

Оценка неопределённости при моделировании пласта



Uncertainty in Reservoir Modelling

Василий Демьянов / Vasily Demyanov

Группа моделирования неопределённостей

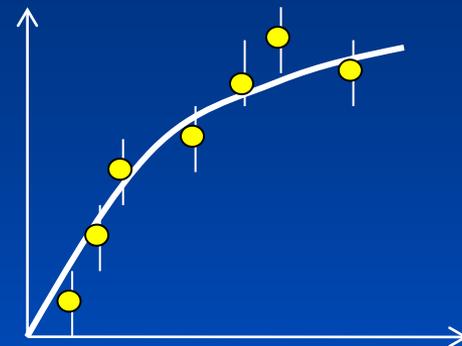
Uncertainty Quantification Group

Институт нефтяного инжиниринга, Эдинбург

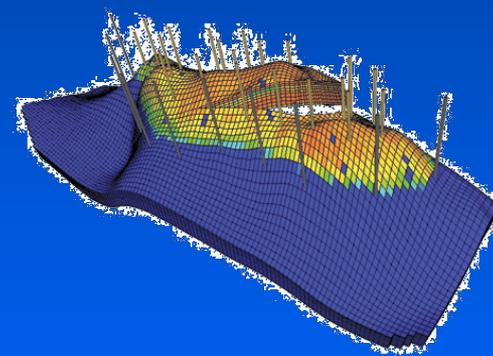
Institute of Petroleum Engineering, Edinburgh

Что мы понимаем под неопределённостью? What do we mean by Uncertainty?

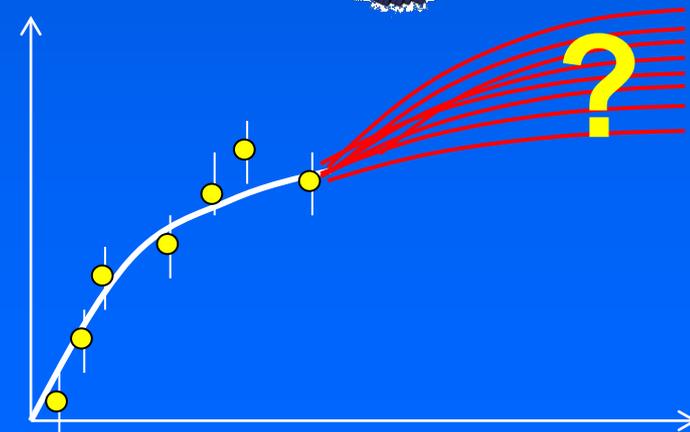
- Насколько хорошо модель удовлетворяет наблюдениям
How well the model fits the data



- Хорошо ли мы описываем природную систему
How well we understand the natural system



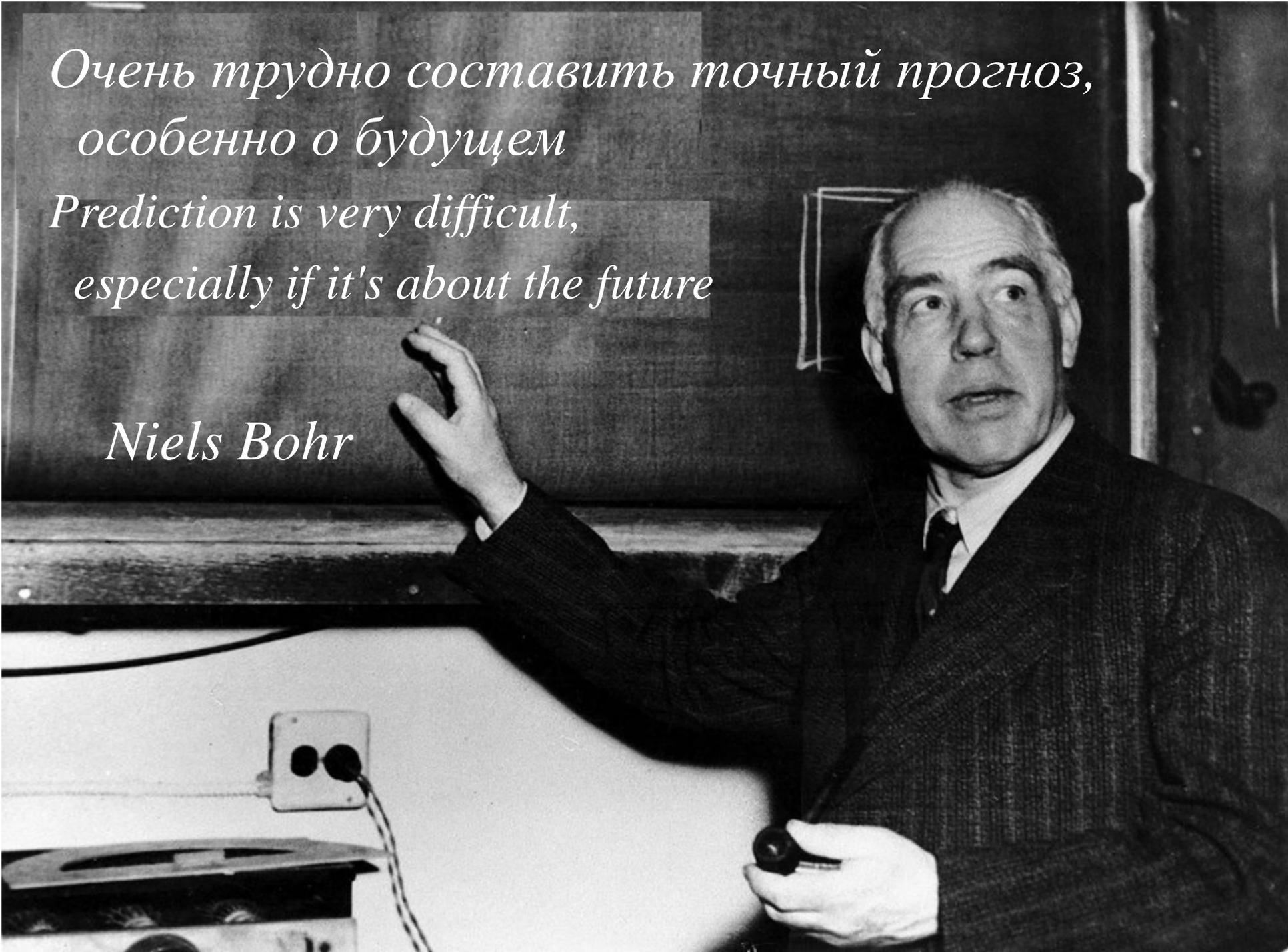
- **Насколько надёжен прогноз**
How reliable the predictions are



*Очень трудно составить точный прогноз,
особенно о будущем*

*Prediction is very difficult,
especially if it's about the future*

Niels Bohr



Прогнозирование: прямая и обратная задачи

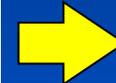
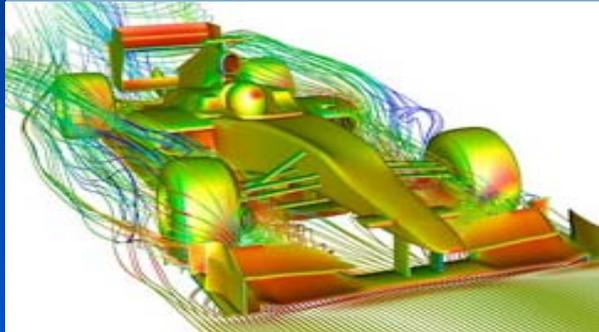
Prediction: Forward and Inverse Problems

Параметры
Parameters

Вес/Weight	XXXX
Углы/Angles	YYYY
Мощность/Power	ZZZZ
.....	



Компьютерная модель
Computer Model



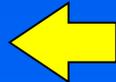
Прогноз
Prediction



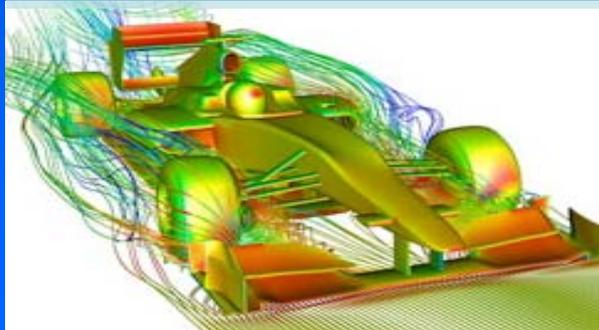
Прямая задача
Forward problem

Параметры
Parameters

Вес/Weight	XXXX
Углы/Angles	YYYY
Мощность/Power	ZZZZ
.....	



Компьютерная модель
Computer Model



Наблюдения
Observations



Обратная задача
Inverse problem

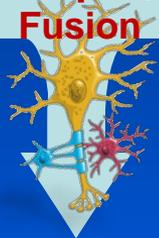
Обратная задача для прогноза неопределенности

Inverse framework for uncertainty prediction

Данные и знания
Data and knowledge



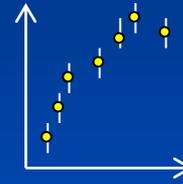
Интеграция
Fusion



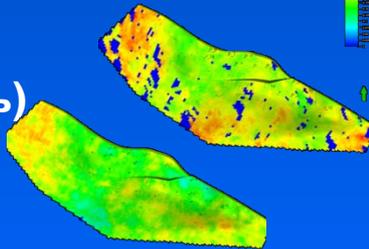
Исследуемый пласт
Unknown reservoir system



Измерения
Observations

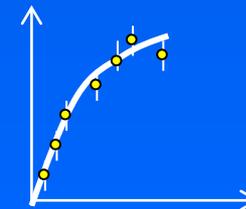
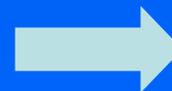
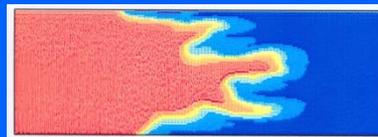
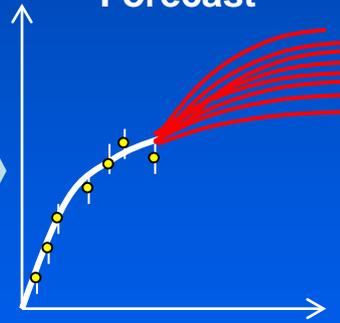


Модели
пласта
(ансамбль)
Reservoir
models
(ensemble)



Невязка
Mismatch

Прогноз
Forecast



Компьютерное моделирование
Computer simulations

Результат моделирования
Model response

Проблемы моделирования пласта и прогнозирования

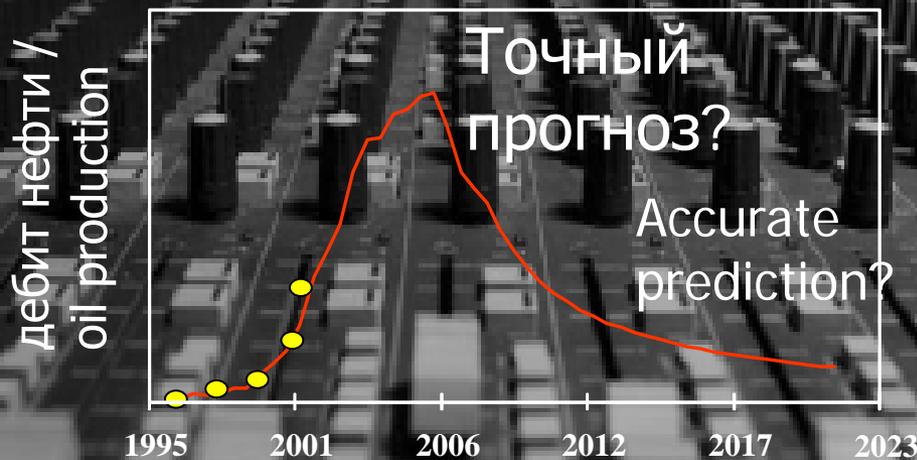
Problems in reservoir prediction modelling

