



**РОСНЕФТЬ**

**Применение системных подходов при  
разбуривании новых участков  
низкопроницаемых коллекторов  
ачимовских отложений с  
использованием инструментов  
автоматизированного подбора систем  
разработки**

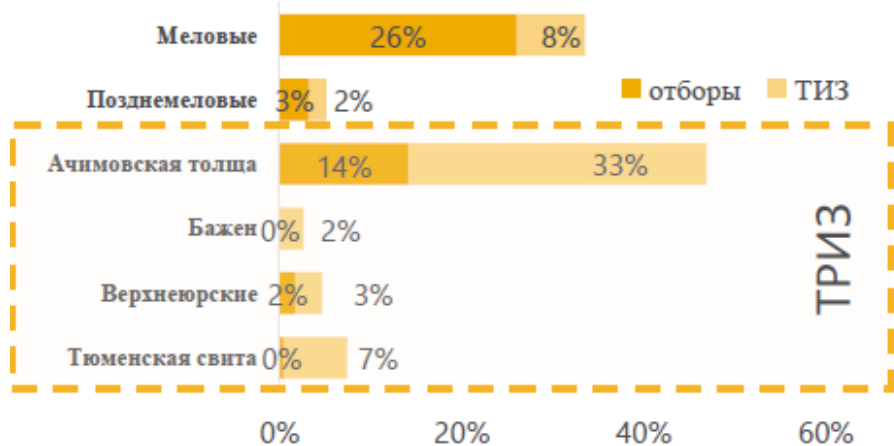
**А.Э. Федоров, И.Р. Дильмухаметов,  
А.А. Поваляев, М.С. Антонов**

**ООО «РН-БашНИПИнефть»**

**Международная научно-практическая НХ конференция, 16-18 ноября 2021 г.**

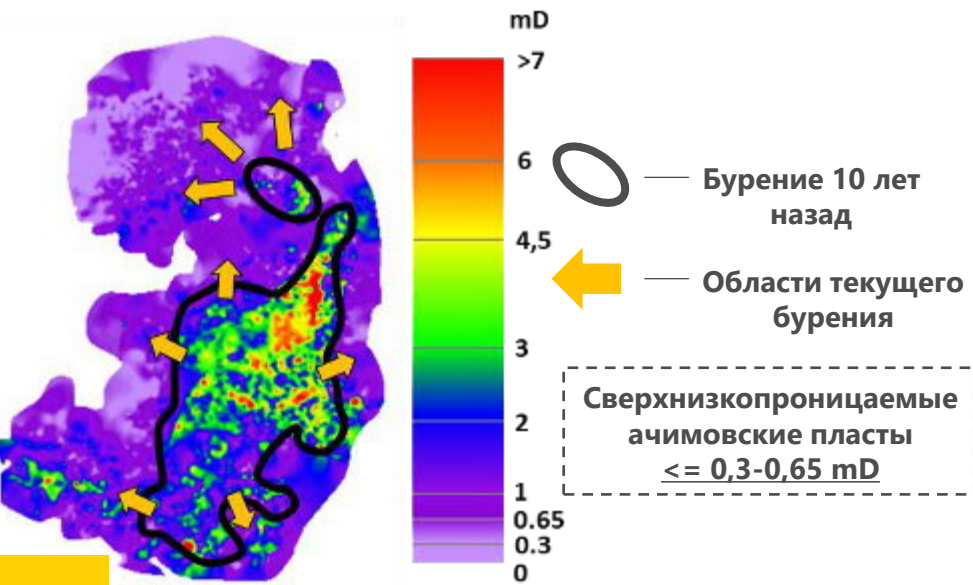
# Аннотация

ТРИЗ и накопленные отборы

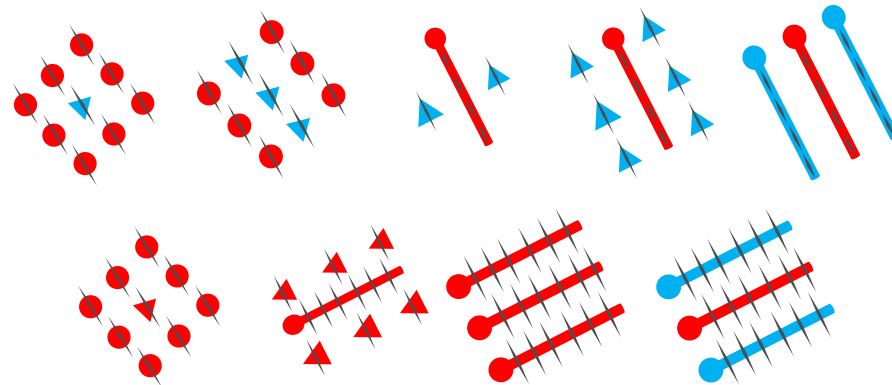


ТРИЗ

Пример: Приобское м/р (объект разработки АС10-12)



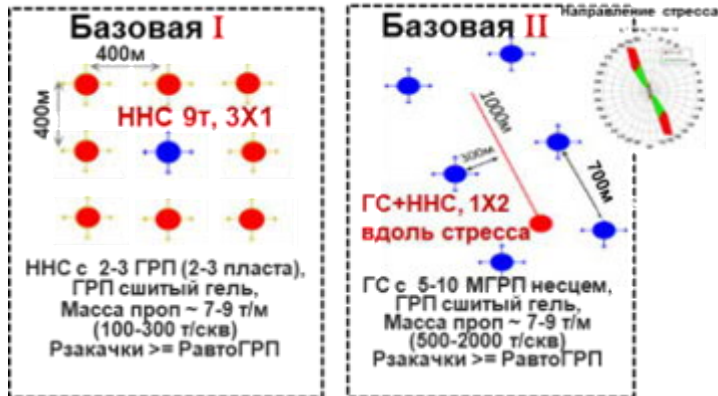
1. Какая система расстановки скважин (СРС) в конкретных геологических условиях ТРИЗ и изменяющихся сценарных условиях является оптимальной?



2. Разработка с ППД или на истощении?
3. Какие модификации СРС являются оптимальными (Лгс, поворот системы относительно регионального стресса, плотность сетки скважин, кол-во портов ГРП и т.д.)?
4. Разрабатывать каждый пласт в разрезе скважины по отдельности или совместно?
5. Как автоматизировать процесс проектирования?

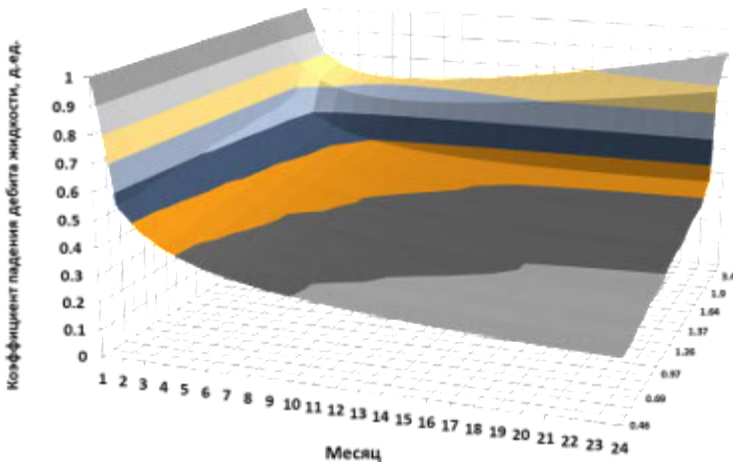
# Актуальность

## Реализованные системы разработки на пластах АС10-12 Приобского месторождения

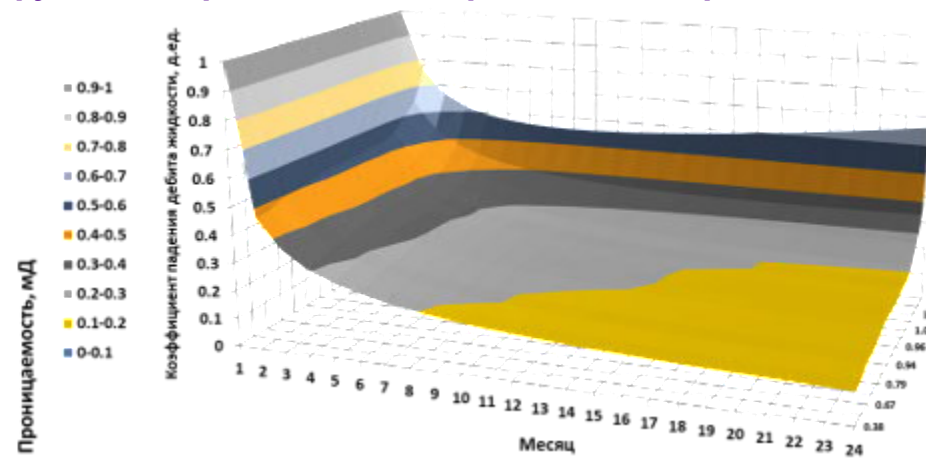


1. При разработке крупноплощадного объекта, характеризующегося различными областями осадконакопления (классами/кластерами скважин), типовыми системами разработки выделяются зависимости значений показателей разработки и, в частности, КП Qж от k для разного периода работы ННС с ГРП и ГС с МГРП;
2. Следует отметить:
  - a. Для кластеров с  $\sim k_{ср} \geq 1,5 - 2$  мД отмечается стабилизация («выход на полку») КП Qж, в т.ч. с последующим увеличением КП;
  - b. Для кластеров с  $\sim 1 \leq k_{ср} \leq 1,5 - 2$  мД, в общем случае, отмечается стабилизация («выход на полку») КП дебита жидкости на более поздних временах > 12 мес.;
  - c. Для кластеров с  $\sim k_{ср} \leq 1$  мД, в общем случае, отмечается уменьшение КП Qж вплоть до 24 мес.

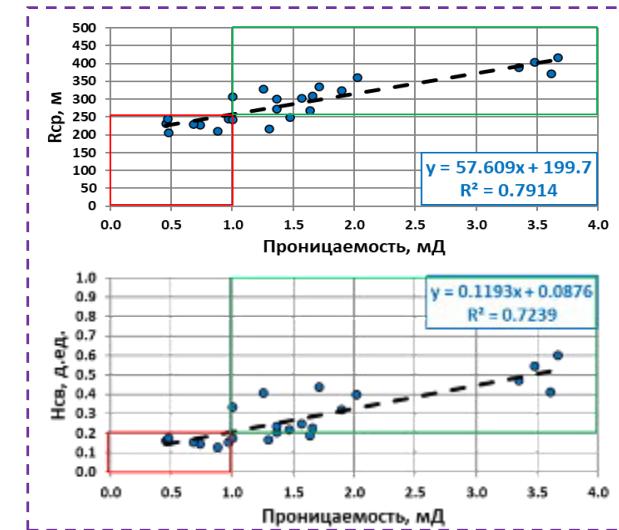
## Зависимость КП дебита жидкости ННС с ГРП (слева) и ГС с МГРП (справа) от средних значений проницаемости (мД) кластеров скважин пластов группы АС Приобского месторождения и периода оценки



$$КП_t = 0,7148 * t^{-0,432} * \exp(0,0824 * t^{0,525} * k)$$



$$КП_t = 0,6789 * t^{-0,655} * \exp(0,146 * t^{0,5169} * k)$$



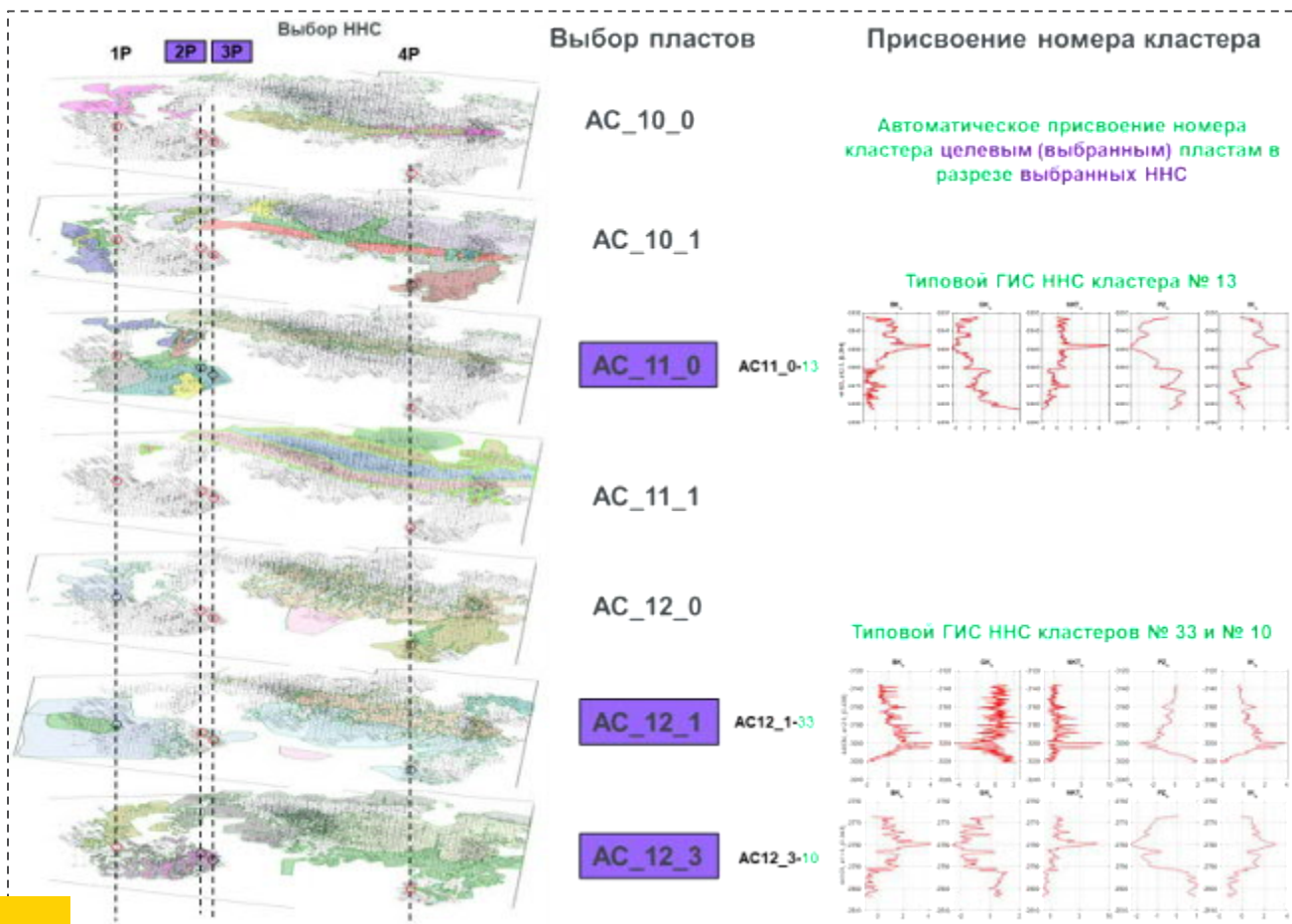
\*Краснов В.А., Судеев И.В., Юдин Е.В. и др. 2010. Определение параметров продуктивного пласта с помощью анализа промышленных данных работы добывающих скважин. *Научно-технический Вестник ОАО «НК «Роснефть»* (1): 30-34;

