ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС СОЗДАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

FLOWZOOM®

17 Октября 2019

FLOWZOOM – это …

- Современный программный комплекс по созданию, редактированию и визуализации гидродинамических моделей, используется с 2006 года
- Продвинутый многофазный симулятор (типа Black Oil) FLOWSIM, используется с 2016 г.
- Многофункциональная среда инженера-геолога, разработчика
- Расширяемая модульная система с отрытым интерфейсом, позволяющая опытному пользователю добавлять функциональность
- Многоязыковая поддержка интерфейса
- Российские разработчики с опытом создания и применения ГМ и ГДМ в практике проектирования и мониторинга разработки

Предназначен для специалистов, занимающихся:

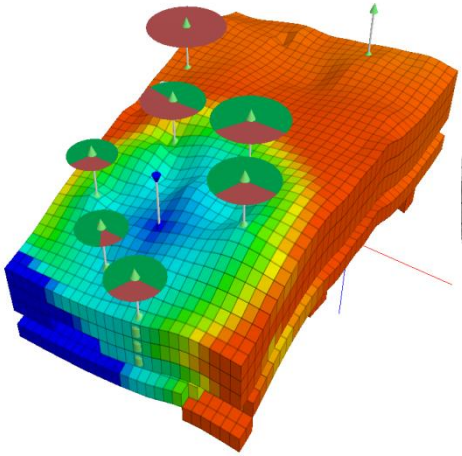
- Созданием, адаптацией и актуализации гидродинамических моделей
- Проектированием разработки
- Приемкой и экспертизой ГДМ
- Эксплуатацией ГДМ
- Анализом геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений
- Планированием бурения новых скважин и геолого-технологических мероприятий на основе результатов моделирования

Является аналогом следующих программ, имея близкую с ними функциональность:

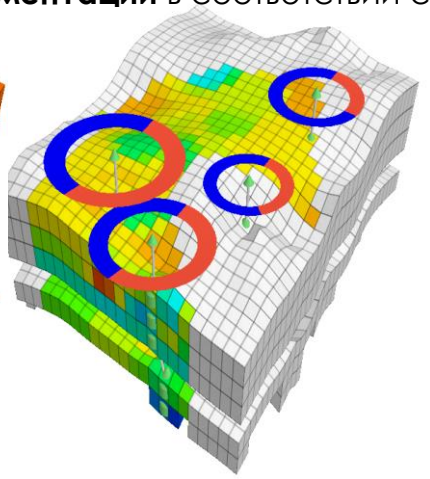
- Eclipse Office + FloViz + Eclipse-100
- Tempest More (Black Oil) + ResView2
- NEXUS (Black Oil)
- tNavigator(Black Oil)

Основные возможности FLOWZOOM

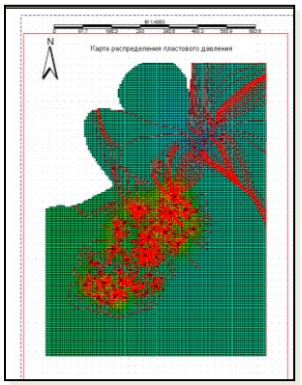
1. **Подготовка входных файлов** для ГДМ:
   - Ремасштабирование (upscaling, upgridding) геологической модели
   - Подготовка скважинных данных и исторических данных по добыче, дискретизация траекторий скважин и событий на скважинах
   - Использование корреляций фазовых проницаемостей
   - Оптимизация размеров ячеек расчетной сетки для ускорения крупных моделей за счет использования специальных приемов Advanced Coarsening.
   - Создание проекта в «Редакторе модели» для формирования пускового файла и выполнения многовариантных расчетов во FLOWSIM
2. **Расчет фильтрации (FLOWSIM)** моделей залежей с прогнозом показателей разработки.
3. **Визуализация результатов** гидродинамического моделирования
4. **Оценка качества адаптации** ГДМ (построение различных диаграмм отклонений)
5. **Быстрая корректировка свойств** ГДМ при адаптации модели
6. **Подготовка прогнозных вариантов** при проектирование разработки
7. **Оформление графических материалов** - построение усредненных карт параметров для печати.
8. **Создание табличной документации** в соответствии с РД 153-39.0-047-00 (таблицы 4.1, 4.2, 8.1).



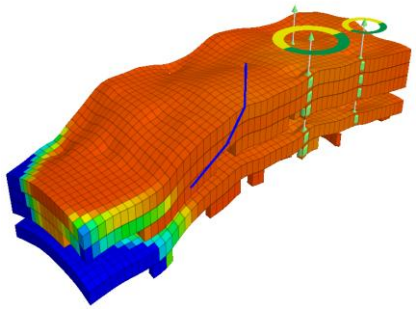
Анализ результатов моделирования



Оперативная адаптация моделей

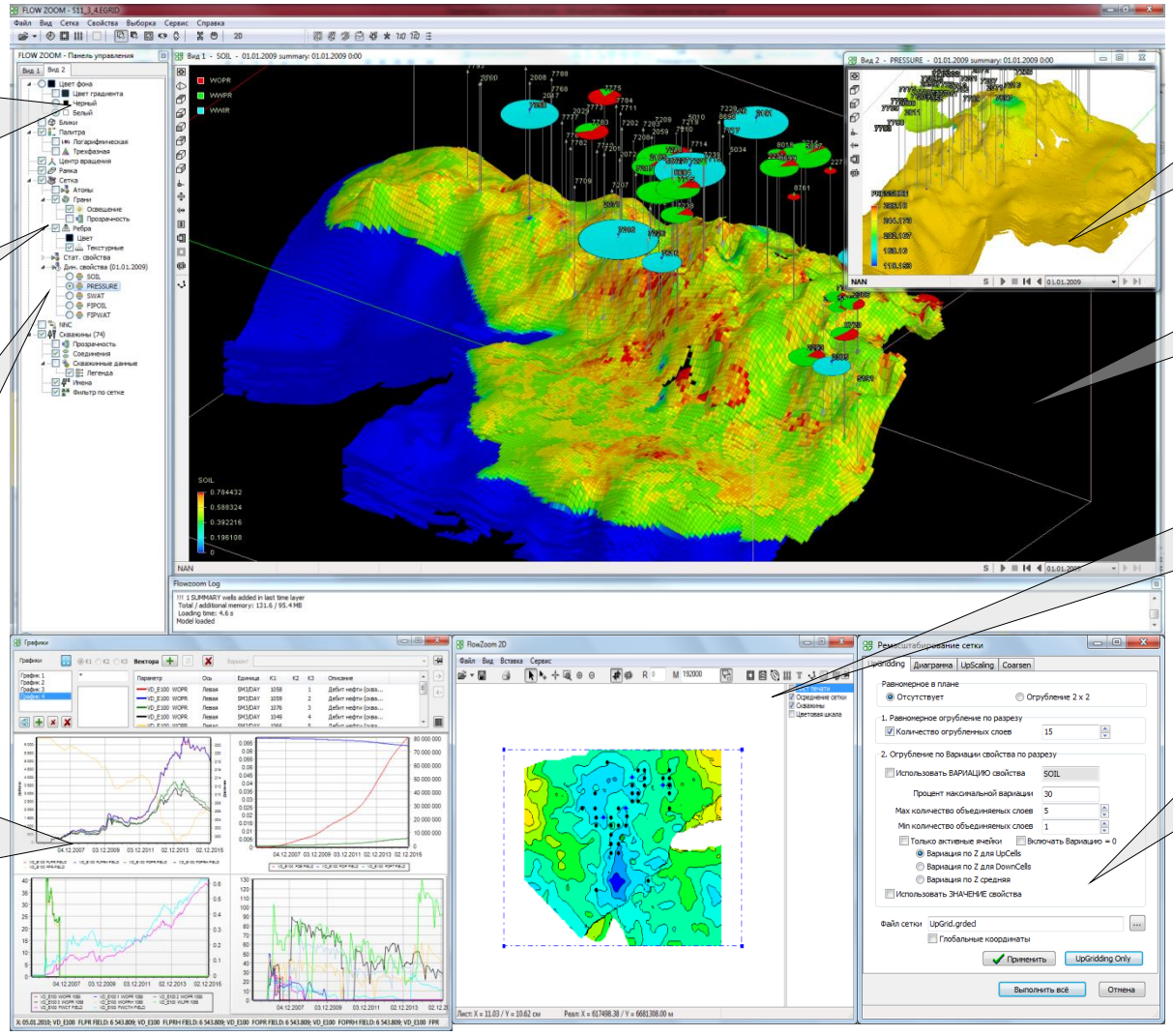


Оформление и печать карт параметров



Размещение скважин – индивидуально или по сетке

Общий вид FLOWZOOM (часть форм)



Основные Параметры отображения

Статические данные

Динамические данные

Скважинные данные

Окно визуализации №2

Окно визуализации №1

2Д карты отрисовка и печать

Uscaling геологической сетки

1. Подготовка входных файлов для ГДМ

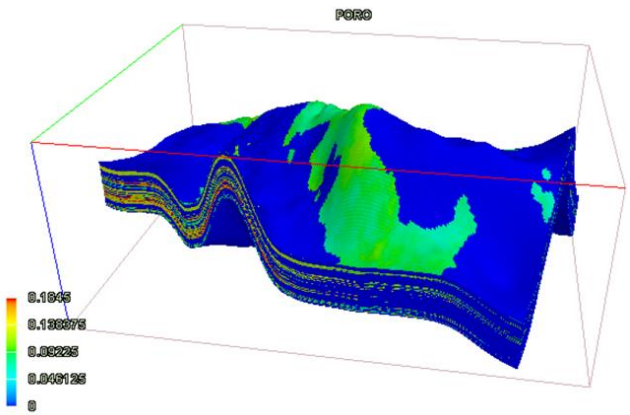
- **Ремасштабирование** (upscaling, upgridding) геологической модели
- **Подготовка скважинных данных** и исторических данных по добыче, дискретизация траекторий скважин и событий на скважинах (расчет соединений вскрытия для скважин сложной траектории)
- **Использование корреляций** фазовых проницаемостей
- **Оптимизация размеров ячеек** расчетной сетки для ускорения крупных моделей за счет использования специальных приемов Advanced Coarsening.
- **Создание проекта** в «Редакторе модели» для формирования пускового файла и выполнения многовариантных расчетов во FLOWSIM

1. Подготовка входных файлов для ГДМ

- **Ремасштабирование** – совместные процедуры upscaling + upgridding геомодели

См. меню **Файл** –> **Импорт модели** или **Файл** –> **Импорт Сетки / Импорт свойств**

Загрузка сетки и свойств геологической модели



Параметры ремасштабирования сетки

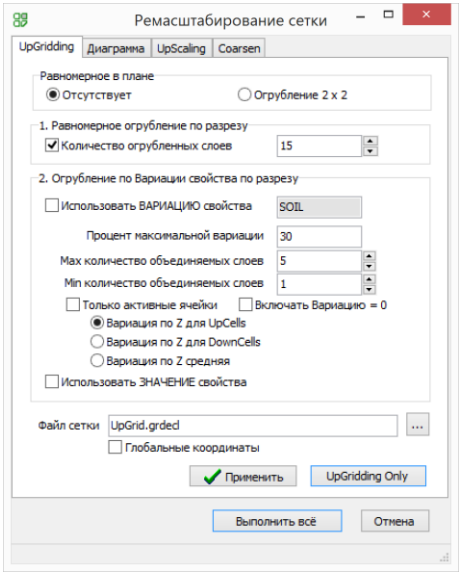
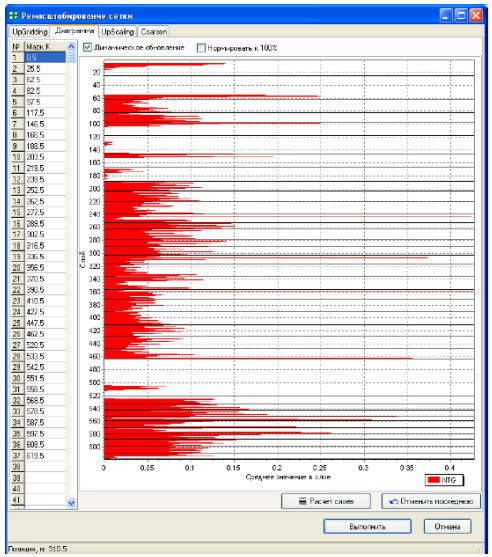
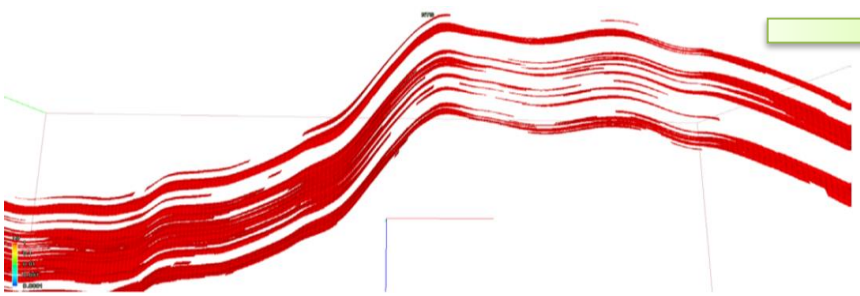