- Быстрая адаптация модели
- Робастный и точный прогноз с учётом неопределённости
- Реализм моделей пласта
- Интеграция данных и знаний в модель
- Fast history matching
- Robust and accurate forecast with uncertainty
- Realism in reservoir models
- Data and knowledge integration

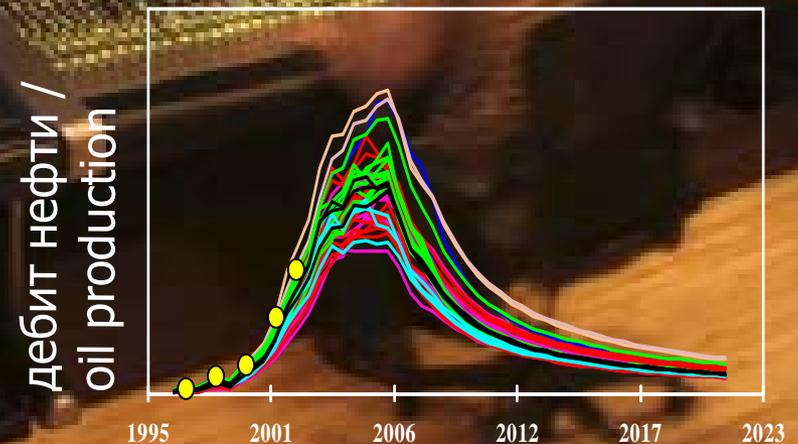
Адаптированная модель и неопределённость

History matching and Uncertainty

Единственная
адаптированная модель
Unique HM model



Множество
адаптированных моделей
Multiple HM models



Систематическое
изменение параметров
модели вручную
Systematic parameter tuning
(manual)

Реальность:

Множество моделей близкого
качества адаптации

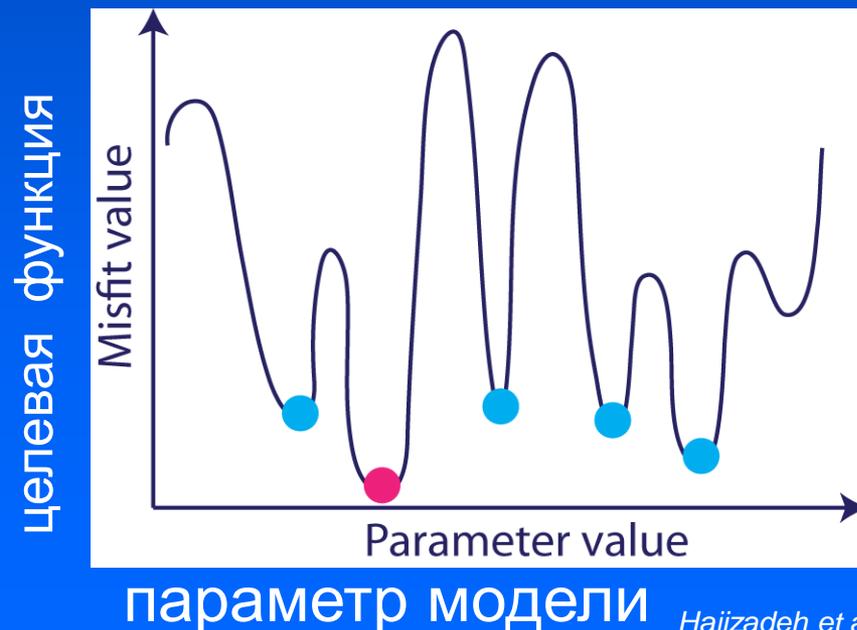
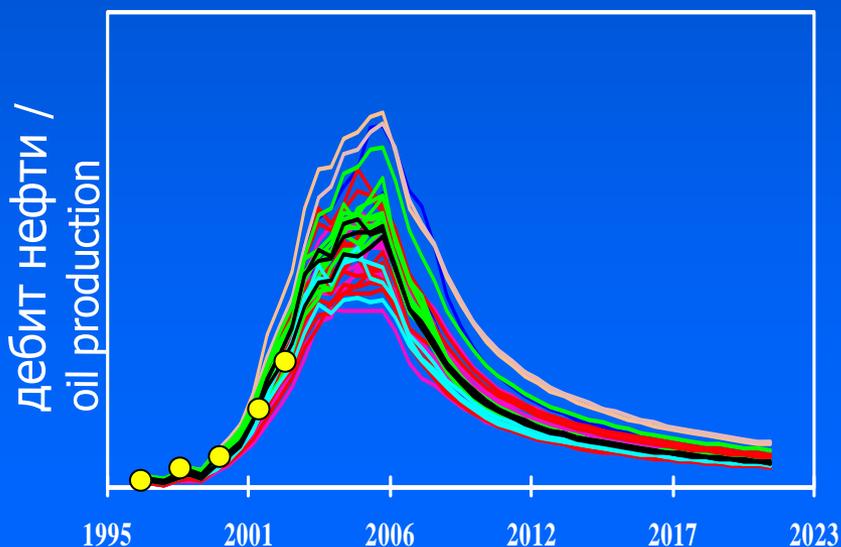
Reality:

Multiple models of similar match quality

Прогноз на основе ансамбля моделей

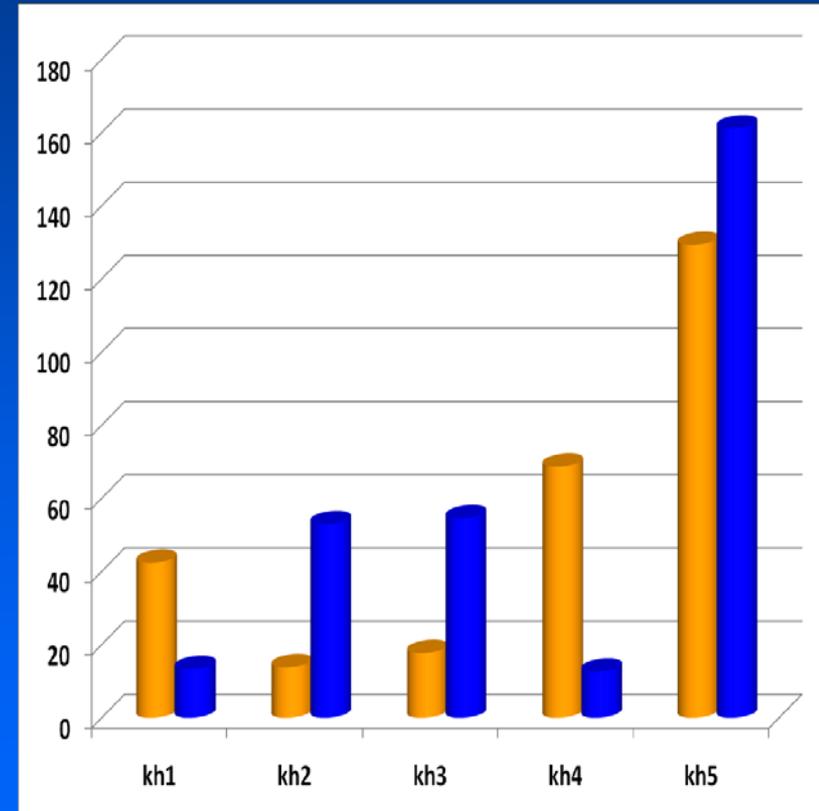
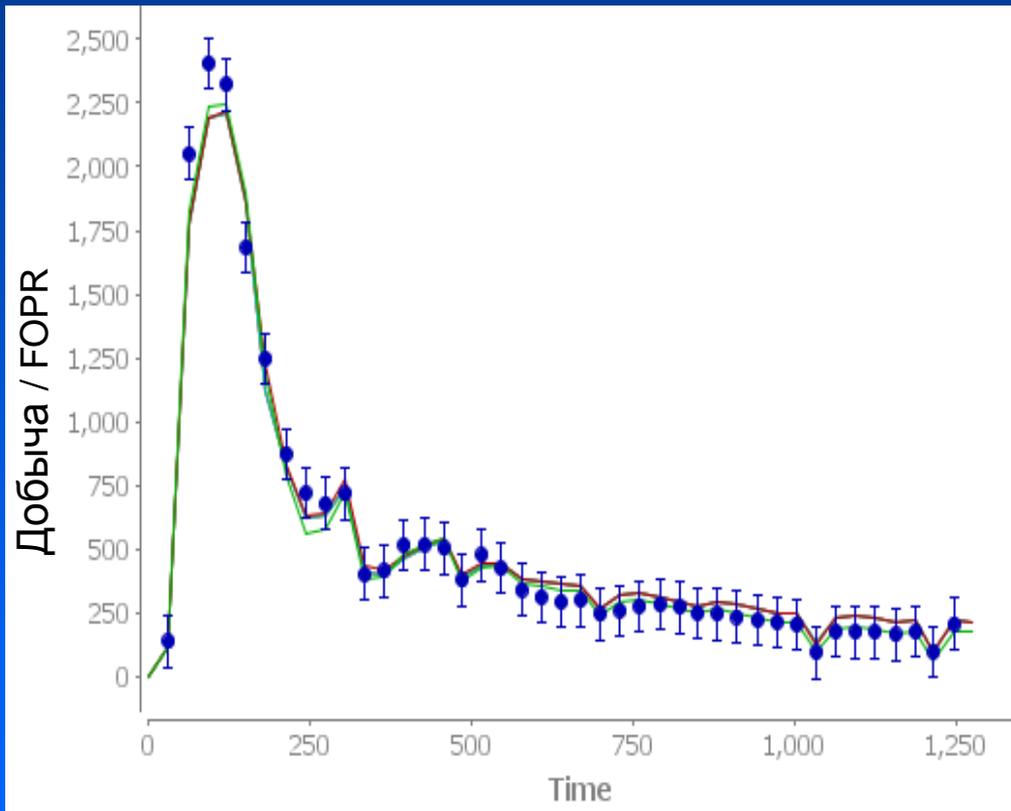
Predictions based on multiple models

- Ансамбль адаптированных моделей соответствует множеству решений обратной задачи
- Робастный прогноз неопределенности на основе многообразия решений
- Ensemble of HM models corresponds to multiple solutions of the inverse problem
- Robust prediction based on a diverse set of solutions



Неоднозначность адаптации

Non-uniqueness of a history match



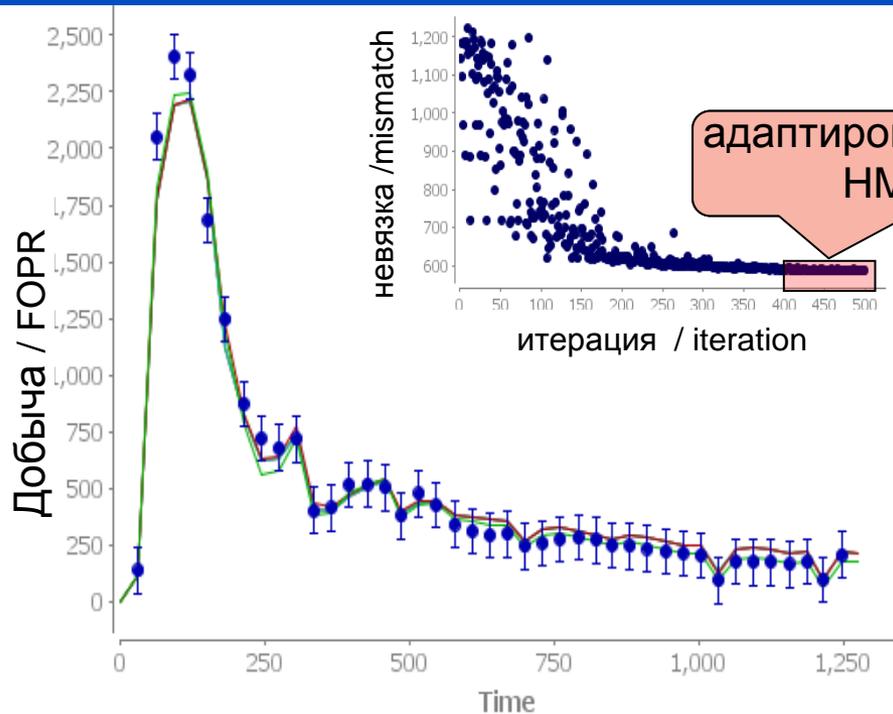
параметры адаптированных моделей
HM model parameters

Как получить разнообразные модели?