# Концепция определения оптимальной системы разработки низкопроницаемых и низкосвязных коллекторов

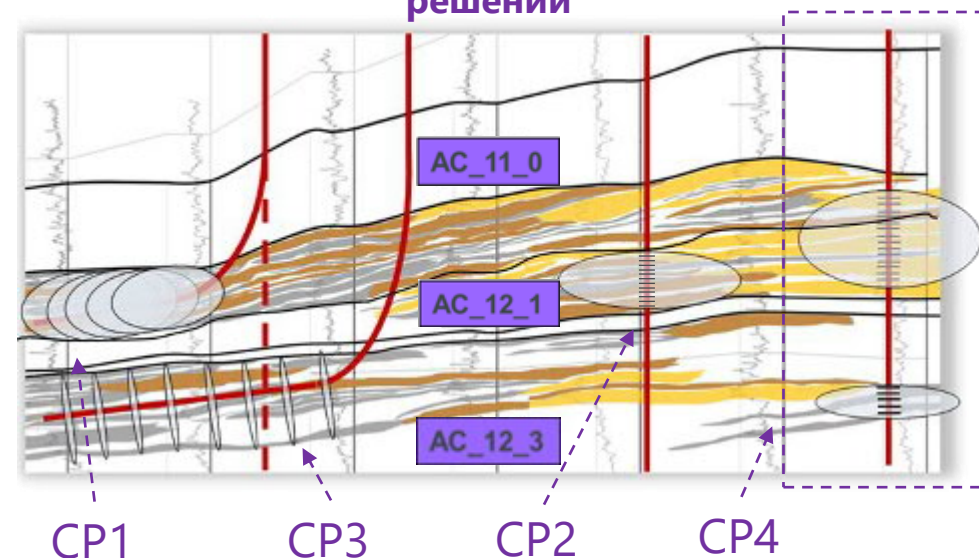


# Концептуальная схема работы модуля «Система поддержки принятия решений при разбурировании новых участков низкопроницаемых коллекторов»

## Концепция выбора ННС и пластов для принятия решений об оптимальных проектных решениях



## Концепция выбора оптимальных проектных решений

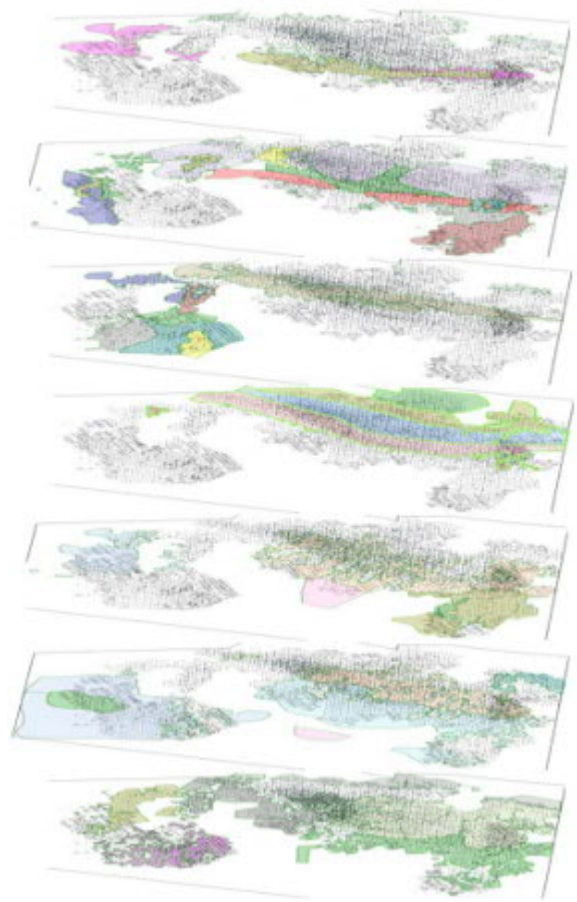


Выбор оптимальной CP по оптимизационному критерию NPV/S, млн.руб/Га

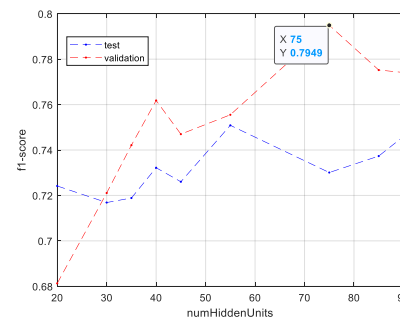
CP\Пласт	AC11_0	AC12_1	AC12_3	ИТОГ	AC11_0+AC12_1+AC12_3
CP1	10	4	-2	12	
CP2	5	8	1	14	
CP3	4	5	7	16	
Комбинация				25	
CP4(совместная)					30

# Решение задачи кластеризации и классификации скважин

## Выделение кластеров/классов скважин\*



- 1. Ручное** выделение классов/кластеров скважин (в т.ч. в неразбуренных зонах); **Субъективный подход к интерпретации и высокие трудо-/время-затраты.**
- Решение задачи классификации:** автоматическое присвоение номера класса неразбуренным участкам, используя алгоритмы ИИ, предварительно обученные на данных «учителя» (**LSTM нейронные сети**) – более 9000 наборов кривых стандартного комплекса ГИС ННС) **Высокое качество, но также высокие трудо-/время-затраты.**

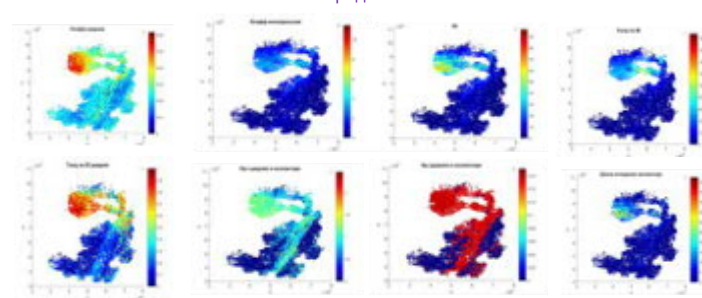


num Hidden Units	Class number																		Mean	
	0	6	7	9	12	13	14	15	29	test	val	test	val	test	val	test	val	test	val	
20	0.65	0.84	0.90	0.88	0.73	0.54	0.87	0.83	0.76	0.75	0.86	0.68	0.61	0.46	0.57	0.38	0.77	0.77	0.72	0.68
30	0.63	0.85	0.89	0.87	0.65	0.56	0.89	0.87	0.81	0.81	0.67	0.67	0.53	0.58	0.59	0.50	0.80	0.78	0.72	0.72
35	0.64	0.81	0.87	0.88	0.66	0.69	0.86	0.83	0.81	0.77	0.71	0.73	0.57	0.60	0.59	0.64	0.76	0.73	0.72	0.74
40	0.68	0.87	0.92	0.92	0.67	0.64	0.87	0.86	0.77	0.77	0.72	0.70	0.66	0.57	0.58	0.75	0.73	0.78	0.73	0.76
45	0.68	0.80	0.93	0.92	0.66	0.70	0.91	0.88	0.73	0.79	0.71	0.72	0.58	0.61	0.58	0.55	0.76	0.76	0.73	0.75
55	0.70	0.82	0.88	0.91	0.74	0.70	0.88	0.84	0.80	0.80	0.71	0.69	0.57	0.59	0.71	0.71	0.77	0.73	0.75	0.76
75	0.63	0.89	0.90	0.92	0.60	0.63	0.90	0.85	0.86	0.88	0.70	0.74	0.58	0.61	0.69	0.83	0.70	0.80	0.73	0.79
85	0.67	0.86	0.86	0.90	0.62	0.67	0.90	0.86	0.79	0.82	0.67	0.70	0.59	0.66	0.71	0.72	0.82	0.78	0.74	0.78
90	0.67	0.79	0.91	0.93	0.69	0.74	0.91	0.88	0.79	0.78	0.69	0.73	0.64	0.64	0.71	0.71	0.70	0.76	0.75	0.77

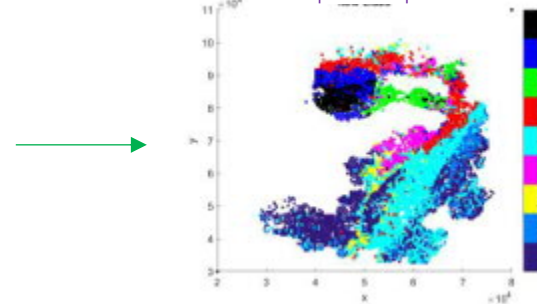
На Приобском месторождении было выделено порядка 40 уникальных классов-аналогов на 8 пластах группы АС Приобского месторождения, каждый из которых характеризуется уникальным геологическими условиями и добычными характеристиками

- 3. Решение задачи кластеризации:** автоматическое выделение кластеров скважин на всех пластах целевых объектов месторождений, используя алгоритмы ИИ без обучения (**k-means – по 12-ти интегральным ПФХ** и автоматическое присвоение номера кластера каждой новой ННС - **удовлетворительное качество и приемлемые трудо-/время-затраты.**

Распределение ПФХ


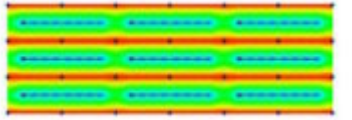
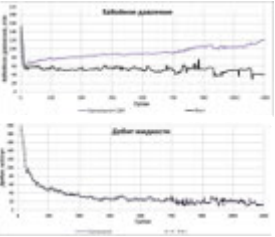

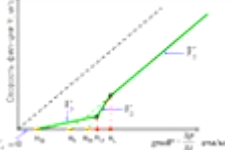
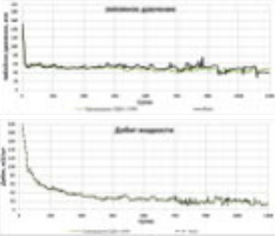

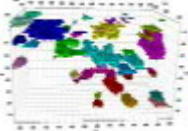
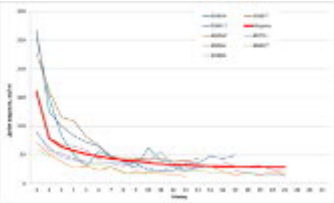

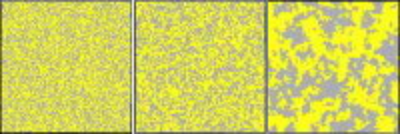
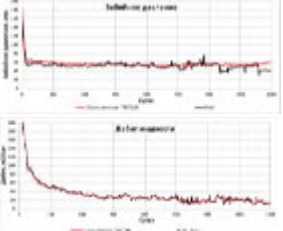










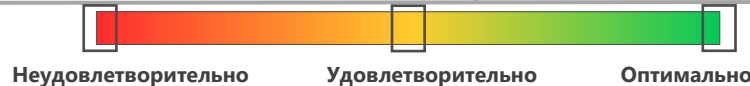
Карта кластеров



\*Разные цвета – разные кластеры

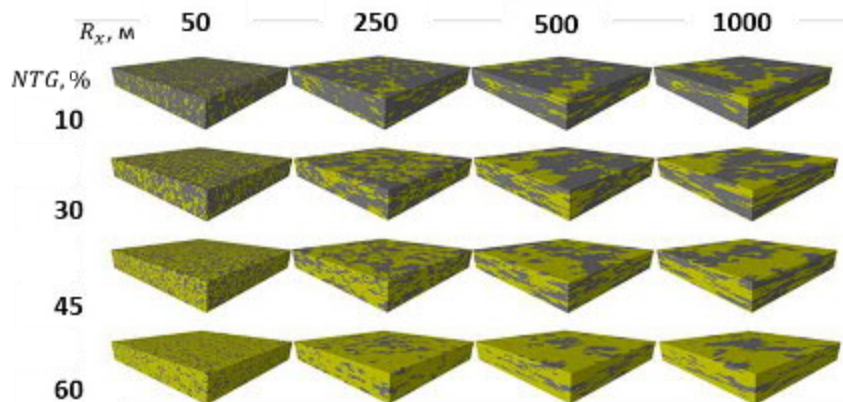
# Сравнительный анализ подходов к моделированию низкопроницаемых и низкосвязных коллекторов

Геология	2D однослойная модель (линейная фильтрация)	2D однослойная модель (нелинейная фильтрация)	3D секторная модель многослойная модель	3D синтетическая стохастическая модель
Адаптация ГДМ	  <p>Не учитывает неоднородность пласта</p>  <p>Невозможна адаптация Рзаб при высоких ТП Qж</p>	  <p>Учет эффектов нелинейной фильтрации - аналог несвязности</p>  <p>Учет эффектов нелинейной фильтрации</p>	  <p>Учет реальной геологии, но требуется постоянная актуализация секторных ГМ</p>  <p>Адаптация районов с актуальными секторными ГМ, но неоднозначность проведения вариационного анализа</p>	  <p>Вариация различных вариантов геологической неоднородности</p>  <p>Учет параметров, характеризующих «несвязность» пласта</p>
Прогноз	 <p>Оптимистичность прогноза</p>	 <p>Качество прогноза соответствует качеству адаптации</p>	 <p>Качество прогноза соответствует качеству адаптации</p>	 <p>Качество прогноза соответствует качеству адаптации</p>
Обоснованность	 <p>Упрощенная модель пласта</p>	 <p>Недостаточно данных (лабораторные исследования, промысловые методы), обосновывающих наличие НЛФ</p>		 <p>Косвенное подтверждение неоднородности коллектора по данным добычи. Высокая неопределенность исходных данных.</p>



