



# Uncertainty, IOR and smart wells

Anatoly Zolotukhin

Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU)

# Неопределенность, методы увеличения нефтеотдачи и умные скважины

А.Б. Золотухин

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

## Содержание

1. Introduction / Введение
2. Geomodeling / Геомоделирование
3. Types of geomodels, advantages and weak points of each type / Типы геомodelей, их достоинства и недостатки
4. Problems with geologic models updating and development forecasting / Проблемы уточнения геомodelей и прогнозирования разработки
5. Modeling and optimization of high-tech wells operation (*proactive control strategy*) / Моделирование и оптимизация проактивного управления работой скважин
6. Efficiency of High-Tech completions / Эффективность высокотехнологичных компоновок
7. General conclusions / Некоторые выводы

Everlasting uncertainty – the curse of oil and gas modeling and the obstacle for reliable results obtaining with the required accuracy

Извечно существующая неопределенность – проклятие нефтегазового моделирования и препятствие для получения надежных результатов с требуемой точностью

Geomodeling

Геомоделирование

It is well known that mathematical models based upon the principles of determinism, probability or fuzziness and applied for forecasting the reservoir performance, describe overwhelmingly the unstable processes of oil displacement caused by unfavorable ratio between phases mobility (i.e. when mobility of the displaced phase is lower than that of the displacing phase).

Известно, что математические модели, построенные на принципах детерминизма, вероятности или нечеткости и используемые в целях прогнозирования показателей разработки залежей, описывают в подавляющем большинстве случаев неустойчивые процессы вытеснения нефти, обусловленные неблагоприятным соотношением подвижностей фаз (т.е. когда подвижность вытесняемой фазы ниже подвижности вытесняющей фазы).

## Геомоделирование

Thereupon, even with perfect geologic model available (and by the way we do not have it and will never have) a “precise” forecast (in terms of its coincidence to actual production) could not be performed due to the fact that the production forecast will depend on distribution of phases existing in porous medium at a given time.

The higher is the difference between the actual and modeled phase distribution the less “precise” forecast we will obtain.

Из этого следует, что даже при наличии совершенной геологической модели (которой, кстати сказать, у нас нет и никогда не будет) «точный» прогноз (в смысле его совпадения с реальной добычей) не может быть выполнен, поскольку от распределения сосуществующих в пористой среде фаз в определенный момент времени зависит прогноз показателей разработки.

Чем больше различие между реальным и смоделированным распределением фаз, тем менее «точным» будет прогноз.

- The foregoing effect will further enhance under the impact of accidental and therefore the unmodelable events (failure of the measuring/monitoring system, changed properties of injected agent, etc.).
- History matching could mitigate such divergence, however it is the cost-intensive method.
- Вышеупомянутый эффект будет только усиливаться от влияния случайных и потому немоделируемых явлений (отказ элементов системы измерений/мониторинга, изменение свойств нагнетаемого агента и т.п.).
- Настройкой модели (History matching) можно уменьшить такое расхождение, хотя это и затратный способ.

- The question is: how often should we make such a history matching in order to maintain the development performance forecast within the limits of applicable accuracy and reliability?
- Возникает вопрос: как часто нужно осуществлять настройку модели для того, чтобы прогноз показателей разработки оставался в рамках приемлемой точности и надежности?

- Is there another method to “fight” against (to cure) uncertainty?
- It appeared that application of artificial intelligence systems (or, saying more precisely, the high-tech completions and devices) enables mitigation of uncertainty for forecasted performances stemming from imperfection of own knowledge and applied models.
- Существует ли еще какой-либо способ «борьбы» с неопределенностью?
- Оказывается, что использование систем искусственного интеллекта (или, как более правильно их называть, высокотехнологичных компоновок и устройств) позволяет снизить влияние неопределенности на прогнозные показатели, обусловленной несовершенством наших знаний и используемых моделей

### **Types of geologic models**

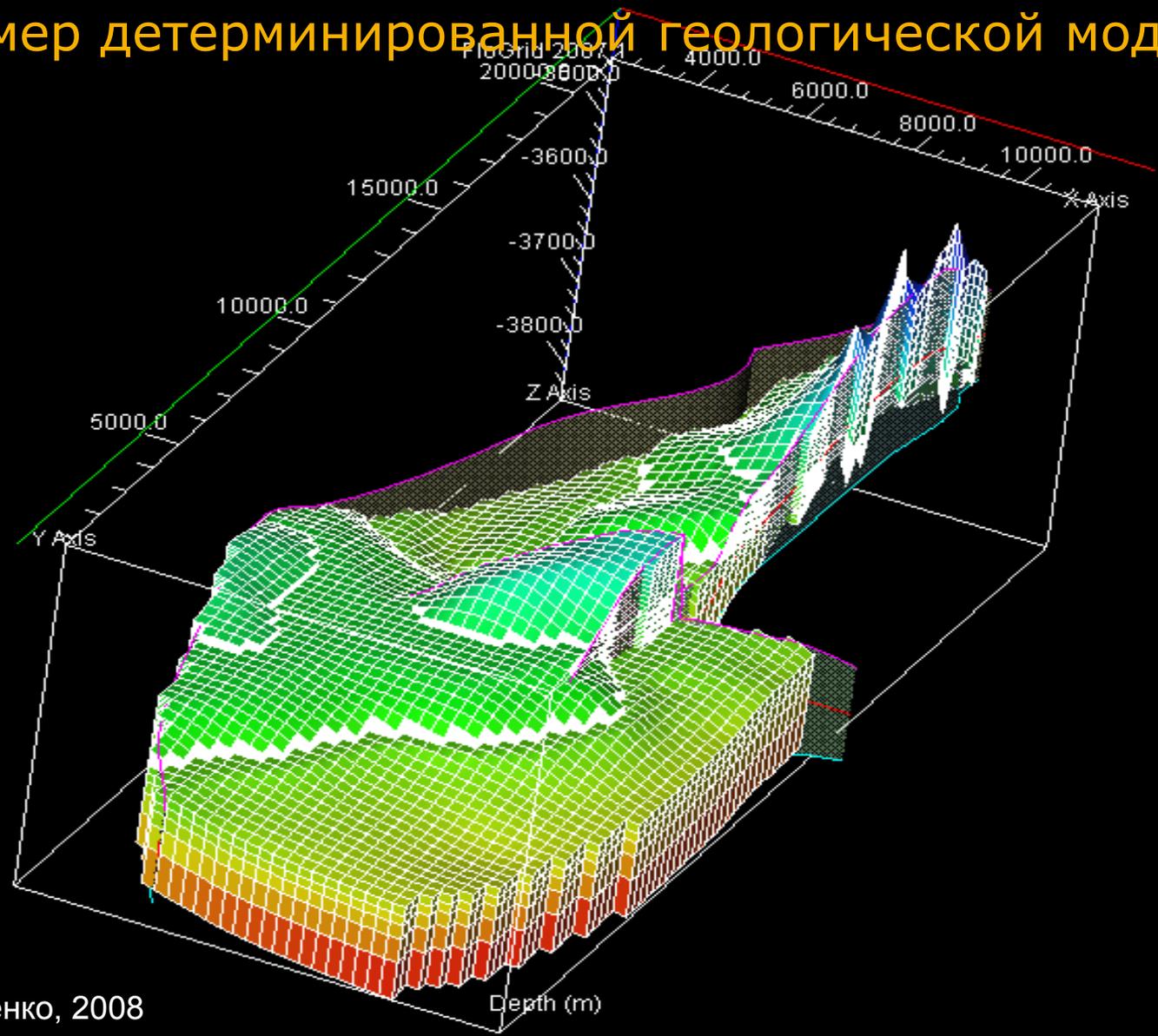
- Deterministic models
- Stochastic probabilistic models
- Stochastic fuzzy models

### **Типы геологических моделей**

- Детерминированные модели
- Стохастические вероятностные модели
- Стохастические нечеткие модели

# Example of deterministic geologic model

## Пример детерминированной геологической модели



Ref: А. Хруленко, 2008



# Model of well location in the oil rim

Model of well location in the oil rim  
Schedule 2004A\_1  
Модель расположения скважин в нефтяной оторочке