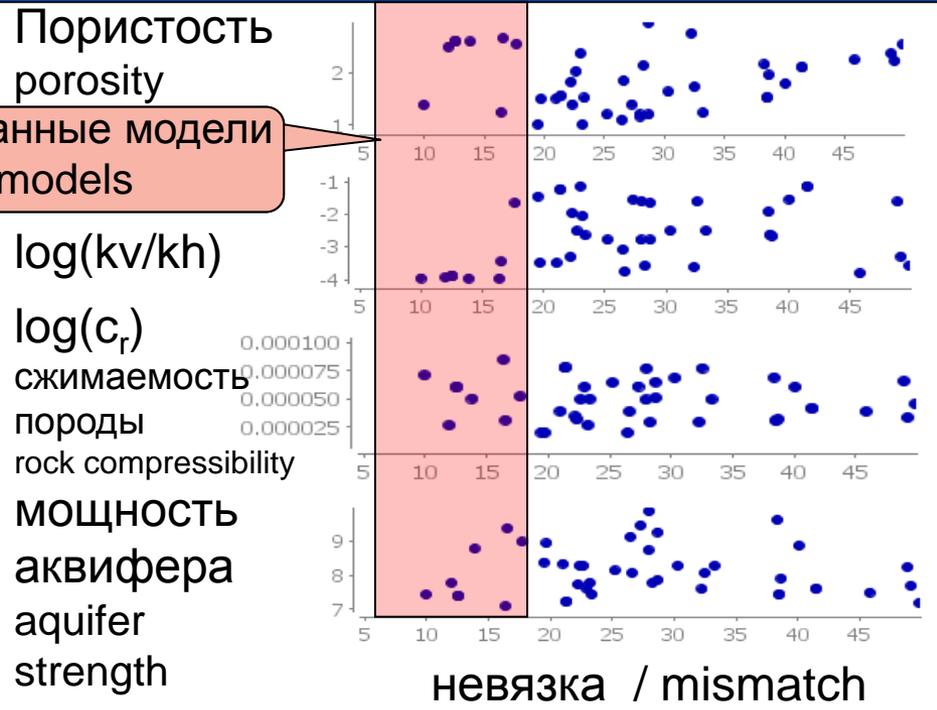
How to obtain multiple diverse HM models?

- Адаптивная стохастическая оптимизация
 - Дифференциальная эволюция
 - Оптимизация роем частиц
 - и др.
- Adaptive stochastic sampling
 - Differential evolution (DE)
 - Particle swarm optimisation PSO
 - etc.

Адаптированные модели / HM models



адаптированные модели
HM models



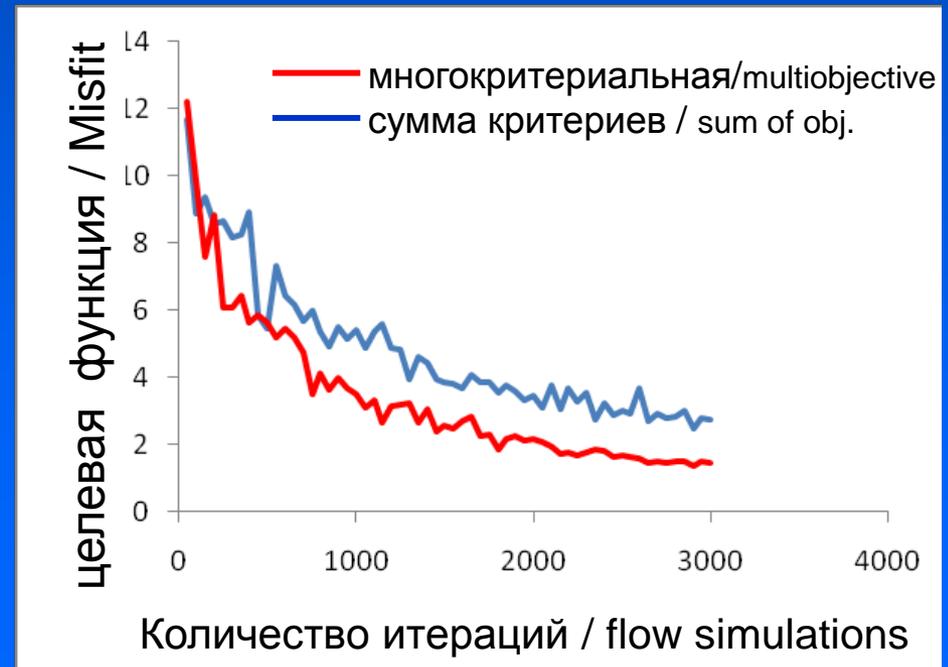
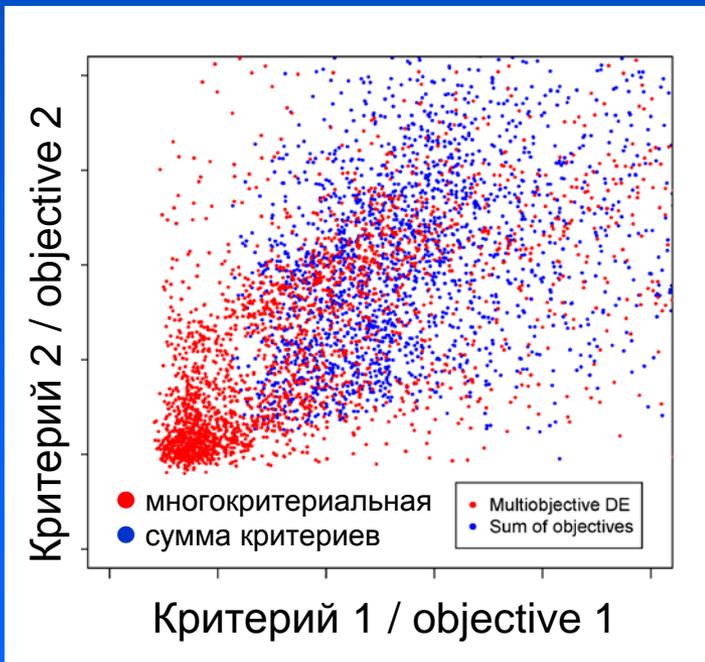
Быстрая адаптация

Fast History Matching

Как быстро адаптировать модель?

How to History Match Fast?

- Многокритериальная оптимизация
 - Лучшее качество адаптации
 - Быстрая сходимость
 - Многообразие адаптированных моделей
- Multi-objective optimisation
 - Better history match quality
 - Faster convergence
 - More diverse HM models

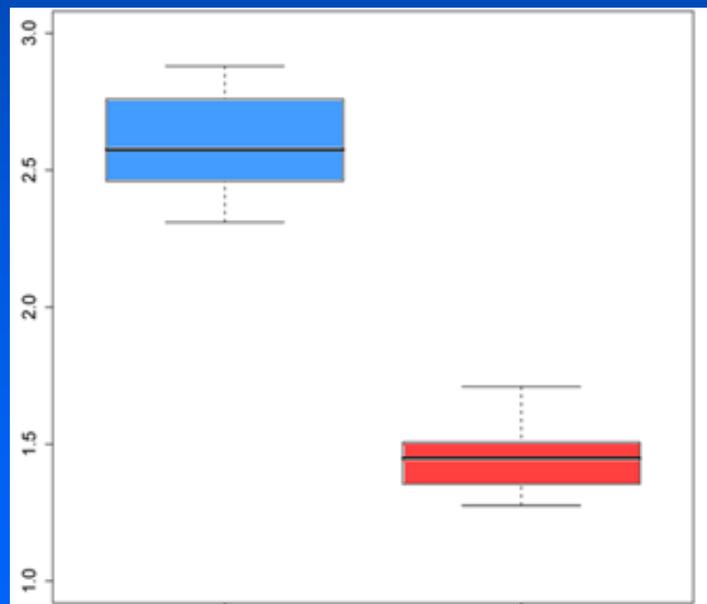


Лучшее качество прогноза Better Predictions

- Устойчивость адаптации
- Робастный прогноз – стабилизация доверительного интервала
- Lower model misfits based on multiple runs
- Robust predictions - P10/P90 envelope settles faster