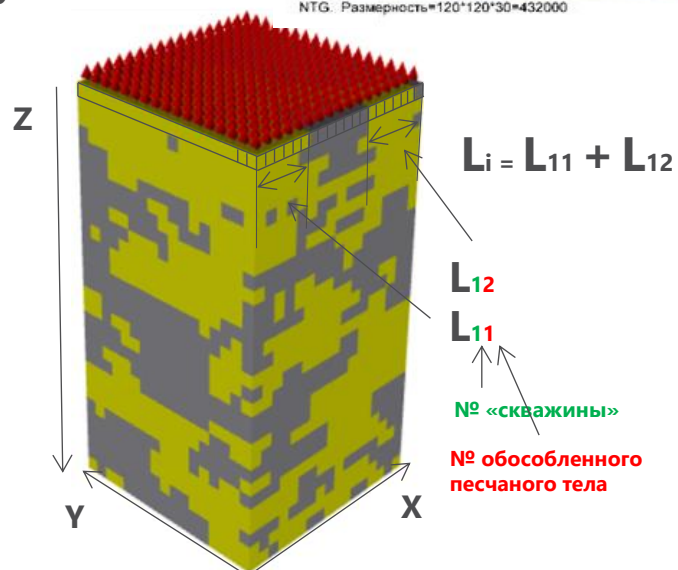
# Реализованный подход к моделированию низкопроницаемых и низкосвязных коллекторов

## Воспроизведение вертикальной и латеральной неоднородности

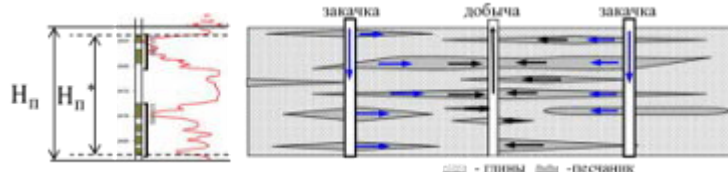


$R_x=R_y, R_z = 5 \text{ м}$

NTG. Размерность=120\*120\*30\*432000



## Характеристика латеральной неоднородности (линзовидное строение пласта)



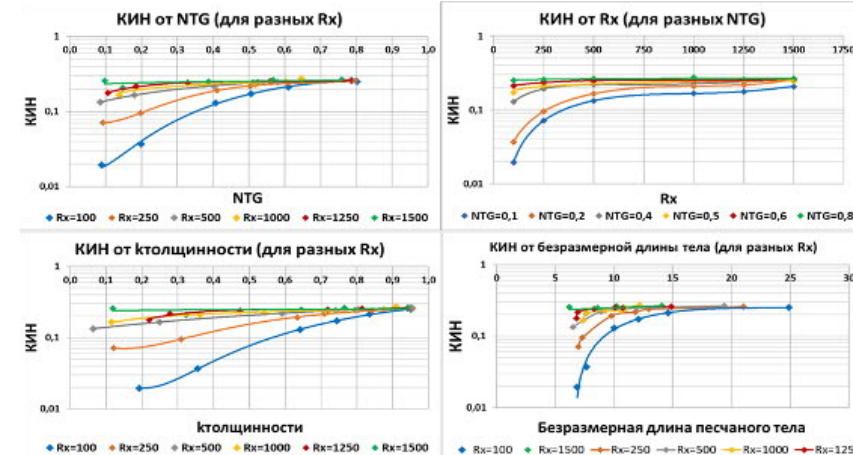
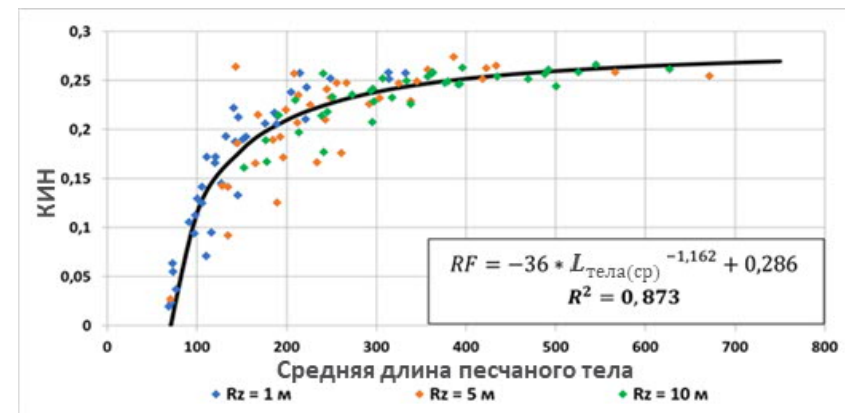
\*Юдин Е.В. Моделирование фильтрации жидкости в неоднородных средах для анализа и планирования разработки нефтяных месторождений

## Характеристика латеральной неоднородности в ГДМ

- $L_{\text{тела(ср)}} = \frac{L_{\text{тела(ср)}}}{\sqrt{R_x \cdot R_z}}$  - безразмерная средняя длина песчаного тела;
- $L_{\text{тела(ср)}} = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{N}$  - средняя длина песчаного тела;
- $L_{\text{тела(ср)}}(R_z=5 \text{ м}) = 2.075 \cdot \exp(1,4465 \cdot NTG) \cdot \sqrt{R_x \cdot R_z}$ , где  $L_i$  - эффективная длина  $i$ -й фиктивной горизонтальной скважины в направлении X,
- $k_i$  - число обособленных линз в  $i$ -й скважине,
- $R_x$  - ранг вариограммы по оси X;
- $R_x=R_y$ ;
- $R_z$  - ранг вариограммы по оси Z.

Средняя длина песчаного тела, м					
$R_x \backslash NTG$	0.1	0.3	0.45	0.6	
50	40	54	67	83	
250	90	120	150	186	
500	128	170	212	263	
1000	180	241	299	372	

## Влияние неоднородности на показатели разработки

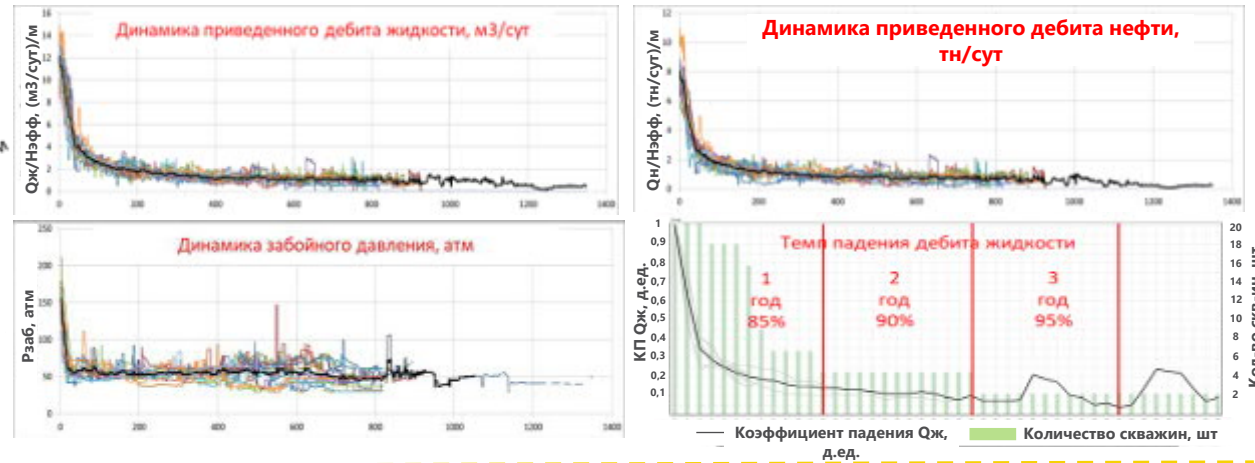
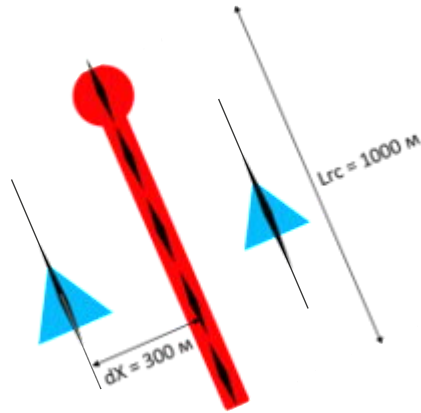
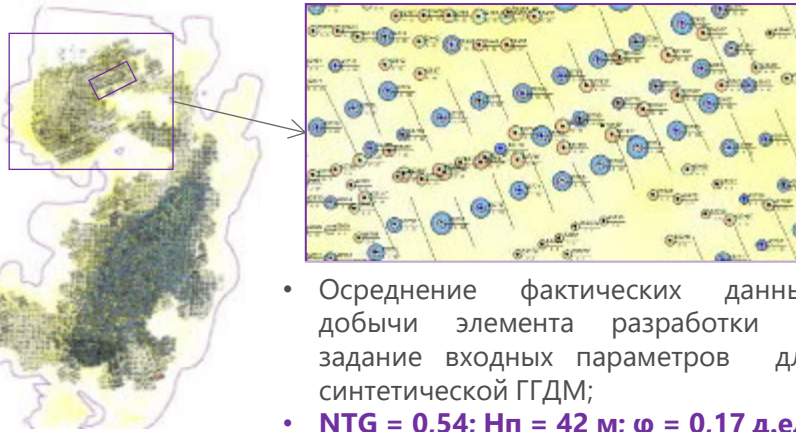


**Примечание:** КИН и другие показатели разработки зависят в основном от средней длины песчаного тела, а не от NTG и  $R_x$  в отдельности.

\* Федоров А.Э., Аминова А.А., Дильмухаметов И.Р. [2019] Анализ неопределенностей геологической неоднородности при стохастическом моделировании геологических тел. Нефтяное хозяйство, № 9, 2019, стр. 24–29.



# Пример адаптации фактической динамики работы среднего элемента разработки участка с низкой проницаемостью и высокой неоднородностью



## Легенда

	ko, мД	krw	SWAT	VAR01	VAR02	H0, атм/м	H01, атм/м	H02, атм/м	HL, атм/м	HL1, атм/м	γ, м	NTG	Качество
Однородная модель	0,1	0,15	0,325										Неуд
Однородная модель с NLF	0,1	0,15	0,325	3,3	0,47	0	2,97		0 3,3	3,125			Отл
Стохастическая (неоднородная) модель_var1	0,15	0,1	0,325								50	0,54	Отл
Стохастическая_var2	0,15	0,15	0,325								50	0,54	Отл
Стохастическая_var3	0,1	0,15	0,325								50	0,54	Неуд

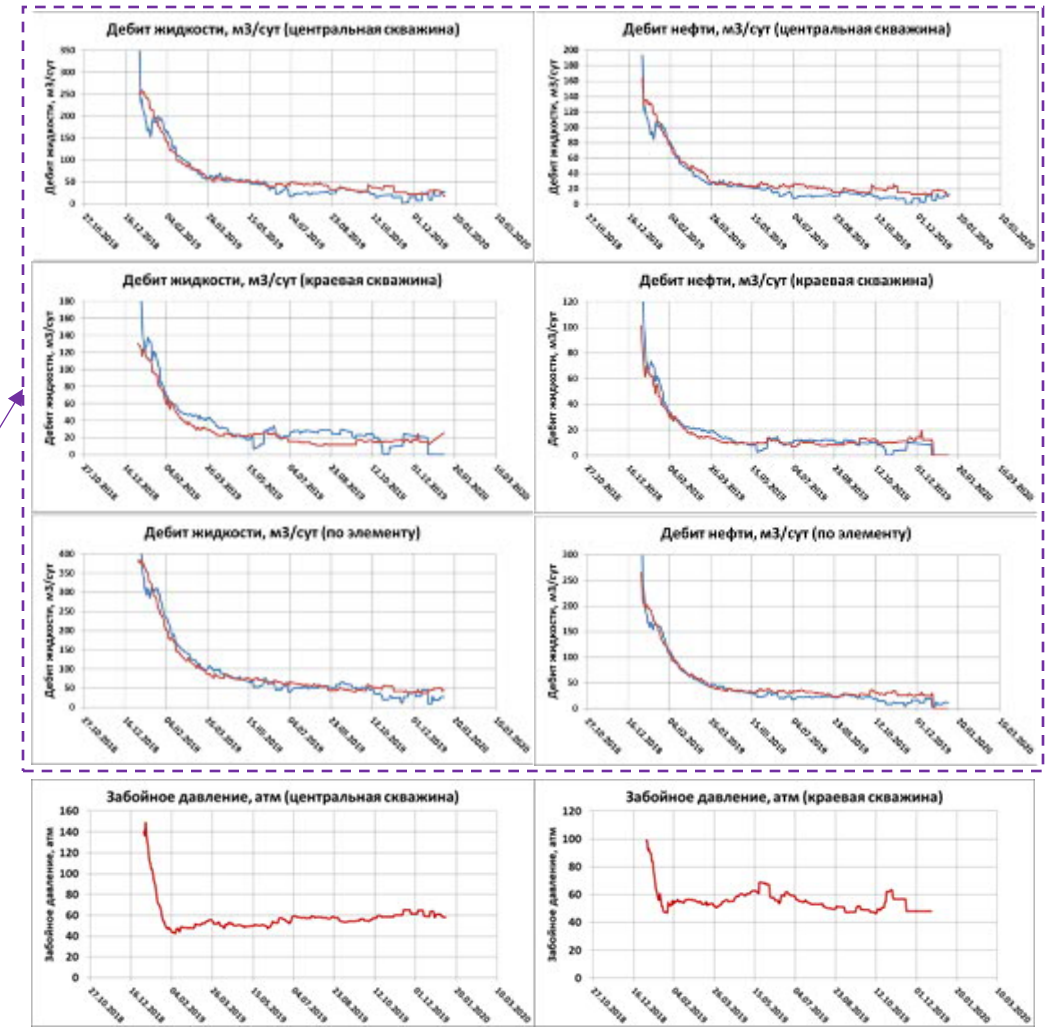
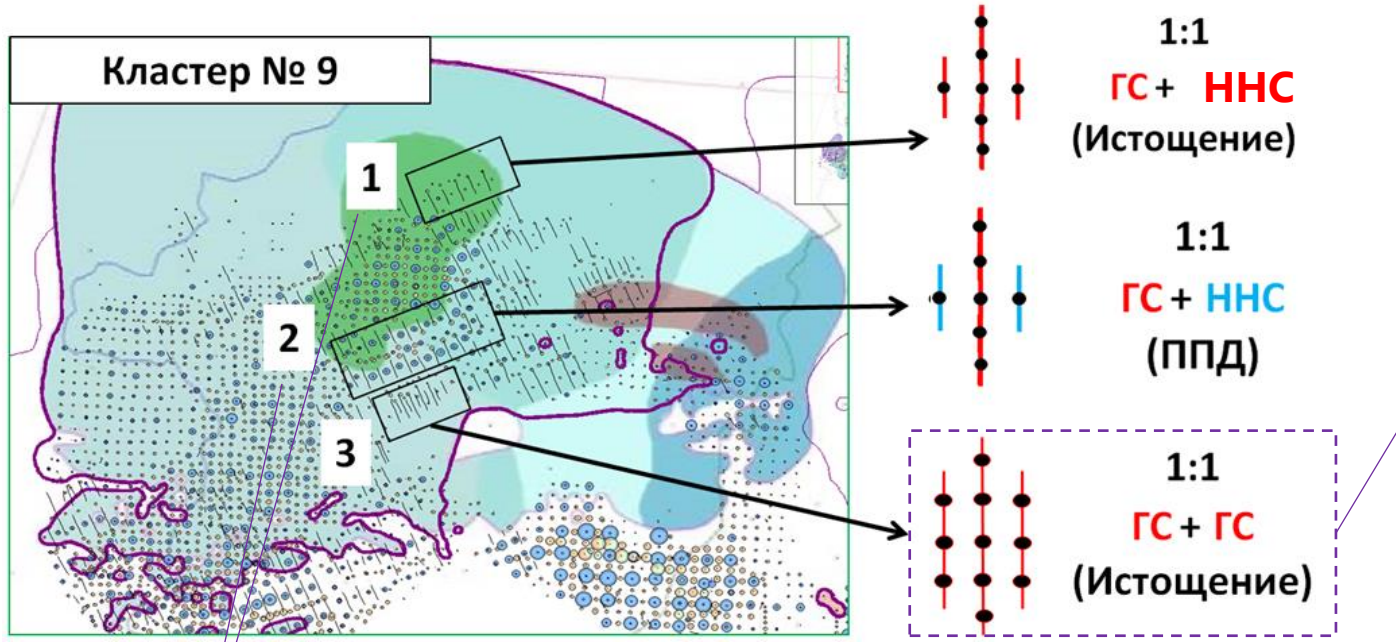
Лтела\_ср = 100 м