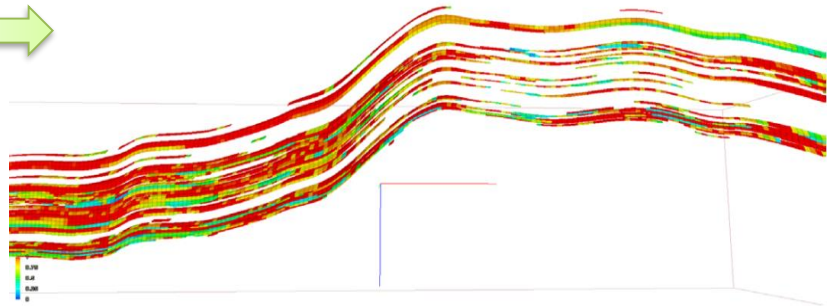
Диаграмма по NTG



Геологическая модель 620 ячеек по Z. Среднее значение NTG =1 в ячейках с коллектором

UPGRIDDING & UPSCALING 36 ячеек по Z. Среднее значение NTG =0,86 в ячейках

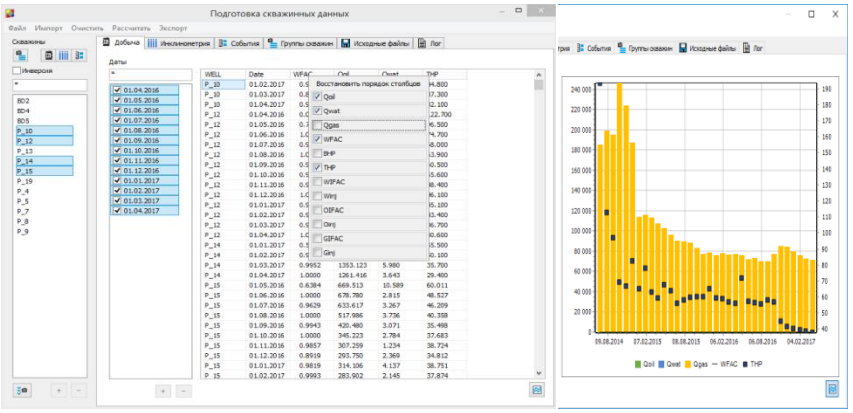




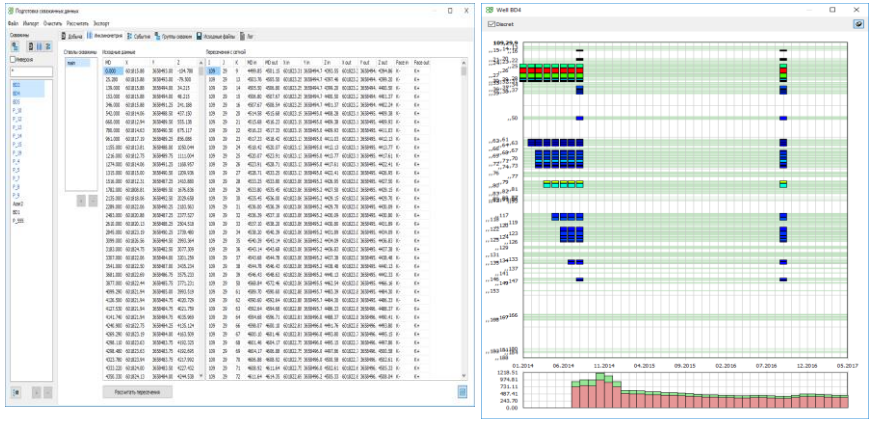
1. Подготовка входных файлов для ГДМ

- **Подготовка исторических скважинных данных**
  1. **Загрузка данных по добыче нефти**, воды, газа и закачке воды, нефти, газа, данных по замерам пластовых и забойных давлений.
  2. **Загрузка инклинометрии**, формат стандартный – форма загрузки ниже.
  3. **События по изменения перфорации**, изоляции, Форматы следующие
  4. **События по изменению** свойств призабойной зоны пласта, КН, скина.

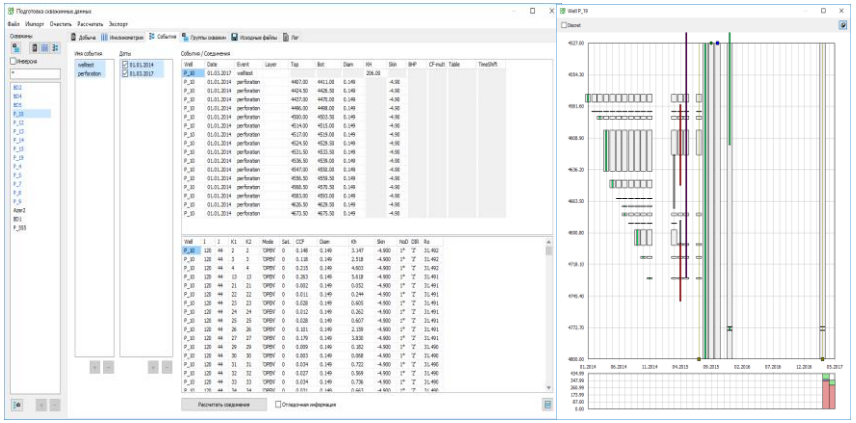
Закладка «Добыча»



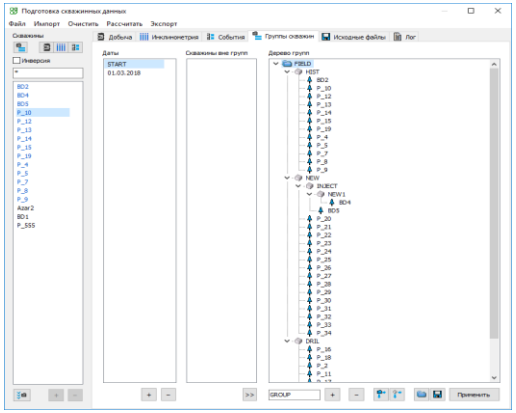
Закладка “Инклинометрия”



Закладка “События”



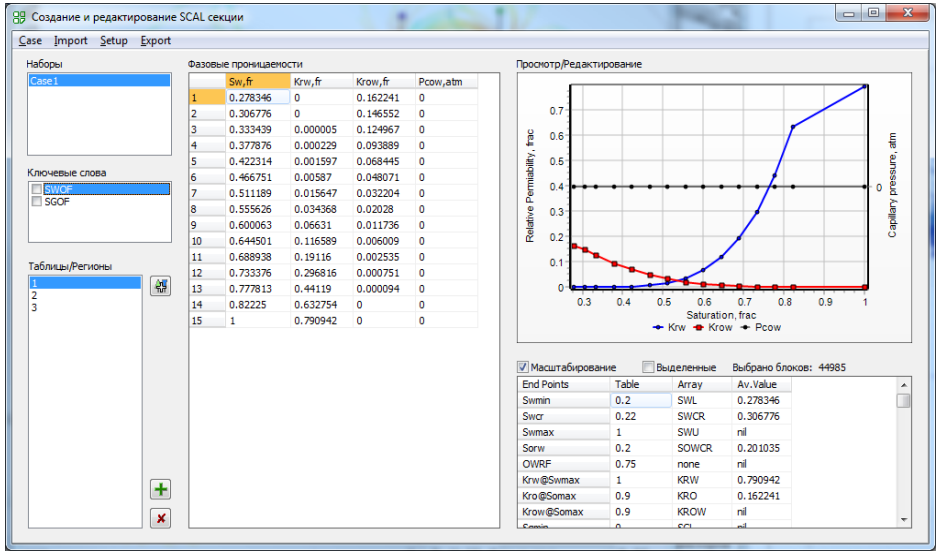
Дерево / иерархия групп / скважин



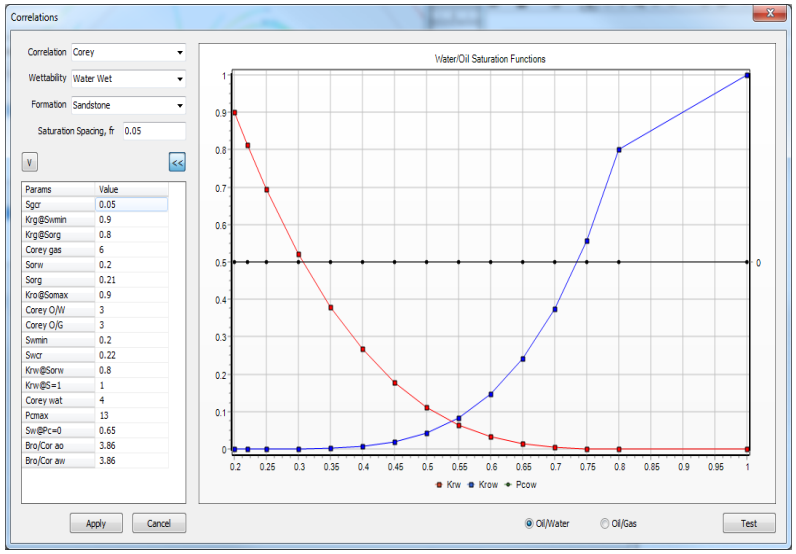
1. Подготовка входных файлов для ГДМ

- **Использование корреляций и редактирование** фазовых проницаемостей используется модуль **Редактор SCAL секции**

Форма просмотра и редактирования фазовых



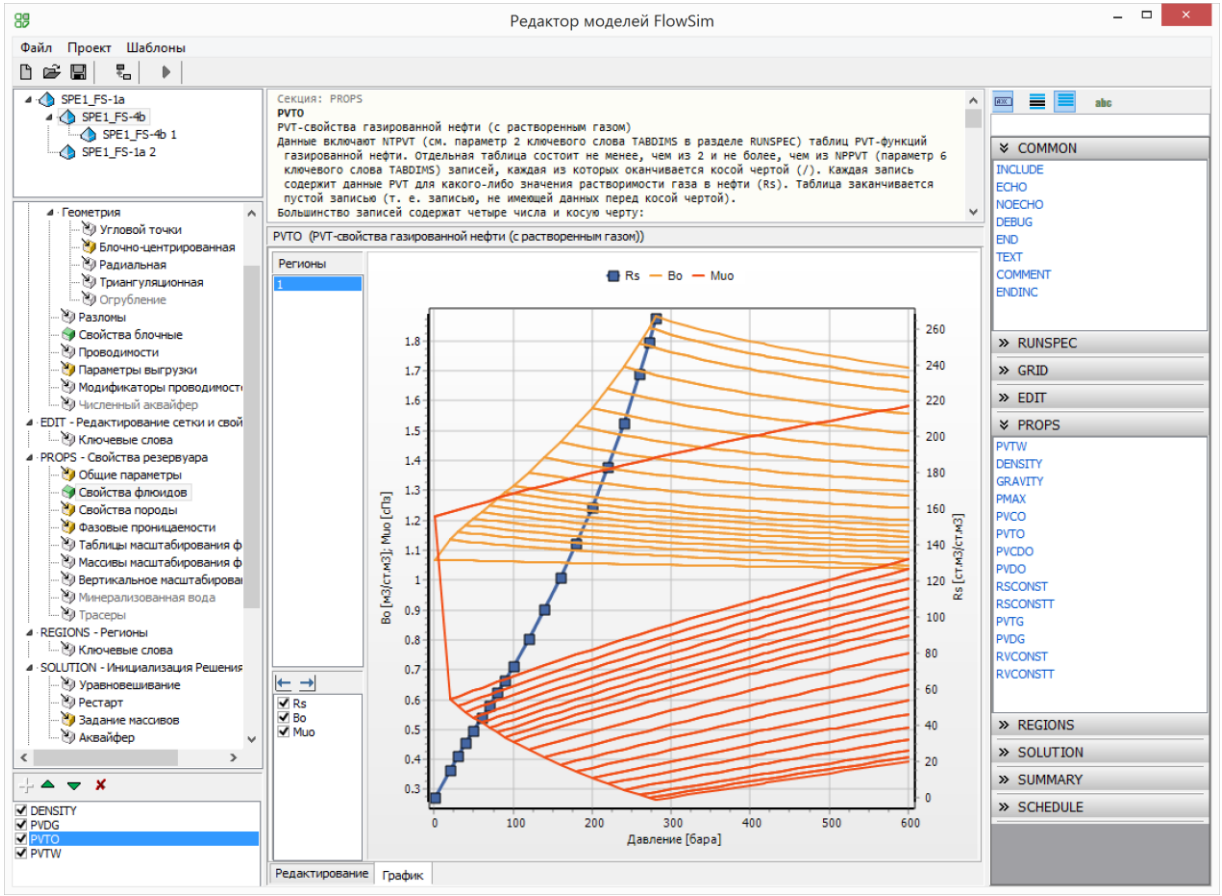
Форма выбора известных корреляции фазовых проницаемостей”