Hajizadeh, 2011

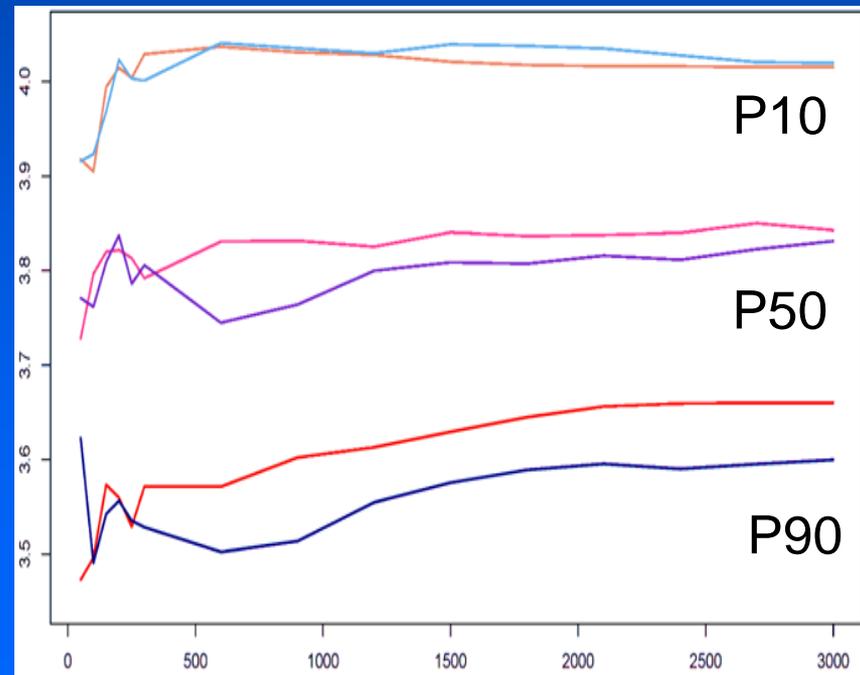
Целевая функция / Misfit



Сумма критериев
Sum of objectives

Многокритериальная целевая функция
Multiple objective

Суммарная добыча
Total production



Количество запусков гидро-дин. модели
Number of flow simulations

Робастная и точная оценка неопределённости

Примеры реальных месторождений

Robust and accurate
uncertainty estimation

Real reservoir case studies

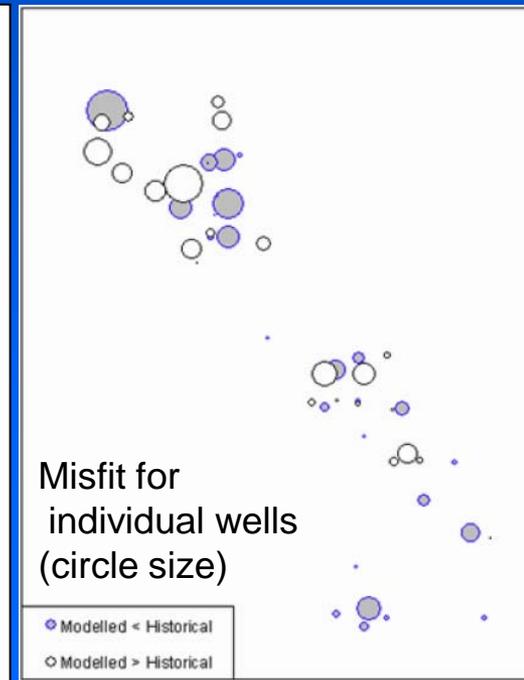
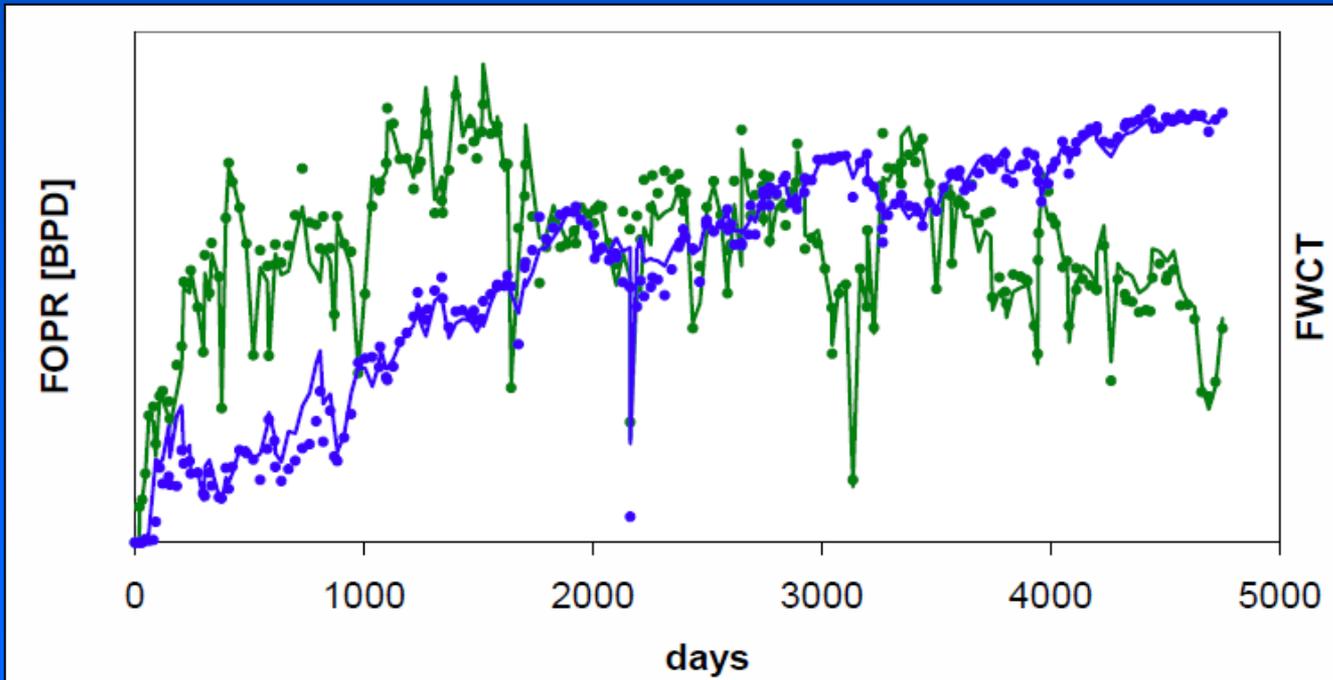
Качество адаптации: месторождение "X"

History Match Quality: Field X

- Месторождение в Северном море
- Данные по добыче за 15 лет
- 56 параметров модели
- A North Sea field
- 15 years of production data
- 56 model parameters

Невязки адаптации дебита нефти для каждой скважины (размер окружности)

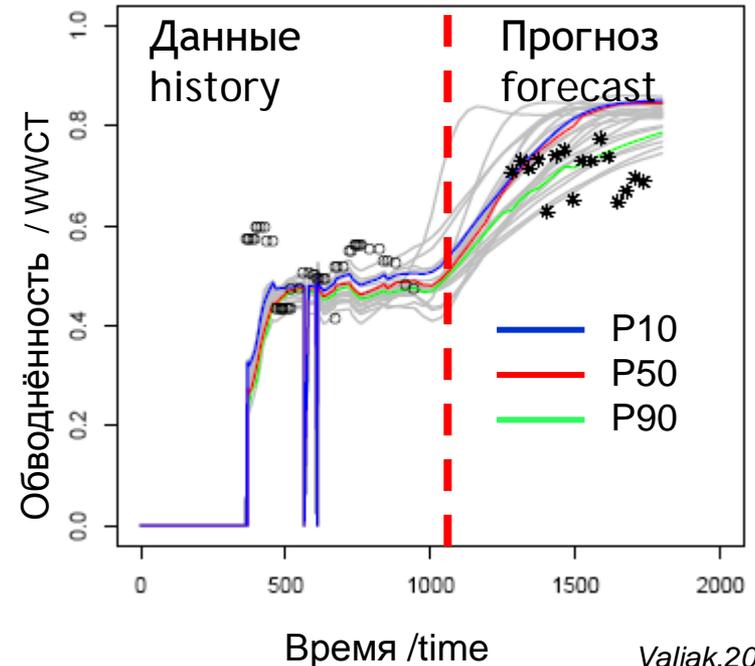
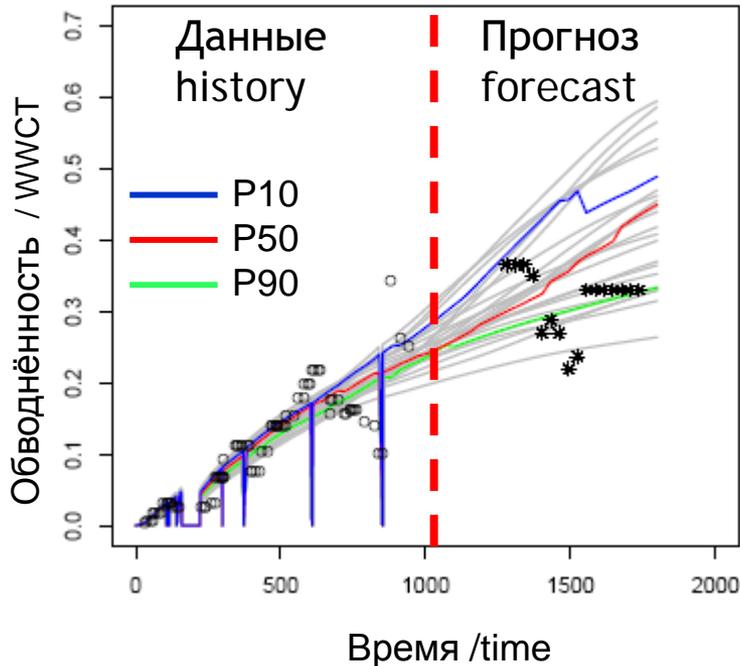
Valjak, 2008



Обоснованный прогноз: Месторождение "Y"

Justified prediction: Field Y

- Валидация модели:
Неопределённость прогноза на основе ансамбля адаптированных моделей хорошо согласуется с наблюдениями в прогнозируемый период
- Validation:
Predicted uncertainty based on the ensemble of HM models agree well with data from the forecast period



Адаптация расположения разломов

Matching fault locations: Field Z

- Большой пласт с неопределённым расположением разломов
- Large field with uncertain sub-seismic fault locations

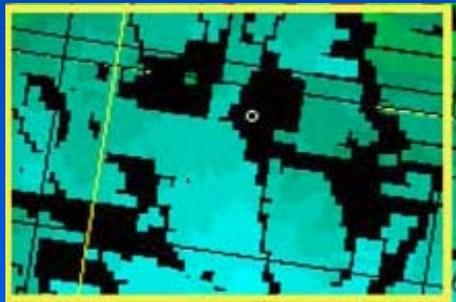
Расположение разломов

Fault locations

Среднее давление

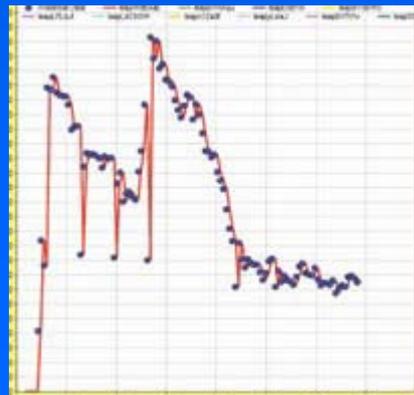
Average pressure

Сейсмика
Seismic

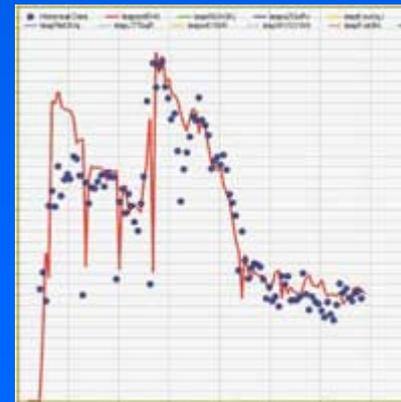


Дебит
Production

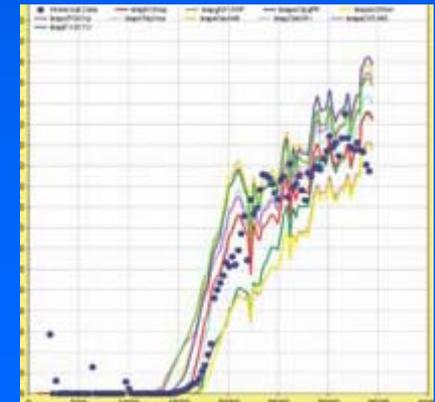
Нефть / Oil



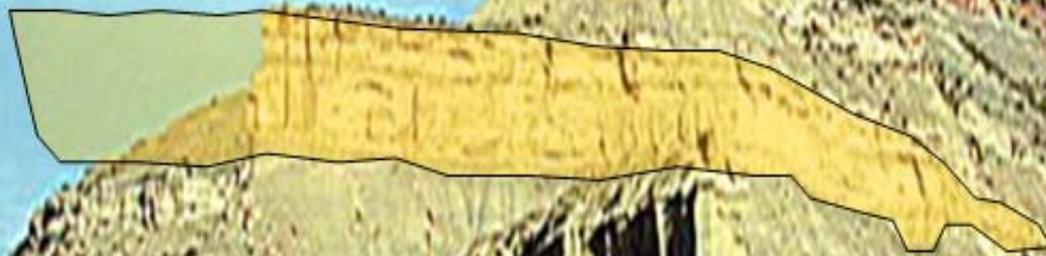
Газ / Gas



Вода / Water



Реализм моделей пласта



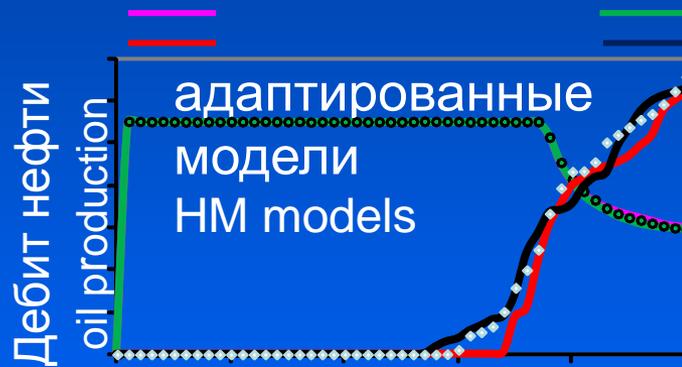
Realism in
Reservoir Models

Реалистичные модели пласта

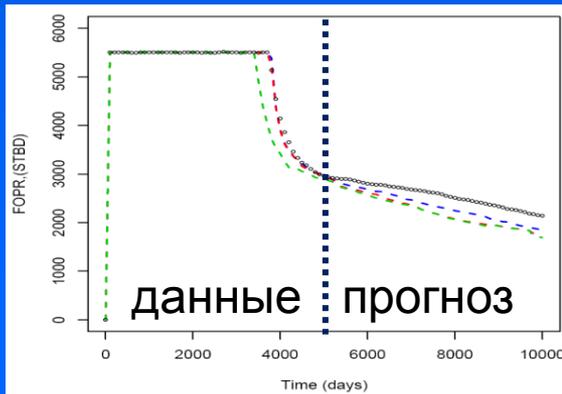
Realistic reservoir models

- Более точный и надёжный прогноз
- Реалистичные геологические особенности
- Интерпретабельность
- Robust and reliable prediction
- Describe geological realism
- More interpretable

