗВИТИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПО

2000-е гг.

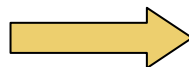
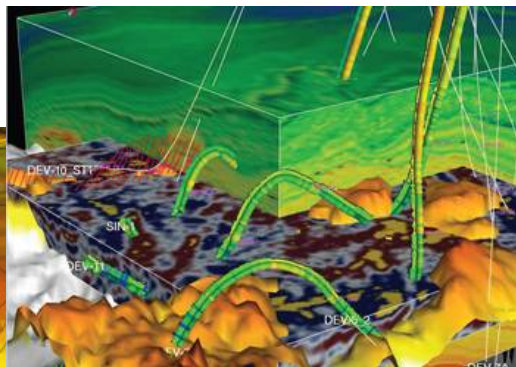
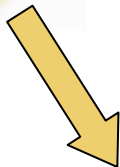
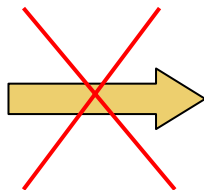
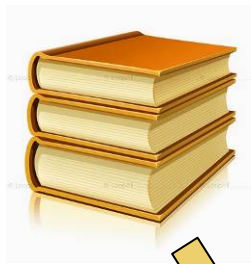
**Со временем вероятностный способ подсчета запасов должен
вытеснить детерминистический**

Приоритетом нефтяных компаний в мире сегодня является наличие «живой» геолого-технологической модели месторождения, на основе которой следует бурить **эксплуатационные скважины**



Отличительной особенностью таких моделей является то, что в них собрана вся последняя информация по месторождению и эта модель постоянно обновляется

Геологическая модель из
ПЗ и ТЭО КИН



Геологическая модель - основа для разработки месторождений

Направления подсчета запасов

Детерминистическое

«...наиболее **желаемое**
значение...»

Популярность метода –
простота расчетов

и

Российская специфика –
требования ГКЗ РФ

Вероятностное

«...наиболее **возможное**
значение...»



Определение объема и стоимости запасов – комплексная задача, которая включает в себя целый ряд различных параметров (переменных) и практически не может привести к единственному ответу в результате догадки, основанной на интеграции всех данных;

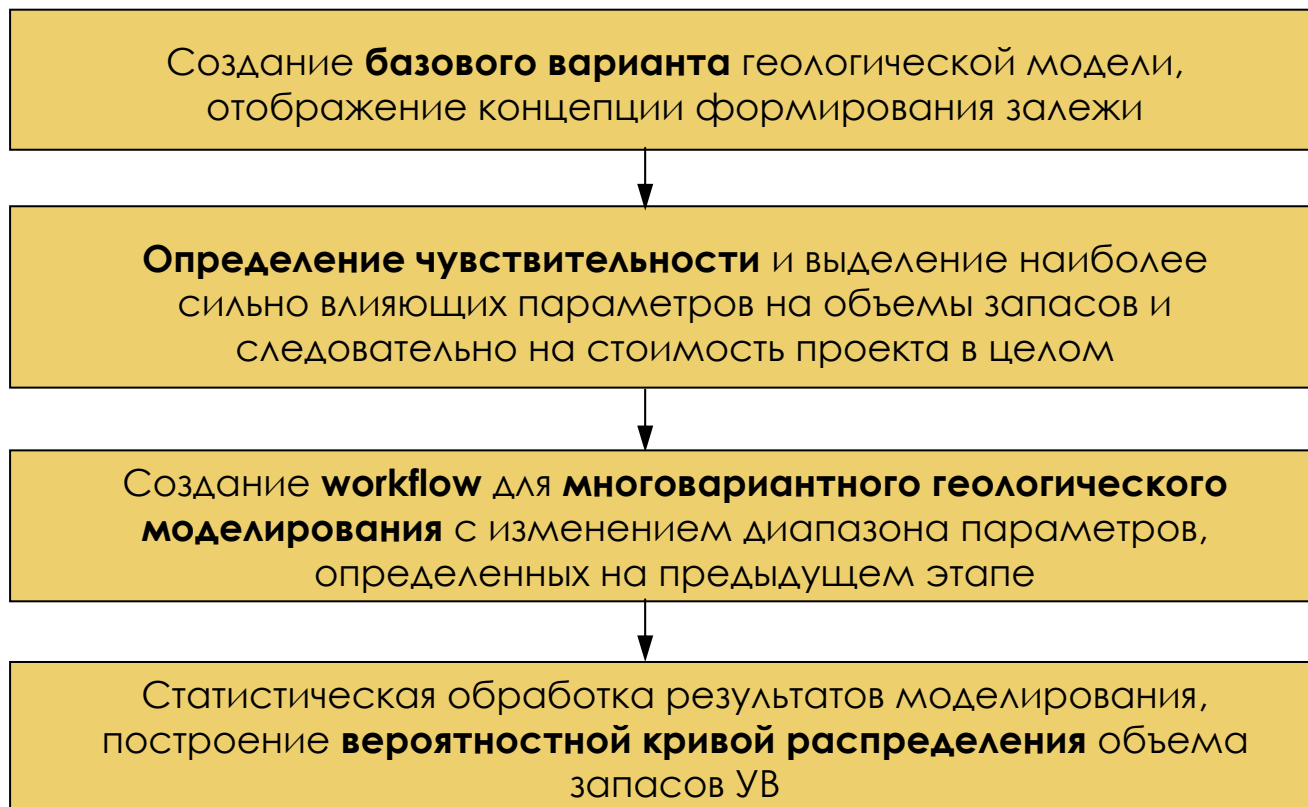
С достаточной точностью можно оценить только некоторые параметры (геологические):

- Площадь;
- Эффективная нефте – или газонасыщенная толщина продуктивного пласта;
- Пористость;
- Водонасыщенность;
- ... - эти параметры можно задать с определенной точностью
- ... а остальные (экономические – налоги, стоимости, цена и др.) задаются вероятностно;