1. Подготовка входных файлов для ГДМ

Создание проекта в «Редакторе модели» - редактор ключевых слов с удобными поиском, подсказками, фильтрами, с визуализацией структуры проекта и всех его подвариантов расчета. Редактор основан на структуре секций и соответствующих группах ключевых слов.

Главная форма «Редактора моделей FlowSim»



Основной функционал редактора FlowSim проектов:

- формирование проекта данных расчетной задачи, на основании которого формируются наборы DATA-файлов для запуска серии расчетов;
- содержит реестр ключевых слов, доступных в текущей версии симулятора;
- содержит описание и примеры ключевых слов, а также их шаблоны для вставки в проект;
- управление вариантами подзадач, с учетом наследования вариантов и содержащихся в них ключевых слов;
- выгрузка DATA файлов.

2. Расчет фильтрации во FLOWSIM

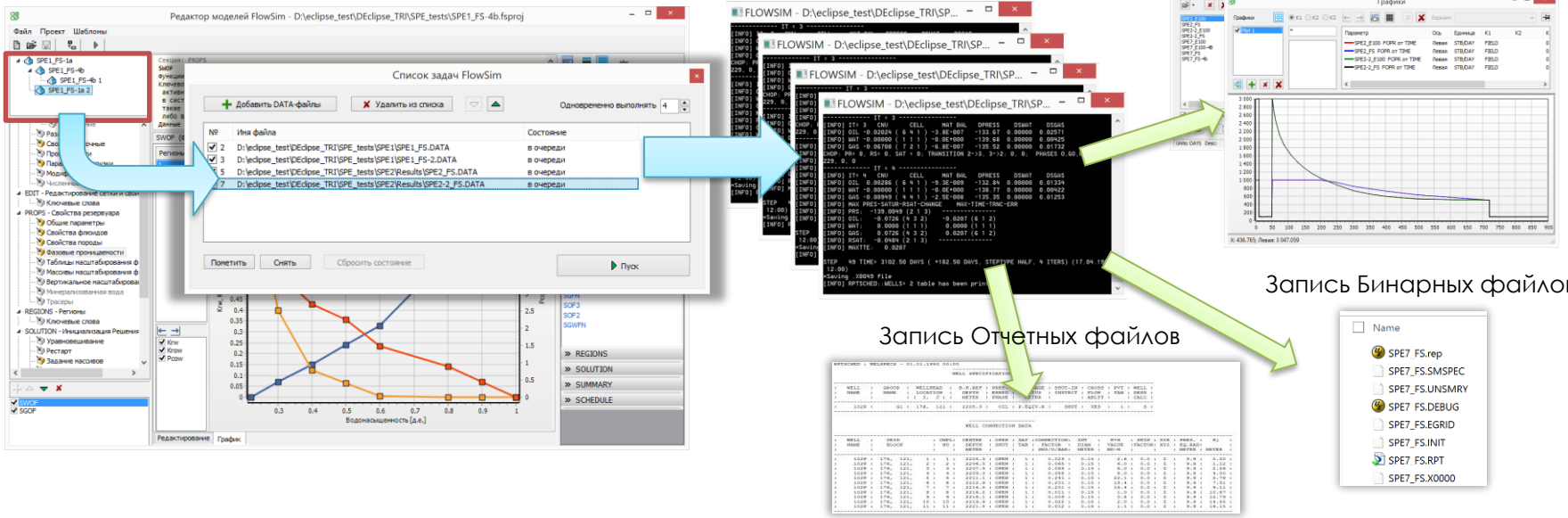
1. **Запуск расчета напрямую** из сторонних DATA-файлов форматов Eclipse
   - Выдача ошибок данных и несовместимостей ключевых слов (FlowSim vs. Eclipse)
2. **Запуск расчета из проекта** “Редактора моделей FlowSim” по одному или сразу серии вариантов
3. **Вывод данных процессе расчета**:
   - записываются бинарные файлы (EGRID,INIT,X000), Отчеты по запасам, скважинам, законтурной зоне и пр. (*.RPT), обновляются графики по вариантам
   - по запросу формируется *.DEBUG-файл с детальным отчетом по всевозможным опциям, значениям производным, промежуточным расчетным параметрам и коэффициентам, успешности внутренних итераций, причинах изменения шага, и т.п.

Иерархия вариантов в проекте FlowSim

Пусковая форма

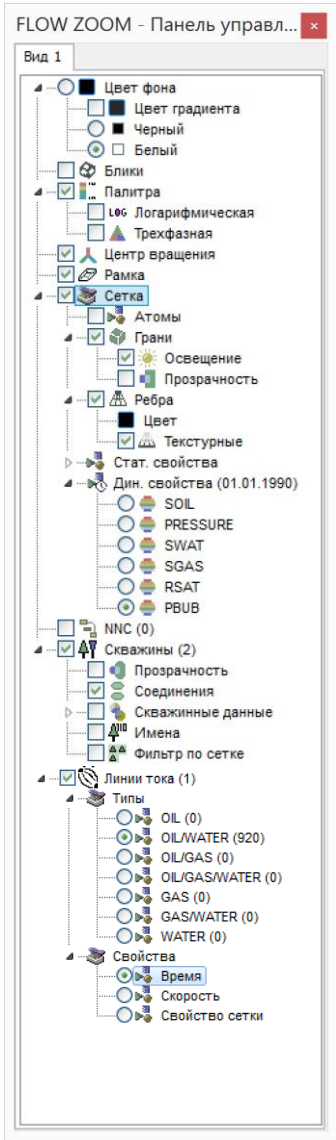
Окна симулятора

Обновление окон Графиков



3. Трехмерная визуализация результатов

Более 30 опций для эффективной 3Д визуализации исходных данных и результатов моделирования:

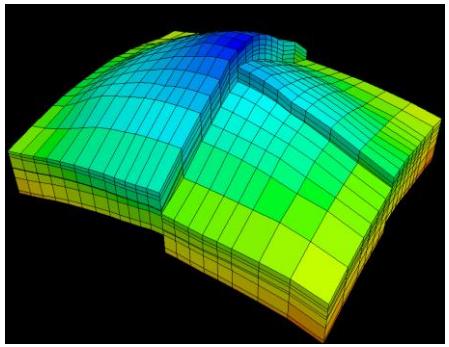


- ✓ Отсутствие ограничений на размерность модели, кол-во скважин и др. (в 64 битной версии)
- ✓ Визуализация ГМ (сетка), ГДМ, ребер ячеек, цветовая шкала
- ✓ Корректное отображение сложных типов сеток: с разломами, локальным огрублением, блочно-центрированная сетка, двойная среда
- ✓ Визуализация скважин – имен, вертикальных, горизонтальных, наклонных стволов, перфорации, соединений с учетом их текущего состояния
- ✓ Визуализация круговых, кольцевых диаграмм любого набора показателей эксплуатации скважин
- ✓ Инклинометрии, изолиний
- ✓ Визуализация линий тока, траекторий частиц, Несоседних соединений (NNC)
- ✓ Временные шаги по сеточным динамическим данным и по датам показателей эксплуатации скважин, анимация динамики
- ✓ Многооконный интерфейс окна визуализации
- ✓ Сечения по свободной траектории
- ✓ Задание стандартных и пользовательских профилей поведения мышки
- ✓ Сохранение конфигурации проекта
- ✓ Настройка параметров визуализации – для оптимизации графического вывода под заданные типы сеток
- ✓ Наличие расширенных фильтров: по значениям параметров, по геометрии сетки; по состоянию, по имени и по категории скважин
- ✓ Редактирование сеточных параметров ГДМ, создание новых производных свойств
- ✓ Поддержка освещения, прозрачности и бликов графических объектов
- ✓ Задание различных палитр цветов
- ✓ Операции логические и математические над параметрами – Расширенный Калькулятор
- ✓ Развижка, сжатие модели (для удобства просмотра тонких слоев)
- ✓ Русский/английский интерфейс
- ✓ Высокая скорость визуализации в 3сравнением с конкурентами (FloViz, ResViewII и т.п.)
- ✓ Высокая скорость загрузки данных
- ✓ Многофункциональные возможности – от анализа качества модели – до планирования ГТМ
- ✓ Простота расширения функциональности
- ✓ Общность пользовательских элементов визуализации
- ✓ И многое другое…