Нереалистичная геология
Unrealistic geology

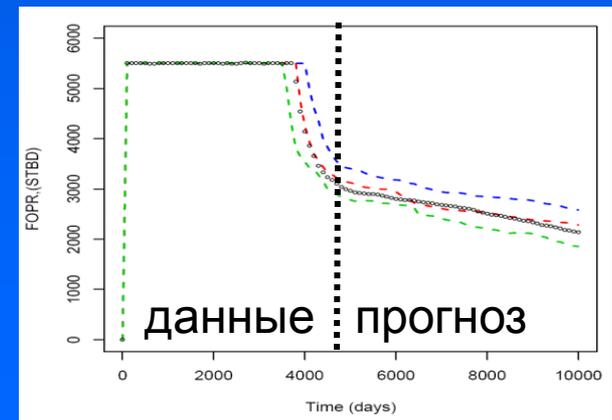


Реалистичная геология
Realistic geology



Прогноз / forecast

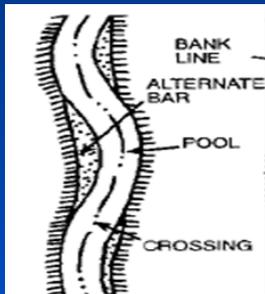
- P10
- P50
- P90
- реальность / truth



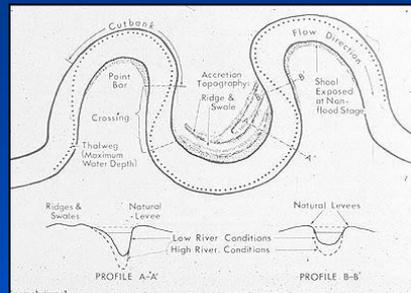
Реализм в моделировании: русловые отложения

Modelling geological realism: fluvial channels

Прямое русло
Straight



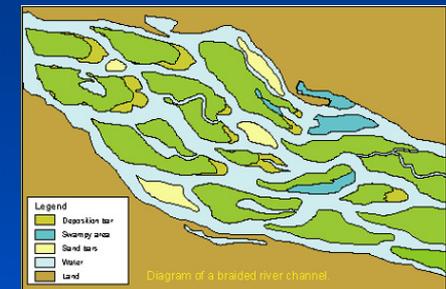
Меандрирующее
Meandering



Разветвлённое
Anastomosing



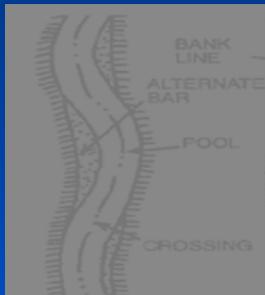
Многорукавное
Braided



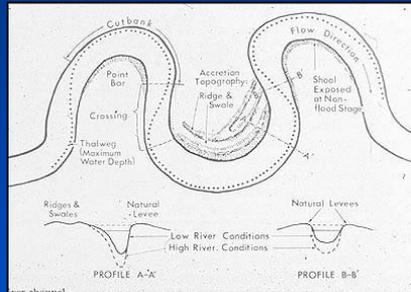
Реализм в моделировании: русловые отложения

Modelling geological realism: fluvial channels

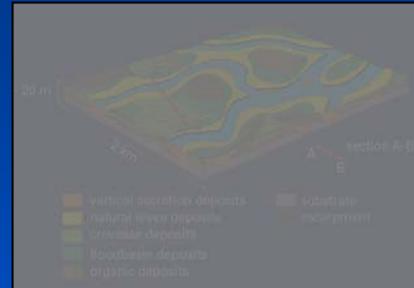
Прямое русло
Straight



Меандрирующие
Meandering



Разветвлённое
Anastomosing



Многорукавное
Braided

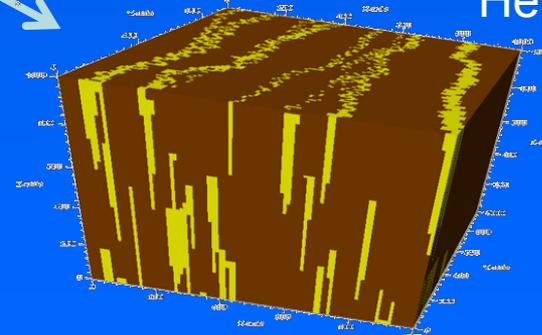


Как обеспечить реализм искомой модели?
How to make sure the model is going to be realistic?

Реалистичная модель
Realistic model



Нереалистичная модель
Unrealistic model

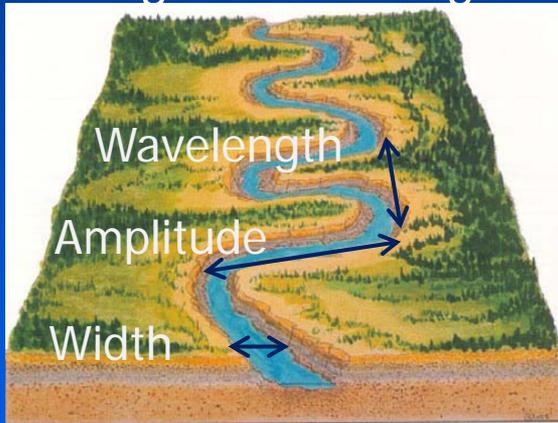


Реалистичная априорная информация

Realistic prior knowledge

- Извлечение информации из данных и знаний
- Capture information from knowledge and data

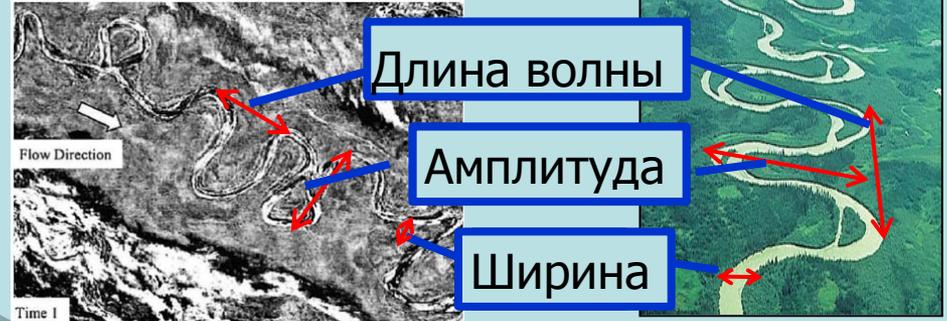
Геологические представления
Geological knowledge



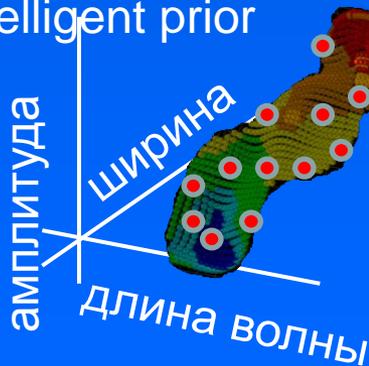
Геологические данные
Geological data

сейсмика / seismic

речные системы
river systems



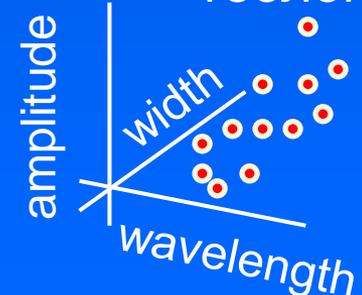
Модель априорных геологических знаний
Intelligent prior



Обучающаяся система
Machine learning

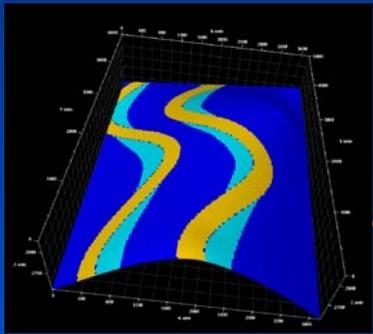
Geological dependencies

Зависимости в геологических данных

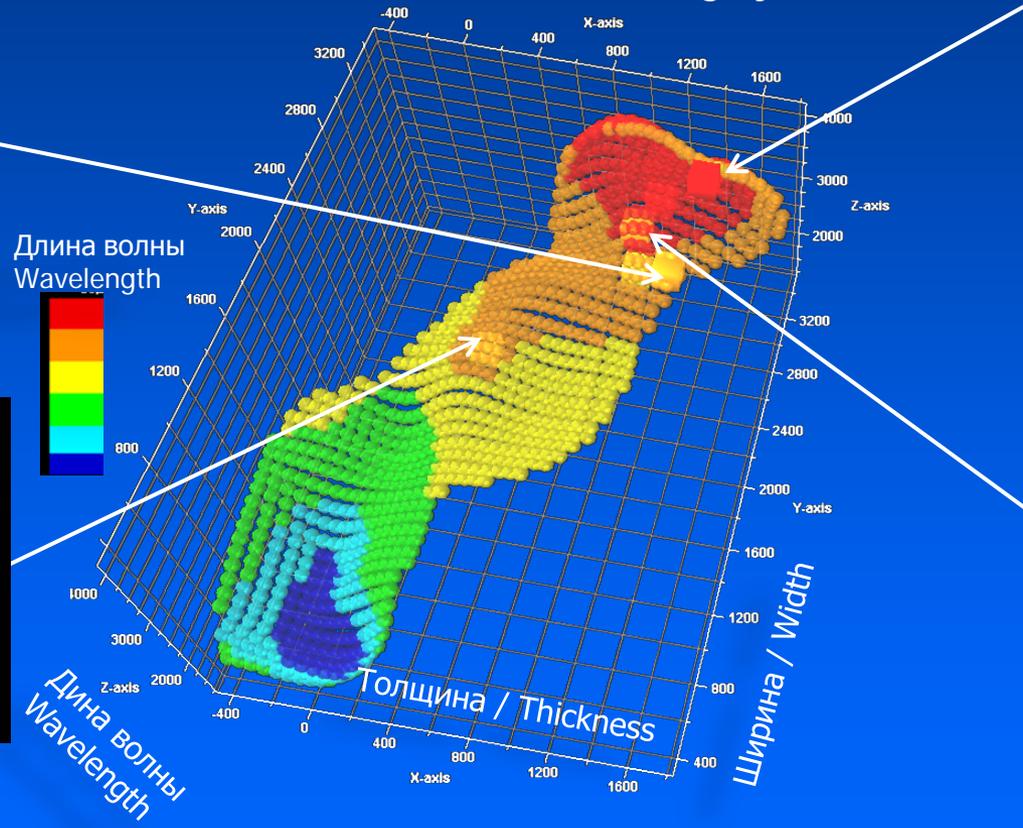


Априорные знания и оценка геометрии русла Realistic prior for channel geometry

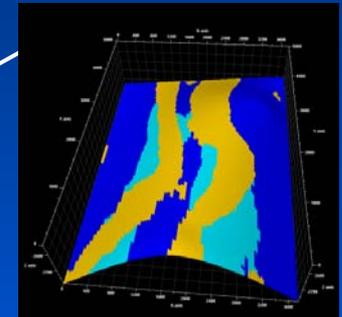
Реальность / truth case



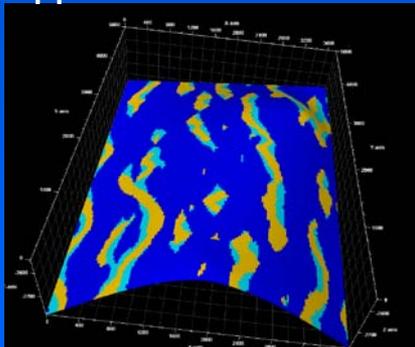
Соотношения параметров
меандрирующих русел
Parameter relation in meandering systems