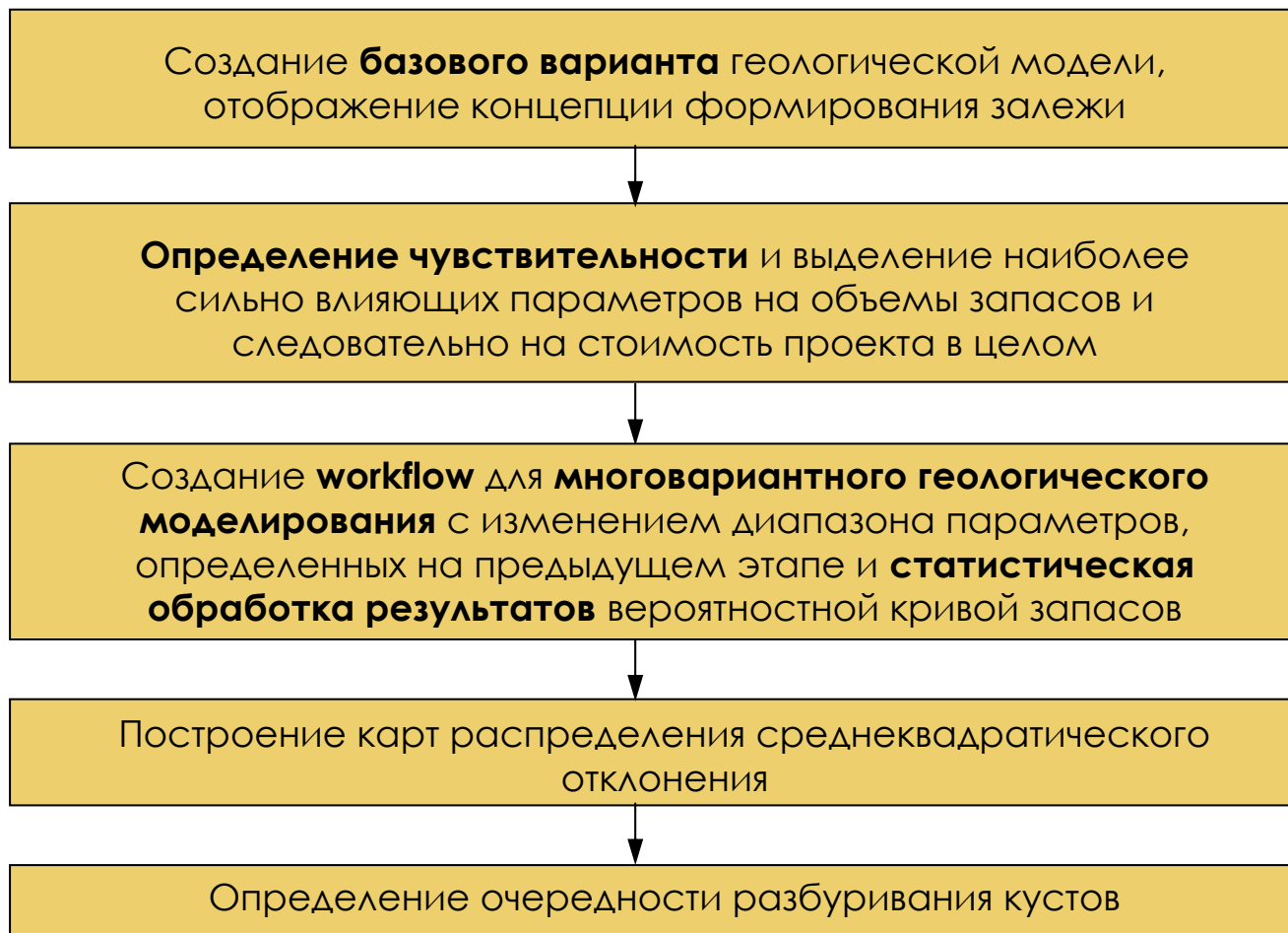
- Определение значения наиболее вероятных запасов УВ
- Определение очередности разбуривания кустов по ТСП
- Определение местоположения «скважин – кандидатов» при бурении
- Оптимизация проведения ствола скважины при ЗБС по данным геологического моделирования



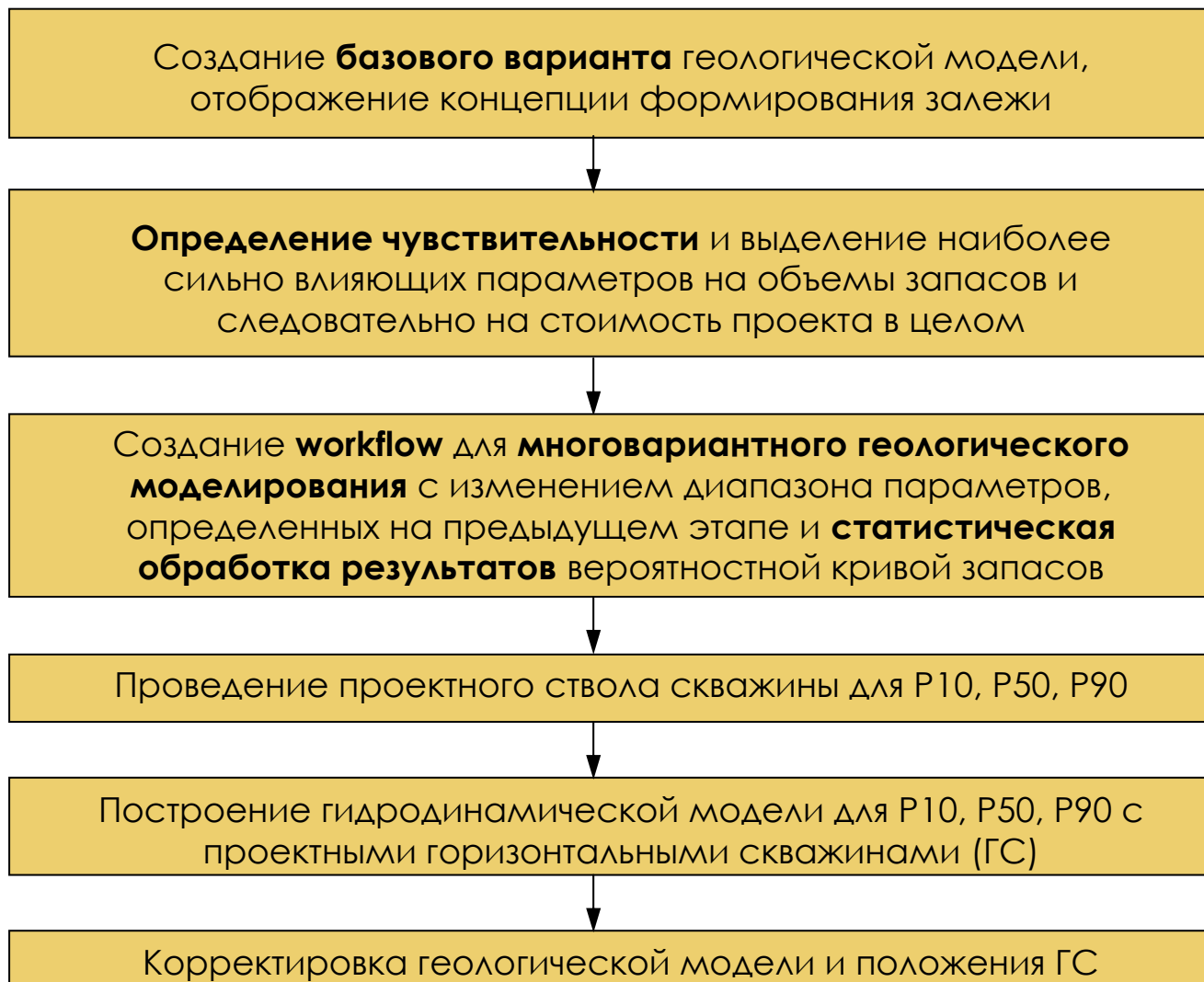
- Определение значения наиболее вероятных запасов УВ –