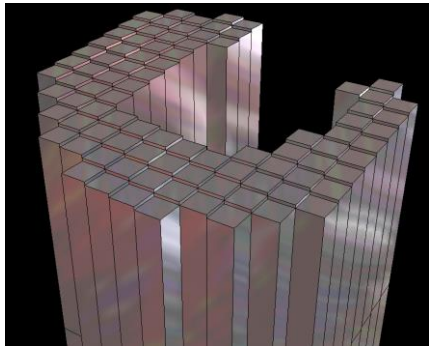
3. Трехмерная визуализация результатов

Сложные типы сеток

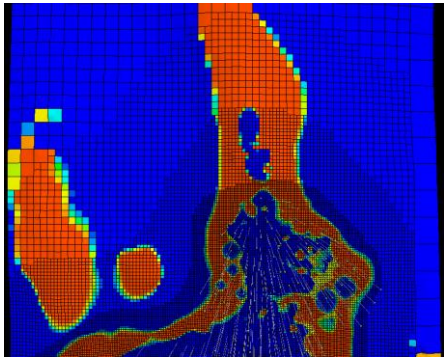
С разломами



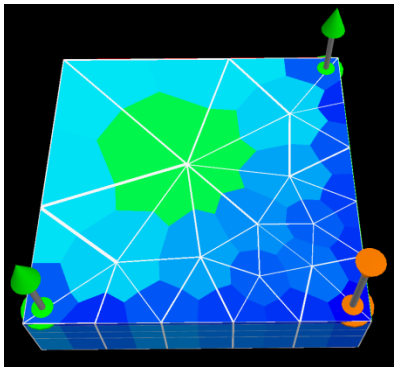
Блочно-центрированная



С локальным огрублением

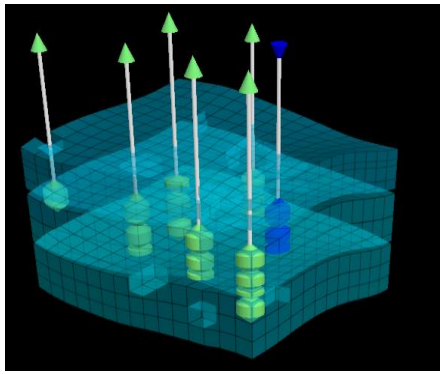


Нерегулярные сетки

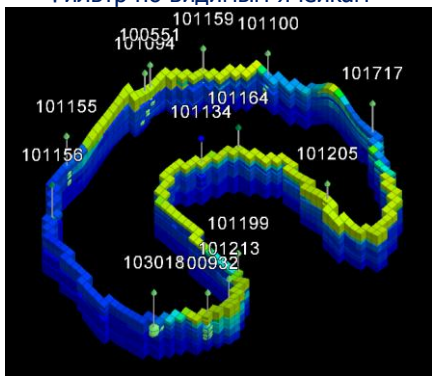


Визуализация скважин

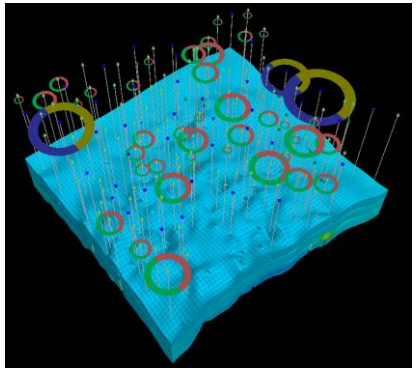
Соединения с различным

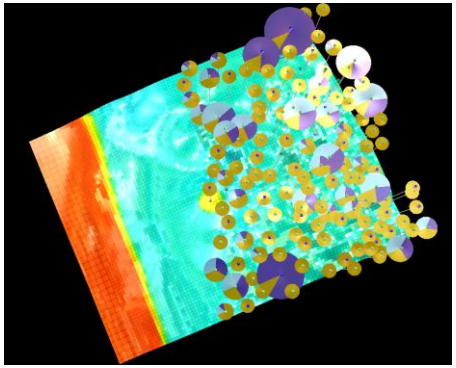


Фильтр по видимым ячейкам

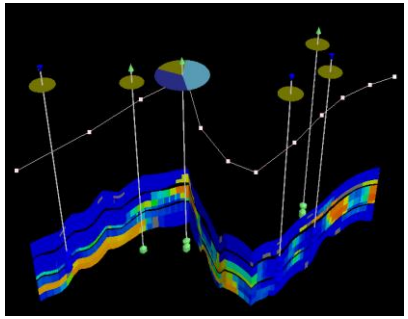


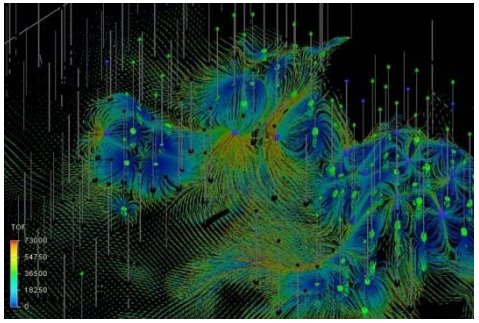
Круговые и кольцевые секторные диаграммы



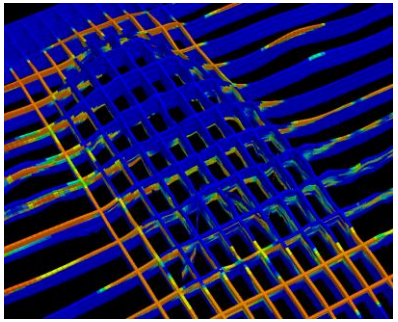


Визуализация разрезов и линий тока

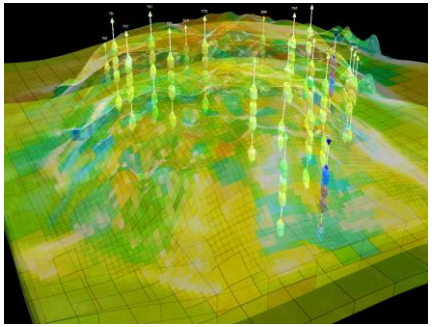




Расширенные фильтры

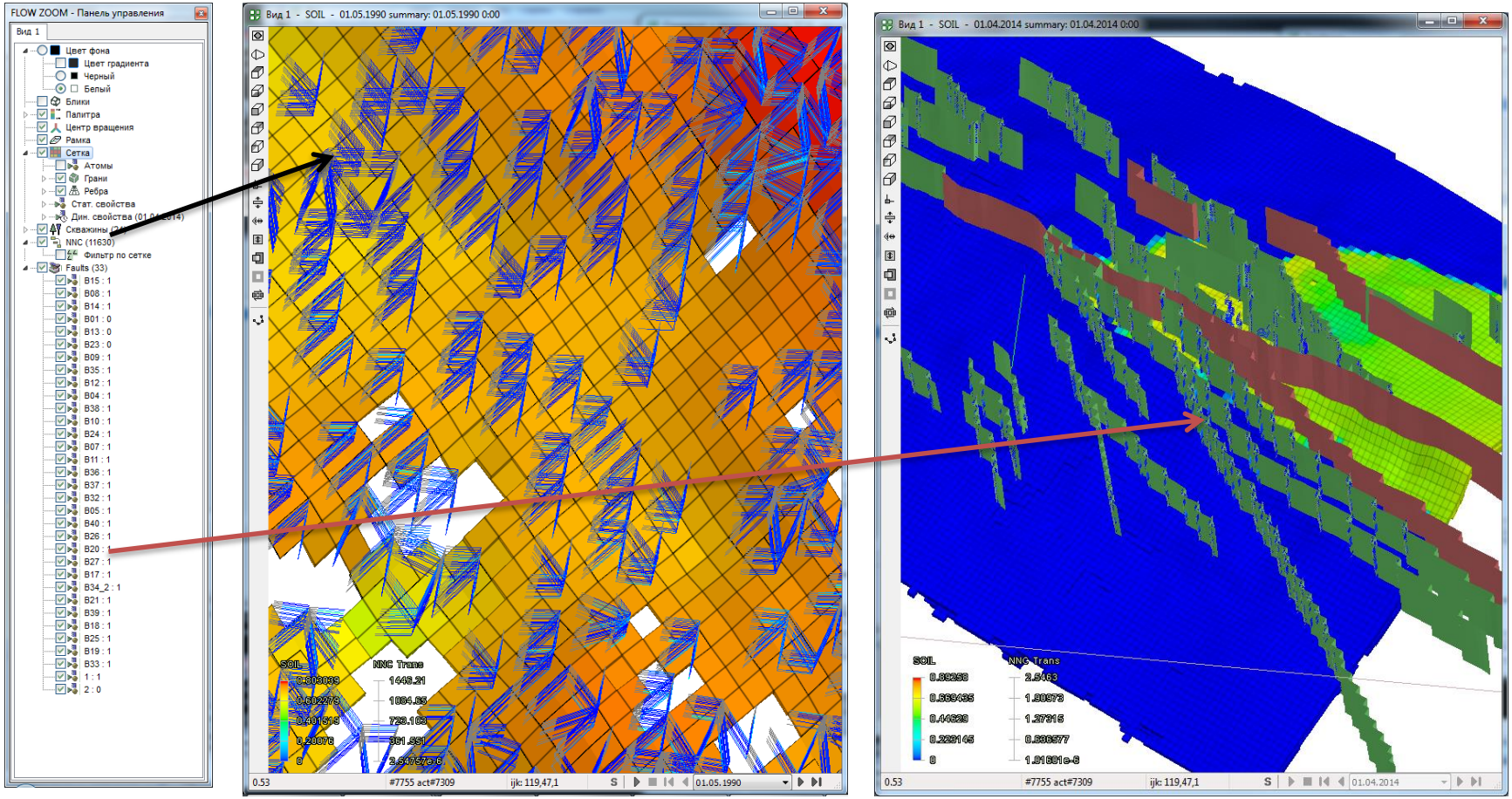


Поддержка визуальных эффектов



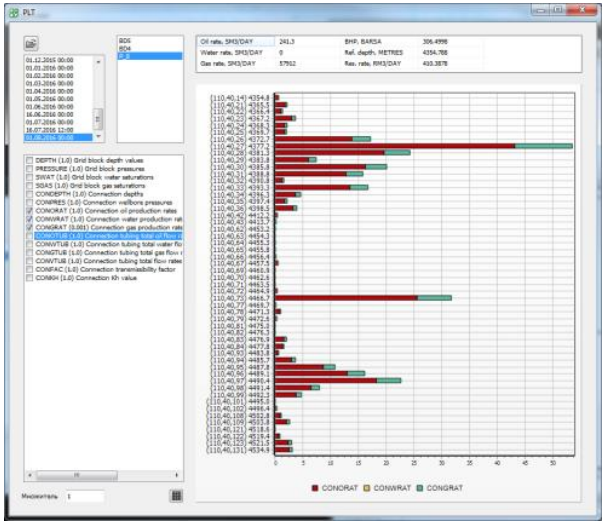
3. Визуализация результатов

- Отображение NNC и разломов с коэффициентами проводимости (считывает также форматы Eclipse)

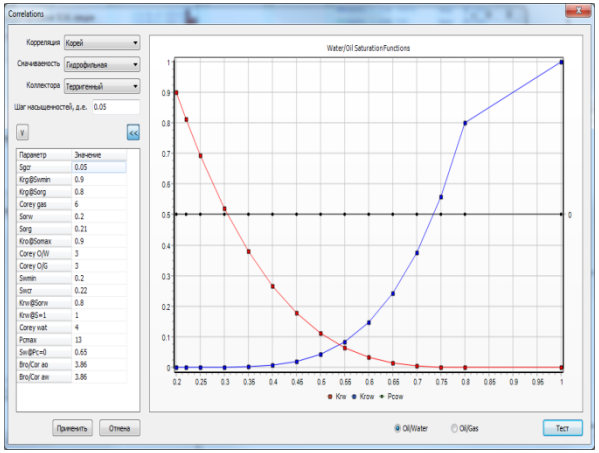


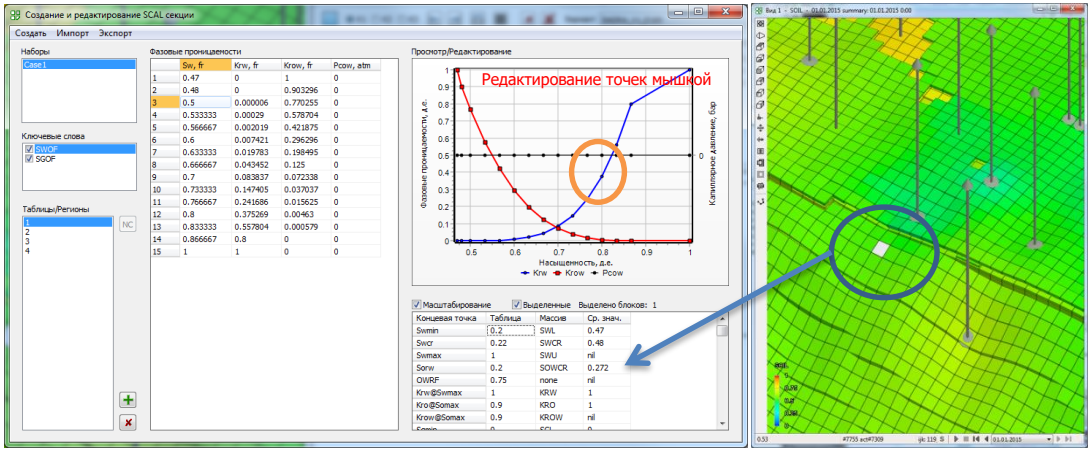
3. Визуализация результатов

- Расчет и отображение потокометрии (форматы PLT, RFT Eclipse)



- Создание ФП по корреляциям, редактирование ФП на графиках мышкой, отображение масштабированных ФП в ячейке