## Выводы:

- При использовании **однородной (однослойной) ГДМ без НЛФ** адекватной адаптации фактической динамики работы скважин добиться не возможно;
- При использовании **однородной (однослойной) ГДМ с НЛФ** возможно воспроизвести фактическую динамику работы скважин – **с помощью параметров нелинейности**;
- При использовании **стохастической ГГДМ** возможно воспроизвести фактическую динамику работы скважин – **с помощью параметров геологической неоднородности**;

# Апробация 3D стохастических ГДМ для прогнозирования динамики работы скважин, вскрывающих низкопроницаемые и низкосвязные коллектора



«Средние скважины» группы 3 были использованы для проведения слепого теста (элемент разработки 1:1 ГС/ГС (на истощении) с  $dX \approx 200-250$  м,  $L_{гс}$  краевых скважин = 500 м и  $L_{гс}$  центральной скважины = 1000 м) при прочих равных геологических условиях, соответствующих кластеру №9.

## Параметры адаптации фактической динамики работы «средних элементов» 1, 2

k, мД	krw (Sor)	SWATINIT	Rz, м	Rx, м	Lтела(ср), м
0,15	0,1	0,325	5	50	100

# Многовариантные гидродинамические расчеты эффективности различных систем разработки для геологических условий Ачимовских отложений и их аналогов

## Исходные данные/варьируемые параметры:

### 1. Базовые системы разработки/системы расстановки скважин:

- Заводнение;
- Истощение.

### 2. Вариация геологических условий:

- Проницаемость -  $k$  (0.05 мД ÷ 2 мД);
- Пористость -  $\phi$  (6% ÷ 17%);
- Песчаность - NTG (0.1 ÷ 0.6);
- Главный ранг вариограммы -  $R_x$  (50 м ÷ 1000 м);
- $K_{rw}(S_{or})$  (0.05 ÷ 0.30);
- Начальная водонасыщенность - SWATINIT (0.30 ÷ 0.50).

**3 млн. расчетов**

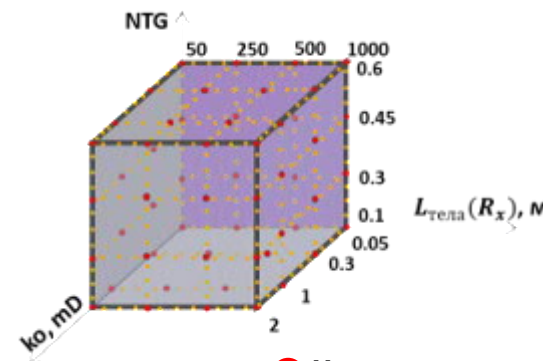
### 3. Вариация модификаций систем расстановки скважин:

- Ориентация системы расстановки скважин относительно регионального стресса ( $0^\circ \div 90^\circ$ );
- Расстояние м/у доб. и нагн. Скважинами -  $dX$  (100 м ÷ 300 м);
- $L_{гс}$  (1000 м ÷ 2000 м);
- $X_f$  добывающей скважины (50 м ÷ 150 м);
- $X_f$  нагнетательной скважины (50 м ÷ 300 м);
- Расстояние между трещинами -  $dFrac$  (50 м ÷ 100 м);
- Время отработки нагнетательных скважин в добыче (1-6 месяцев).

### 4. Период прогноза (1-100 лет).



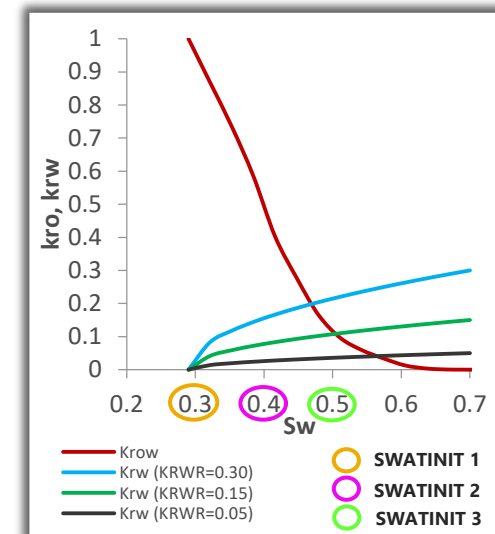
Матрица/палетка комбинации геологических условий низкопроницаемых коллекторов



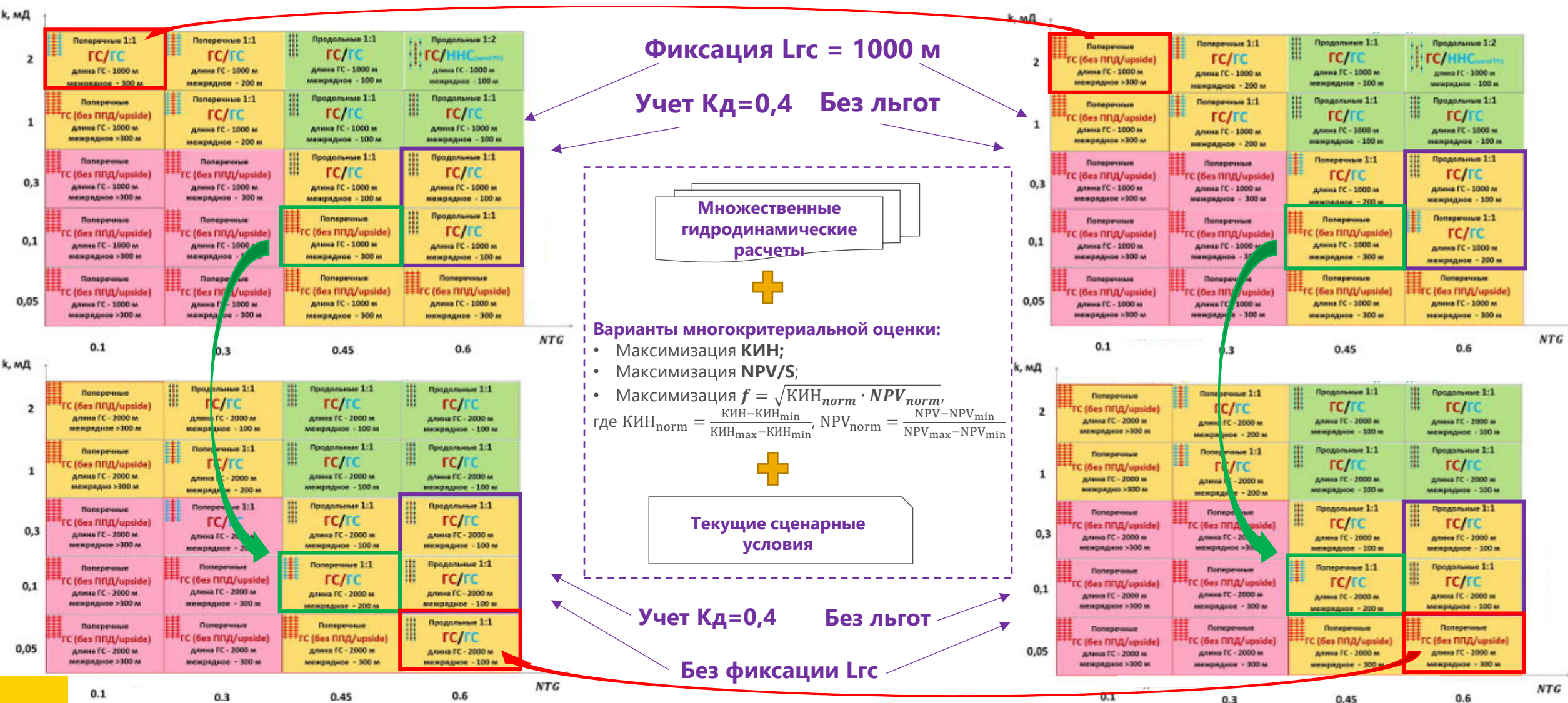
**NTG** – Песчаность;  
**ko** – Проницаемость;  
**L<sub>тела</sub>(R<sub>x</sub>)** – Длина песчаного тела (определяется рангом главной вариограммы)

- Численные расчеты (в ГДМ симуляторе)
- Результаты расчетов суррогатной модели (нейросетевая аппроксимация)

Зависимости ОФП



# Палетки оптимальных систем разработки (по критерию NPV/S) при R<sub>x</sub>=50 м



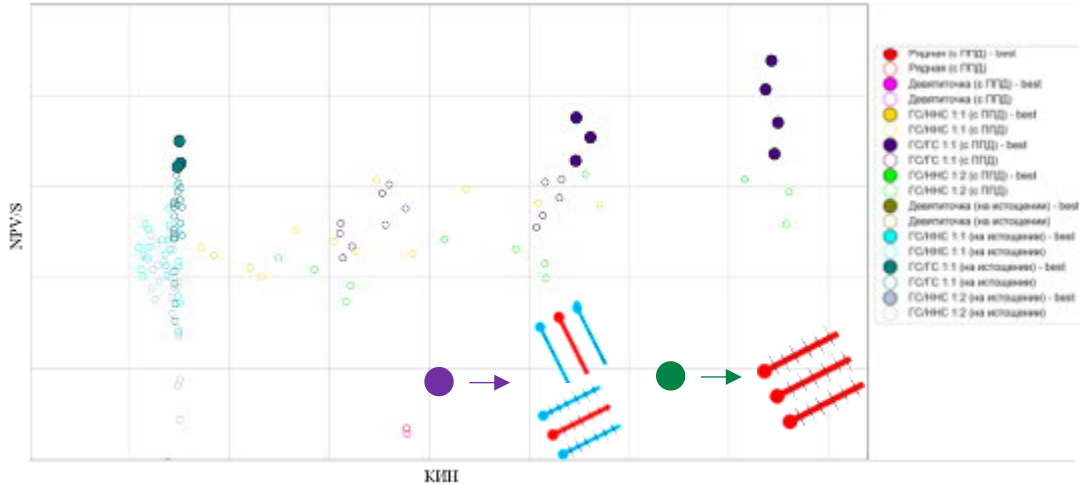
## Варианты многокритериальной оценки:

- Максимизация **КИН**;
- Максимизация **NPV/S**;
- Максимизация  $f = \sqrt{КИН_{norm} \cdot NPV_{norm}}$

где  $КИН_{norm} = \frac{КИН - КИН_{min}}{КИН_{max} - КИН_{min}}$ ,  $NPV_{norm} = \frac{NPV - NPV_{min}}{NPV_{max} - NPV_{min}}$

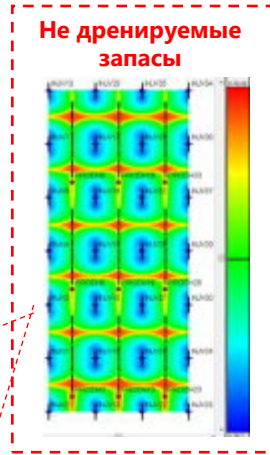
# Кросс-плоты эффективности различных систем разработки при разработке сверхнизкопроницаемых и неоднородных коллекторов

Кросс-плот NPV/Га и КИН СРС, использующихся для построения палетки для значений  $k = 0.1$  мД, NTG = 0.6,  $R_x = 50$  м  
NPV/S vs. КИН



**Примечание:**

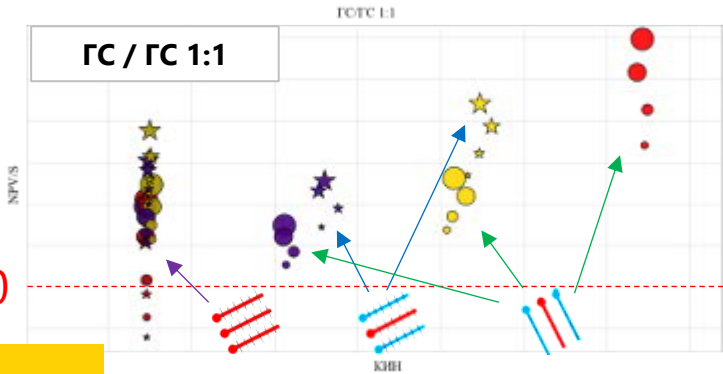
- СРС с добывающими и нагнетательными ГС в соотношении 1:1 с заводнением и на истощении:
  - заводнение эффективно для всех рассматриваемых случаев;
  - целесообразно бурение с  $dX \leq 200$  м и  $L_{gc} \rightarrow 2000$  м;
  - истощение эффективно при  $dX \leq 200$  и любых  $L_{gc}$
- СРС с добывающими ГС и нагнетательными ННС в соотношении 1:2 с заводнением и на истощении:
  - заводнение эффективно при  $dX \leq 200$  и любых  $L_{gc}$ ;
  - базовая СРС в рассматриваемых условиях не эффективна;
  - целесообразно бурение с  $dX \leq 200$  м и  $L_{gc} \rightarrow 2000$  м;
- СРС с добывающими ГС и нагнетательными ННС в соотношении 1:1 с заводнением и на истощении:
  - заводнение эффективно для всех рассматриваемых случаев;
  - базовая СРС в рассматриваемых условиях не эффективна;
  - целесообразно бурение с  $dX \leq 200$  м и  $L_{gc} \rightarrow 2000$  м;