- Определение очередности разбуривания кустов по TCR–

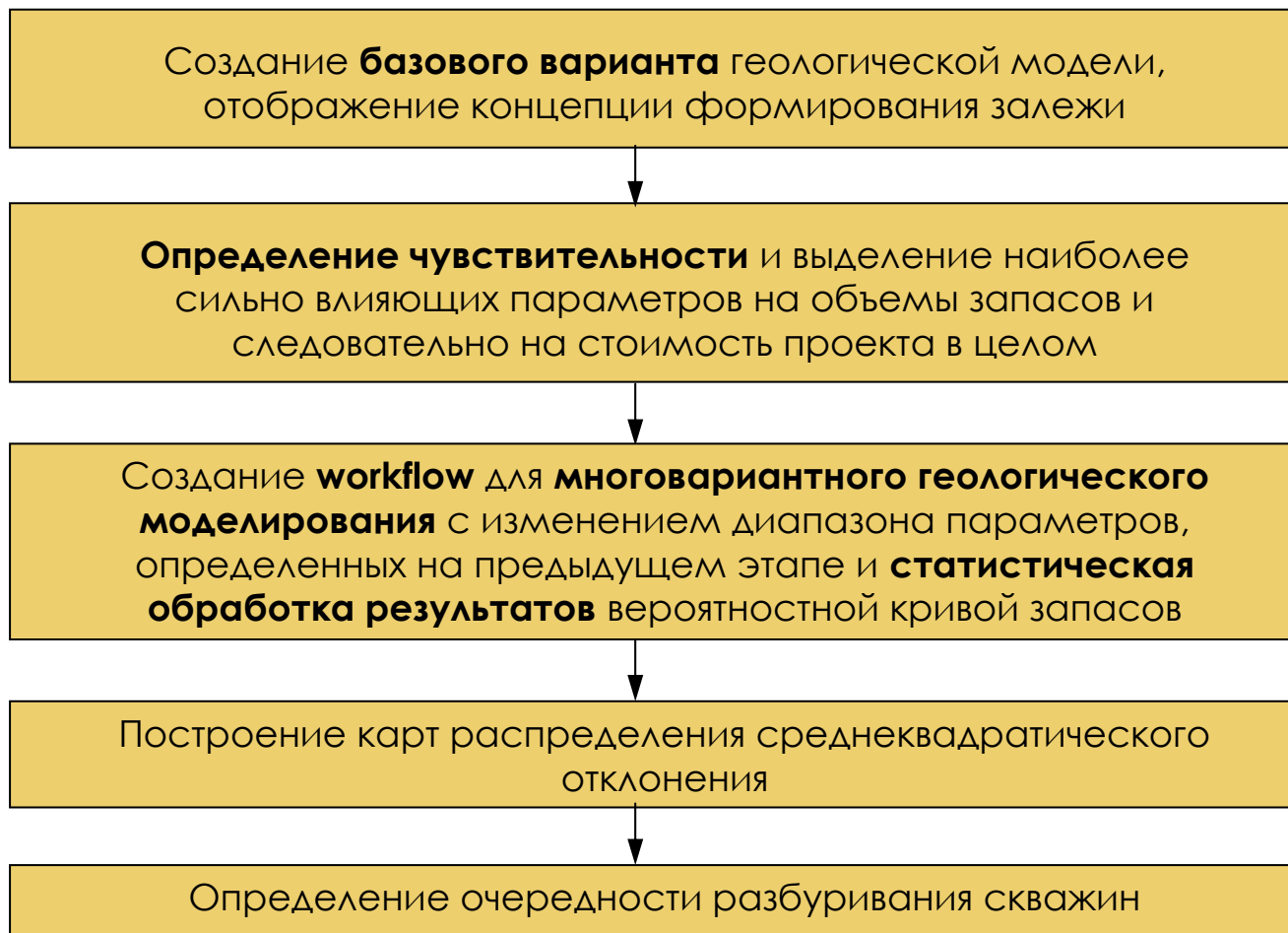


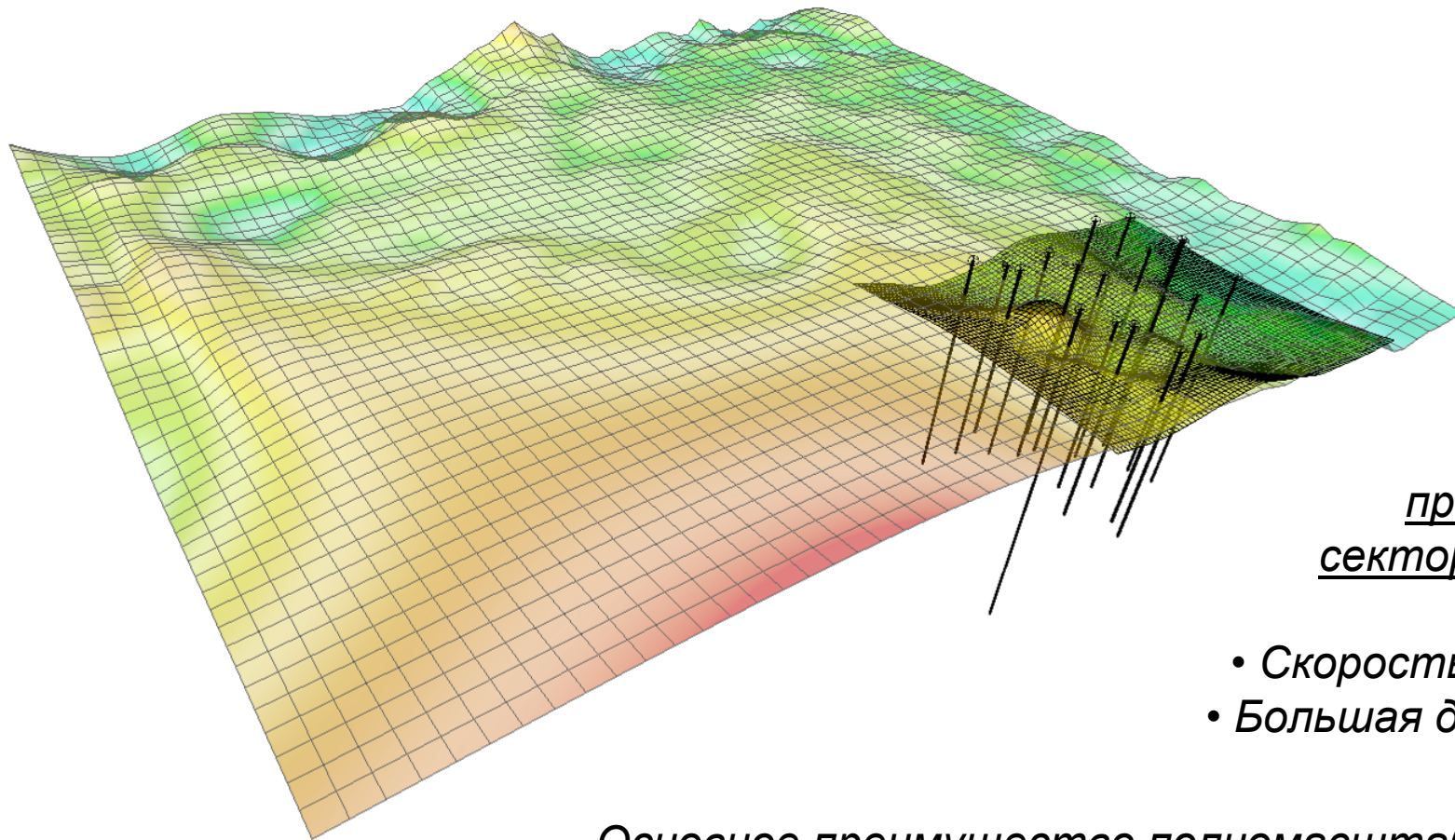
- Оптимизация проведения ствола скважины при ЗБС по данным геологического моделирования -



- Определение местоположения «скважин – кандидатов» при бурении -

Для сектора (куст)