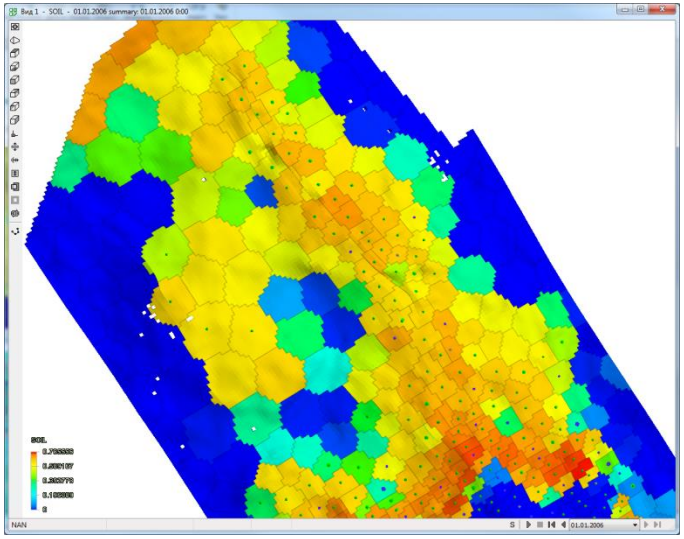


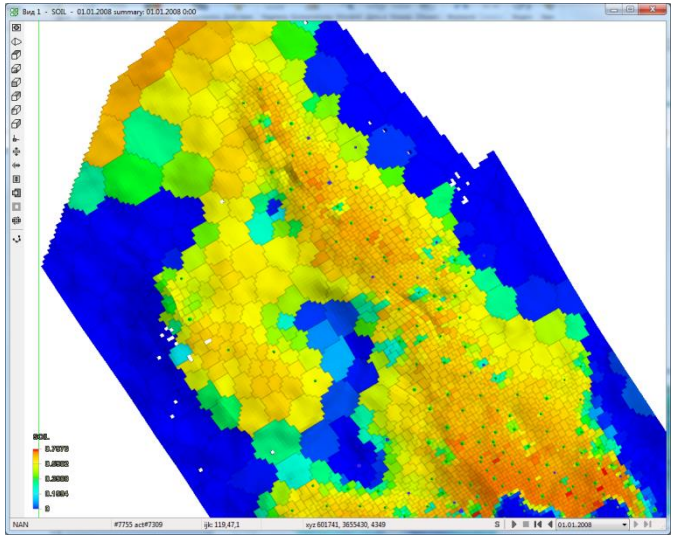


3. Визуализация результатов

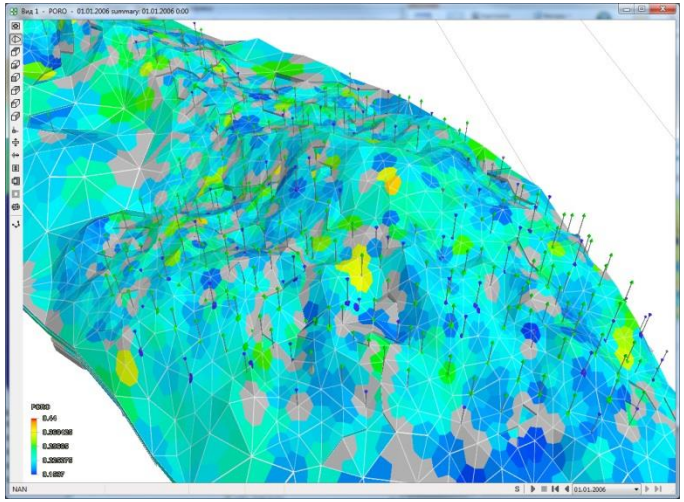
- Расчет ГДМ и отображение результатов на сетках разной геометрии и детальности

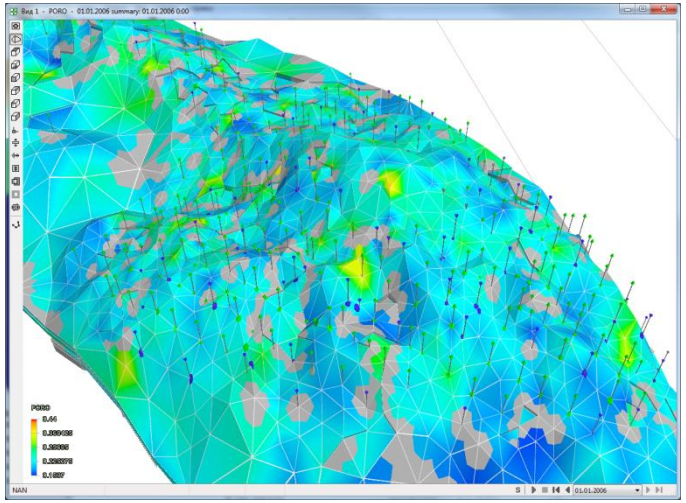
Продвинутый корсинг





Нерегулярные сетки



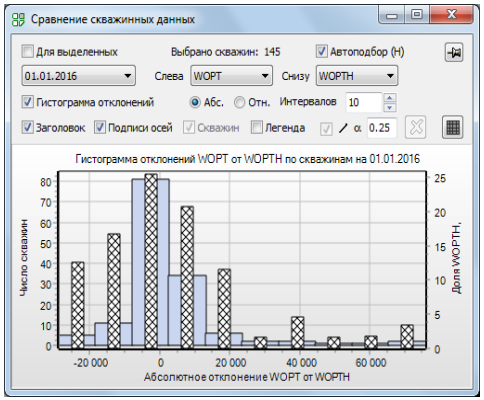


4. Оценка качества адаптации моделей

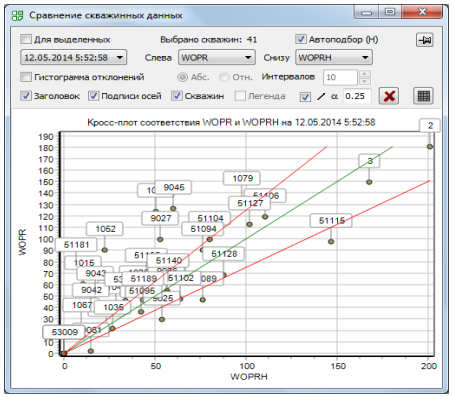
Оценка качества адаптации моделей необходима как при адаптации так и при экспертизе моделей, наиболее полезные опции реализованы во FLOWZOOM:

- **Сравнение расчетных и фактических показателей** разработки залежи, и показателей эксплуатации скважин – как обычно графически, через специальные диаграммы-кроссплоты, гистограммы отклонений, в виде графиков и соответствующих таблиц
- **Выбор скважин с неудовлетворительной адаптацией**, используя фильтры по векторам невязок «факт-расчет», имеется Калькулятор векторов
- **Выбор участков с неудовлетворительной адаптацией**, через суммирование показателей/отклонений по скважинам

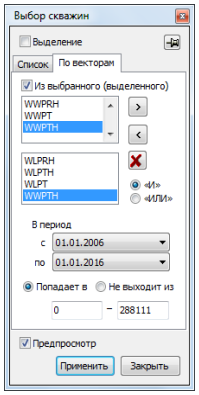
Гистограмма



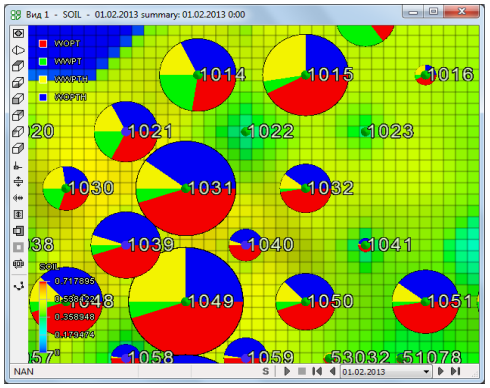
Кросс-плот



Фильтр



Круговые диаграммы для понимания невязок и фильтров



4. Оценка качества адаптации моделей

Построение диаграмм отклонений векторов - сравнение скважинных данных

Открытие диалогового окна: **Вид** –> **Сравнение скважинных данных**

например, накопленная добыча нефти WOPT и WOPTH. Задать дату анализа, например, последняя расчетная дата (по умолчанию).

Диаграмма сравнения скважинных данных

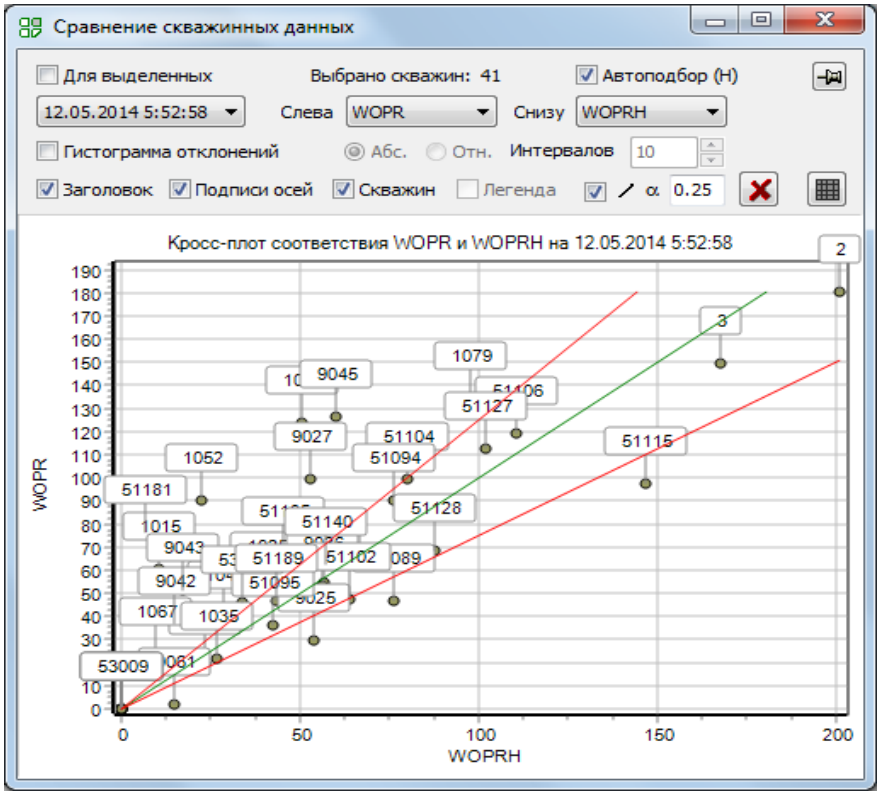
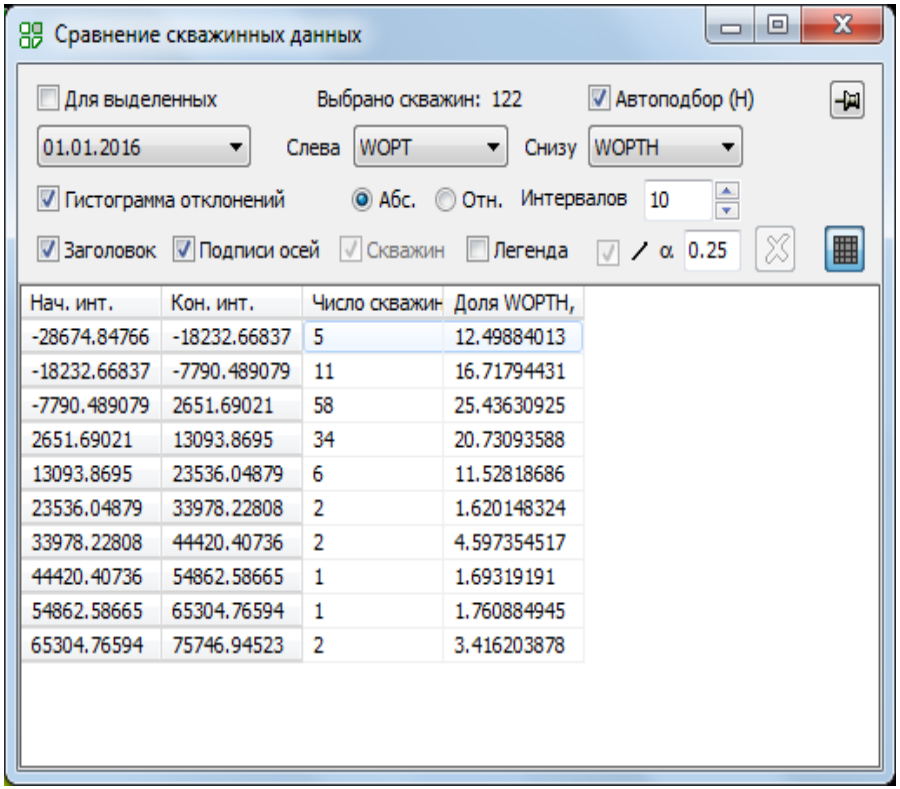


Таблица сравнения скважинных данных



Нач. инт.	Кон. инт.	Число скважин	Доля WOPTH,
-28674.84766	-18232.66837	5	12.49884013
-18232.66837	-7790.489079	11	16.71794431
-7790.489079	2651.69021	58	25.43630925
2651.69021	13093.8695	34	20.73093588
13093.8695	23536.04879	6	11.52818686
23536.04879	33978.22808	2	1.620148324
33978.22808	44420.40736	2	4.597354517
44420.40736	54862.58665	1	1.69319191
54862.58665	65304.76594	1	1.760884945
65304.76594	75746.94523	2	3.416203878

4. Оценка качества адаптации моделей

Построение диаграмм отклонений векторов - сравнения скважинных данных

Чтобы определить долю влияния неадаптированных скважин по первому параметру на второй параметр, в данном случае общую накопленную добычу. Надо изменить тип диаграммы на **Гистограмма отклонений**.