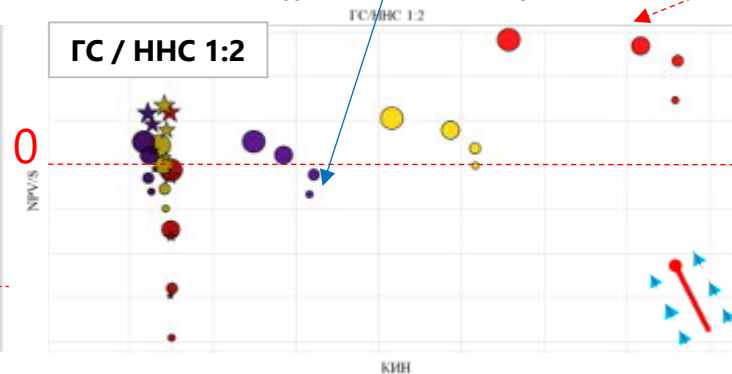
**Легенда**

- Поворот = 0 град.
- ★ Поворот = 90 град.
- ▼ Поворот = 45 град.
- DX = 100 м
- DX = 200 м
- DX = 300 м
- $L_{gc} = 1000$  м
- $L_{gc} = 1200$  м
- $L_{gc} = 1500$  м
- $L_{gc} = 2000$  м
- 1 ГРП на 50 м
- 1 ГРП на 100 м
- ▨ На истощении

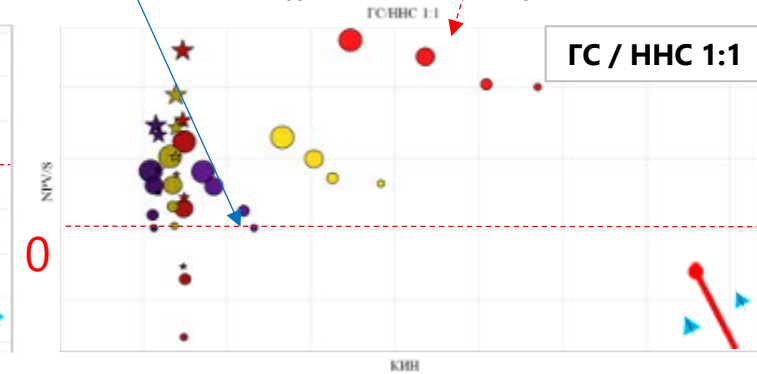
Кросс-плот NPV/Га и КИН СРС с добывающими и нагнетательными ГС в соотношении 1:1 с заводнением и на истощении



Кросс-плот NPV/Га и КИН СРС с добывающими ГС и нагнетательными ННС в соотношении 1:2 с заводнением и на истощении

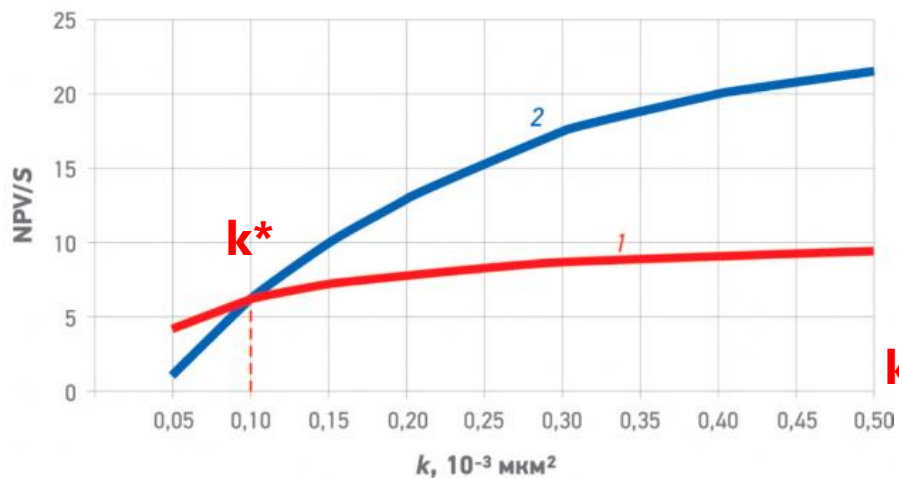


Кросс-плот NPV/Га и КИН СРС с добывающими ГС и нагнетательными ННС в соотношении 1:1 с заводнением и на истощении



# Палетки изменения значения $k^*$ (по показателю NPV/S) для работы СРС на режиме истощения и с применением заводнения для различных геологических условий

Зависимость показателя NPV/S от проницаемости  $k$  для работы системы на режиме истощения (1) и с применением заводнения (2) ( $S$  – площадь, Га)



В таблицах – значения  $k^*$

В таблицах – значения  $k^*$

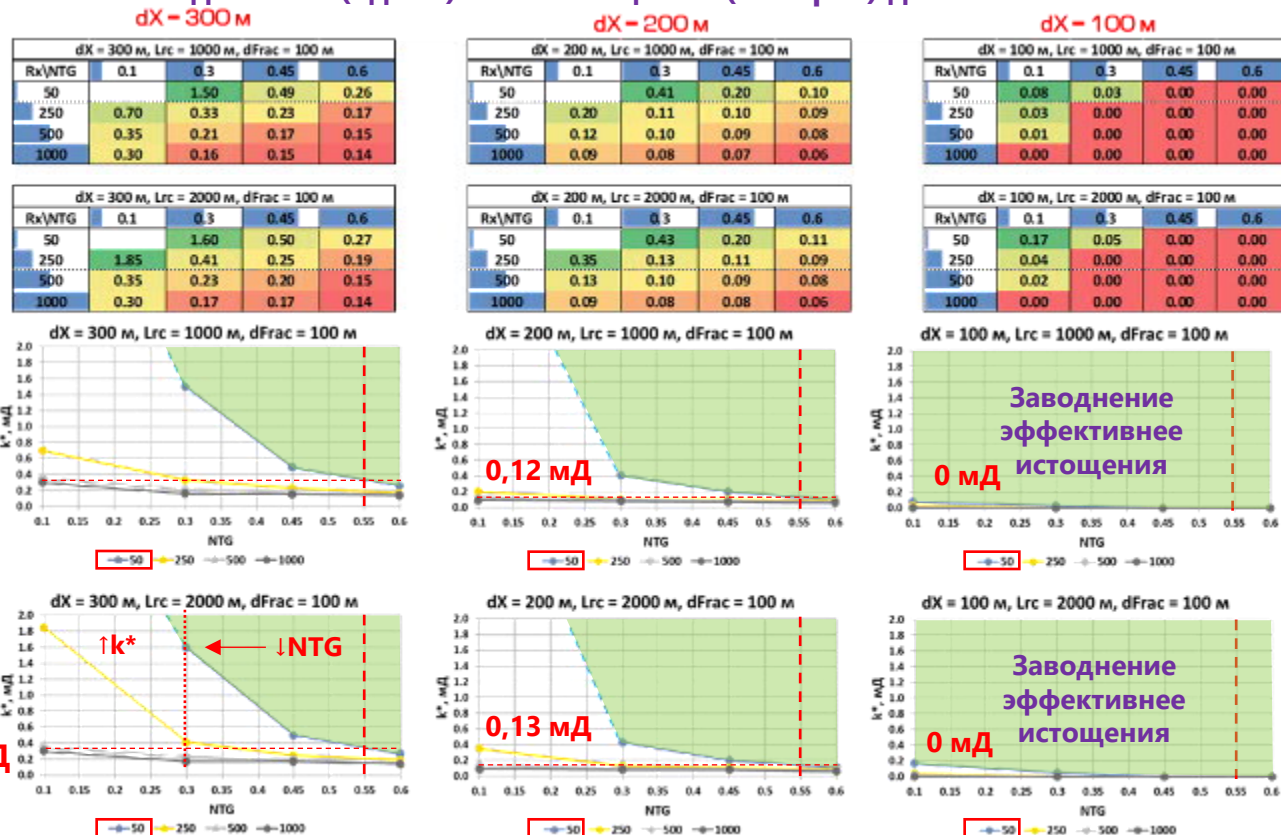
$k^* = 0,3$  мД

$k^* = 0,35$  мД

$X_{fдоб} = 50$  м  $X_{fнагн} = 300$  м

\*Е.В. Белоногов, А.А. Пустовских, к.ф.-м.н., А.Н. Ситников «Критерий выбора способа разработки низкопроницаемых коллекторов». Научно-Технический Центр «Газпром нефти» (ООО «Газпромнефть НТЦ»)

Сравнение СРС с добывающими и нагнетательными ГС в соотношении 1:1 заводнением (вдоль) и на истощении (поперек) для  $dFrac = 100$  м



## Примечание:

1. Значение  $k^* = 0$  соответствует случаям, когда эффективность СРС с заводнением (0 гр) выше СРС (90 гр) на истощении в диапазоне изменения  $k = \{0 - 2$  мД};
2. Увеличение технологической сложности, в частности увеличение длины ГС приводит к увеличению  $k^*$  или его неизменности (например, при высоких значениях NTG и/или Rx) – увеличение длины ГС для СРС на истощении (90 гр) дает больший прирост добычи, чем для СР 13 (0 гр) с заводнением;
3. Уменьшение расстояния м/у скважинами приводит к уменьшению  $k^*$ , т.е. СРС с заводнением становятся эффективнее при меньших значениях  $k$ .

1. Представленный подход к **многовариантной оптимизации систем разработки** низкопроницаемых и низкосвязных коллекторов – аналогов Ачимовских отложений позволяет **оперативно** подбирать **оптимальные проектные решения** на перспективных новых участках бурения скважин и **проводить анализ чувствительности** эффективности оптимальных проектных решений к изменению внешних факторов (геологических, технологических и сценарных условий);
2. Определение основных параметров (геологических/технологических), влияющих на показатели разработки и количественная оценка влияния данных параметров на показатели разработки является ключевым фактором при оптимизации проектных решений;
3. Проведены прогнозные многовариантные численные расчеты для различных СРС в различных геологических условиях, характеризующих Ачимовские отложения и их аналоги  $\approx 3$  млн. расчетов.
4. Проведена апробация 3D синтетических стохастических ГГДМ для прогнозирования изменения динамики работы скважин, вскрывающих низкопроницаемые и низкосвязные коллектора на примере участков Приобского месторождения;
5. На текущий момент, автоматизированный интеллектуальный помощник в выборе систем разработки в ТРИЗ активно используется для оптимизации проектных решений при разбуривании новых участков низкопроницаемых и низкосвязных коллекторов – аналогов Ачимовских отложений (охват более 30 кустовых площадок, более 500 ГС с МГРП и ННС с ГРП).
6. Положительный опыт применения инструмента послужил отправной точкой для тиражирования разработанных решений на другие объекты Компании, а именно Тюменские отложения Западной Сибири;
7. Потенциал внедрения разработанного инструмента: более 50-ти месторождений с суммарными начальными извлекаемыми запасами более 300 млн. тн.



**РОСНЕФТЬ**

**Дополнительные слайды**



# Анализ чувствительности эффективности систем разработки к изменению технологических условий

Выбор модификаций оптимальных СРС для сравнительного анализа чувствительности значений NPV/Га и КИН от геологических и технологических условий

**Модель 1**  
 NTG= 0.6 PERM=0.1 RVAR=50  
 ГС/ГС 1:1 (с ППД)

**Модель 2**  
 NTG= 0.6 PERM=0.1 RVAR=50  
 ГС/ГС 1:1 (с ППД)

**Модель 3**  
 NTG= 0.6 PERM=0.1 RVAR=50  
 ГС/ГС 1:1 (на истощении)

**Модель 4**  
 NTG= 0.6 PERM=0.1 RVAR=50  
 ГС/НС 1:2 (с ППД)

**Модель 5**  
 NTG= 0.6 PERM=0.1 RVAR=50  
 ГС/НС 1:1 (с ППД)

Выбор моделей для графика по времени

NTG	PERM (мД)	RVAR (м)	СРС	Поворот (град.)	DX (м)	Lgc (м)	dFrac (м)	Тппд (мес.)	Xf - prod (м)	Xf - inj (м)			
1	0.6	0.1	50	ГС/ГС 1:1 (с ППД)	0	100	2000	100	6	50	50	Удалить модель	Скопировать модель
2	0.6	0.1	50	ГС/ГС 1:1 (с ППД)	90	200	2000	100	6	50	50	Удалить модель	Скопировать модель
3	0.6	0.1	50	ГС/ГС 1:1 (на истощении)	90	200	2000	100		50		Удалить модель	Скопировать модель
4	0.6	0.1	50	ГС/НС 1:2 (с ППД)	0	100	2000	100	6	50	50	Удалить модель	Скопировать модель
5	0.6	0.1	50	ГС/НС 1:1 (с ППД)	0	100	2000	100	6	50	50	Удалить модель	Скопировать модель

Зависимости значений NPV/S, КИН от времени и характеристика вытеснения (ХВ) модификаций оптимальной и базовых СРС