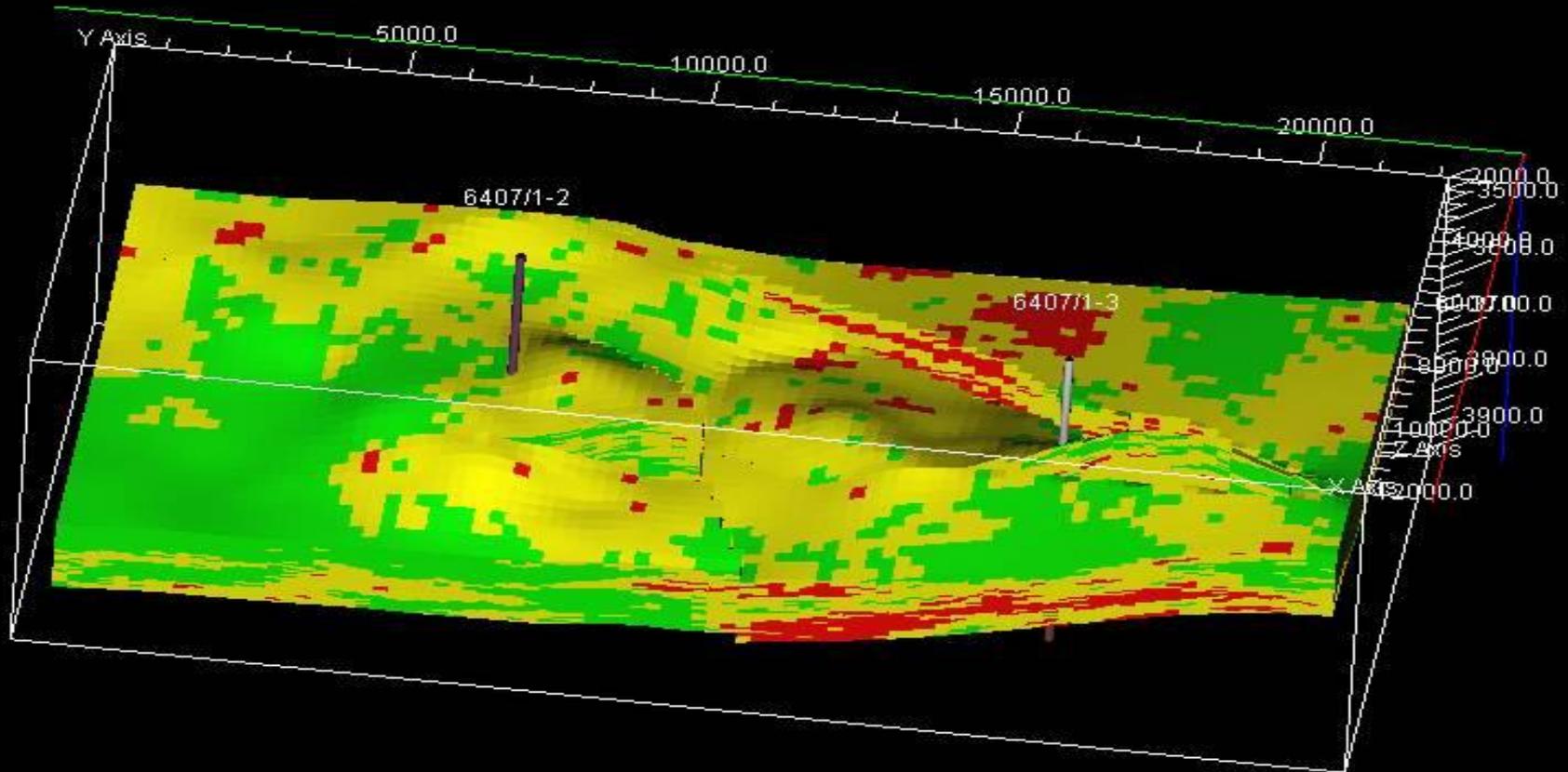
- GasSat (0.0 - 1.0)
- OilSat (0.0 - 1.0)
- WaterSat (0.0 - 1.0)

Ref: А. Хруленко, 2008

# Example of probabilistic (stochastic) model

## Пример стохастической вероятностной модели

FloGrid 2007.1



Ref: А. Хруленко, 2008

PermXY (MDARCY) (Grid2 (GM))

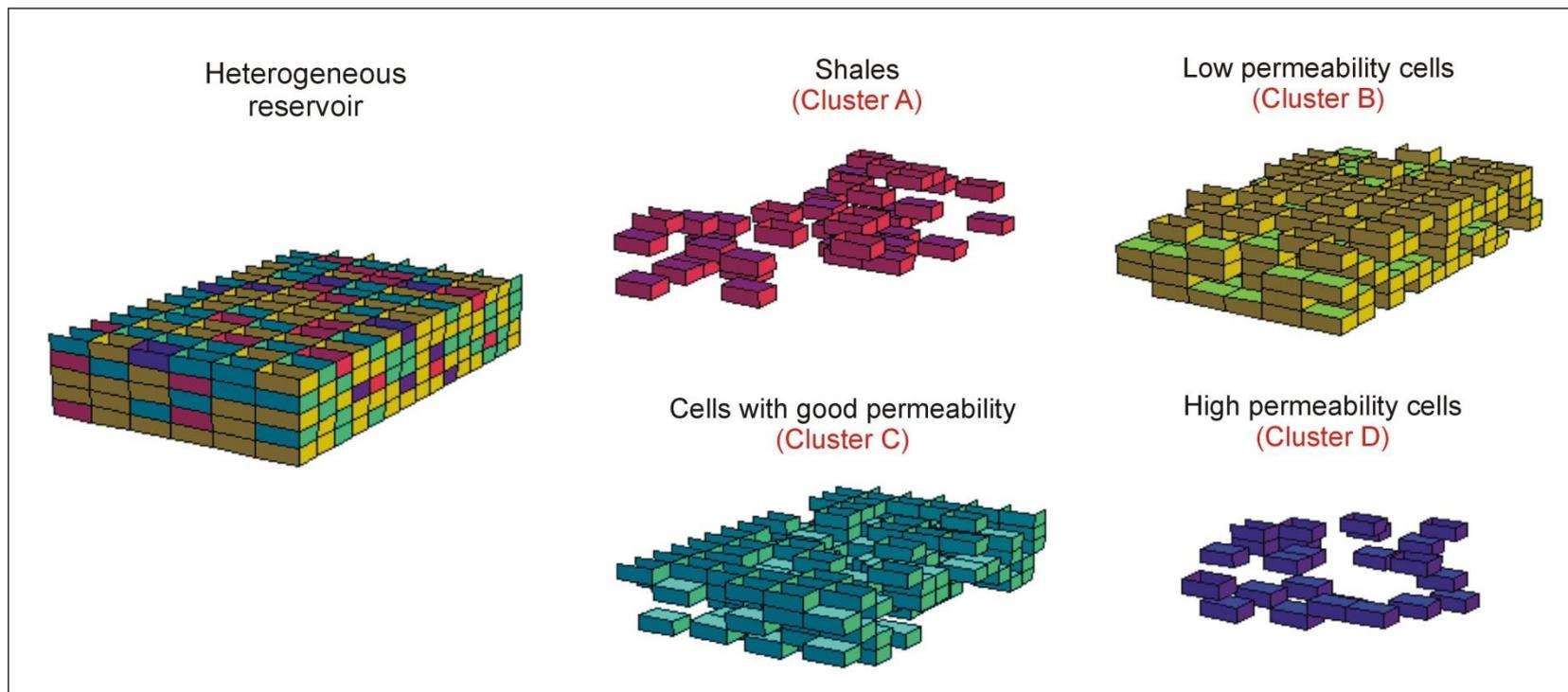


# Example of stochastic fuzzy model

## Пример стохастической нечеткой модели

Model of heterogeneous reservoir built using the fuzzy clustering of geodata

Модель неоднородного коллектора, построенная с помощью нечеткой кластеризации геоданных



# Types of geologic models

## Типы геологических моделей

### Deterministic models

#### Advantages

- Simple building and application of the model
- Clear algorithms and predictable “behavior”
- Simple use for development performances forecasting
- Clear and understandable interpretation of the results

### Детерминированные модели

#### Преимущества

- Простота построения и работы с моделью
- Понятные алгоритмы и предсказуемое «поведение»
- Простота использования при прогнозировании показателей разработки
- Простая и понятная интерпретация результатов

# Types of geologic models

## Типы геологических моделей

### Deterministic models

#### Disadvantages

- Complexity (impossibility?) in accounting of model's uncertainty
- Forecast based upon the "precise" deterministic model is always imprecise
- Simplified sensitiveness analysis unable to provide an actual assessment of uncertainty in initial data

### Детерминированные модели

#### Недостатки

- Сложность (невозможность?) учета неопределенности модели
- Прогноз на основе «точной» детерминированной модели никогда не точен
- Упрощенный анализ чувствительности, не дающий реальную оценку неопределенности исходных данных

# Types of geologic models

## Типы геологических моделей

### Probabilistic (stochastic) models

#### Advantages

- Simple building of geologic model
- Simple accounting of uncertainties in initial data
- Translation of insufficient knowledge into forecasting models
- Opportunity for risk assessment in course of decisions making

### Вероятностные (стохастические) модели

#### Преимущества

- Простое построение геологической модели
- Простой учет неопределенности исходных данных
- Трансляция неполноты знаний в модели прогнозирования
- Возможность оценки риска при принятии решений

# Types of geologic models

## Типы геологических моделей

### Probabilistic (stochastic) models

#### Disadvantages

- More sophisticated model building and application
- Complicated use of stochastic model within the forecasting models
- Increasing number of estimation options and multiple-valued forecast
- Nontransparent algorithms and unpredictable “behavior”

### Вероятностные (стохастические) модели

#### Недостатки

- Более сложное построение и работа с моделью
- Сложность использования стохастической модели в моделях прогнозирования
- Рост числа расчетных вариантов и многозначный прогноз
- Непрозрачные алгоритмы и неожиданное «поведение»

# Types of geologic models

## Типы геологических моделей

### Fuzzy (stochastic) models

#### Advantages

- Unavailable statistics do not impair the model building
- Simple accounting of uncertainties in initial data
- Translation of insufficient knowledge into forecasting models
- Opportunity for risk assessment in course of decisions making

### Нечёткие (стохастические) модели

#### Преимущества

- Отсутствие статистики не является препятствием для построения модели
- Простой учет неопределенности исходных данных
- Трансляция неполноты знаний в модели прогнозирования
- Возможность оценки риска при принятии решений

# Types of geologic models

## Типы геологических моделей

### Fuzzy (stochastic) models

#### Disadvantages

- More sophisticated model building and application
- Unavailable fuzzy forecasting models
- Difficult perception of modeling results
- Nontransparent algorithms and unpredictable “behavior”