Гистограмма отклонений скважинных данных

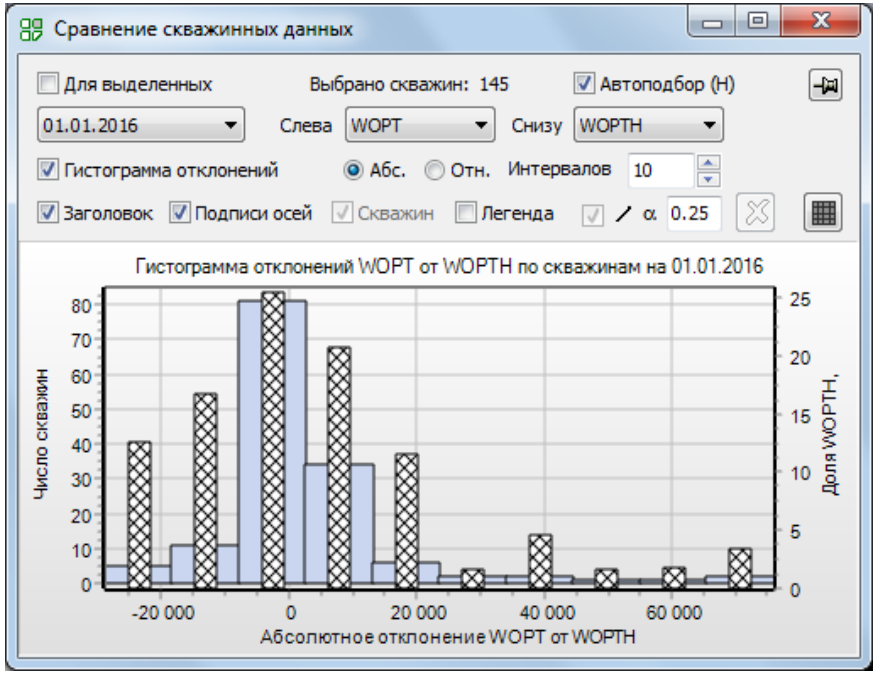
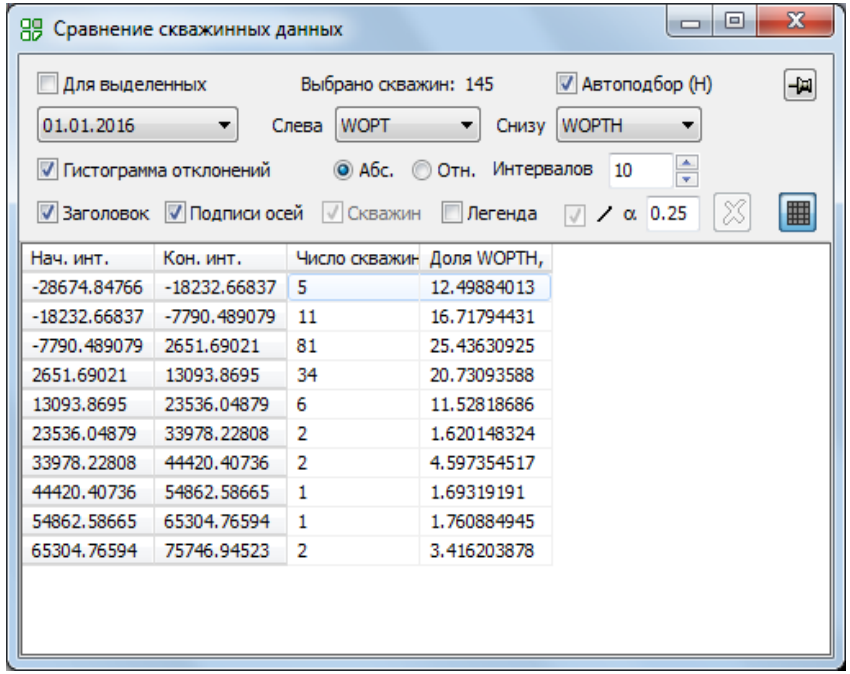


Таблица отклонений скважинных данных



Нач. инт.	Кон. инт.	Число скважин	Доля WOPTH,
-28674.84766	-18232.66837	5	12.49884013
-18232.66837	-7790.489079	11	16.71794431
-7790.489079	2651.69021	81	25.43630925
2651.69021	13093.8695	34	20.73093588
13093.8695	23536.04879	6	11.52818686
23536.04879	33978.22808	2	1.620148324
33978.22808	44420.40736	2	4.597354517
44420.40736	54862.58665	1	1.69319191
54862.58665	65304.76594	1	1.760884945
65304.76594	75746.94523	2	3.416203878

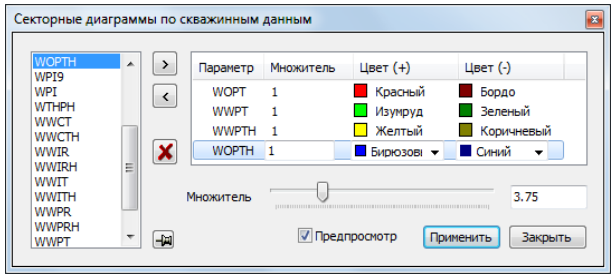
4. Оценка качества адаптации моделей

Пространственное отображение скважинных векторов в виде круговых диаграмм

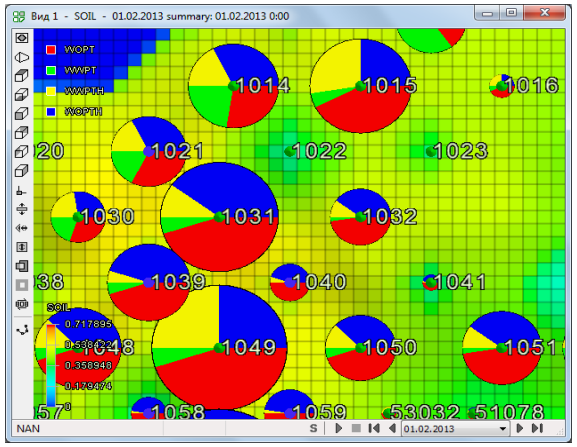
Для этого откроем мен **Свойства** –> **Скважинные данные** или кнопкой

Для анализа причин отклонения отдельных или групп скважин от фактических режимов используется пространственные отображение круговых диаграмм.

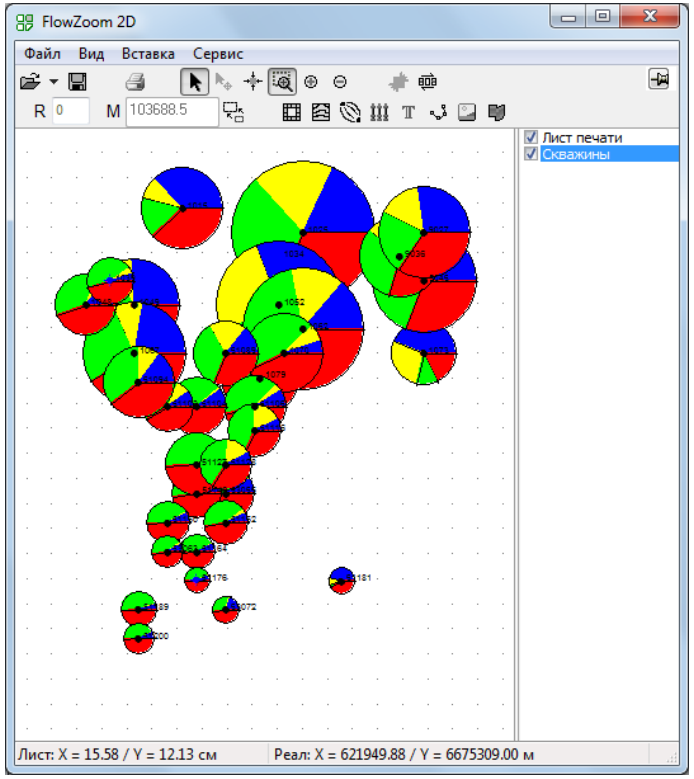
Выбор показателей по скважинам



Отображение круговых диаграмм в 3D окне



Отображение круговых диаграмм в 2D окне



4. Оценка качества адаптации моделей

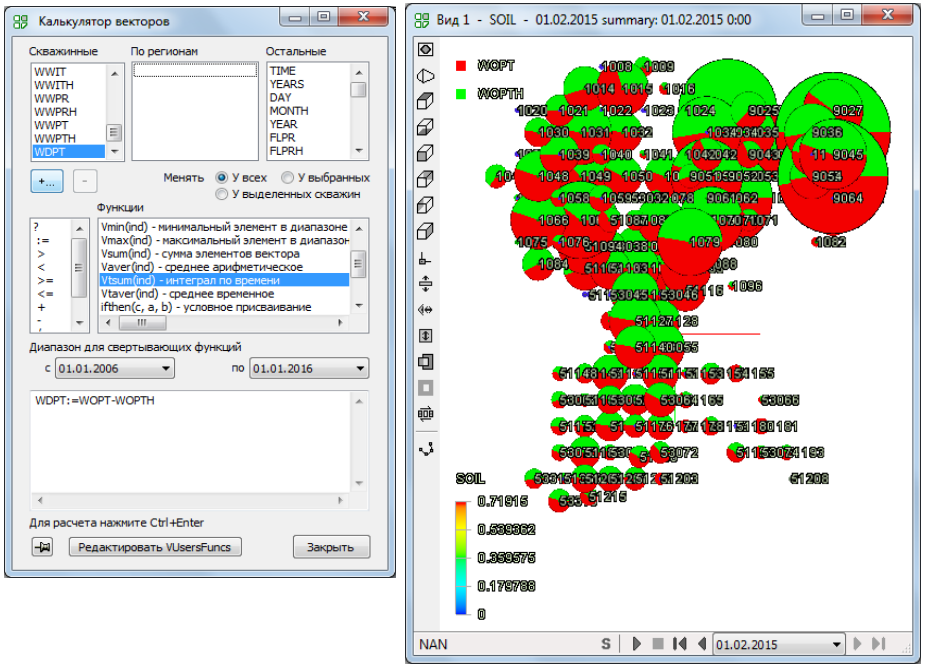
Использование Калькулятора векторов и Фильтра для выбора неадаптированных скв.

Откроем меню **Свойства** –> **Калькулятор векторов**

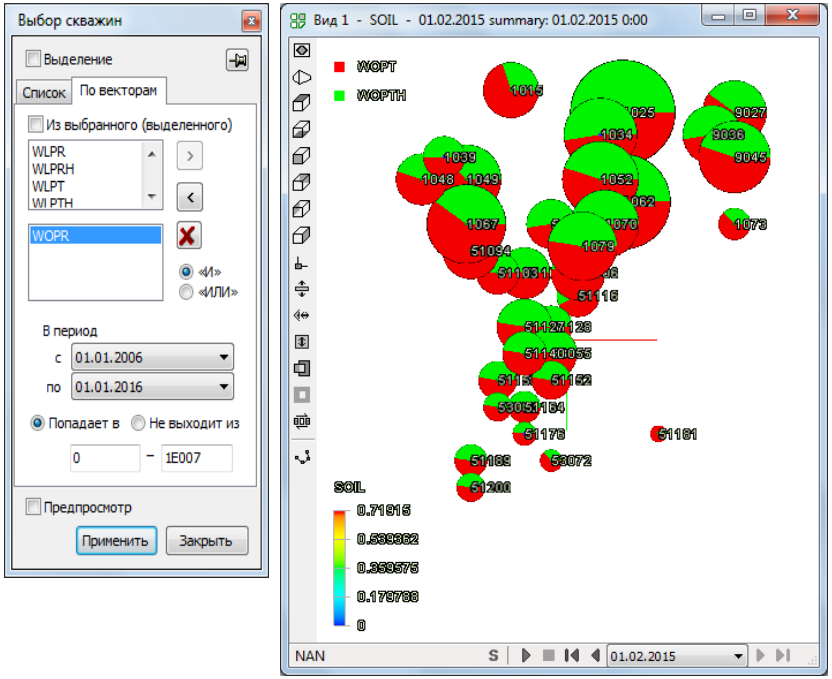
Произведем выбор скважин с максимальным отклонением накопленной добычи нефти на последнюю дату.