Год прогноза

Год прогноза

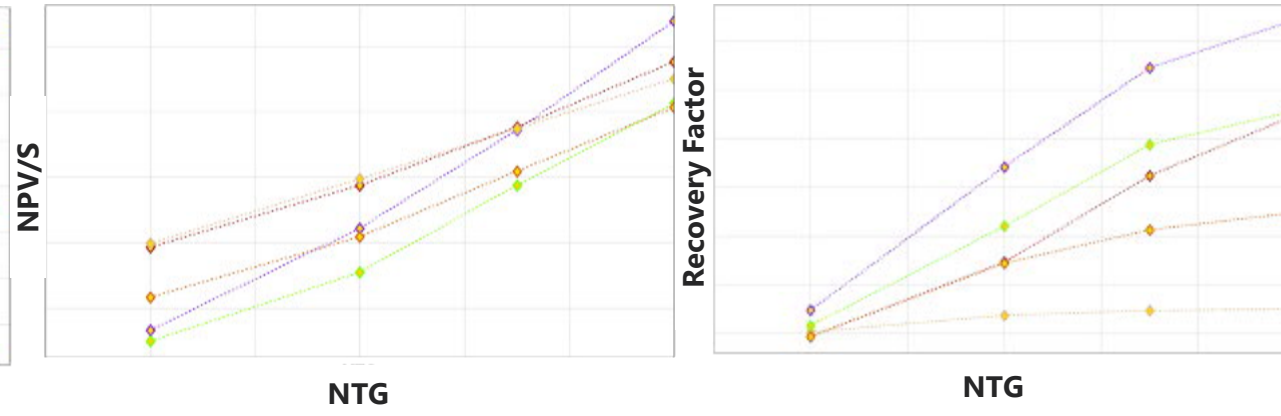
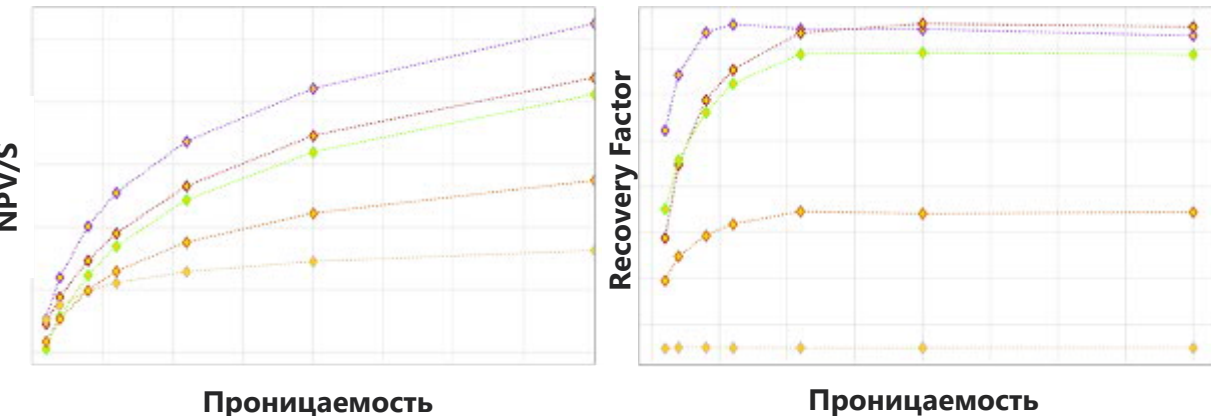
КИН

17

# Анализ чувствительности эффективности систем разработки к изменению геологических и технологических условий

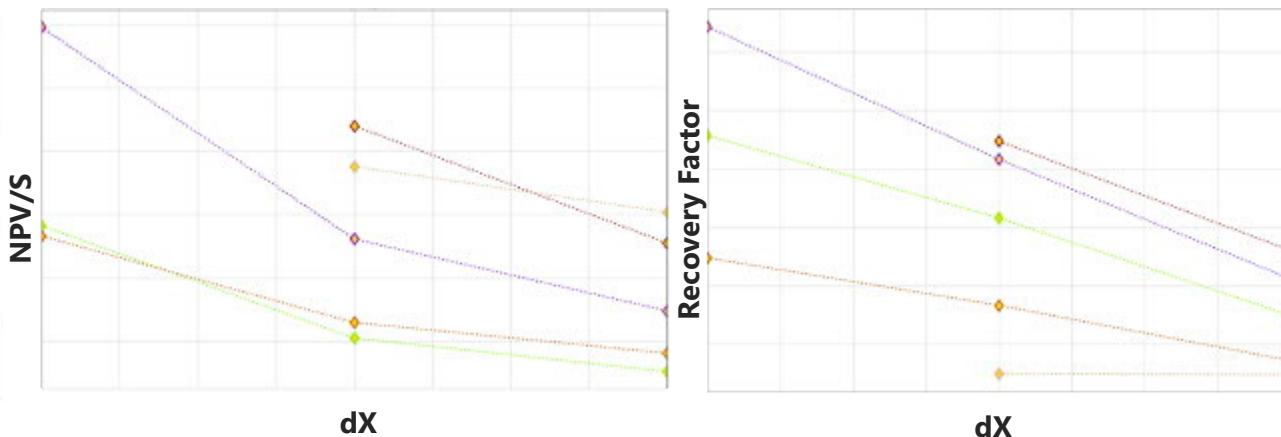
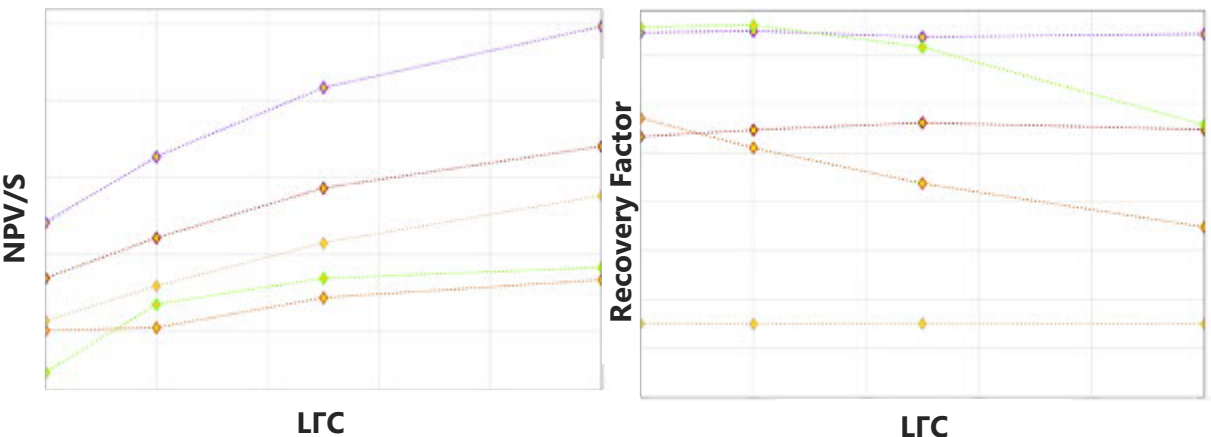
Анализ чувствительности NPV/S и КИН к изменению проницаемости

Анализ чувствительности NPV/S и КИН к изменению NTG



Анализ чувствительности NPV/S и КИН к изменению L<sub>гс</sub> при dFrac = const

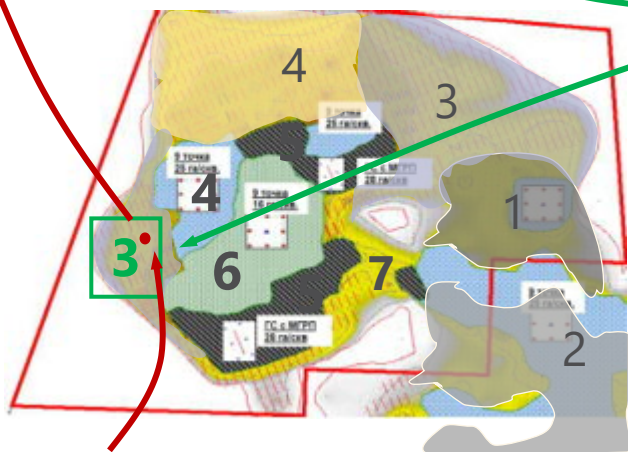
Анализ чувствительности NPV/S и КИН к изменению dX



# Концептуальная схема работы модуля «Система поддержки принятия решений при разбурировании новых участков низкопроницаемых коллекторов»

## 2. Интерпретация ГИС

0. Форма кривой ГИС;
1. Нэфф, м
2.  $NTG = \frac{H_{эфф}}{H_{п}}$
3. Пористость;
4. Насыщенность;
5. Проницаемость.



## 1. Бурение ННС на новом участке

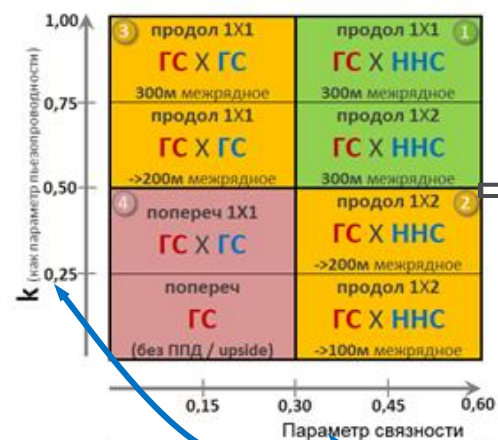
Текущие сценарные условия

## 4. Построение палеток оптимальных систем разработки

Множественные гидродинамические расчеты

## 3. Алгоритм присвоения номера класса/кластера

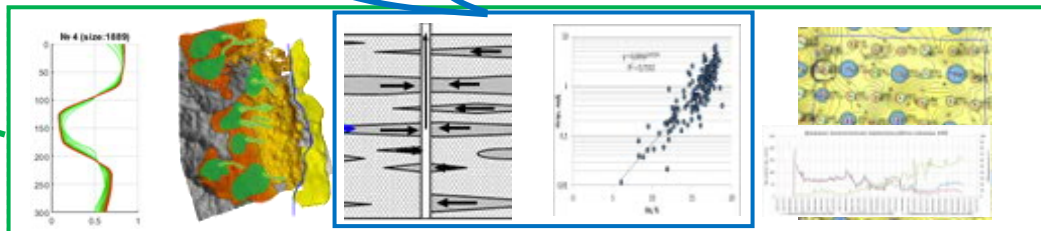
## Палетки



## 5. Выбор оптимальной системы разработки

попереч 1X1  
ГС X ГС

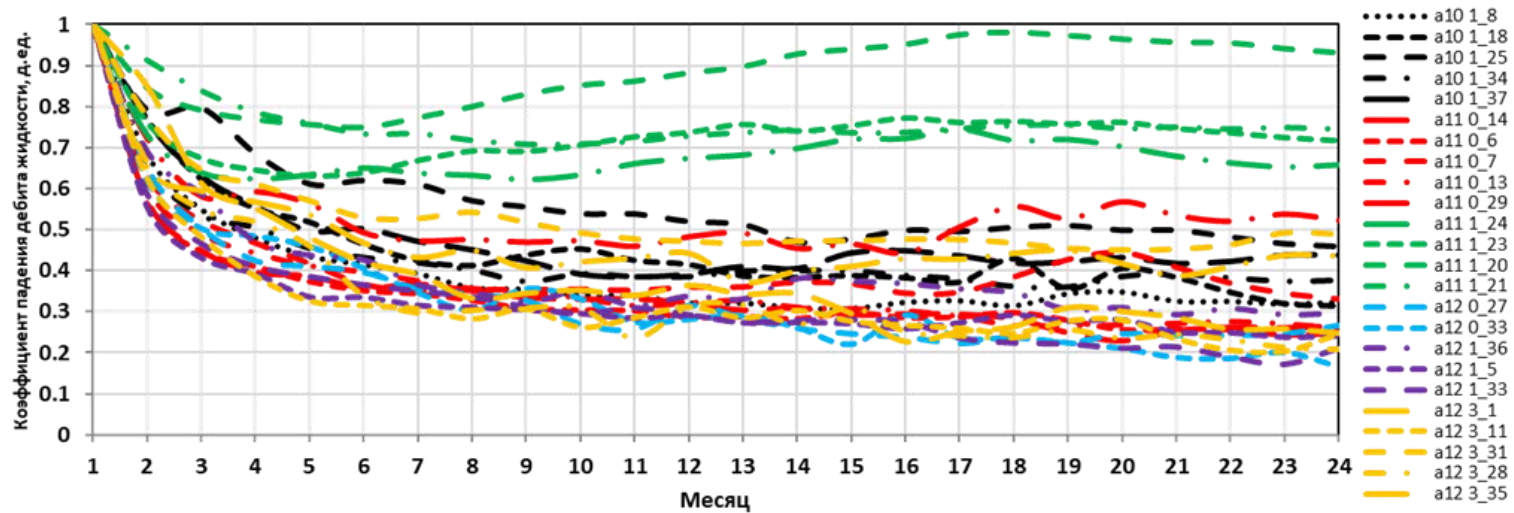
Оптимальная система разработки для нового участка



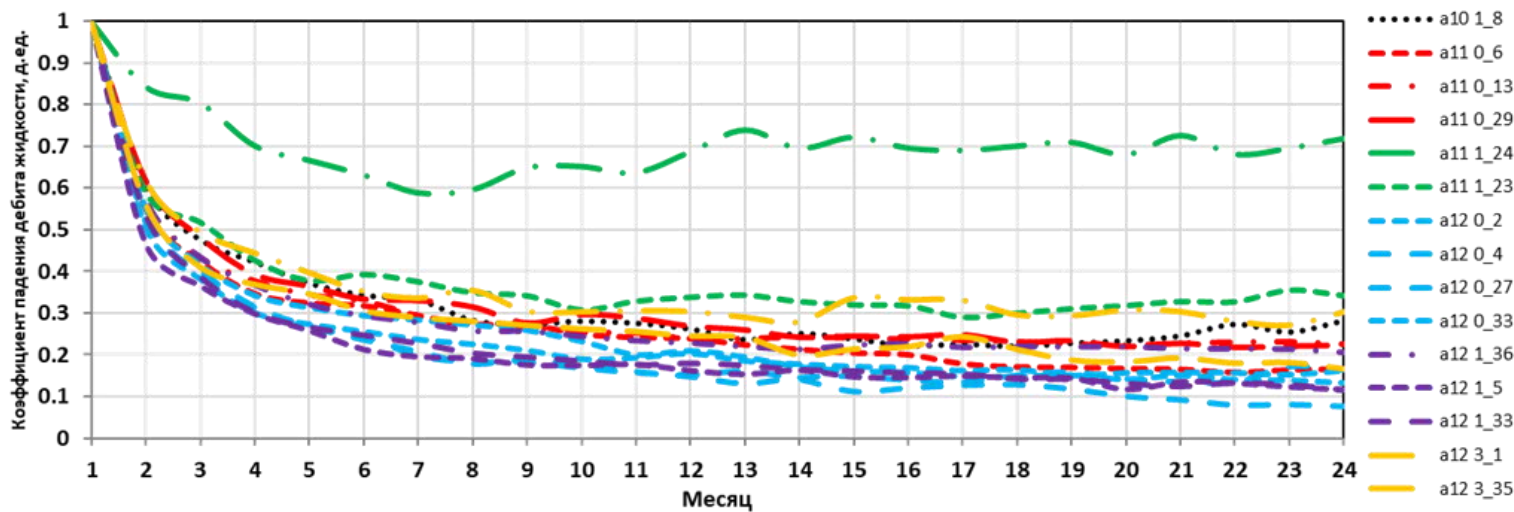
## 0. Формирование БД охарактеризованных классов/кластеров скважин

Каждый кластер охарактеризован:

1. Формой кривых ГИС;
2. Данными литолого-фациального анализа;
3. Параметрами неоднородности:  $NTG$ ,  $L_{тела(ср)}(Rx)$ ,  $K_{расчл}$ ,  $h_{i(ср)}(Rz)$ ,  $K_{толщ}$
4. Распределением проницаемости: петрофизические зависимости или данные добычи;
5. Средними показателями разработки.