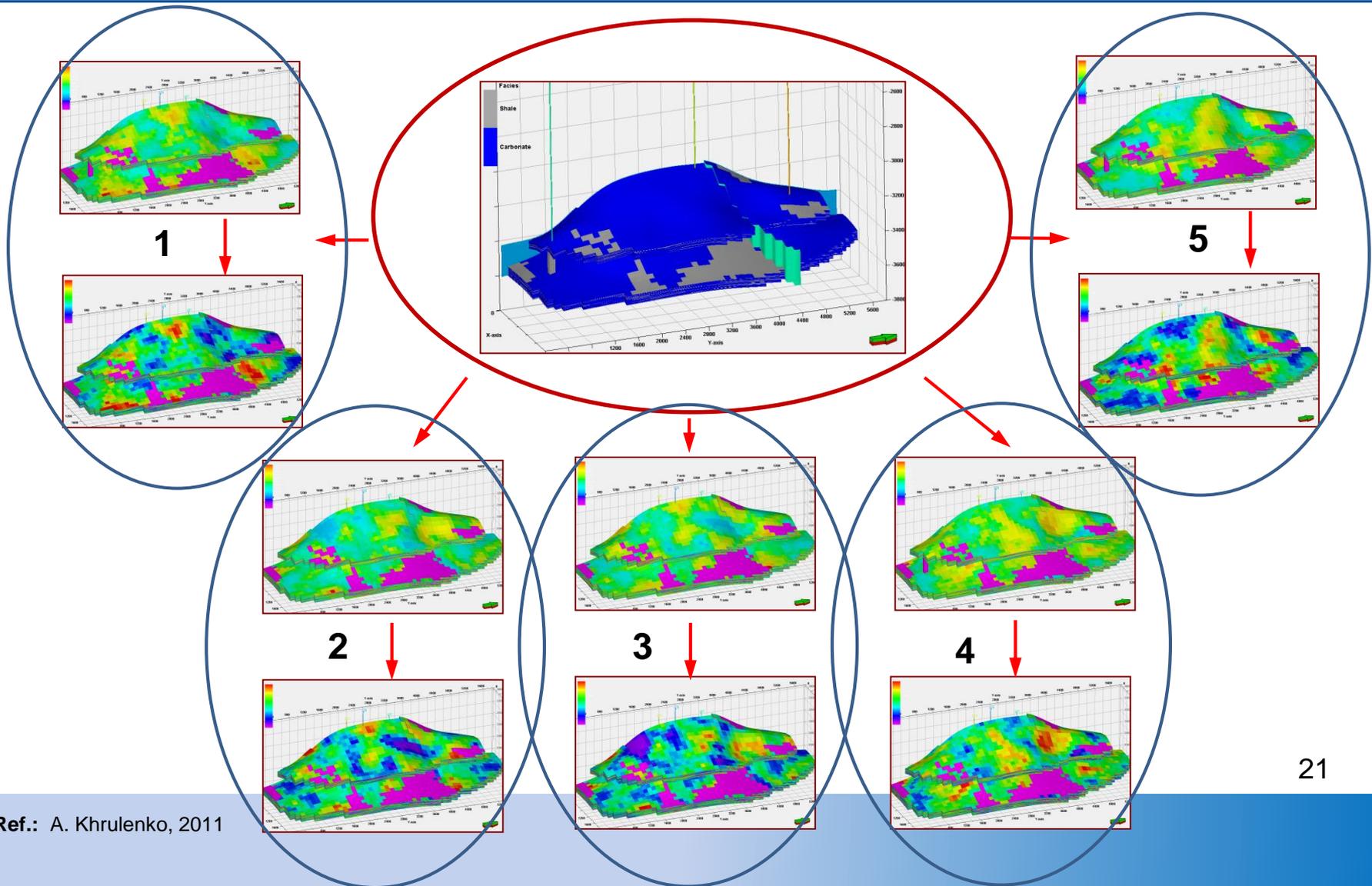
### Нечёткие (стохастические) модели

#### Недостатки

- Более сложное построение и работа с моделью
- Отсутствие нечетких моделей прогнозирования
- Трудное восприятие результатов моделирования
- Сложные алгоритмы и неожиданное «поведение»

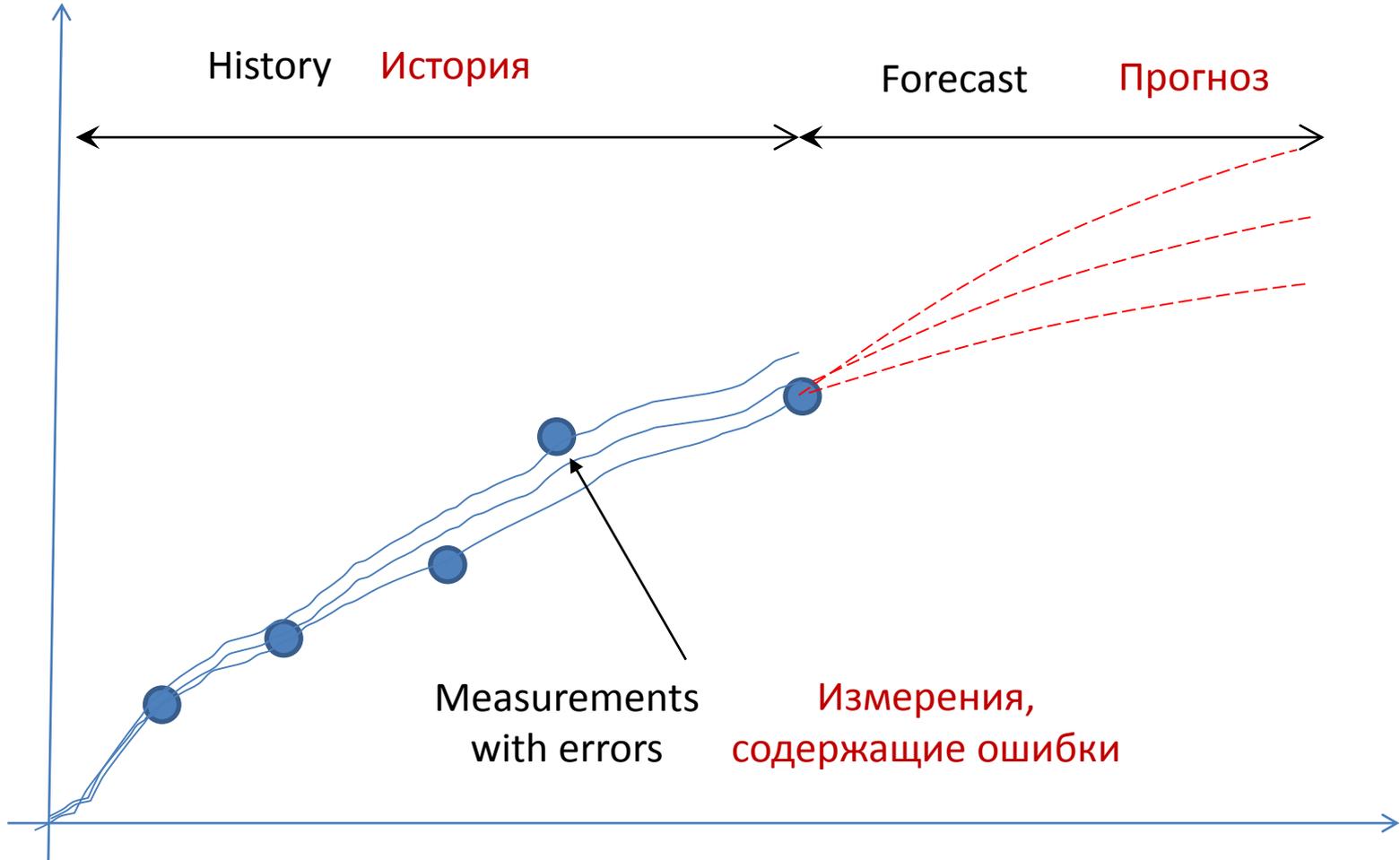
# Uncertainty in reservoir characterization and stochastic modeling

## Стохастическое моделирование и неопределенность модели



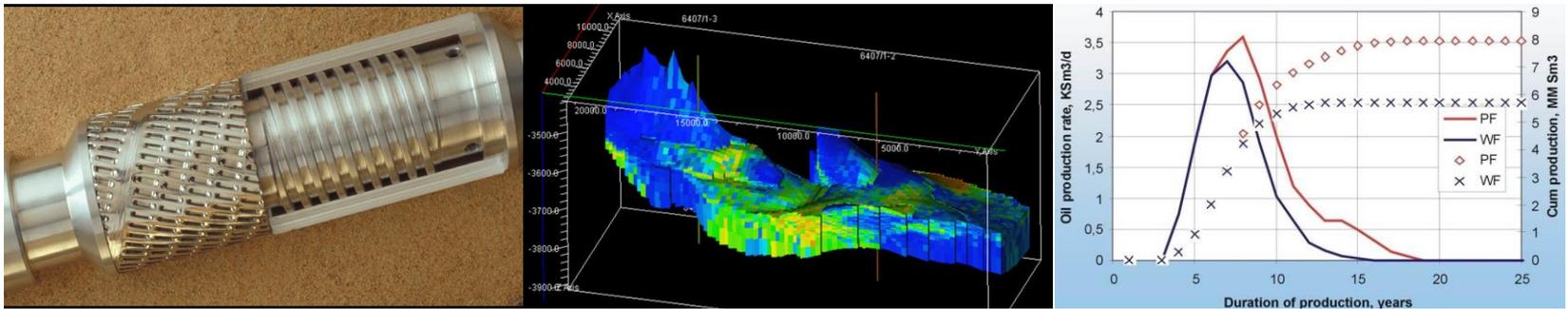
# Problems with geologic models updating and development forecasting