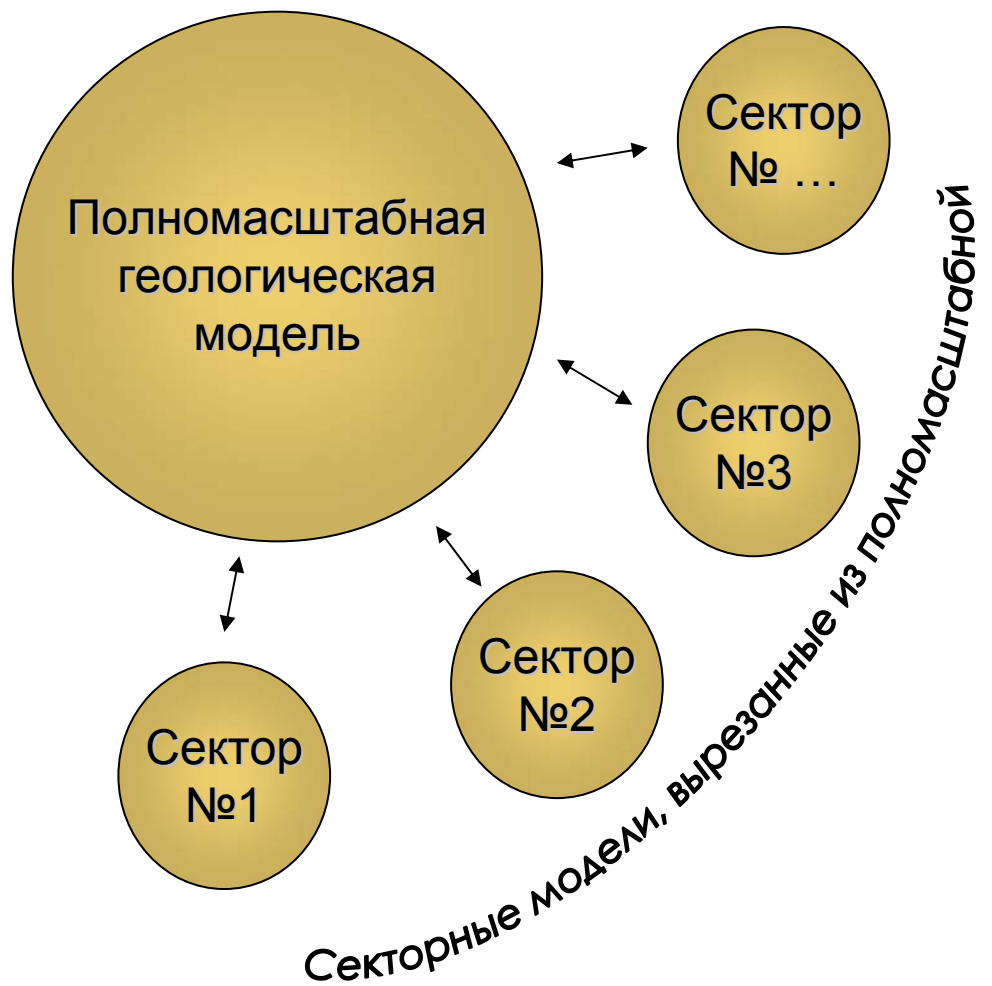


Основные
преимущества
секторной модели:

- Скорость обновления
- Большая детальность

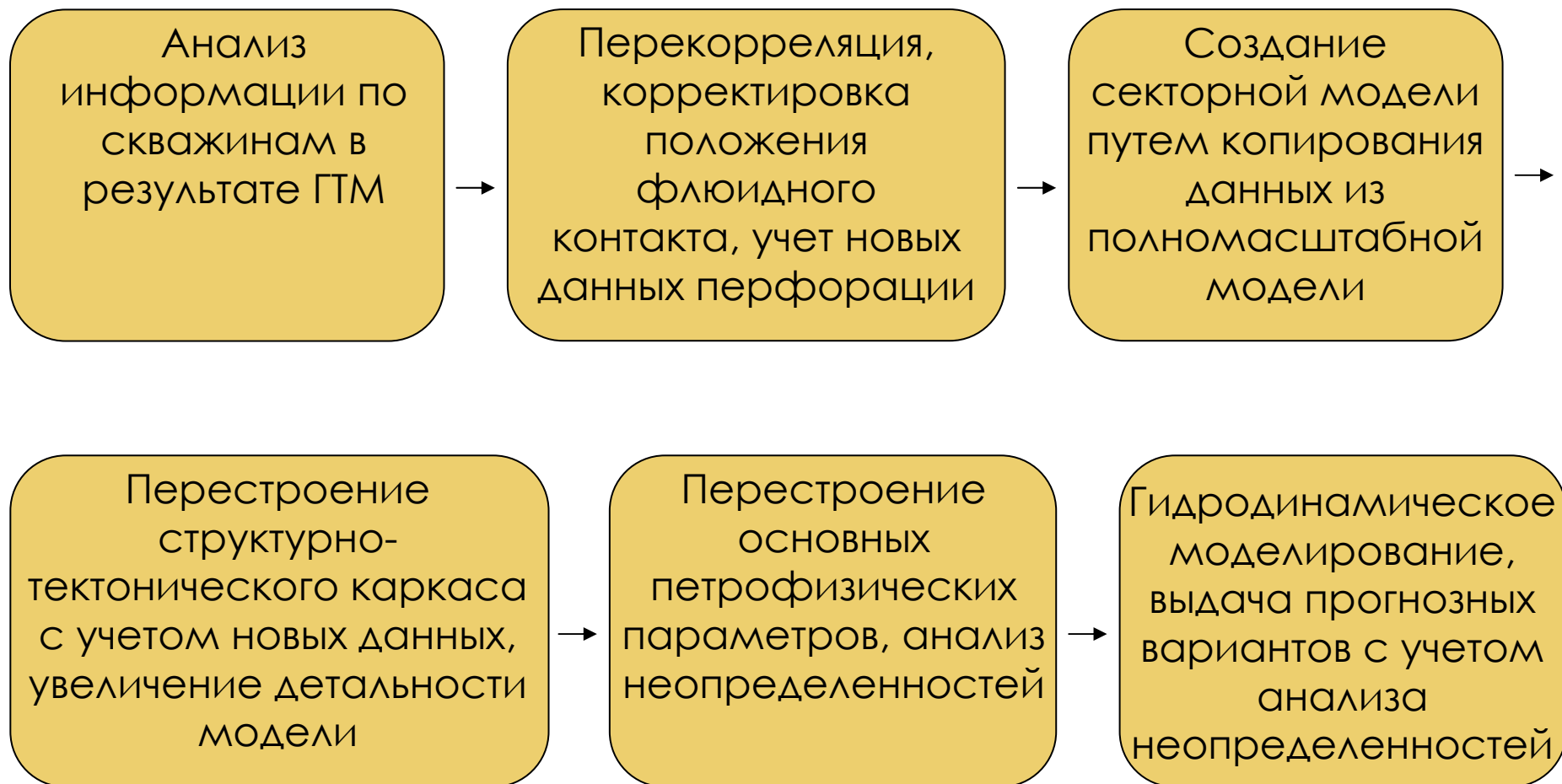
Основное преимущество полномасштабной модели:

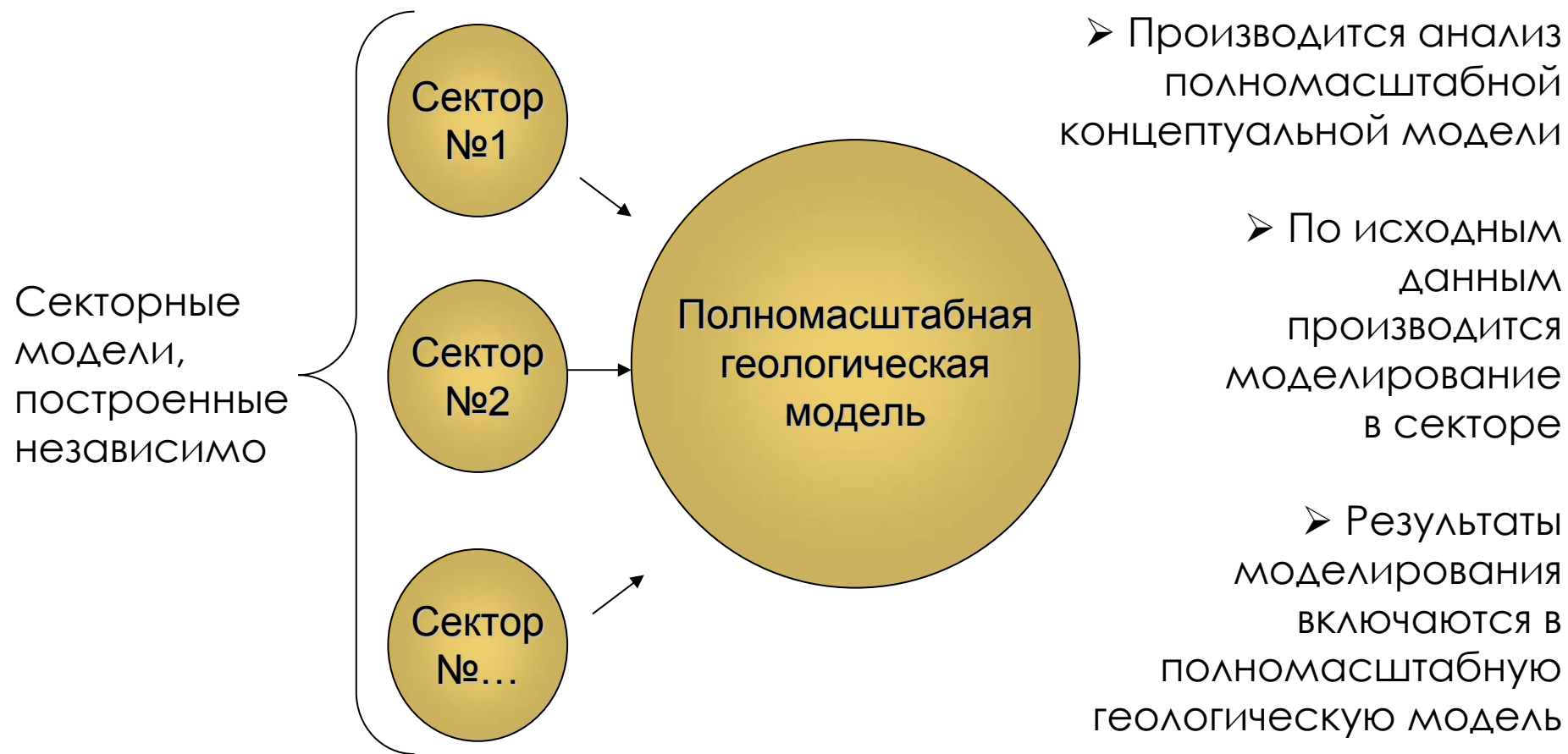
- Использование всех данных по месторождению



- На полномасштабной модели выделяется сектор для исследования
- Производится корректировка внутри сектора
- Секторная модель соединяется с полномасштабной

При интеграции секторной модели в полномасштабную необходимо сгладить параметры и структурные горизонты на границе сектора





В этом случае при интеграции секторной модели в полномасштабную на границе секторов возможно не полное соответствие свойств модели



На этом этапе необходимо понять, какие из параметров **наиболее сильно** влияют на величину геологических запасов нефти

Во-первых, необходимо определить **список возможных параметров**, которые так или иначе влияют на подсчет запасов:

1. Площадь залежи
2. Нэф.н
3. Кпор.
4. Кв или Кн

Во-вторых, необходимо понять **от чего зависят эти параметры** (или что должно измениться в геологической модели, чтобы повлиять на изменение этих параметров):

1. Площадь

- Структурная поверхность кровли (или подошвы) пласта/отражающего горизонта
- Положение флюидного контакта(-ов)
- Общий объем коллектора ($V_{\text{кол.}}$)

2. Нэф.н.

- Диапазон изменения литологии в пространстве (NTG)
- Размеры тел-коллекторов
- Положение флюидного контакта(-ов)

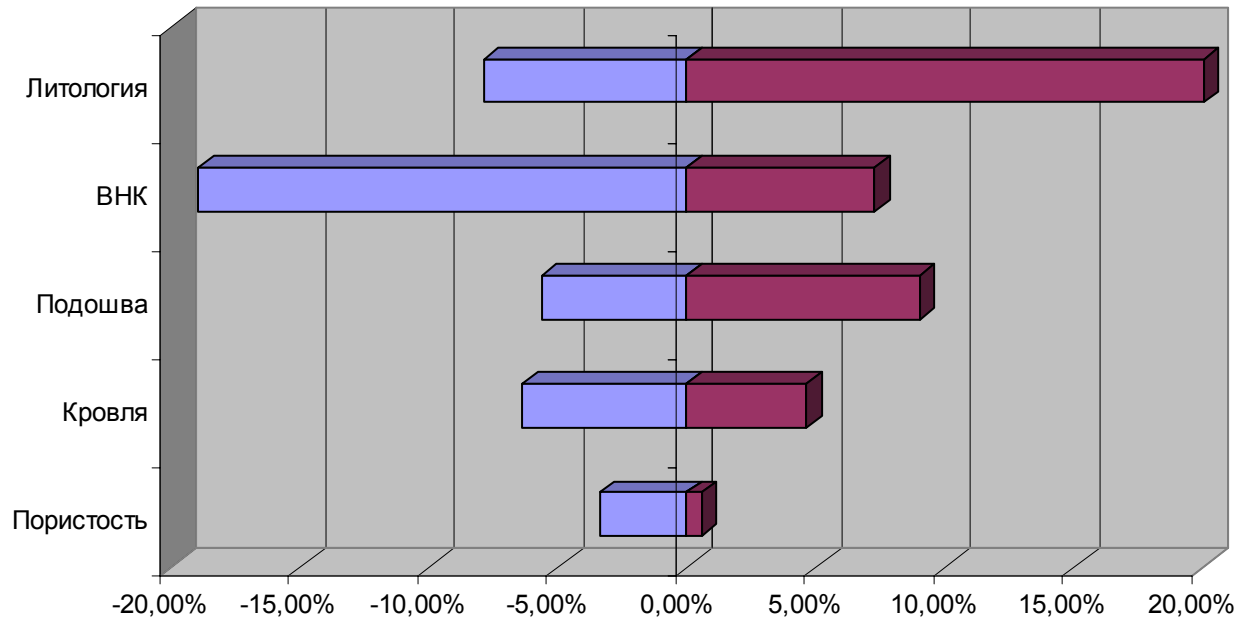
3. Кпор.н.

- Диапазон изменения пористости в пространстве (алгоритм распространения)
- Положение флюидного контакта(-ов)

4. Кв или Кн

- Диапазон изменения насыщенности в пространстве (алгоритм распространения)
- Положение флюидного контакта(-ов)