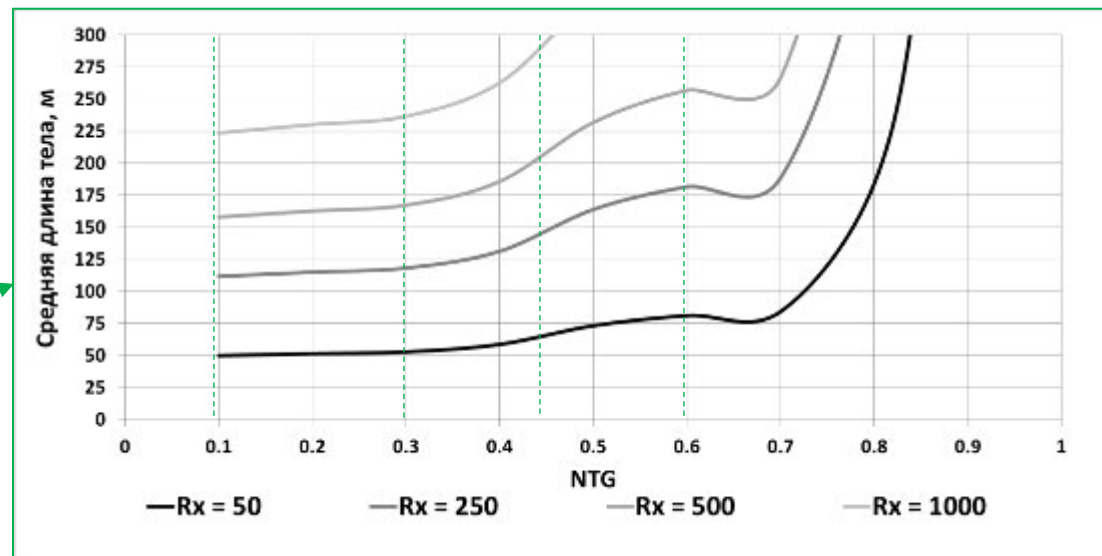
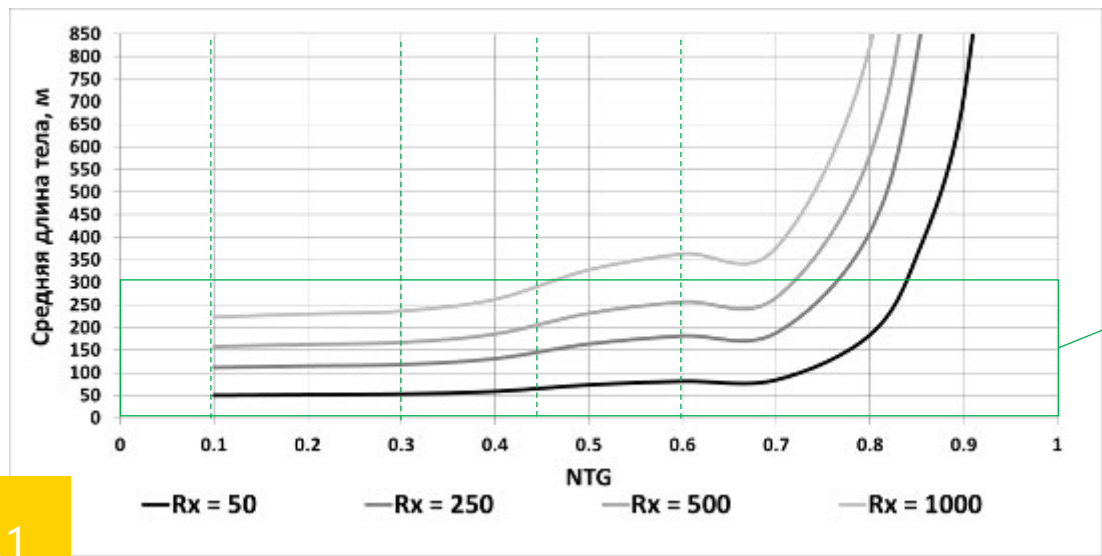
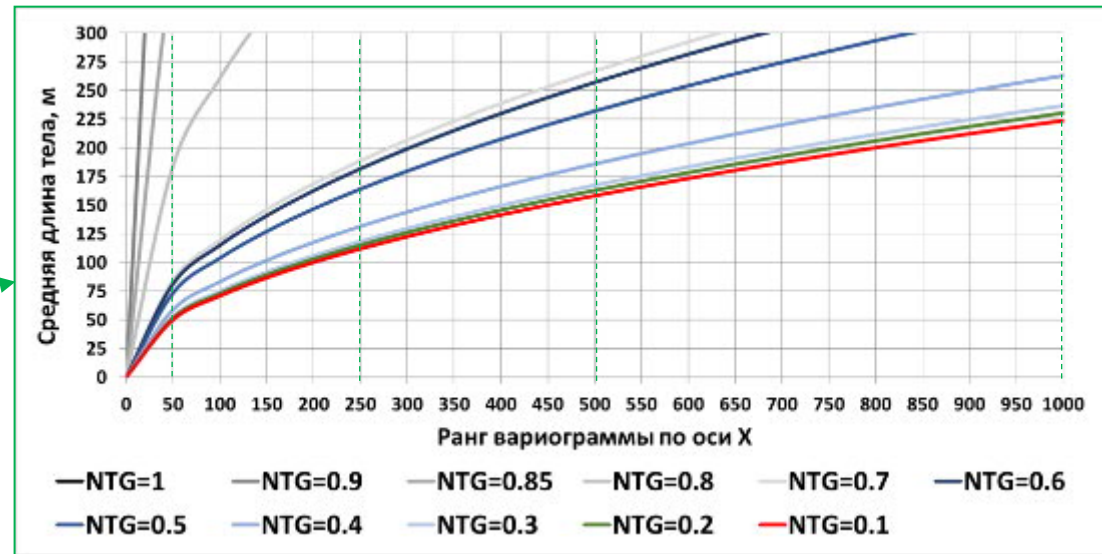
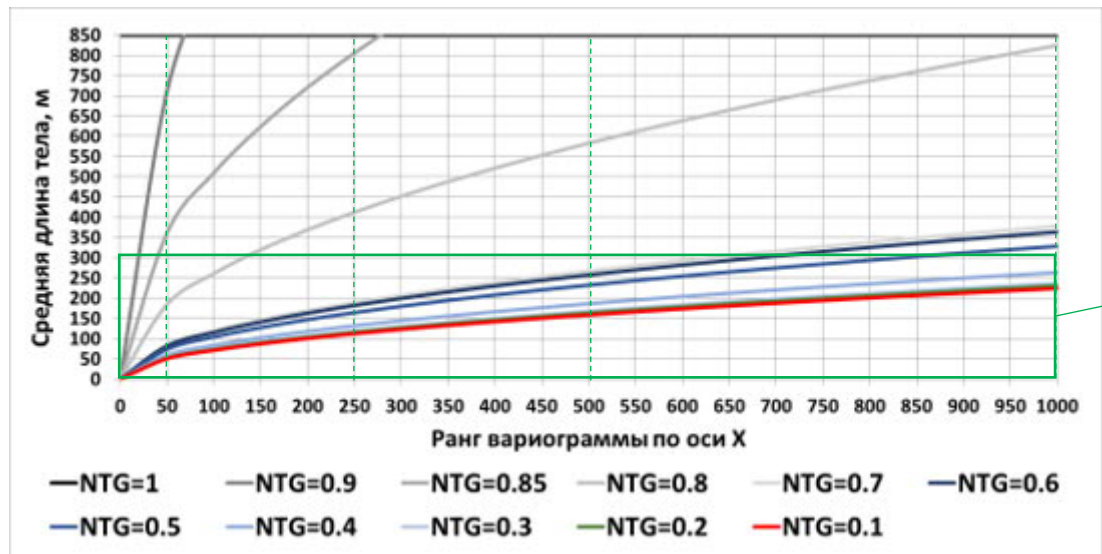


ННС с ГРП



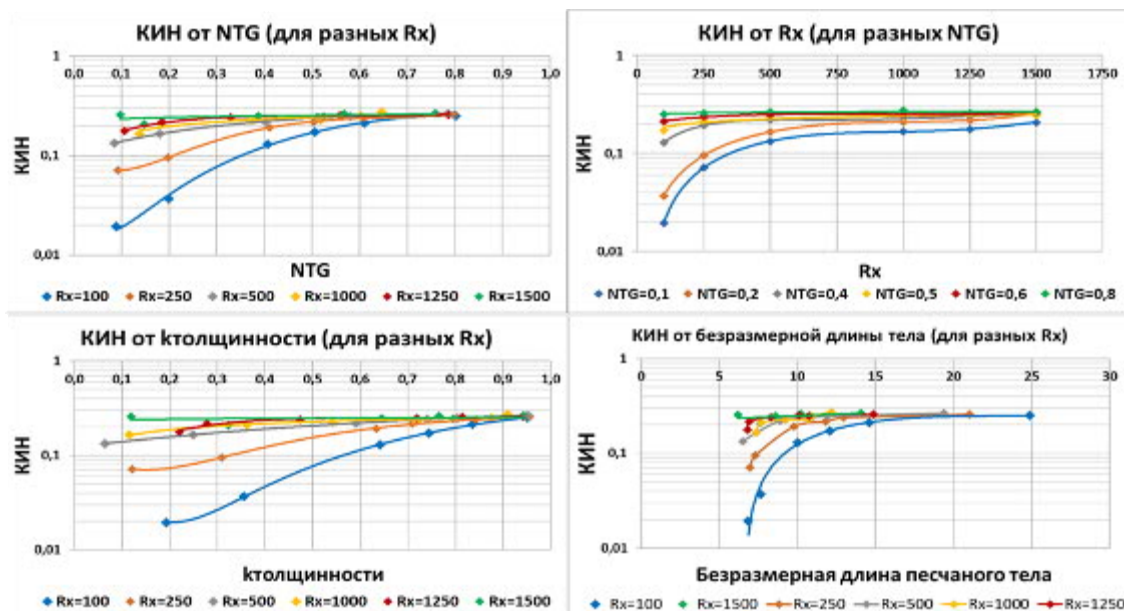
ГС с МГРП

# Зависимости средней длины песчаного тела от исходных данных стохастической ГМ (для $R_z = 5$ м)



# Зависимость показателей разработки (КИН) от NTG, R<sub>x</sub> и L<sub>тела(ср)</sub>

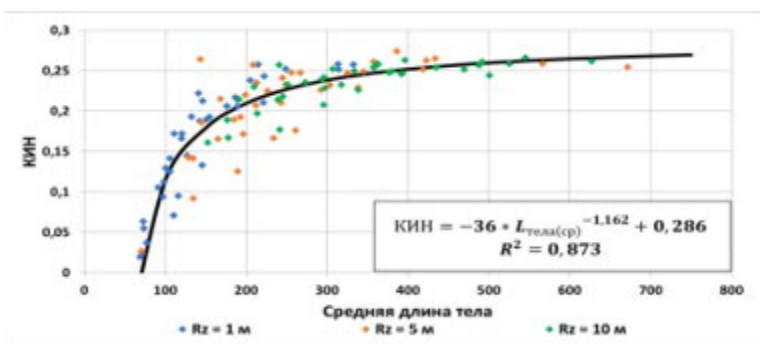
Зависимости КИН (на 20 лет) от параметров неоднородного пласта при R<sub>z</sub> = 1 м и k<sub>о</sub> = 1 мД



## В общем случае:

1. Увеличение NTG и R<sub>x</sub> до определенных граничных значений приводит к увеличению КИН:
  - При достижении NTG значения >0,6 – 0,8 изменение R<sub>x</sub> практически не оказывает влияние на КИН;
  - При достижении R<sub>x</sub> значений >=1500 м изменение NTG практически не оказывает влияние на КИН (а при R<sub>x</sub> >=1000 изменение R<sub>x</sub> не приводит к увеличению КИН).
2. Для малых значений R<sub>x</sub> влияние NTG на КИН значительнее.

Зависимость КИН = f(L<sub>тела(ср)</sub>) для разных R<sub>z</sub> и R<sub>x</sub>

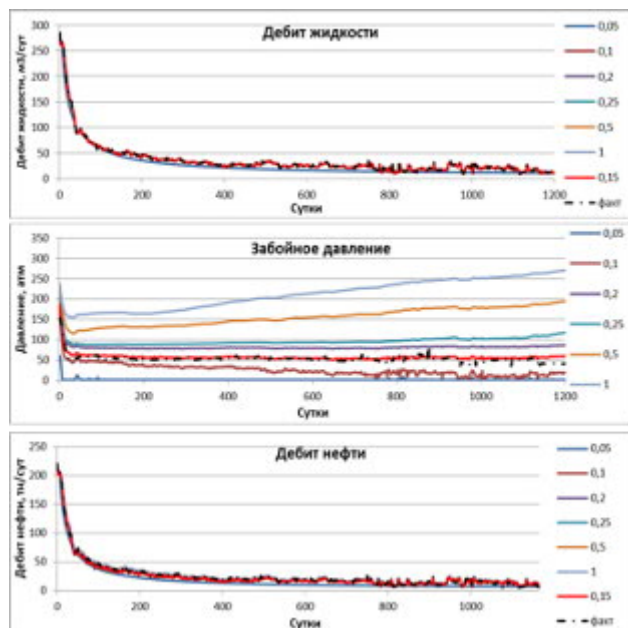


## Примечание:

- КИН зависит в основном от средней длины песчаного тела, а не от NTG и R<sub>x</sub> в отдельности.