Создадим новый вектор, например, WDPT. И наберем выражение WDPT:=WOPT-WOPTH.

Создание нового вектора на калькуляторе векторов



Фильтрование отклонений диапазону и дате



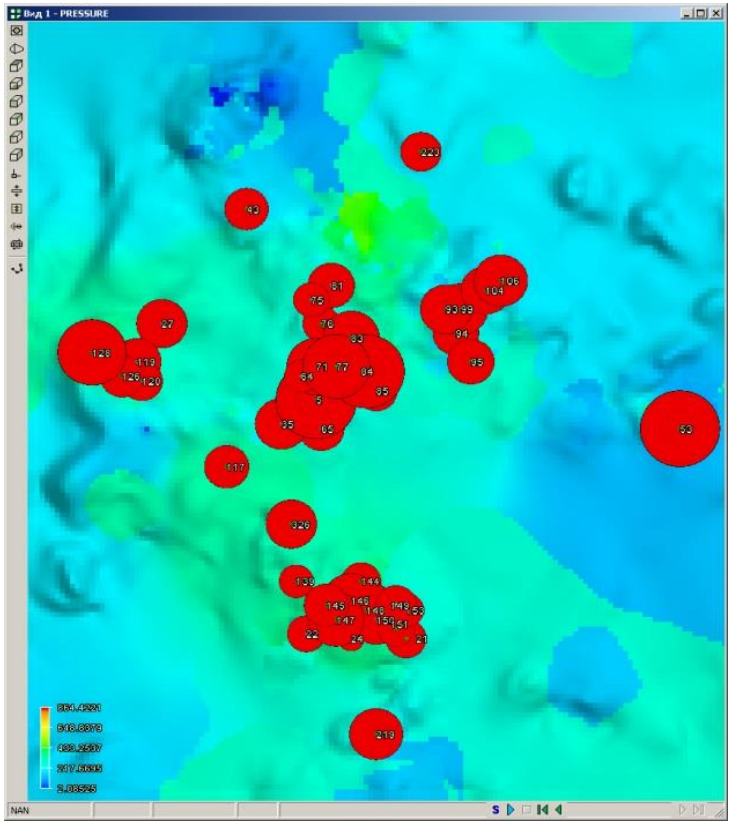
4. Оценка качества адаптации моделей

Использование Калькулятора векторов и Фильтра для выбора неадаптированных скв.

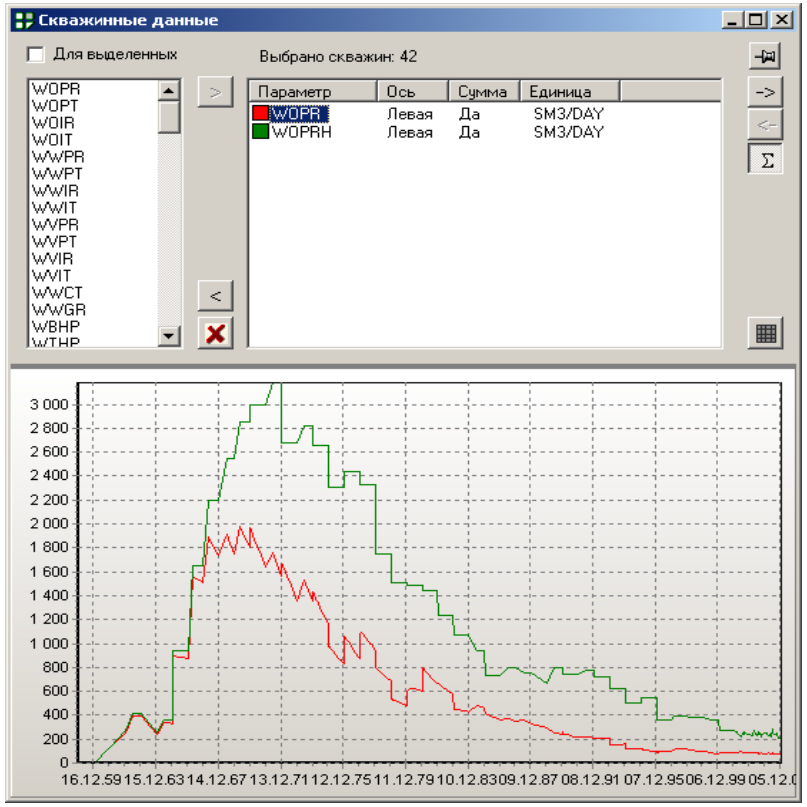
Используя форму **Скважинные данные** можно посмотреть любой вектор в виде графика по времени.

Для разного количества выбранных или выделенных скважин можно посмотреть суммарные или осредненные вектора по скважинам

Изображение невязок по «худшим» скважинам



Динамика добычи нефти по выбранным скважинам расчет и факт

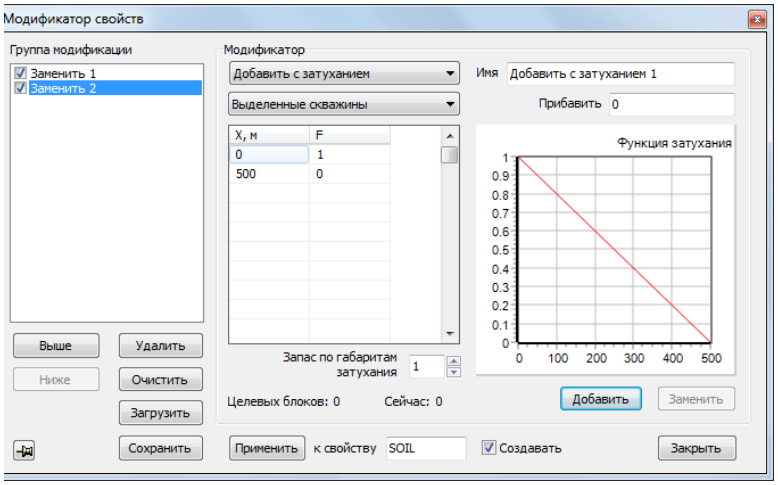


5. Корректировка свойств ГДМ при адаптации

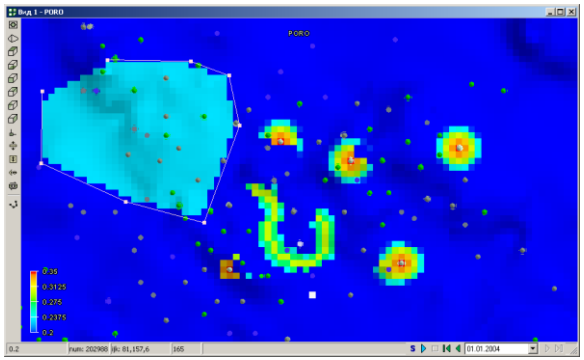
Модификация сеточных параметров модели наиболее трудоемкая задача при адаптации ГДМ, имеются удобные решения:

- ✓ Применение «Модификаторов сетки», которые применяются к исходным свойствам, т.е. их можно отменить и вернуть в исходное состояние свойство сетки, можно сохранить их для повтора.
  - Модификатор применяется к видимым ячейкам, выделенным ячейкам, видимые скважины, выделенные скважины
  - Применяемые Алгоритмы модификации: заменить, добавить, умножить, заменить с затуханием по заданной таблично функции затухания, добавить с затуханием, умножить с затуханием.
  - Задание функции влияния
  - Повторение истории изменений, и Сохранение изменений
- ✓ Применение «Калькулятора сеточных свойств» для интерполяции на всю сетку невязок по скважинам
- ✓ Применение всевозможных фильтров и задания только в выделенных областях изменения (MULTIPLY, ADD, MINVALUE, MAXVALUE)
- ✓ Выгрузка в формате Eclipse

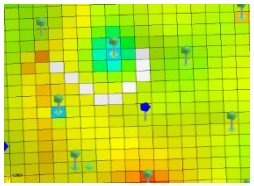
Форма модификатора свойств

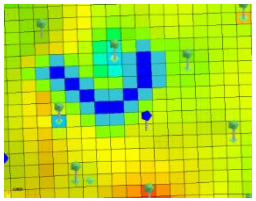


Варианты модификации



Пример, выделил в ручную – изменил с затуханием





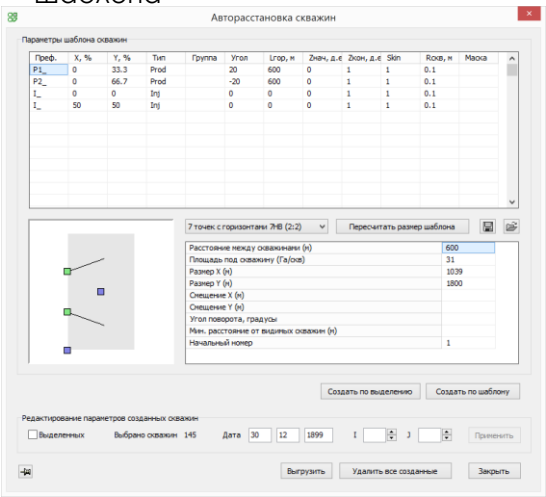
6. Подготовка прогнозных вариантов

Подготовка прогнозных вариантов при проектирование разработки требует выбор и оптимизации плотности и размещения сетки скважин.

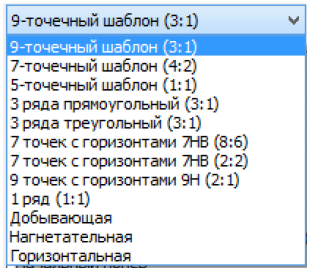
Востребованная и полезная опция – автоматическая расстановка скважин, позволяющая:

- задать области пласта (расширенными фильтрами свойств) наиболее эффективные для размещения скважин
- выбрать известную систему расстановки скважин (5-ти, 9-ти точечное и т.п.) с возможностью добавления отдельных добывающих и нагнетательных скважин, использовать размещение ГС.
- Корректировать координаты и параметров созданных скважин по различным выборкам скважин (даты ввода и координат);
- Создавать шаблоны расстановки скважин, положения Горизонтальных участков стволов
- Размещать скважины в реальной (XYZ) системе координат (а не по ячейкам)
- Выгружать в симулятор (ключевое слово COMPDAT, формат Eclipse) или файлы инклинометрии

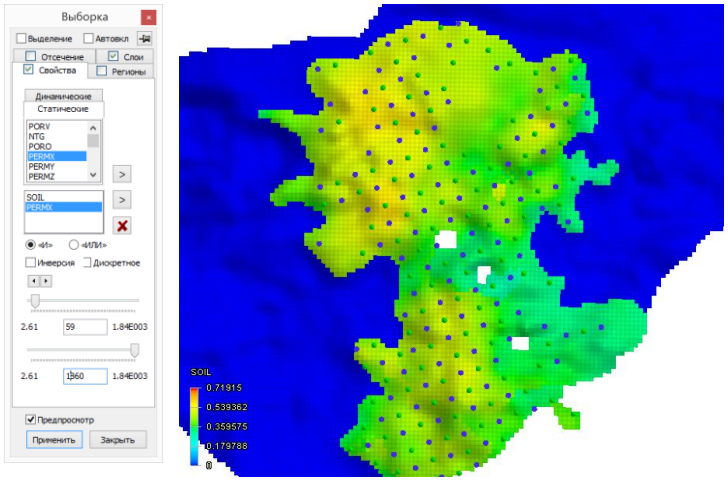
Форма Авторасстановки и задания пользовательского шаблона