Проблемы уточнения геомodelей и прогнозирования разработки



# Example

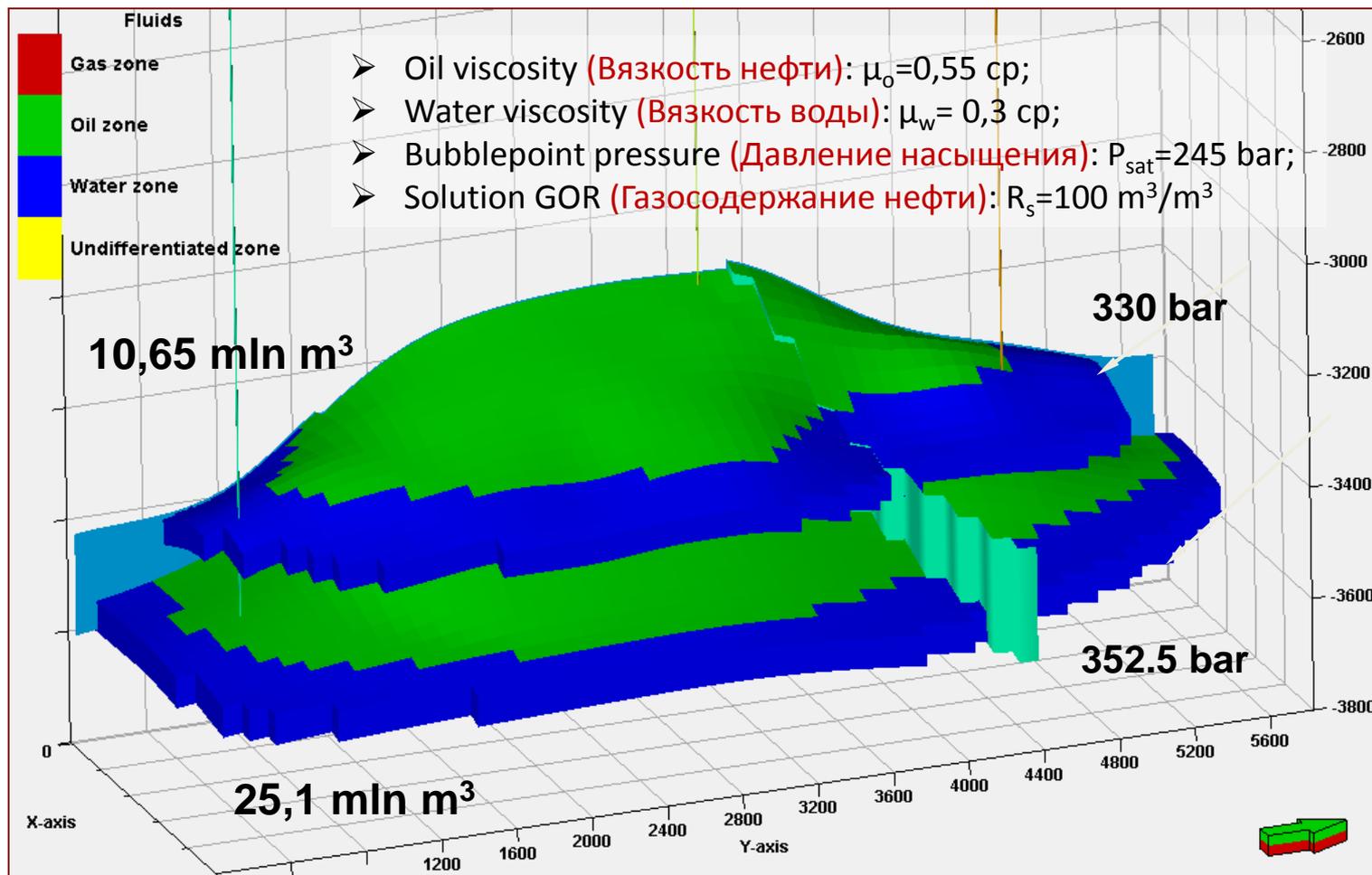
## Пример



- ❖ Modeling and optimization of high-tech wells operation (*proactive control strategy*)
- ❖ Моделирование и оптимизация работы высокотехнологичных скважин (*проактивная стратегия управления*)

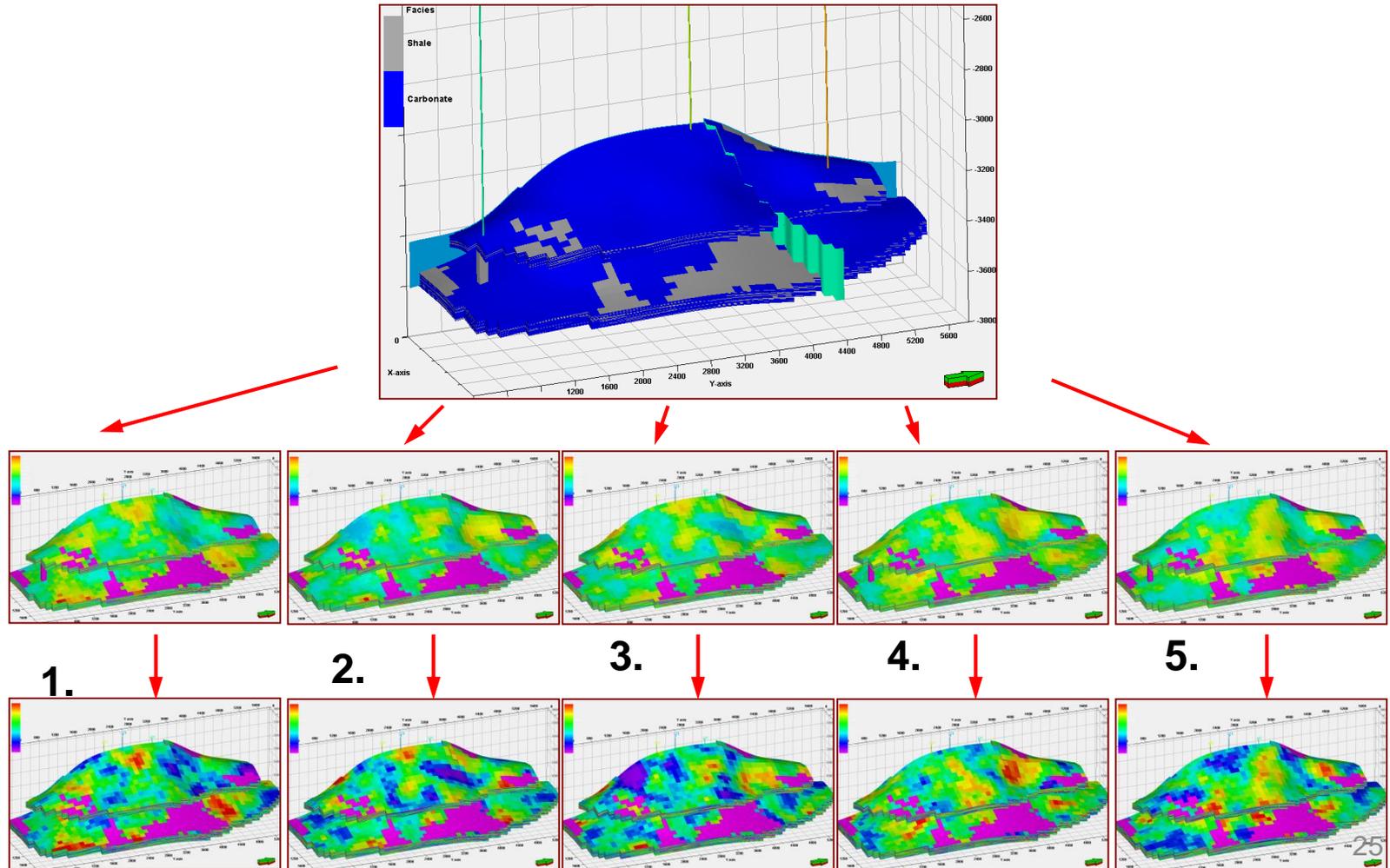
# Task set up

## Постановка задачи



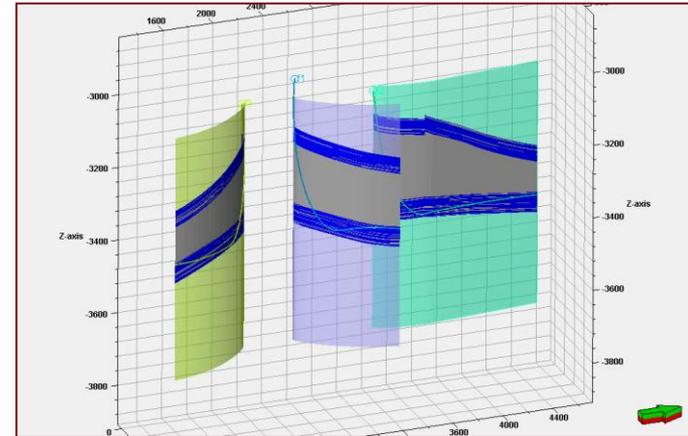
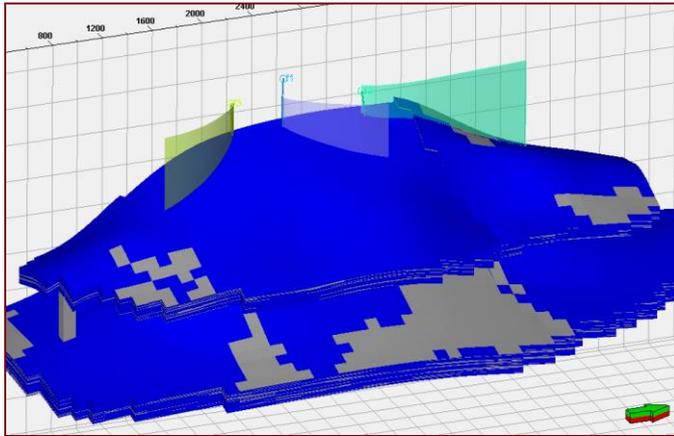
# Uncertainty in reservoir properties

## Неопределенность коллекторских свойств



# Drainage strategy

## Стратегия дренирования



### Well data:

- Total number of producer wells: 3
- Aggregate length in terms of wellbore : 4500-5000 m.
- Aggregate length of perforated intervals: ~1000 m.
- Minimum wellhead pressure: 40 bar
- Fluid recovery: not more than 1650 m<sup>3</sup>/daily

### Характеристики скважин:

- Общее число добывающих скважин: 3
- Суммарная протяженность по стволу: 4500-5000 м.
- Суммарная длина интервалов перфорации: ~1000 м.
- Минимальное устьевое давление: 40 бар
- Отбор жидкости: не более 1650 м<sup>3</sup>/сут