# Анализ чувствительности адаптации фактической динамики работы скважин низкопроницаемых коллекторов Ачимовских отложений к исходным данным стохастических 3D ГГДМ

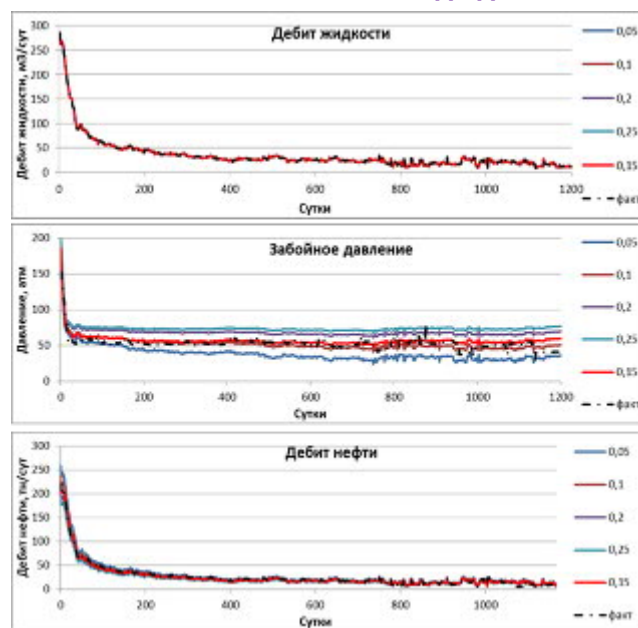
Влияние проницаемости пласта -  $k$ , мД



**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние  $k$  на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow k \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k_{rw}(Sor) = 0,15$ ;
  - $R_x = 50$  м;
  - $SWATINIT = 0,29$ .

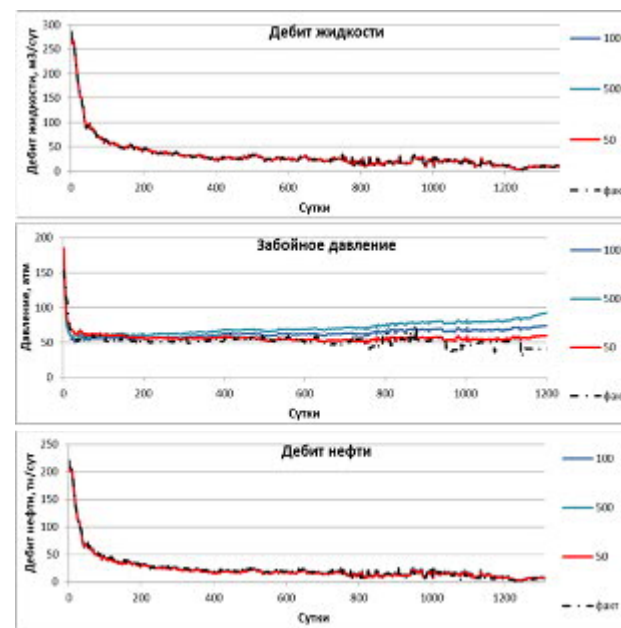
Влияние  $k_{rw}(Sor)$ , д.ед.



**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние  $k_{rw}(Sor)$  на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow k_{rw}(Sor) \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k = 0,15$  мД;
  - $R_x = 50$  м;
  - $SWATINIT = 0,29$ .

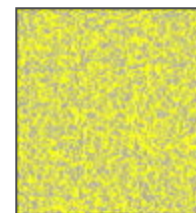
Влияние  $R_x$ , м



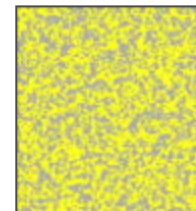
**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние  $R_x$  на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow R_x \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k_{rw}(Sor) = 0,15$ ;
  - $k = 0,15$  мД;
  - $SWATINIT = 0,29$ .

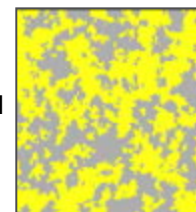
$R_x = 50$  м



$R_x = 100$  м



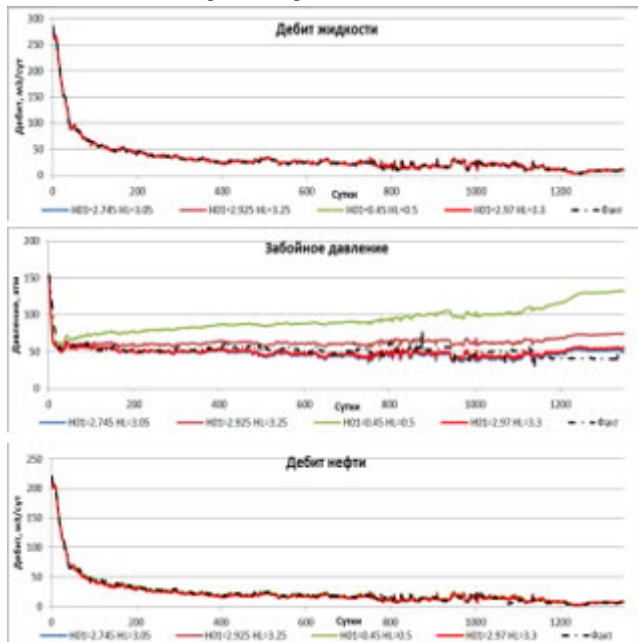
$R_x = 500$  м



Адаптация динамики работы средней скважины с похожим качеством, как для параметров  $k=0,15$  мД;  $R_x=50$  м и  $k_{rw}(Sor) = 0,1$  с использованием других значений  $k$ ,  $k_{rw}(Sor)$  и  $R_x$  не возможна.

# Анализ чувствительности адаптации фактической динамики работы скважин низкопроницаемых коллекторов Ачимовских отложений к исходным данным однородных ГГДМ с опцией НЛФ

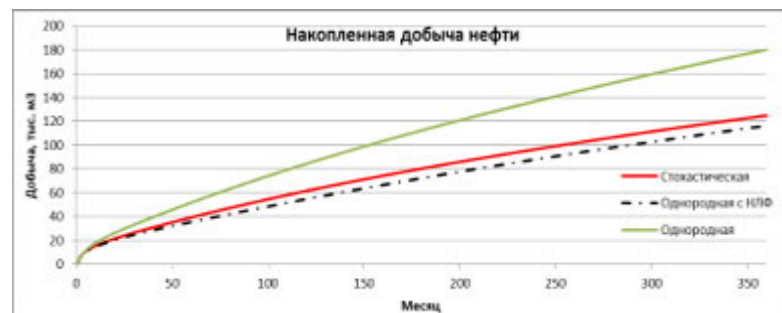
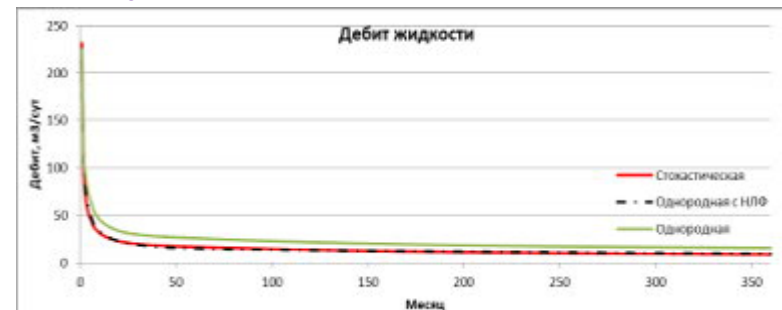
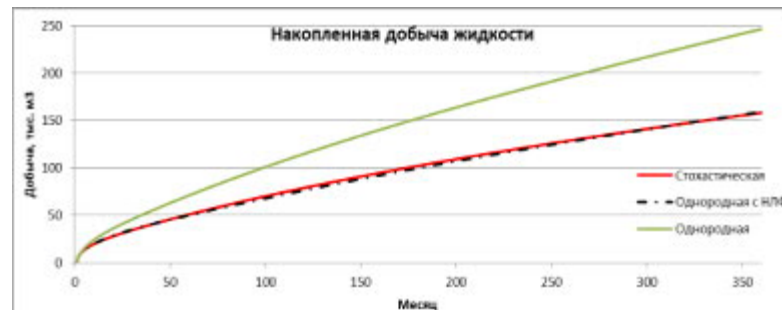
## Влияние параметров нелинейности



### Примечание:

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние параметров нелинейности на динамику изменения параметров работы скважины.
3. Прочие равные условия:
  - $k_{rw}(S_{or}) = 0,15$ ;
  - $k = 0,15$ .

## Прогноз динамики добычи с среднего элемента разработки участка Горшковской площади Приобского м/р



КИИ (30 лет)		
Стохастическая ГГДМ	Однородная (NLF)	Однородная (без NLF)
0,1003	0,0916	0,1418

### Выводы:

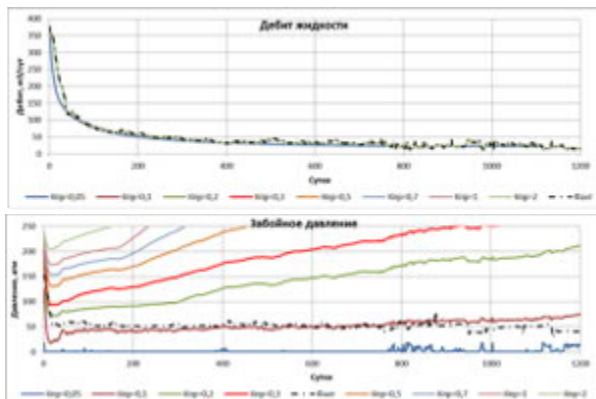
1. Качество прогноза соответствует качеству адаптации;
2. Однородная (однослойная) ГДМ без НЛФ дает оптимистичный прогноз - КИИ<sub>max</sub>;
3. **Однородные (однослойные) ГДМ с НЛФ и стохастические ГГДМ дают одинаковый прогноз;**

Использование параметров нелинейной фильтрации позволяет адаптировать динамику работы средней скважины выбранного участка с таким же качеством, как и в случае использования стохастических неоднородных моделей.



# Анализ чувствительности адаптации фактической динамики работы скважин низкопроницаемых коллекторов Ачимовских отложений к исходным данным однородных ГГДМ

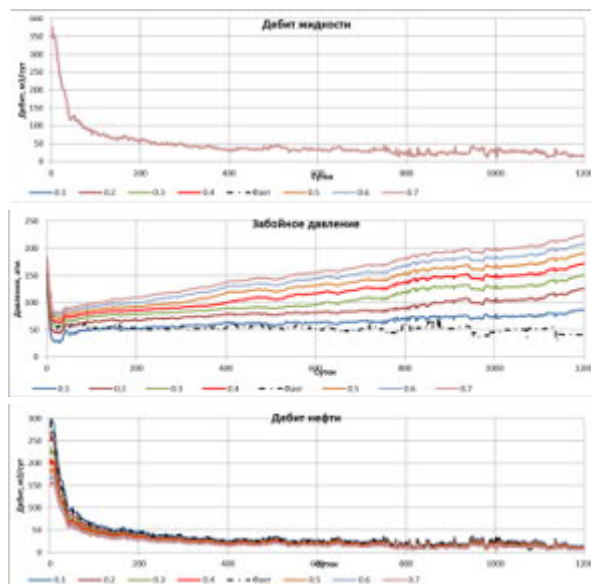
Влияние проницаемости пласта -  $k$ , мД



**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние  $k$  на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow k \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k_{rw}(Sor) = 0,15$ ;
  - $SWATINIT = 0,29$ .

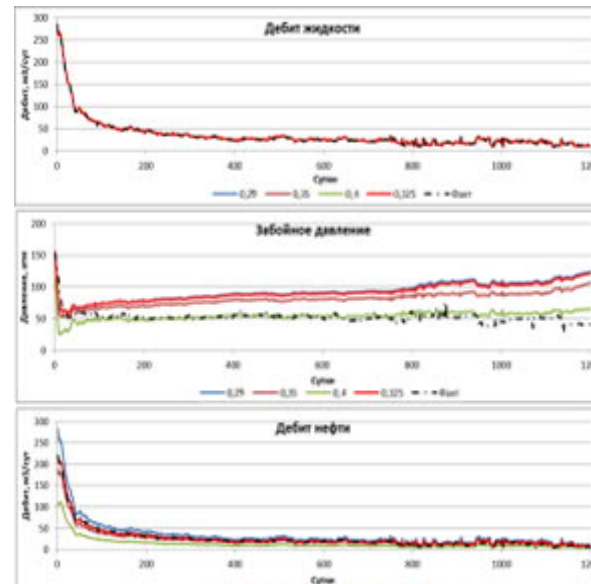
Влияние  $k_{rw}(Sor)$ , д.ед.



**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние  $k_{rw}(Sor)$  на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow k_{rw}(Sor) \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k = 0,15$  мД;
  - $SWATINIT = 0,29$ .

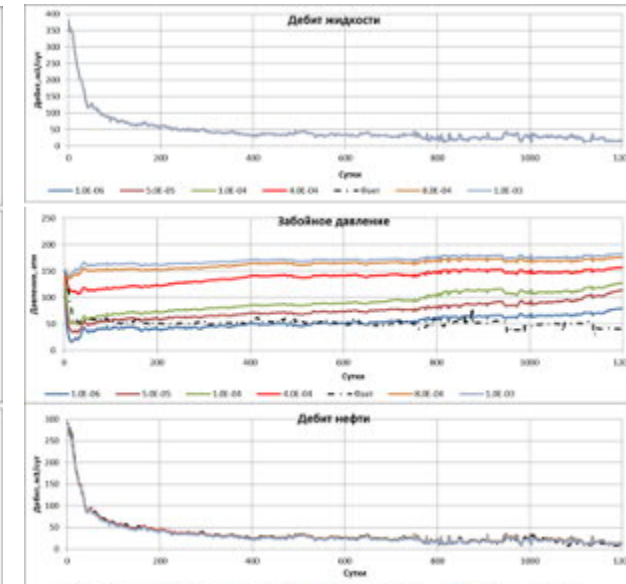
Влияние SWATINIT, д.ед.



**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние SWATINIT на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow SWATINIT \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k_{rw}(Sor) = 0,15$ ;
  - $k = 0,15$  мД.

Влияние  $C_r$ , 1/атм



**Примечание:**

1. Контроль по дебиту жидкости (LRAT);
2. Характерное влияние  $C_r$  на динамику изменения параметров работы скважины -  $\uparrow C_r \rightarrow \uparrow BHP$  и наоборот.
3. Прочие равные условия:
  - $k_{rw}(Sor) = 0,15$ ;
  - $k = 0,15$  мД.

Адаптация динамики работы средней скважины с похожим качеством, как для параметров  $k=0,15$  мД;  $R_x=50$  м и  $k_{rw}(Sor) = 0,1$  с использованием однородных моделей не возможна.



**РОСНЕФТЬ**

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**



**РОСНЕФТЬ**

**ООО «РН-БашНИПИнефть»**

По всем возникающим вопросам просьба общаться к  
Федорову Алексею Эдуардовичу

по адресу электронной почты: [FedorovAEd@bnipi.rosneft.ru](mailto:FedorovAEd@bnipi.rosneft.ru)