Реалистичная модель
Realistic model

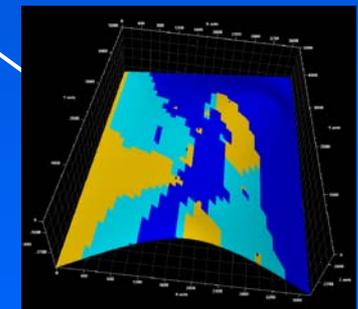


Нереалистичная
модель



Unrealistic model

Нереалистичная
МОДЕЛЬ



Unrealistic model

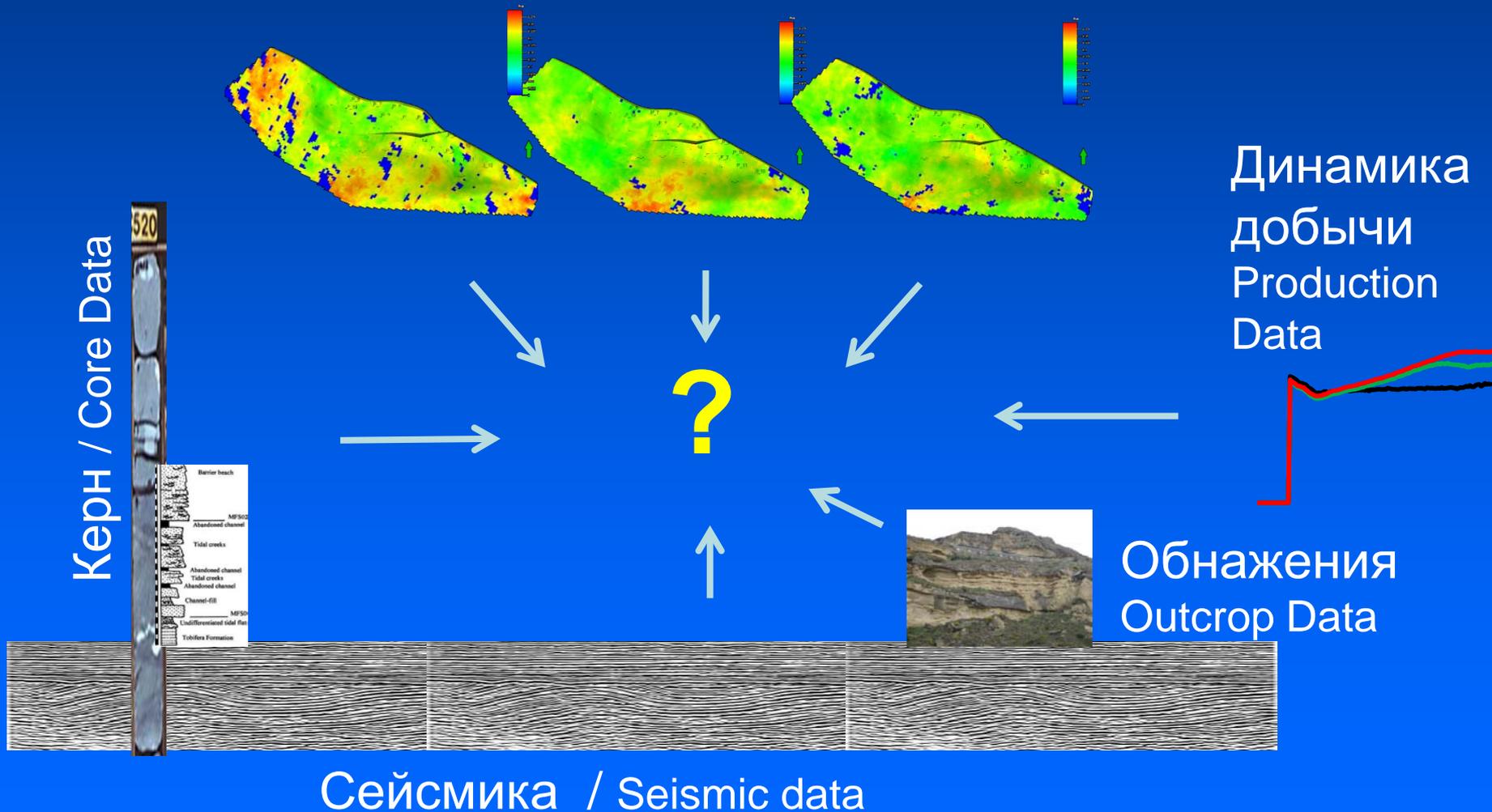
Априорная модель геометрических соотношений
Prior model for channel geometry

Интеграция данных и знаний

Integration of
Data and Knowledge

Как интегрировать априорную информацию? How to Integration Prior Data?

Возможные геологические сценарии
Possible Geological Scenarios



Как интегрировать априорную информацию? How to Integration Prior Data?

Геостатистика

Geostatistics

—

Обусловленность

Data Constraining

Ансамбль фильтра Калмана

Ensemble Kalman Filter (EnKF)

— Ассимиляция

— Data Assimilation

ика

Обучаемые модели

Machine Learning

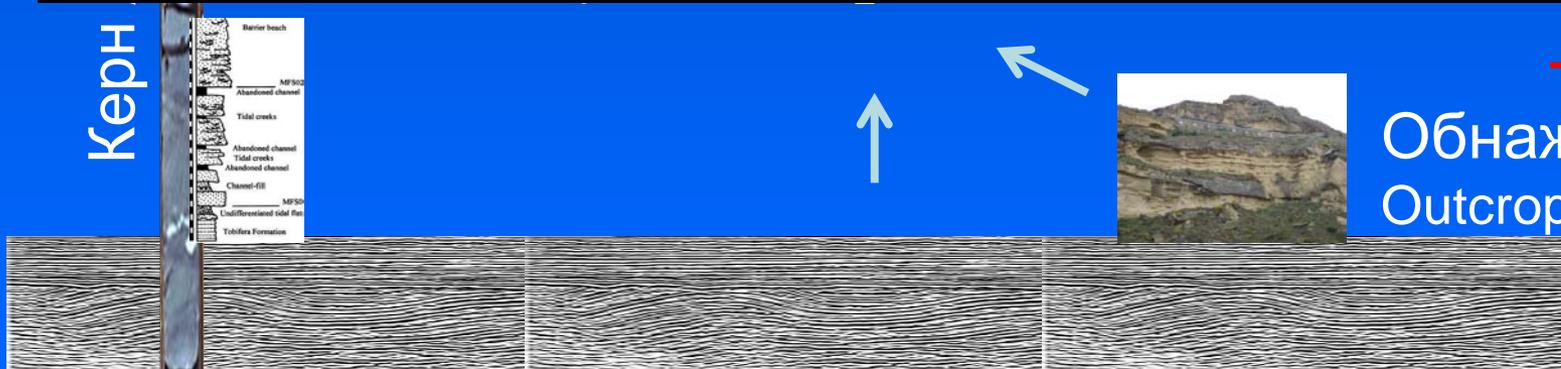
— Синтез

— Data Fusion

Production

Обнажения
Outcrop Data

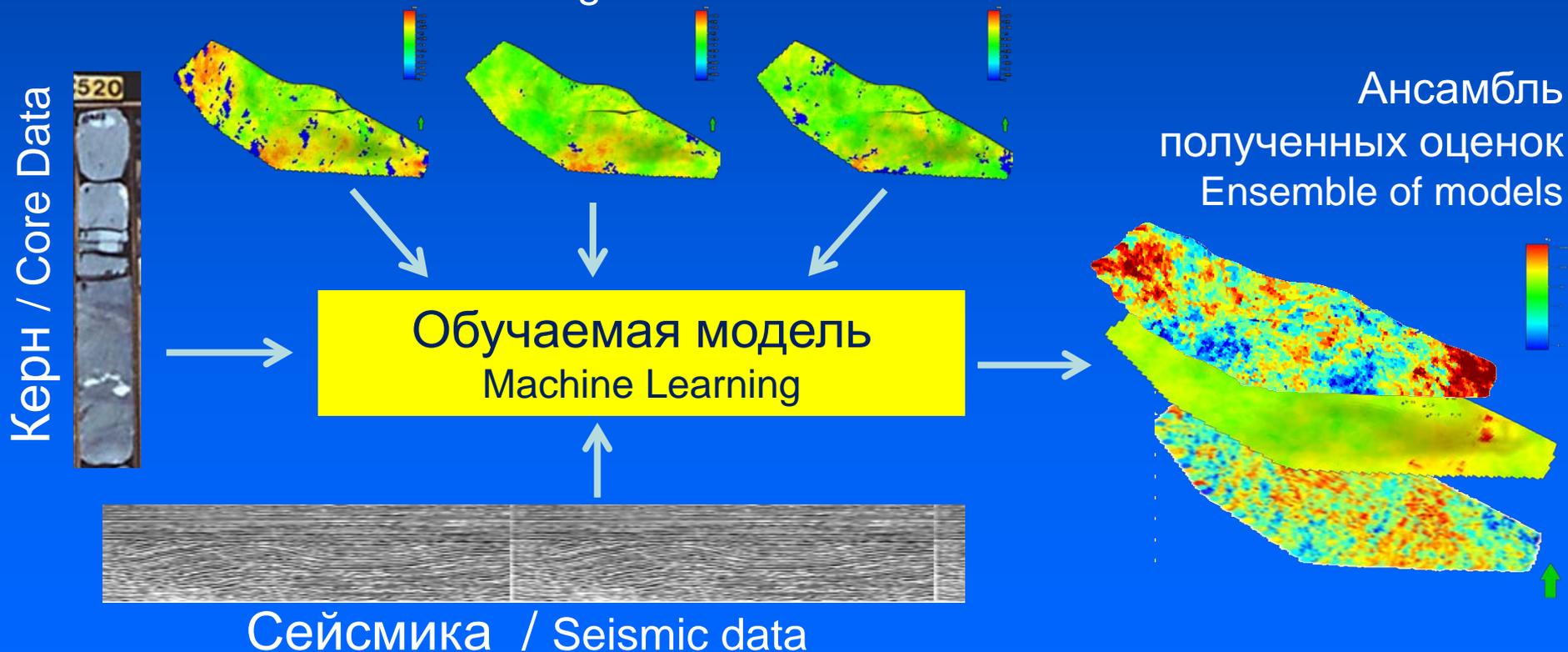
Сейсмика / Seismic data



Надёжные модели согласуются с разными данными Reliable Models Agree with More Data

- Сохранение реализма и интерпретабельности
Maintain realism and interpretability