# Options for wells completion

## Варианты заканчивания скважин

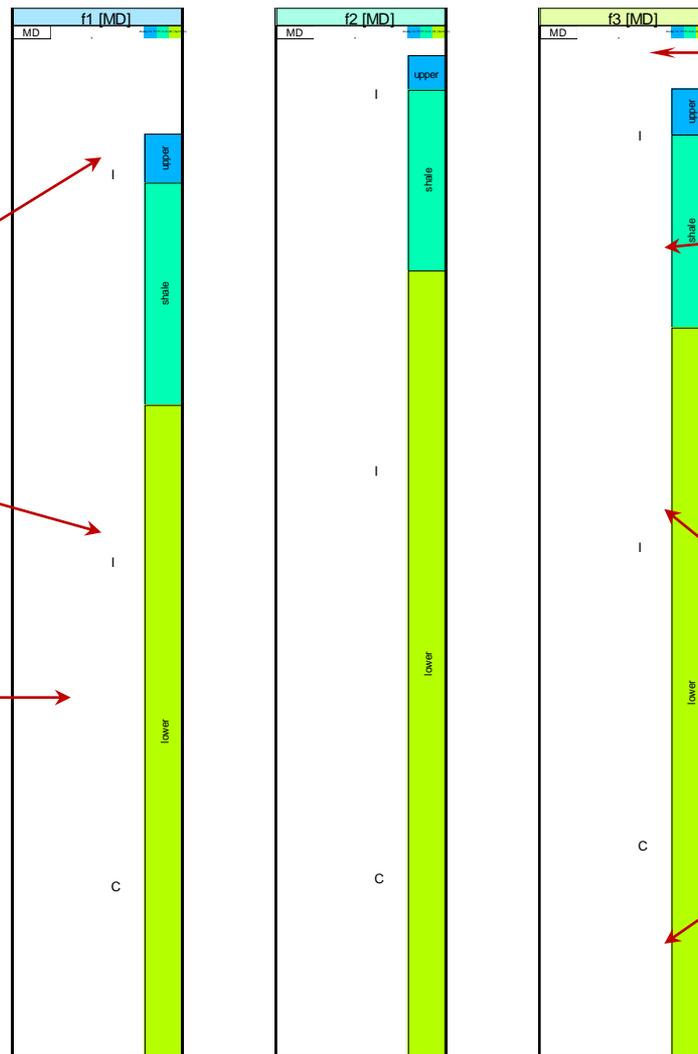
Conventional completion

Обычное технологическое заканчивание

Inflow control devices

Устройства контроля притока

Packer  
Пакер



Well tubing  
НКТ

Casing string  
Обсадная  
колонна

Perforated  
intervals  
Интервалы  
перфораций

## Оценка экономического эффекта

$$Eff = \sum_{t>0}^T (Q_t^* - Q_t) \cdot \alpha_t p - \Delta E_0$$

Where (где):

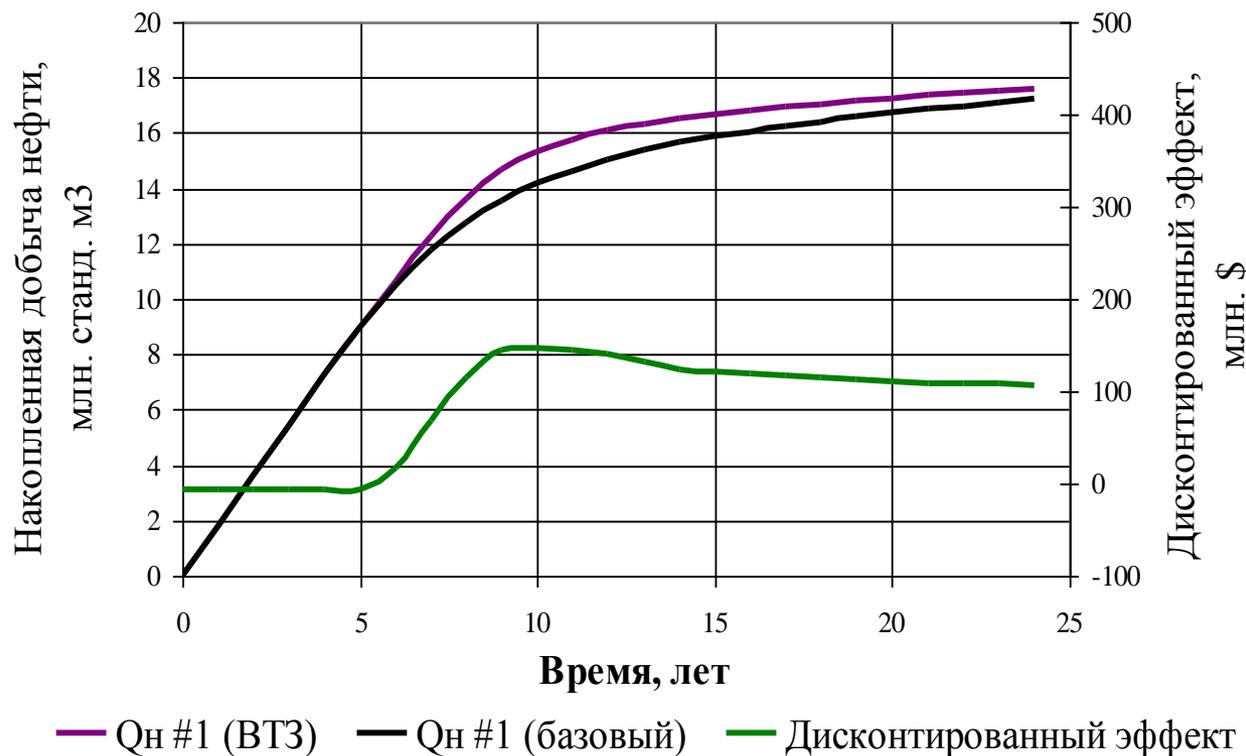
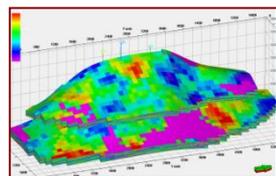
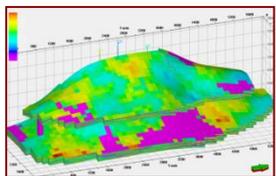
$Q$  – oil production during the time step (добыча нефти за временной шаг);  
 $p$  – oil price (цена нефти): **50 \$/bbl**

$\Delta E_0 = E_0^* - E_0$  - difference in value of high-tech (\*) and conventional well completion (разница стоимости высокотехнологичного (\*) и обычного заканчивания скважины): **~2.0 mln. \$**

$\alpha_t = (1 + i)^{-t}$  - Discount factor (коэффициент дисконтирования),  
 $i$  – discount rate (ставка дисконта): **12%**

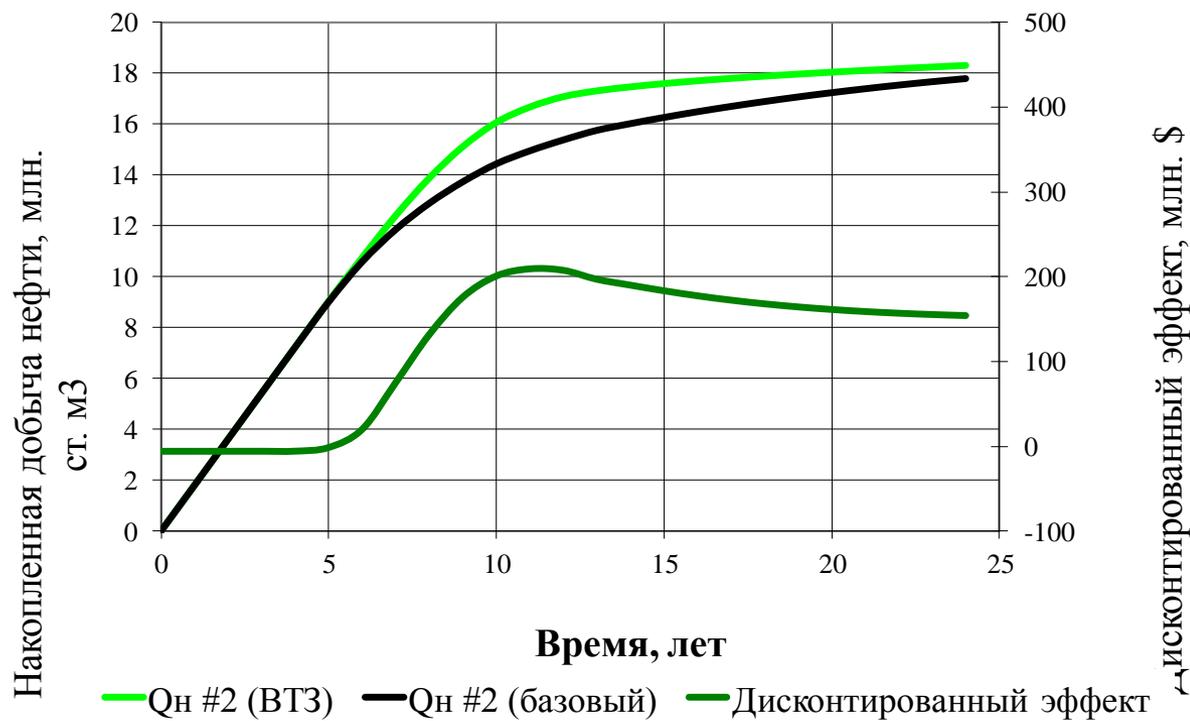
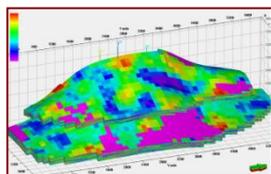
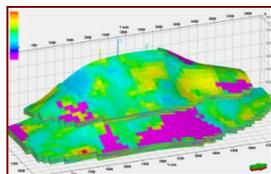
# Forecasting results, geologic model #1