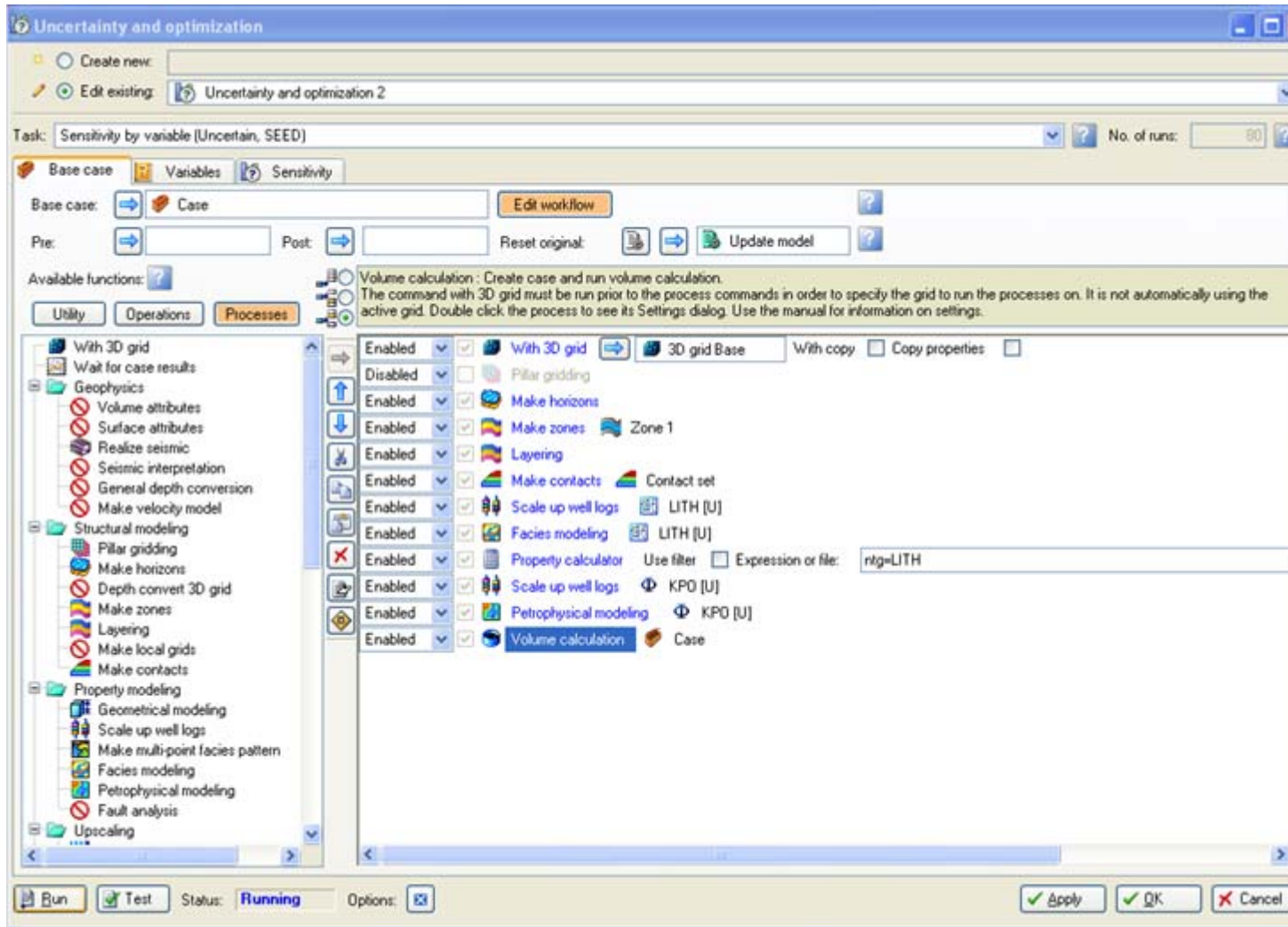
В-третьих, необходимо построить торнадо-плот и указать на нем возможный диапазон изменения этих параметров:

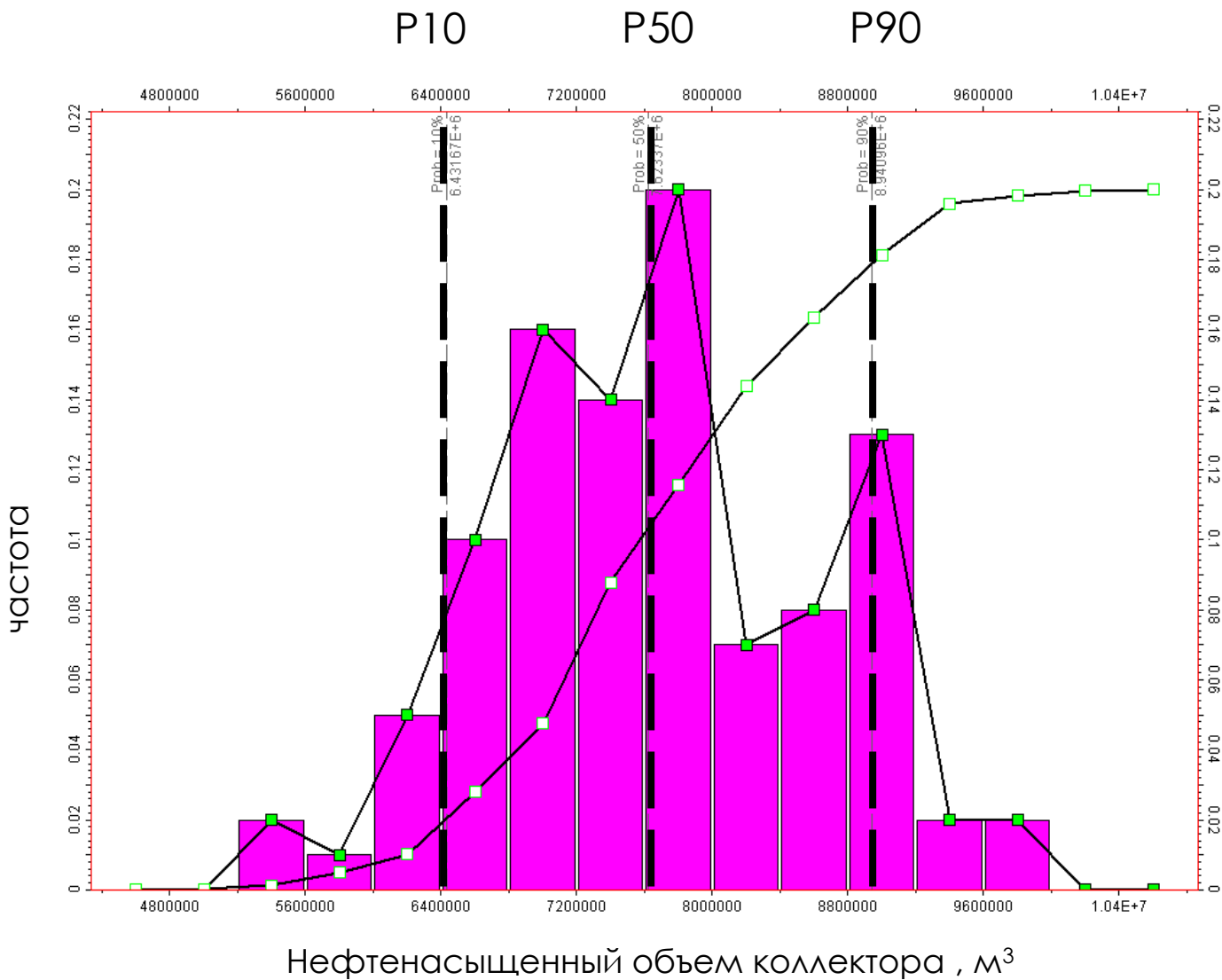


Вывод: На торнадо-плоте показаны параметры наиболее сильно влияющие на геологические запасы нефти – это **Литология (объем коллектора)** и **ВНК** .

Именно эти параметры в дальнейшем будут подвержены изменениям при расчете многовариантной модели

Пример Workflow (в Petrel) для создания секторной модели с целью анализа геологических неопределенностей:



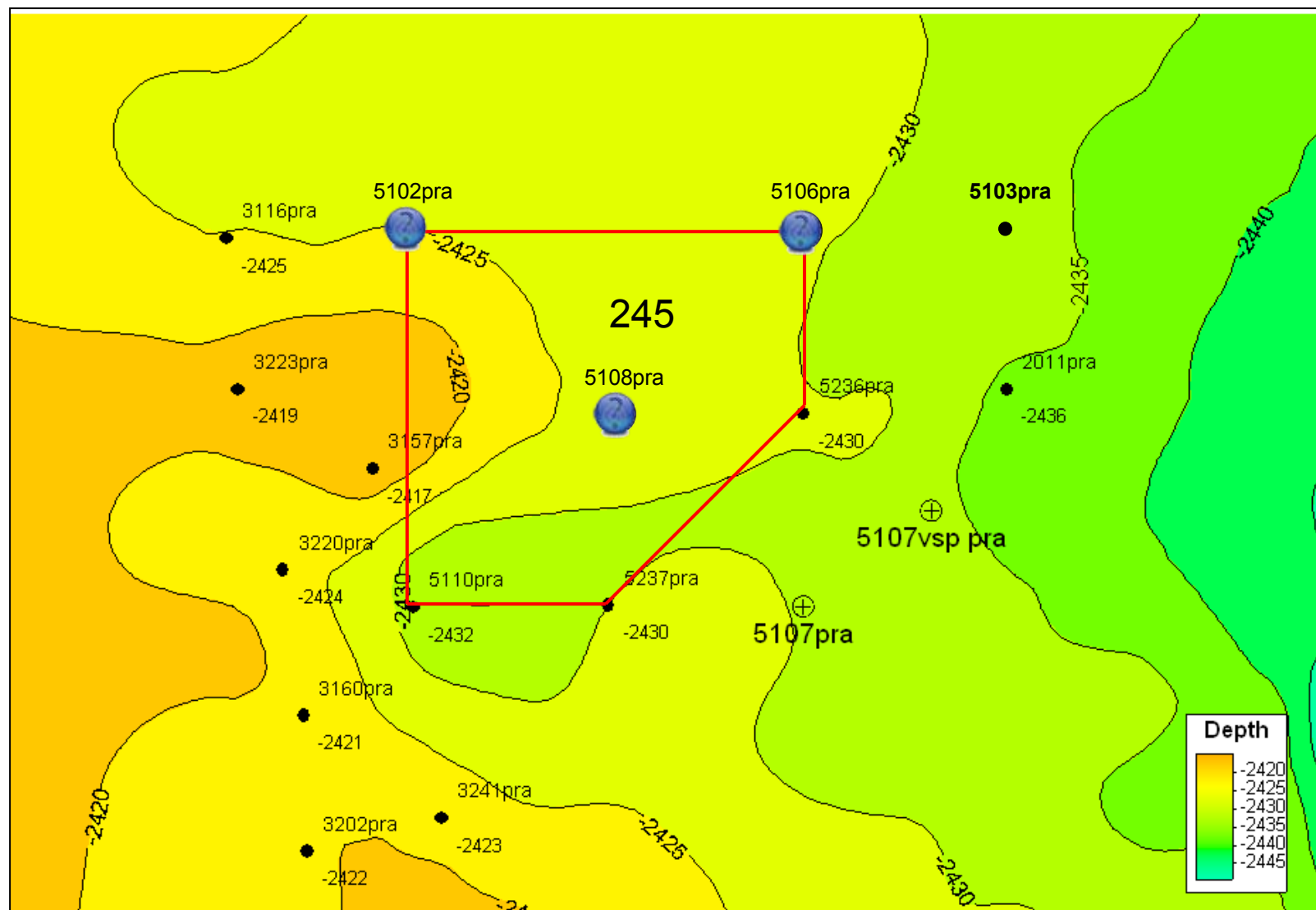


На
вероятностной
кривой
отображены
величины $V_{\text{нефт.}}$
по всем
реализациям

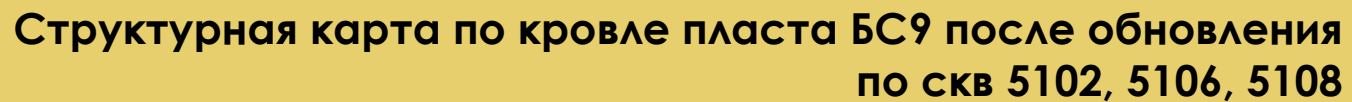
-
- Figure 1 is a map of the study area, showing the distribution of 1000 simulated individuals. The map includes a grid of 1000 points, each labeled with a number and a percentage. A red box highlights a specific area of interest. The map also shows a network of roads and a river.

Область интересов моделирования находится рядом с контуром нефтеносности, поэтому при прогнозе необходимо учесть риски вскрытия водоносного пласта

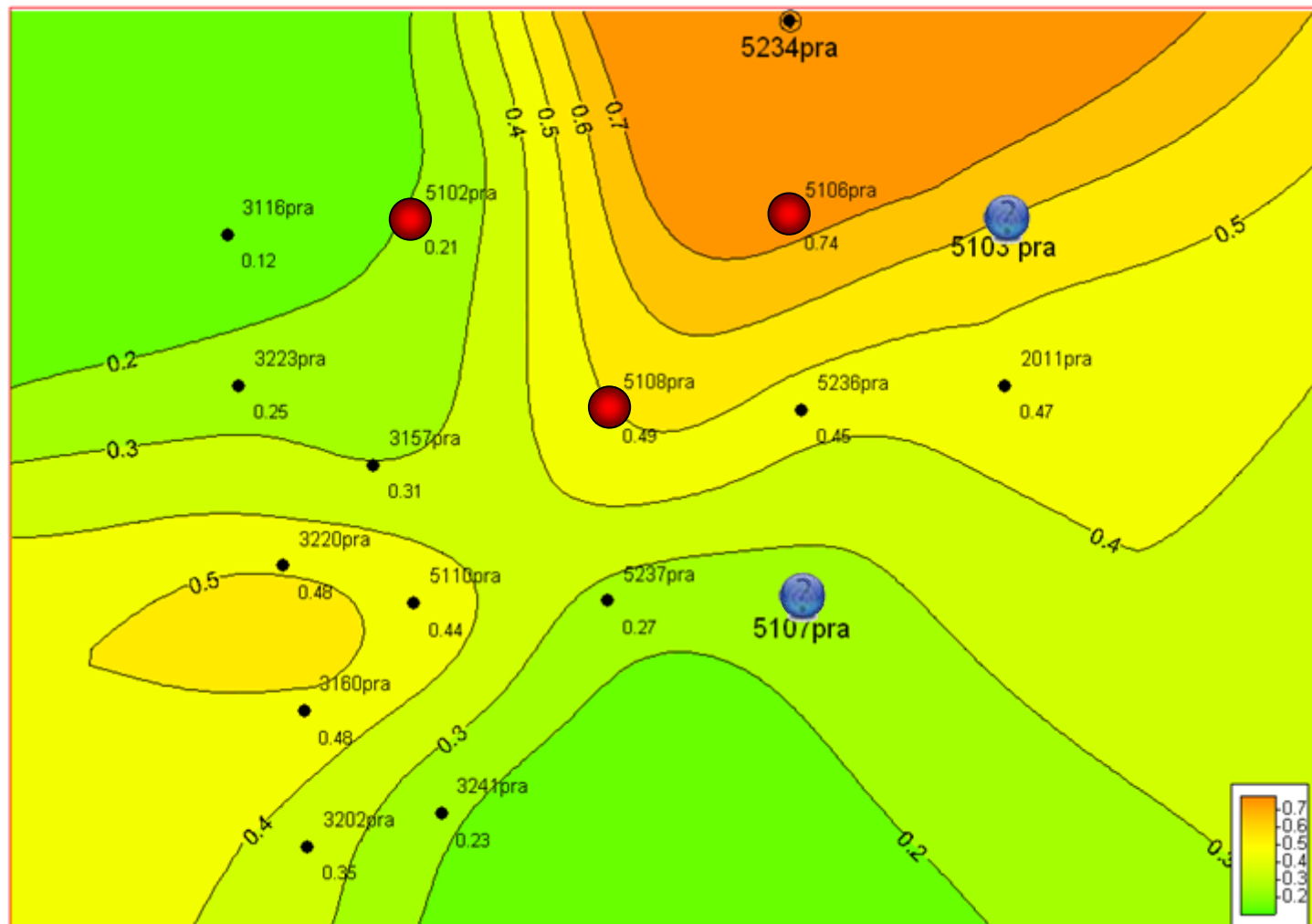
Структурная карта по кровле пласта БС9 до обновления