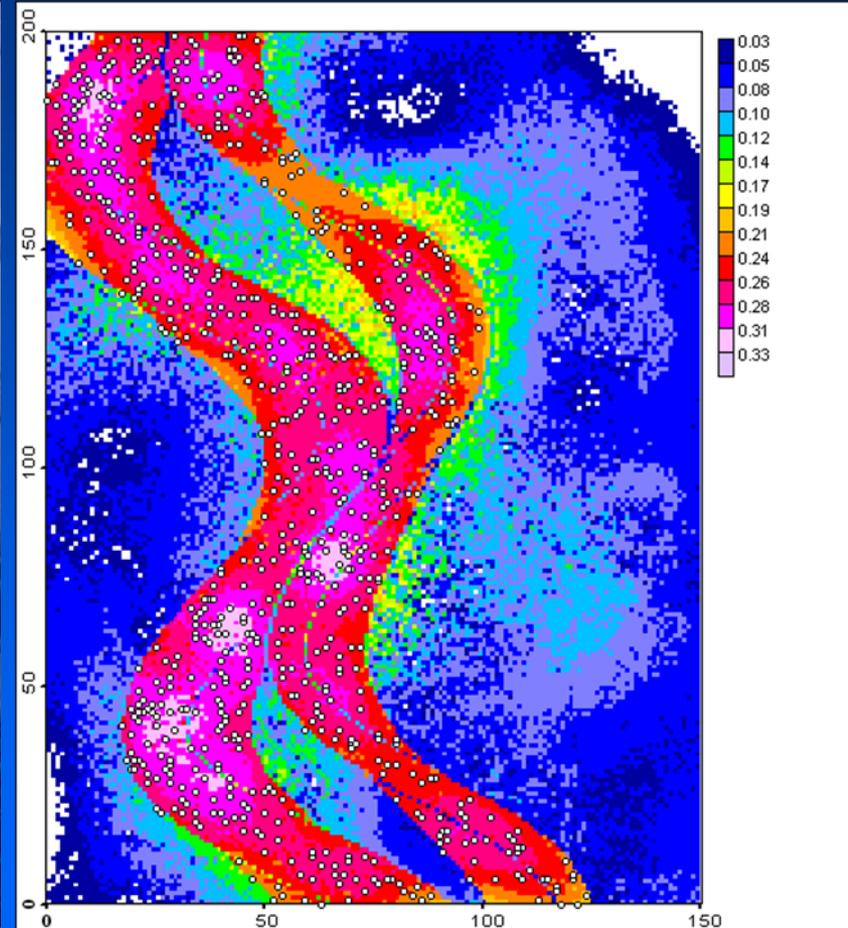
Возможные геологические сценарии Possible Geological Scenarios



Моделирование речной косы регрессией поддерживающих векторов

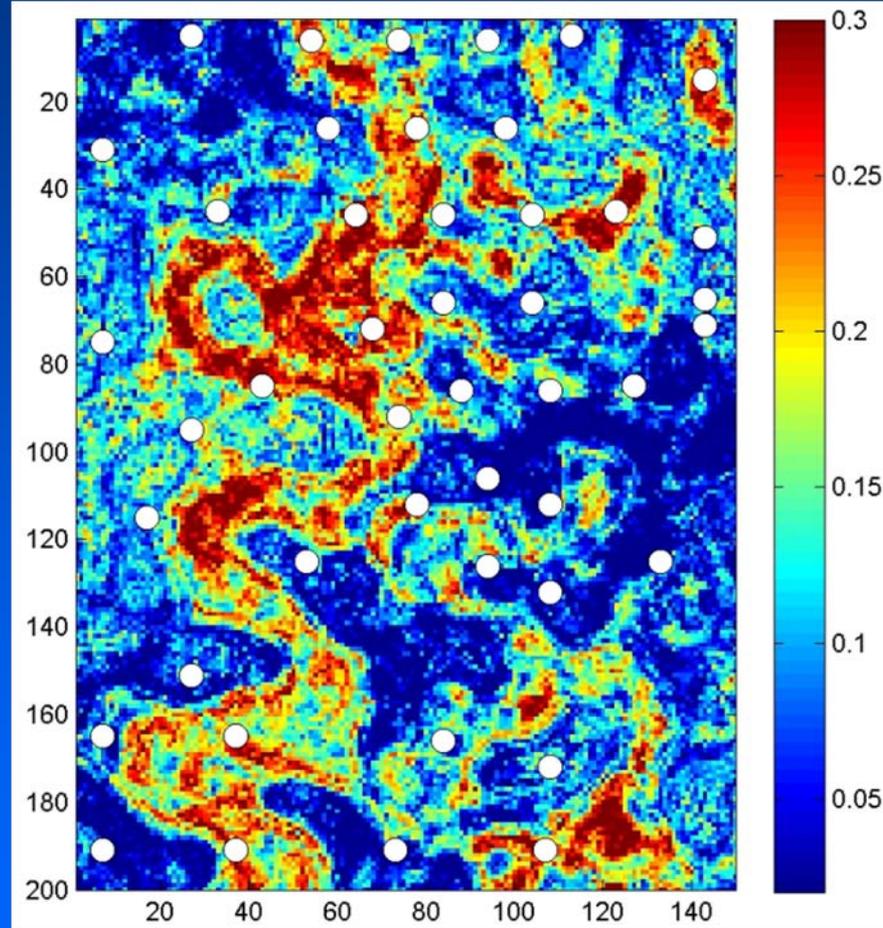
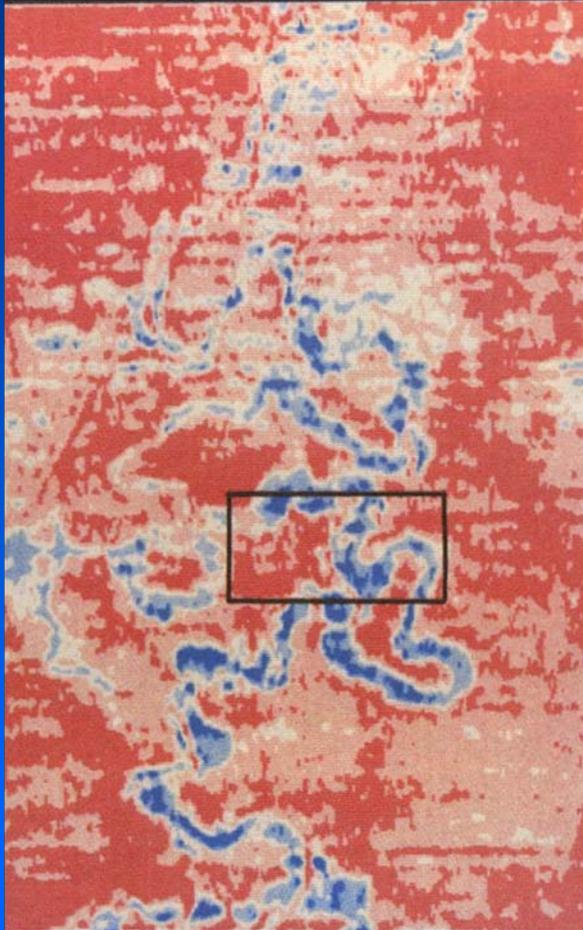


Example of a depositional environment analogue



Fluvial reservoir modelled with
Support vector regression

Сейсмика флювиальных отложений и модель множественных обучающихся ядер



Example of seismic data

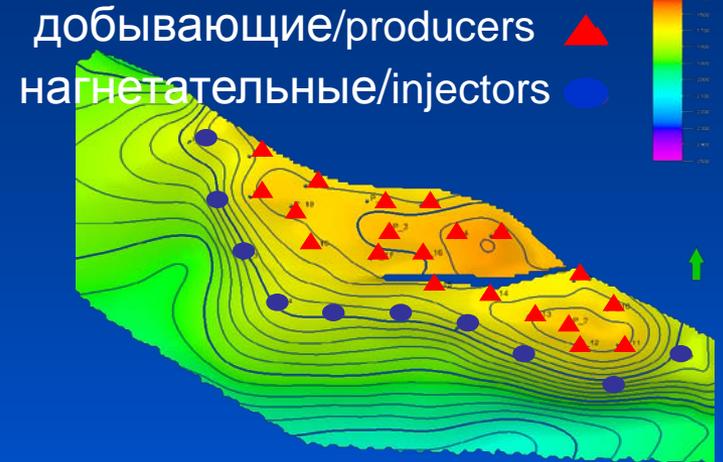
Fluvial reservoir modelled with Multiple kernel learning

Пласт Brugge: синтетический пример

Brugge: synthetic benchmark case study

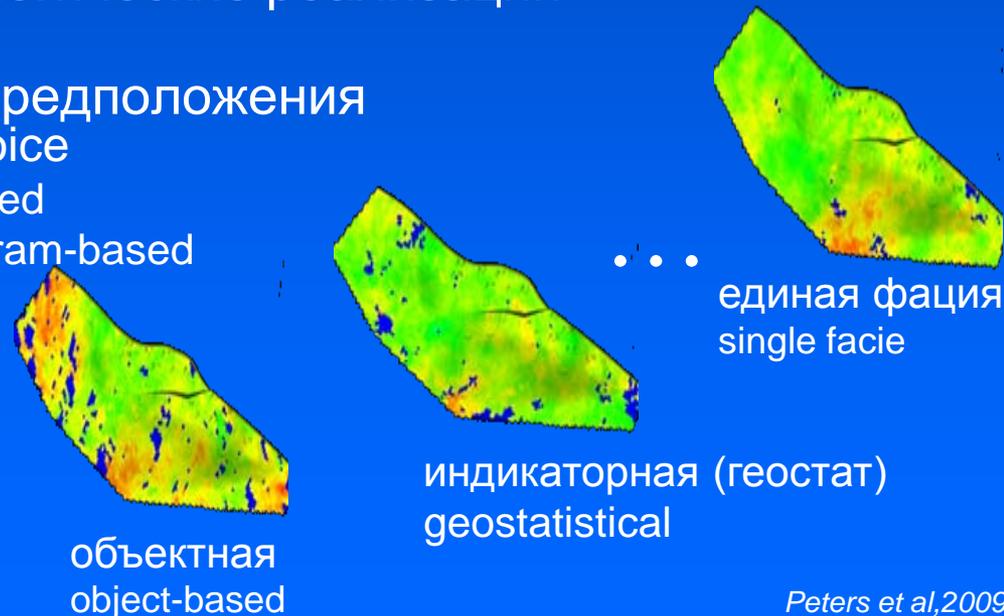
- Структура / Structure

- 4 системы отложения
depositional environments
 - флювиальная / fluvial channels
 - ближняя зона прибоя / upper shoreface
 - дальняя зона прибоя / lower shoreface
 - песчаная полка / sandy shelf



- Априорная информация / Prior data

- 104 пространственные геологические реализации
prior geological realisations
- Различные геологические предположения
Different geological scenario choice
 - объектная модель / object-based
 - вариограммная модель / variogram-based
 - фации / facies assumption
 - Корреляции / correlation



- Данные добычи (10 лет)
10 years of production history

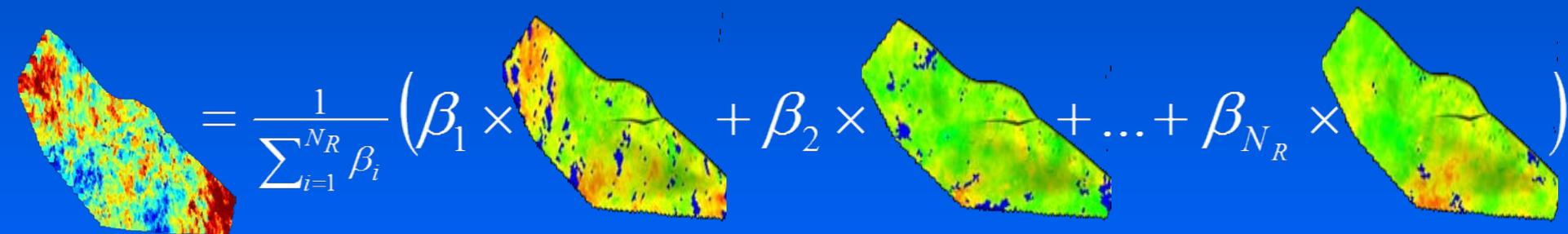
Модель главных компопнет: Brugge

PCA model for Brugge case study

- Каждая реализация y_i включает свойства пласта
Each realisation y_i includes reservoir properties:

$$y_i = [\varphi, NTG, \ln k_h, \ln k_v]; \quad i \in \{1, 2, \dots, 104\}$$

- Главные компоненты (линейные/ядерные)
Principal components (linear/kernel)