## Результаты прогнозирования, геомодель №1



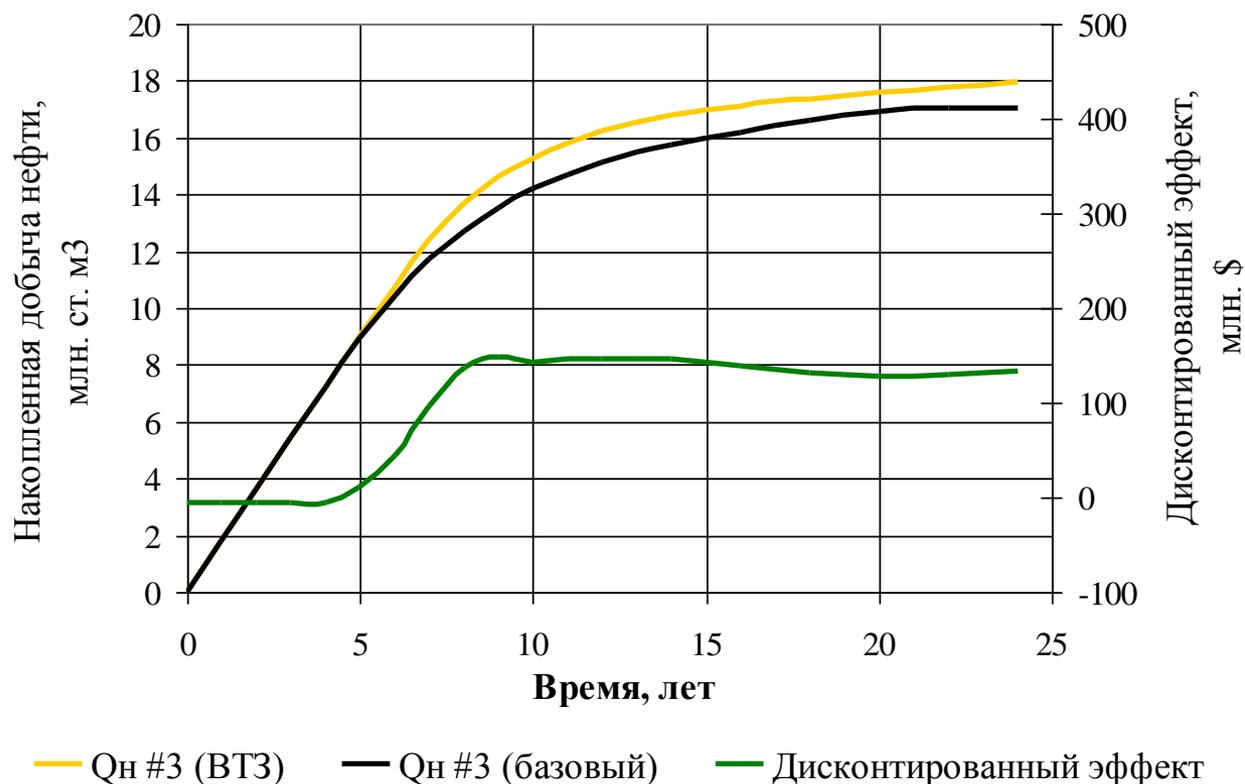
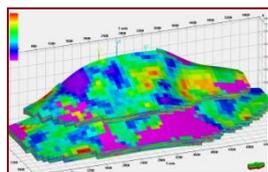
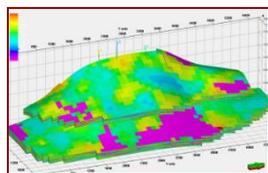
# Forecasting results, geologic model #2

## Результаты прогнозирования, геомодель №2



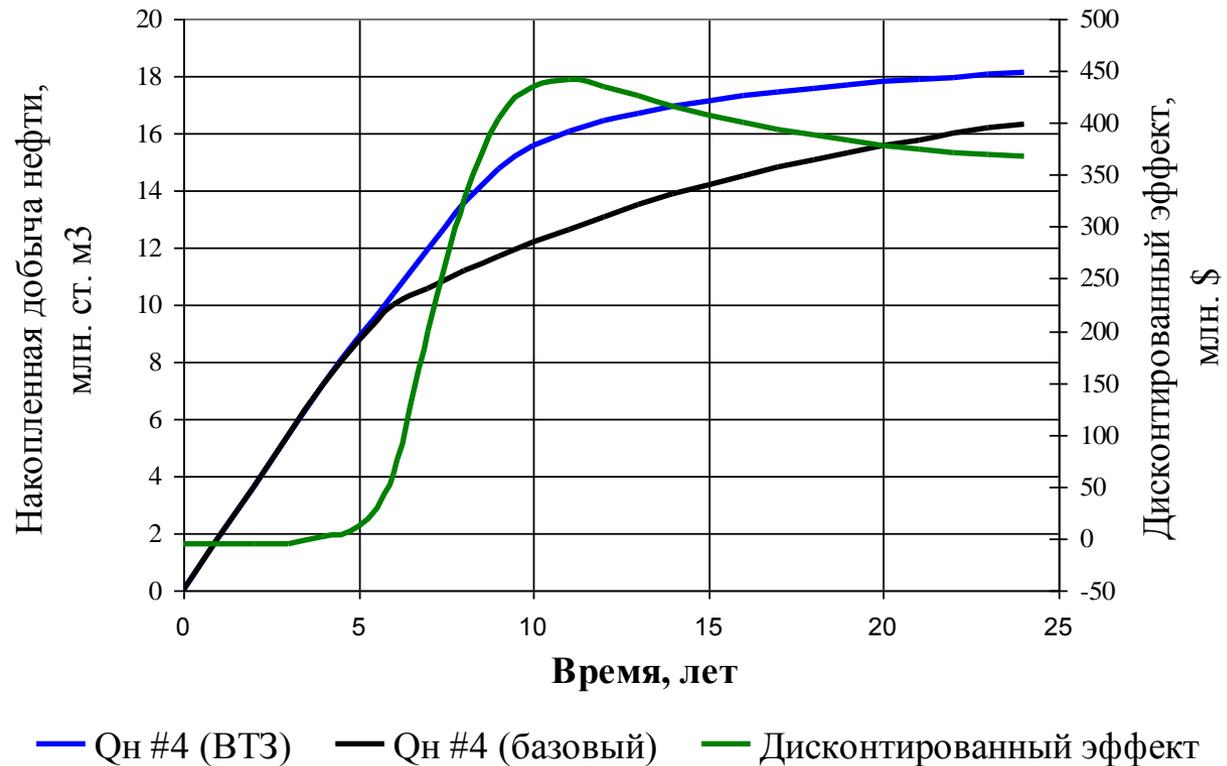
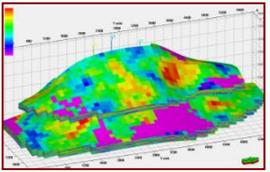
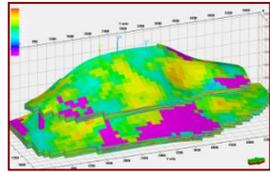
# Forecasting results, geologic model #3

## Результаты прогнозирования, геомодель №3



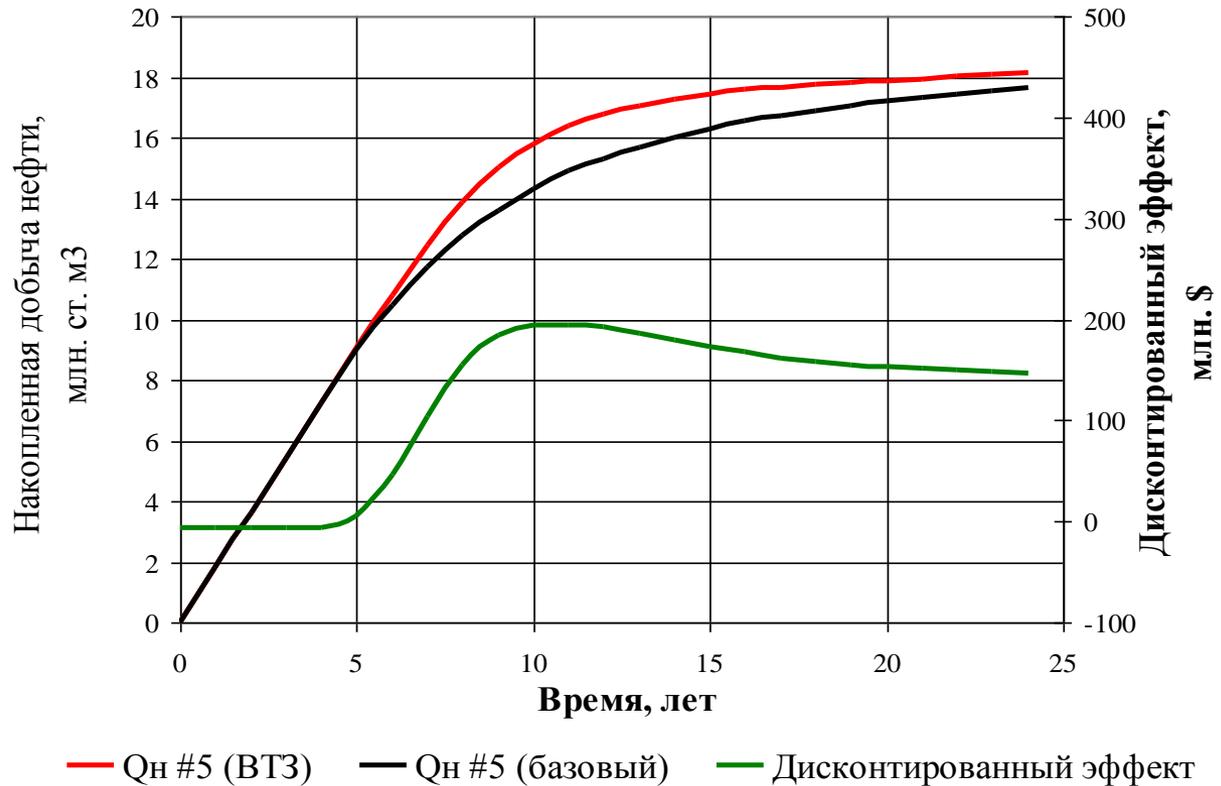
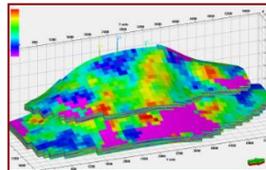
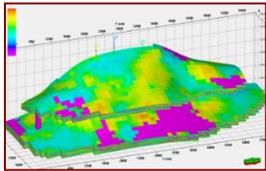
# Forecasting results, geologic model #4