 - прогнозное положение скважин



 - «НОВЫЕ» СКВАЖИНЫ



Скв. **5103** находится в зоне с песчанистостью **0,6**, а скв. **5107** – в зоне с песчанистостью **0,25**



- прогнозное положение скважин



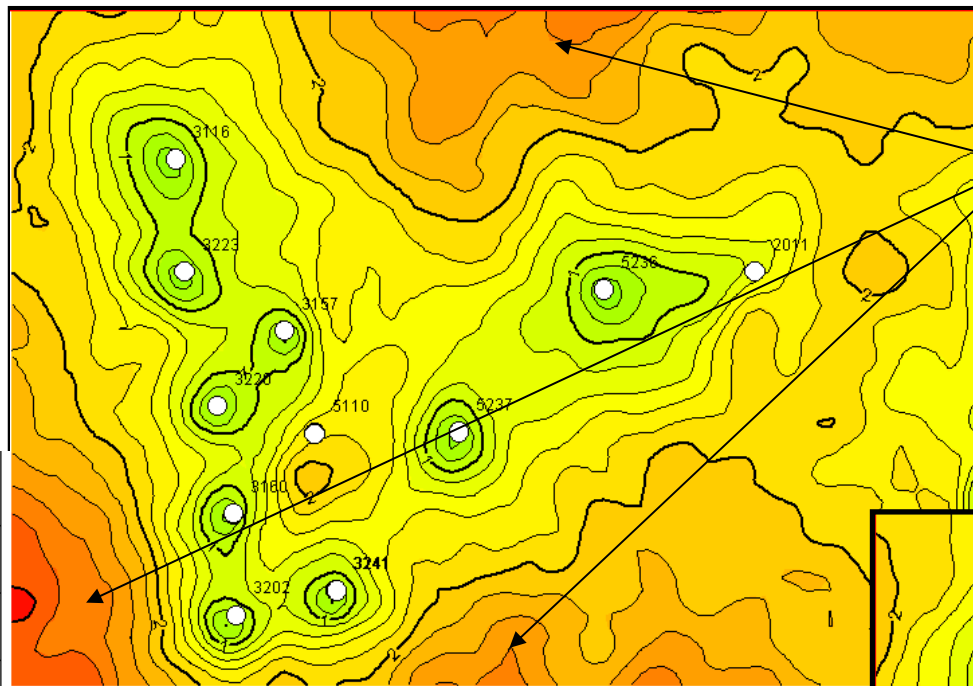
- «НОВЫЕ» СКВАЖИНЫ

Создание
многовариантной
модели

Создание множества карт
параметров

Создание карты
ср.квадратического
отклонения из множества
карт параметров

Определение благоприятных зон для бурения

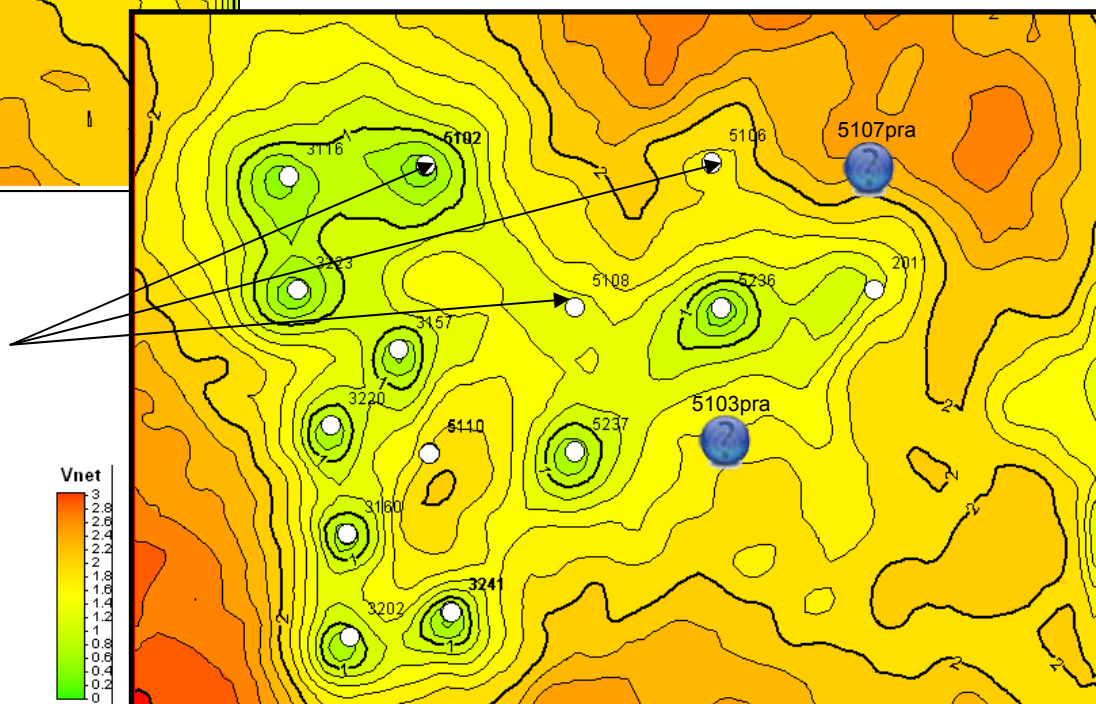


Карта среднеквадратичных отклонений Нэф.н

Зоны **НЕ**благоприятные для бурения
(высокая неопределенность)

В скважинах среднеквадратичное отклонение Нэф.н равно **0** (для ЧНЗ)

В результате бурения проектных скважин
проведена корректировка
среднеквадратичного отклонения



Риски снижаются

- **Снижение рисков последующего бурения** происходит в случаях, когда анализ неопределенностей дал **высокую вероятность** заложения продуктивных скважин

Риски неизменны

- В случаях, когда анализ неопределенностей **не смог найти** наименее рискованный вариант разработки. Выбор должен состоять из **равновероятных вариантов**, что **не снижает риск** бурения непродуктивной скважины

Неопределенность снижается

- Неопределенность **снижается в любом случае** так как в процессе ГРП происходит увеличение изученности месторождения

Для снижения рисков на разведочной стадии необходимо помнить:

➤ Геологическое моделирование лишь **инструмент** для принятия решения, но не само решение



➤ Для принятия решения, о том какую точку выбрать на вероятностной кривой (P10, P50 или P90) с целью реализации дальнейшего сценария разработки месторождения (последующего бурения) должен принимать **коллектив специалистов** (для снижения субъективизма в оценке)

Необходимо определить самый пессимистичный вариант запасов проекта в Petrel

Последовательность действий:

- Проведение анализа чувствительности
- Создание N-го кол-ва реализаций в одном проекте для построения вероятностной кривой запасов
- Определение варианта P10, P50, P90

Необходимо построить карту среднеквадратического отклонения Нэф.н в Petrel и определить наиболее перспективное направление для бурения, а также определить зоны сектора месторождения с наибольшими неопределенностями

Последовательность действий:

- Проведение анализа чувствительности
- Создание N-го кол-ва реализаций в одном проекте для построения вероятностной кривой запасов с одновременным построением карт Нэф.н
- Создание карты ср. квадратического отклонения Нэф.н
- По значениям на карте определить требуемое направление бурения и зоны с наибольшими неопределенностями

- ❑ Учет неопределенностей на этапе подсчета запасов на разных стадиях разработки месторождений необходимо проводить для снижения рисков, возникающих на этих стадиях
- ❑ Основные неопределенности на всех этапах разработки месторождений связаны с геологическими параметрами и подсчетом запасов(ресурсов)
- ❑ Анализ рисков на стадии подсчета запасов снижает затраты проекта в целом

Спасибо за внимание!