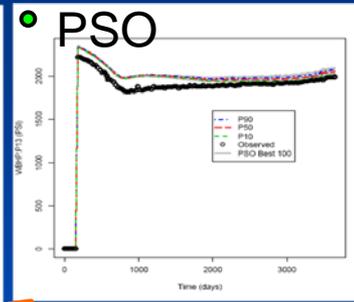
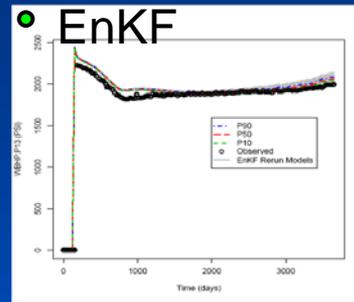


- Минимизация по вектору параметров β (множитель собственных векторов и значений)
Minimisation over β (eigenvectors & eigenvalues multipliers)

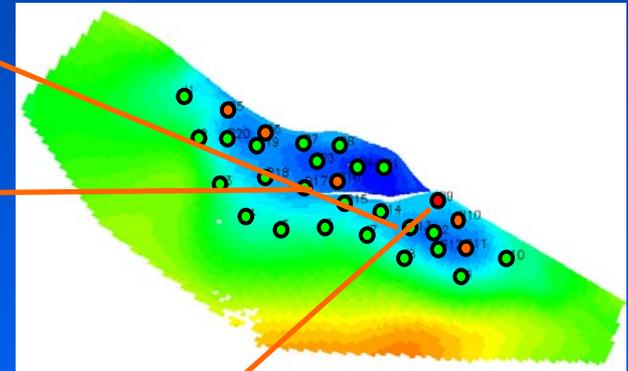
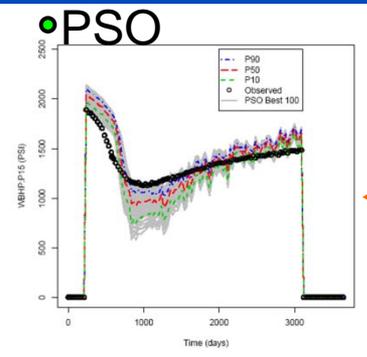
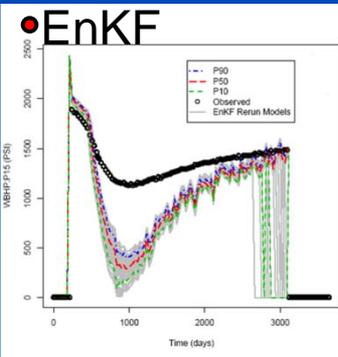
Сравнение качества адаптации: давление

History match comparison: pressure

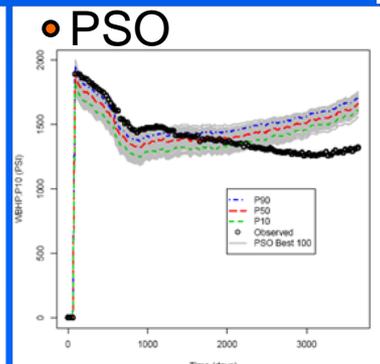
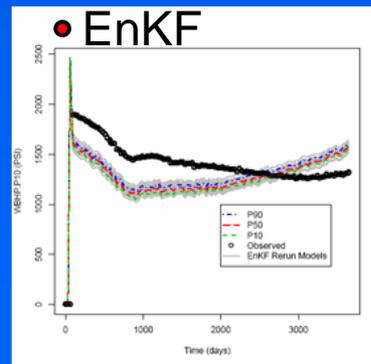
WBHP:P13



WBHP:P15



WBHP:P10



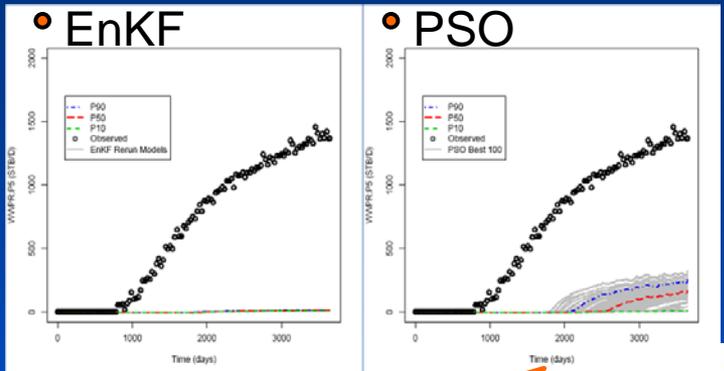
Качество адаптации misfit

Хор. (low)

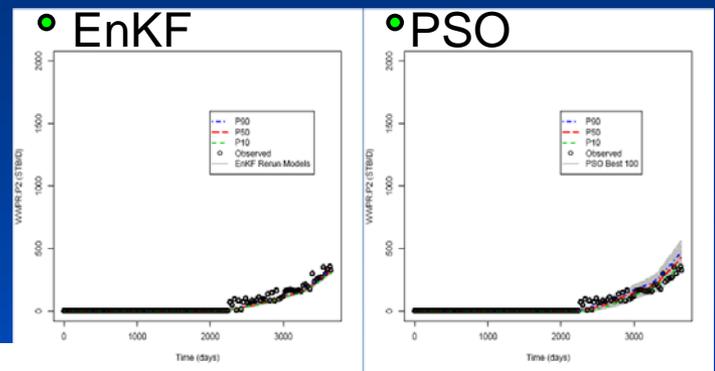
Плох. (high)

Сравнение качества адаптации: дебит воды

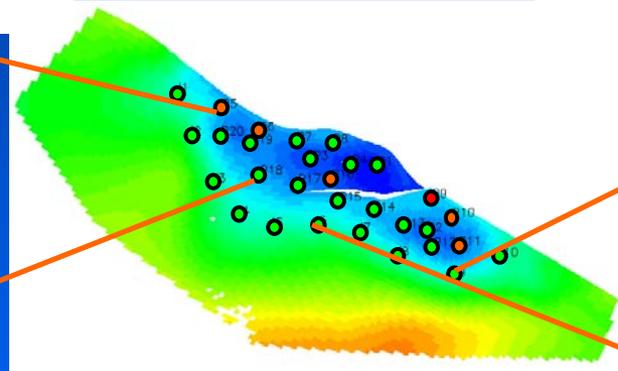
History match comparison: water production



WWPR:P5

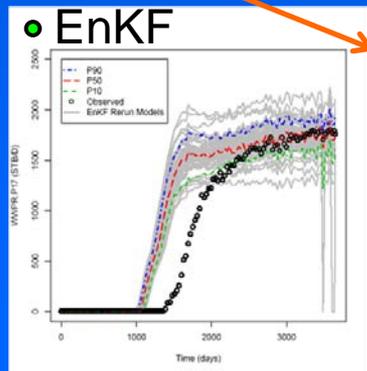
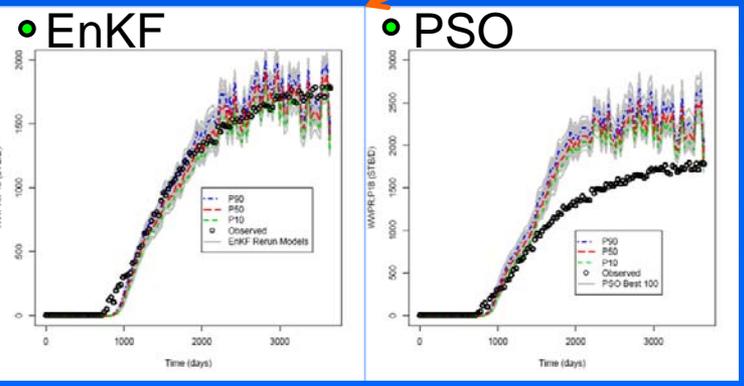


WWPR:P2



WWPR:P18

WWPR:P17



качество
адаптации
misfit



Заключение

Conclusion

- Быстрое получение адаптированных моделей с помощью стохастических алгоритмов
- Неопределенность прогноза модели пласта оценивается на основе ансамбля адаптированных моделей
- Прогнозы модели должны опираться на реалистичное геологическое описание с учётом априорных данных
- Интеграция данных и знаний с помощью обучающихся алгоритмов
- Fast history matching with adaptive stochastic sampling
- Prediction uncertainty is evaluated based on ensemble of HM models
- Prediction models should be geologically realistic based on prior knowledge
- Data and knowledge integration with learning based algorithms

Группа по моделированию неопределённости Uncertainty Quantification Group

<http://www.pet.hw.ac.uk/research-projects/uncertainty>

- Спонсоры научного консорциума

Uncertainty JIP sponsors:



ConocoPhillips



- – спинаут компания Хериот-Ватта

Heriot-Watt spinout, www.epistemy.com

Программное обеспечение для адаптации моделей и
оценки неопределённости

History matching and uncertainty quantification software



- Книга по геостатистике

на русском языке

Издательство Наука

Москва, 2010, 327 стр.

<http://sites.google.com/site/geostatistika/>
vasily.demyanov@pet.hw.ac.uk



Публикации

References

1. Arnold D. (2009) "History Matching and Forecasting With Uncertainty: Challenges and Proposed Solutions for Real Field Application", PhD thesis, Heriot-Watt University
2. Backhouse L., Demyanov V., Christie M. (2011) "Integrating Prior Knowledge through Multiple Kernel Learning for the Prediction of Petroleum Reservoir Properties", presented at International Association of Mathematical Geology conference (IAMG)
3. Christie M., Demyanov V., Erbas D. (2006) "Uncertainty Quantification for Porous Media Flows", Journal for Computational Physics, vol 217, pp 143-158.
4. Demyanov V. , Foresti L. , Christie M.A. , Kanevski M. (2011) "Reservoir Modelling with Feature Selection: A Kernel Learning Approach", SPE 141510, Reservoir Simulation Symposium, USA.
5. Demyanov V., Pozdnoukhov A., Kanevski M., Christie M. (2008) "Geomodelling of a Fluvial System with Semi-Supervised Support Vector Regression", Proceedings of the VII International Geostatistics Congress, GECAMIN, Chile, pp. 627-636.
6. Hajizadeh, Y., Christie, M., Demyanov, V, (2011) "Towards Multiobjective History Matching: Faster Convergence and Uncertainty Quantification", SPE 141111, Reservoir Simulation Symposium, USA
7. Hajizadeh, Y., Christie, M., Demyanov, V. (2010) "Comparative Study of Novel Population-Based Optimization Algorithms for History Matching and Uncertainty Quantification:PUNQ-S3 Revisited", SPE 136861, Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference
8. Mohamed, L., Christie M., Demyanov V. (2009) "Comparison of Stochastic Sampling Algorithms for Uncertainty Quantification", L (2010) SPE-119139-PA, *SPE Journal*, 15(1), 31-38
9. Mohamed, L., Christie, M., Demyanov, V., Robert, E., Kachuma, D. (2010) "Application of Particle Swarms for history matching in the Brugge reservoir", (2010), SPE 135264-MS, SPE Annual Technical Conference.
10. Rojas T., Demyanov V., Christie M., Arnold D. (2011) "Use of Geological Prior Information in Reservoir Facies Modelling", presented at International Association of Mathematical Geology conference (IAMG)
11. Valjak M., (2008) "History Matching and Forecasting With Uncertainty: Challenges and Proposed Solutions for Real Field Applications", PhD thesis, Heriot-Watt University