## Результаты прогнозирования, геомодель №4



# Forecasting results, geologic model #5

## Результаты прогнозирования, геомодель №5



# Final results

## Итоговые результаты

Geomodel Модель пласта	Baseline model Базовый вариант		HTC ВТЗ		Discounted effect Дисконт. эффект, млн. \$	Incremental cum production Прирост накопл. добычи mln Sm <sup>3</sup>	Increment. ORF Прирост КИН, %
	Q <sub>н</sub> , mln Sm <sup>3</sup>	ORF КИН, %	Q <sub>н</sub> , mln Sm <sup>3</sup>	ORF КИН, %			
#1	17,21	48,20	17,59	49,27	107	0,38	1,075
#2	17,79	49,11	18,30	50,54	154,07	0,52	1,431
#3	17,03	47,12	17,93	49,63	133,63	0,91	2,515
#4	16,34	45,09	18,13	50,05	367,46	1,80	4,958
#5	17,67	49,00	18,12	50,22	147,23	0,45	1,256
In the average В среднем	17,20	47,70	18,02	49,94	181,88	0,81	2,247

**4,0%**

**0,9%**

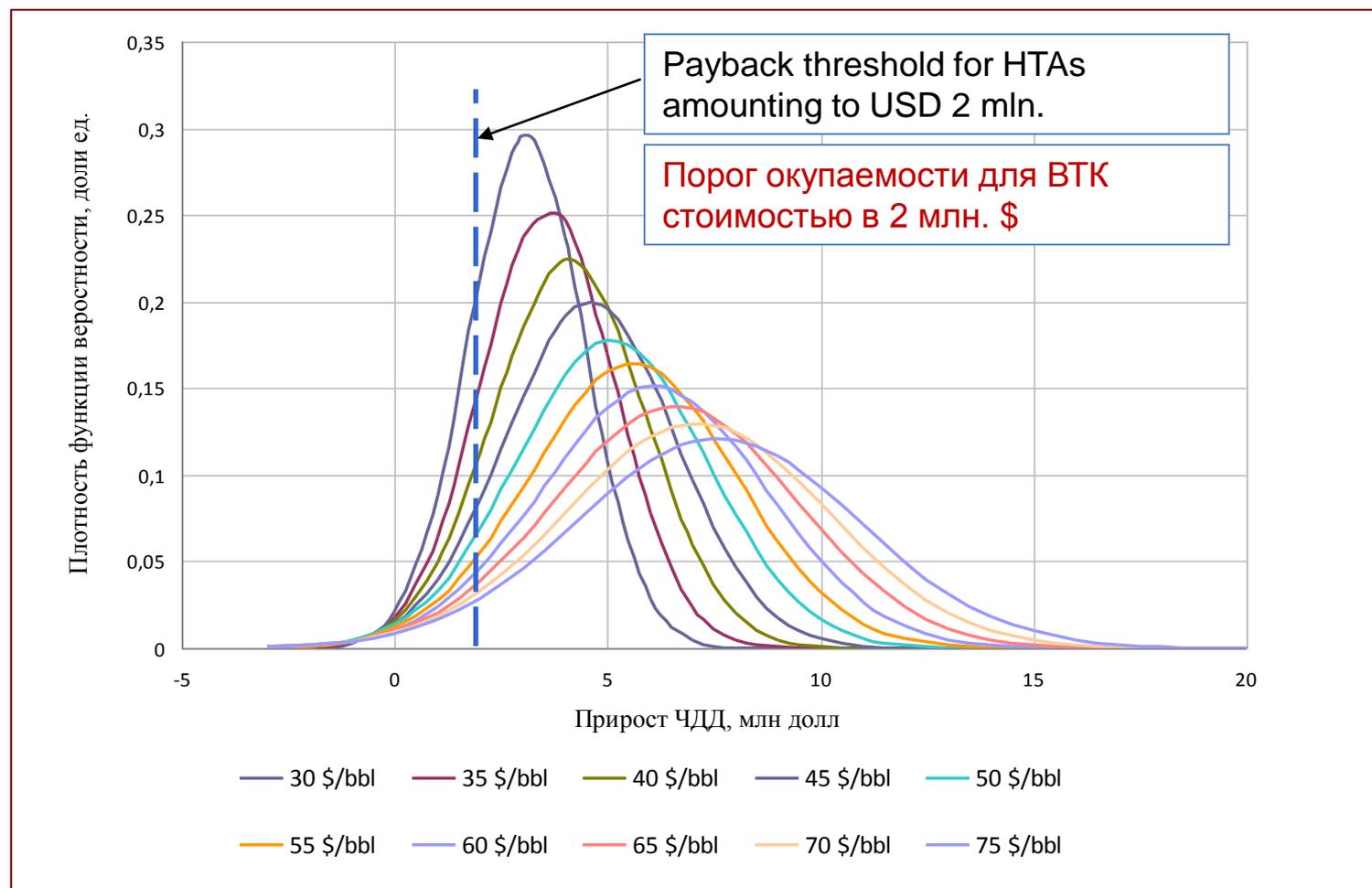
Application of high-tech assemblies has resulted in mitigated uncertainty impact on reservoir characterization

Использование высокотехнологичных компоновок позволило снизить влияние неопределенности в описании месторождения

Example – economic efficiency dependence on the oil price.

High-tech wells and reactive control strategy application

Пример – зависимость экономического эффекта от применения высокотехнологичных скважин и реактивной стратегии от цены на нефть



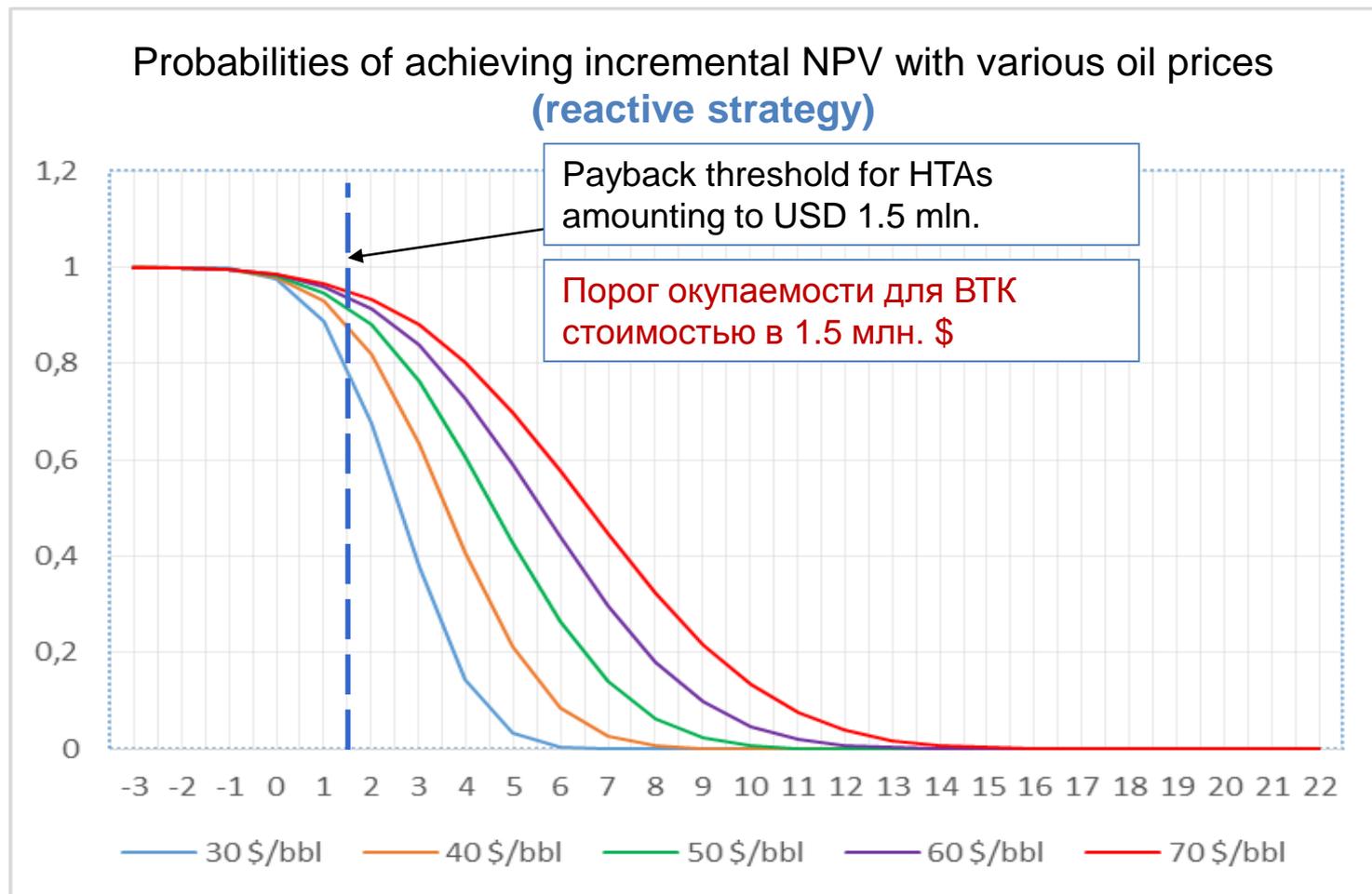
Ref.: Report on operations carried out under the BP's grant (A. Zolotukhin, A. Khrulenko, A. Valeev, A. Musorina). Gubkin University, 2011.

Ref.: Отчет по работе, выполненной по гранту БП (авторы: А. Золотухин, А. Хруленко, А. Валеев, А. Мусорина). РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011.

Example – economic efficiency dependence on the oil price.