Стандартные шаблоны размещения скважин

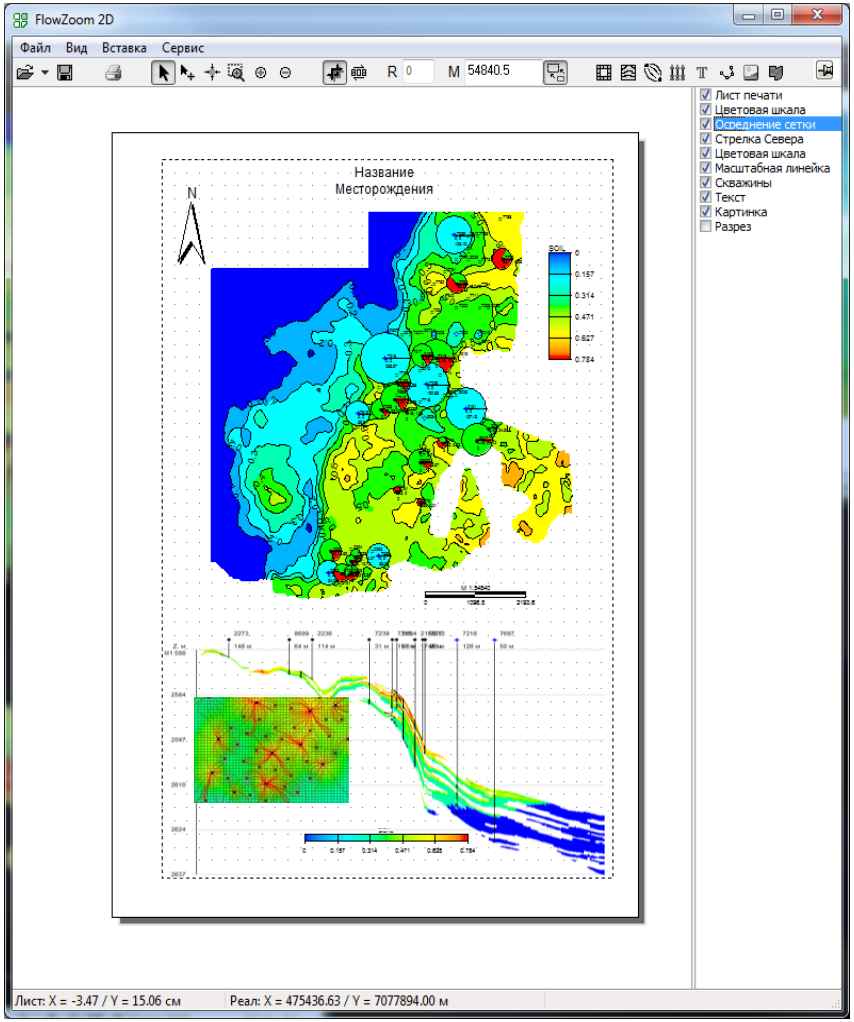


Результат расстановки скважин (доб+нагн по 5-ти точке под углом 25 гр. с учетом фильтра по коллекторским свойствам)



7. Оформление графических материалов

Более 20 опций для эффективной визуализации данных в 2Д и последующей печати в точном масштабе:



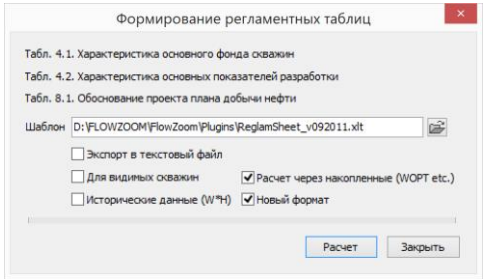
- ✓ Визуализация ГМ (грид), ГДМ, ребер грида, цветовая шкала, стрелка севера
- ✓ Корректное отображение сложных типов сеток: с разломами, локальным огрублением, блочно-центрированная сетка, двойная среда
- ✓ Визуализация скважин – имен, вертикальных, горизонтальных, наклонных стволов, перфорации, соединений с учетом их текущего состояния
- ✓ Круговых, кольцевых диаграмм любого набора показателей эксплуатации скважин
- ✓ Инклинометрии, изолиний
- ✓ Визуализация линий тока, траекторий частиц
- ✓ Временные шаги по сеточным динамическим данным и по датам показателей эксплуатации скважин
- ✓ Сечения по свободной траектории
- ✓ Наличие расширенных фильтров: по значениям параметров, по геометрии сетки; по состоянию, по имени и по категории скважин
- ✓ Визуализация: масштабной линейки, подписей, легенды (ручной вариант), штамп (в виде импортированной картинки)
- ✓ Осреднение сеточных статических и динамических параметров со взвешиванием (арифметическим, геометрическим, степенным) по различным параметрам
- ✓ Оформление карт для Печати в заданном масштабе или сохранения в виде качественных векторных картинок
- ✓ Поддержка стандартных форматов IRAP, Schlumberger для: инклинометрии, перфорации, изоляции, изолиний, границ участков и контуров, поверхностей (структурных, ВНК, разломов)
- ✓ И другое…

8. Создание табличной документации

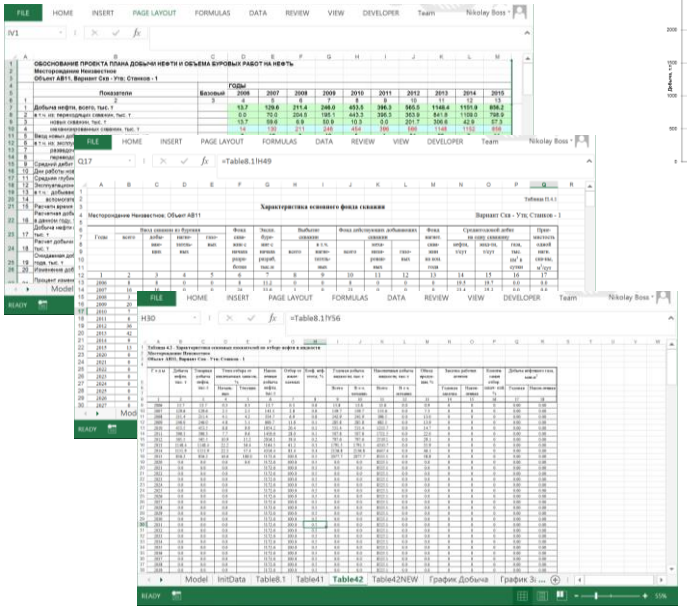
Для официального оформления результатов моделирования в табличной форме есть возможность **Выгрузки регламентных таблиц – 4.1, 4.2, 8.1:**

- Имеются готовые шаблоны для EXCEL (*.xlt), которые заполняются при выгрузке.
- Все входные данные можно увидеть на отдельном листе (исключается некорректность выгрузки).
- Все таблицы «живые», имеют формулы Excel
- Сразу настроены форматы цветов, заголовков, необходимые графики данные для последующей печати: Графики по Добычи, Графики по Закачке, Графики по Фонду, По выработке запасов, По средним дебитам, По давлению и т.п.
- Пользователь может переопределить по своему усмотрению шаблон, оформление и макрос формирования таблиц!

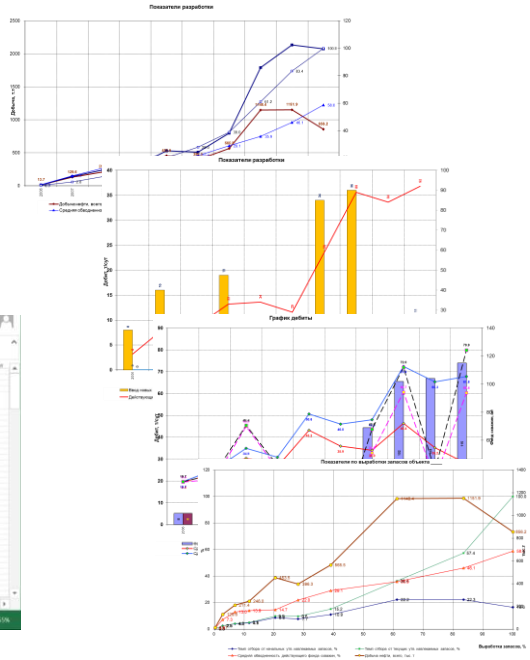
Форма Выгрузки



Открытие данных в заготовленных Шаблонах



Наличие множества готовых графиков

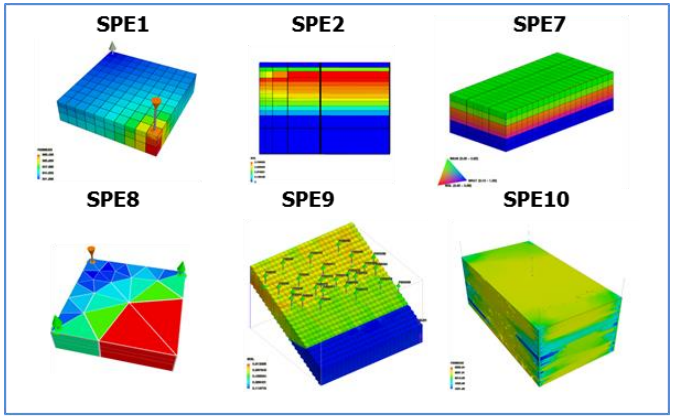


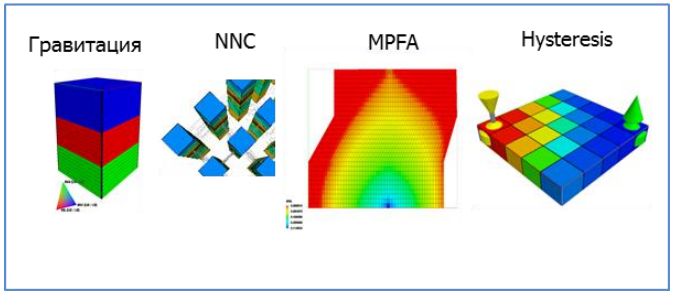
Симулятор FLOWSIM сегодня – это …

1. Разнообразные опции физических эффектов в рамках **модели Black Oil (аналог Eclipse 100)**
2. Мощный и стабильный линейный солвер и предобуславливатель (ORTOMIN with Modified Nested Factorization), модифицированный для решения задач на нерегулярных сетках и сетках со значительным числом несоседних соединений (NNC и MPFNNC)
3. Совместимый формат загрузки данных с Eclipse 100 (не требуется конвертаций)
4. Обновление визуализации в режиме реального времени (Plot and 3D)
5. Импортирование и визуализация скважинных данных (инклинометрия, перфорация), свойств PVT, SCAL, VFP таблицы.

Возможности алгоритмов FlowSim:

- ✓ Поддерживаемые типы сеток: «Угловой точки», блочная, триангуляционная и «PEBI» сетки
- ✓ Полностью неявный нелинейный солвер (методом Ньютона)
- ✓ 3-х мерный и 3-х фазные формулировки модели «Черной нефти» для одинарной среды
- ✓ Полностью неявные скважинные уравнения с 3-мя уравнениями/3-мя переменными
- ✓ Равновесная и неравновесная инициализация, масштабирование концевых точек для воспроизведения пользовательских кубов насыщенностей
- ✓ Гистерезис фазовых проницаемостей
- ✓ Вертикальное и горизонтальное масштабирование концевых точек фазовых проницаемостей и капиллярных сил
- ✓ Множественные регионы уравновешивания фаз, свойств флюидов и породы, подсчета запасов
- ✓ Поддержка VFP таблиц
- ✓ Автоматический выбор шагов для соблюдения устойчивости и материального баланса





Перспективы развития FlowZoom 2019 год

1. **Продолжение интегрирования FZ+FS**, совершенствование алгоритмов, добавление новых ключевых слов
2. **Интегрирование в ГДМ наработок по детальному моделированию ОПЗ** для оценки эффективности ГТМ
3. **Моделирование СКО** и полимер-кислотных обработок на скважинах
4. **Расчет ГТМ в ГДМ и формирование отчетности** – автоматические выполнение ГТМ при удовлетворении условий применимости, стандартная отчетность по эффективности мероприятий