High-tech wells and reactive control strategy application

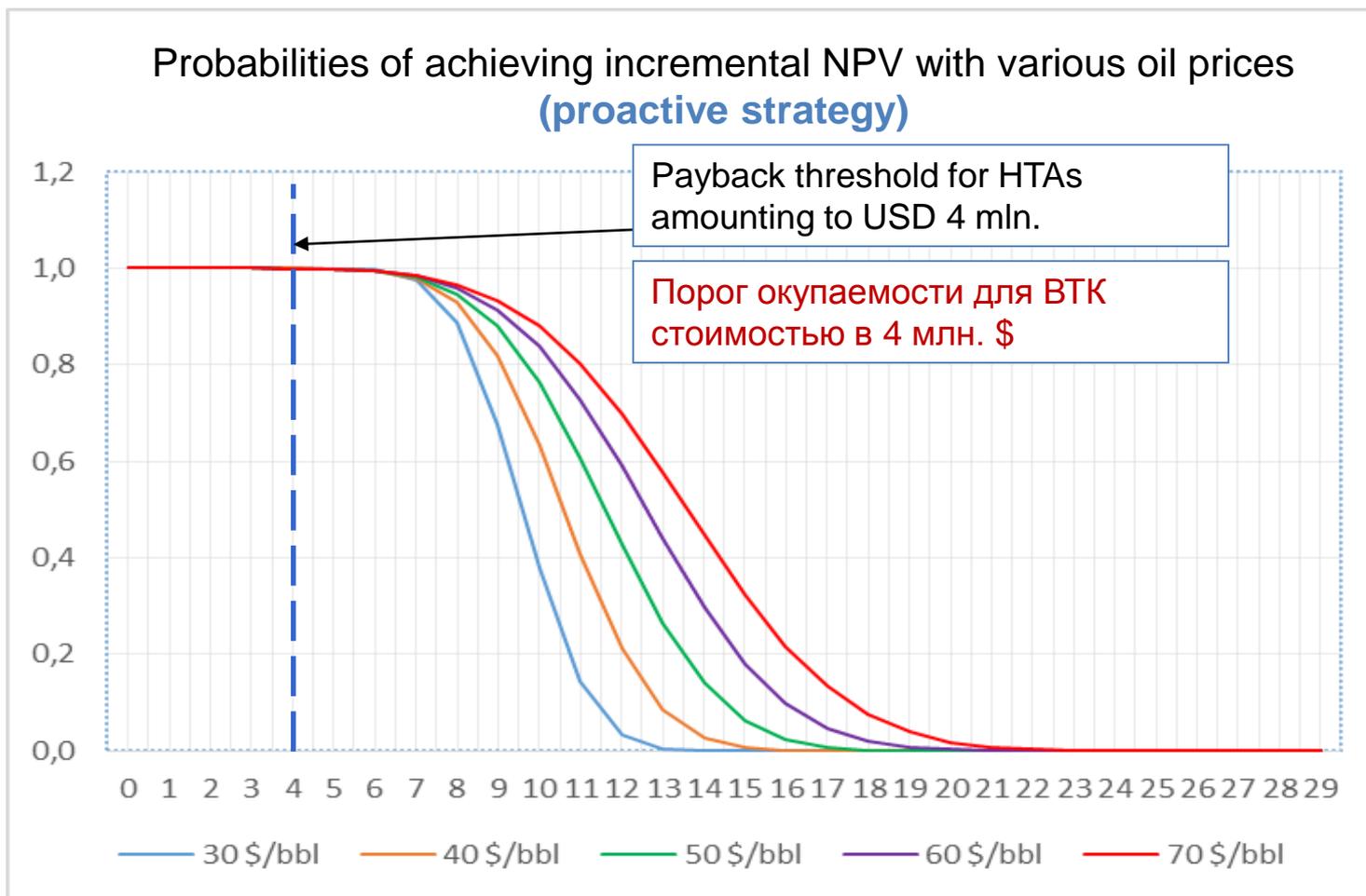
Пример – зависимость экономического эффекта от применения высокотехнологичных скважин и реактивной стратегии от цены на нефть



Ref.: Report on operations carried out under the BP's grant (A. Zolotukhin, A. Khrulenko, A. Valeev, A. Musorina). Gubkin University, 2011.

Ref.: Отчет по работе, выполненной по гранту БП (авторы: А. Золотухин, А. Хруленко, А. Валеев, А. Мусорина). РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011.

## Пример – зависимость экономического эффекта от применения высокотехнологичных скважин и проактивной стратегии от цены на нефть

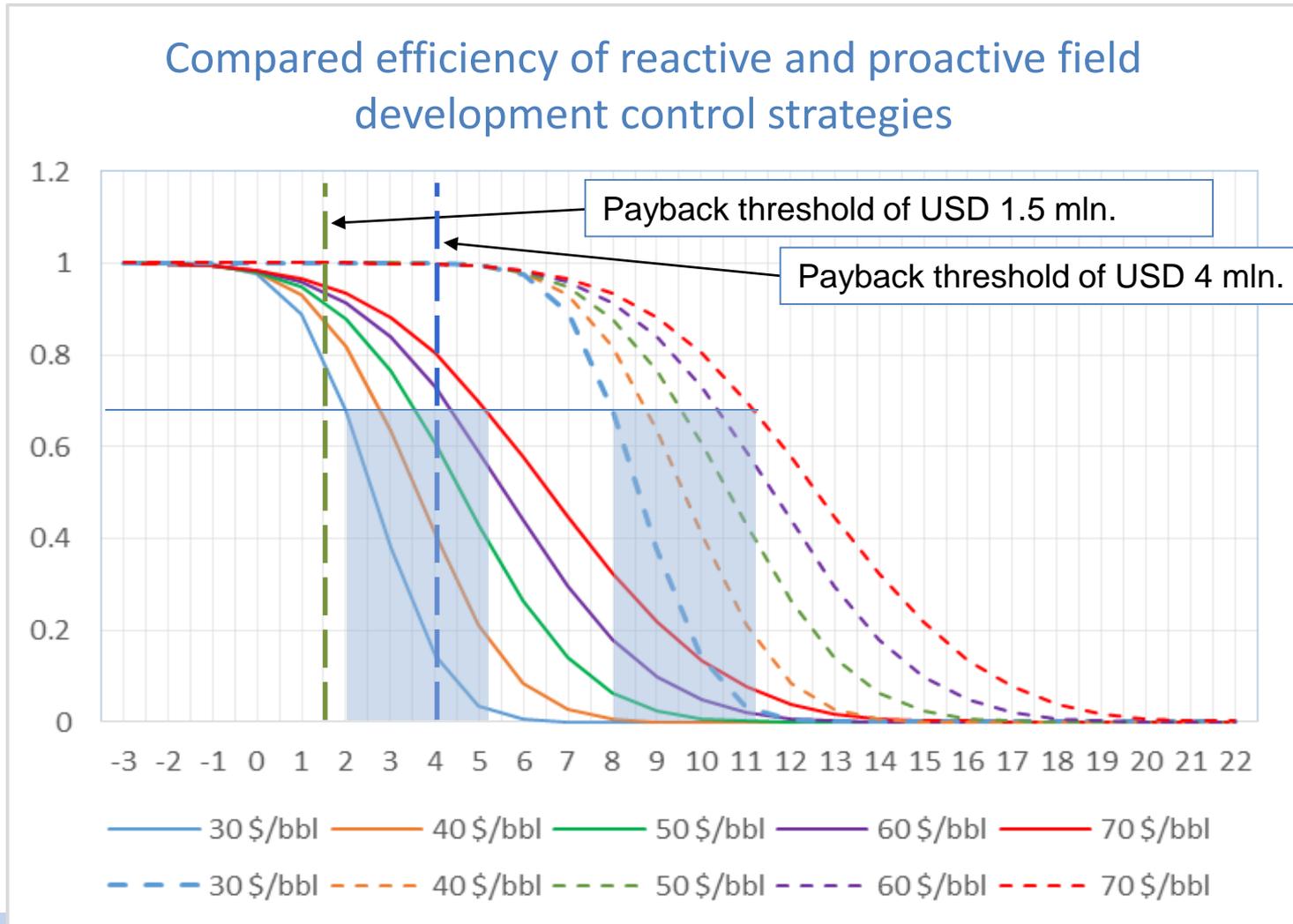


Ref.: Report on operations carried out under the BP's grant (A. Zolotukhin, A. Khrulenko, A. Valeev, A. Musorina). Gubkin University, 2011.

Ref.: Отчет по работе, выполненной по гранту БП (авторы: А. Золотухин, А. Хруленко, А. Валеев, А. Мусорина). РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011.

# Example – comparative efficiency of reactive and proactive control strategies vs oil prices

## Сравнительная эффективность реактивной и проактивной стратегий



## Некоторые выводы

- Uncertainty in description of formations and processes therein represent the objective reality and one of the problems (incurable deceases) of exploration and production
- Unstable nature of events occurring in productive formations does not allow getting rid of uncertainty impact even using the powerful modern methods, such as Kalman filter, ensemble filter, etc.
- Неопределенность в описании пластов и происходящих в них процессах – объективная реальность и одна из проблем (неизлечимых болезней) разведки и разработки
- Неустойчивый характер происходящих в продуктивных пластах явлений не позволяет избавиться от влияния неопределенности даже за счет использования таких мощных современных методов, как фильтр Калмана, каскадный фильтр и проч.

## Некоторые выводы

- Application of high-tech systems with the elements of artificial intelligence enable mitigation of the uncertainty impact on field description and forecast quality improvement
- Uncertainty, being the “hostile” element, could become an ally subject to proper treatment therewith...
- Использование высокотехнологичных систем с элементами искусственного интеллекта позволяет снизить влияние неопределенности в описании месторождения и повысить качество прогноза
- Неопределенность, хотя и «враждебный» элемент, но при правильном обращении с нею может быть союзником...

*Thank you!*

*Спасибо за внимание!*



Prof. Anatoly Zolotukhin

E-mail: *anatoly.zolotukhin@gmail.com*

*Zolotukhin.ipng.ru*