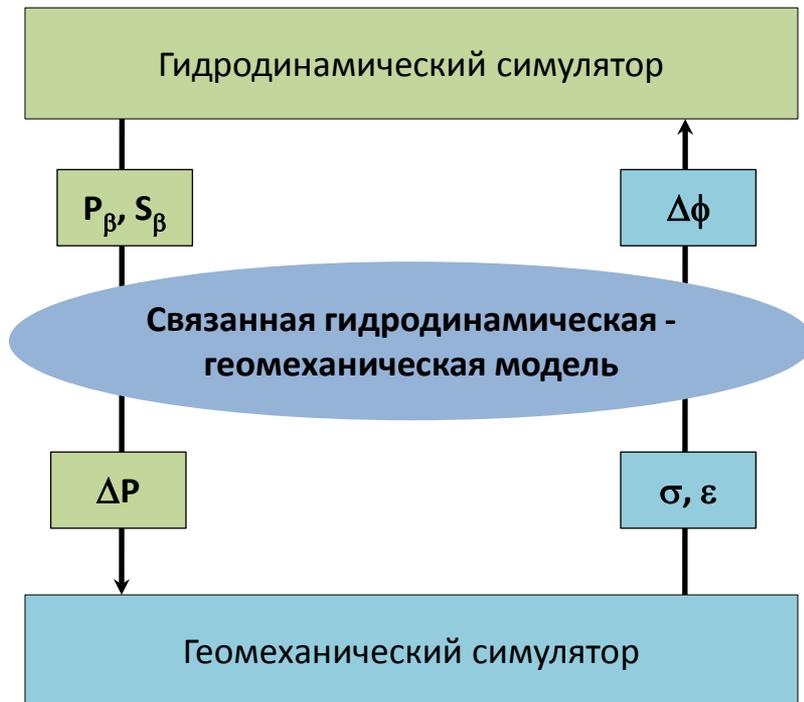




# **Комплексное геомеханическое и гидродинамическое моделирование эволюции нефтяного месторождения в процессе разработки**

Гарагаш И.А., Дубовская А.В., Корнева Д.А., Гасеми М.Ф.

# Схема связанного геомеханического и гидродинамического моделирования



---

$P_{\beta}$  - давление фазы  $\beta$ ;  
 $S_{\beta}$  - насыщение фазы  $\beta$ ;  
 $\Delta\phi$  - пористость;  
 $\Delta P$  – давление;  
 $\sigma$  - напряжение;  
 $\varepsilon$  - деформация;

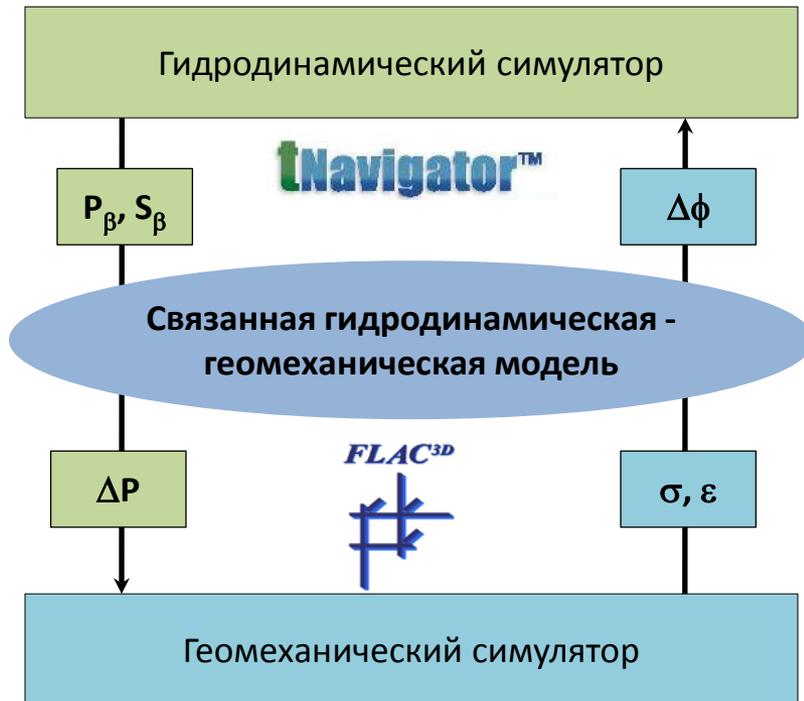
---

## Публикации

- Lewis R. W., Ghafouri H. R//International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 1997
- Minkoff S. E , Stone, C. M. et al//Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2003
- Osorio J. G., Chen H. Y., Teufel L. //SPE Reservoir Simulation - 1999.

И др.

# Схема связанного геомеханического и гидродинамического моделирования



---

$P_\beta$  - давление фазы  $\beta$ ;  
 $S_\beta$  - насыщение фазы  $\beta$ ;  
 $\Delta\phi$  - пористость;  
 $\Delta P$  – давление;  
 $\sigma$  - напряжение;  
 $\epsilon$  - деформация;

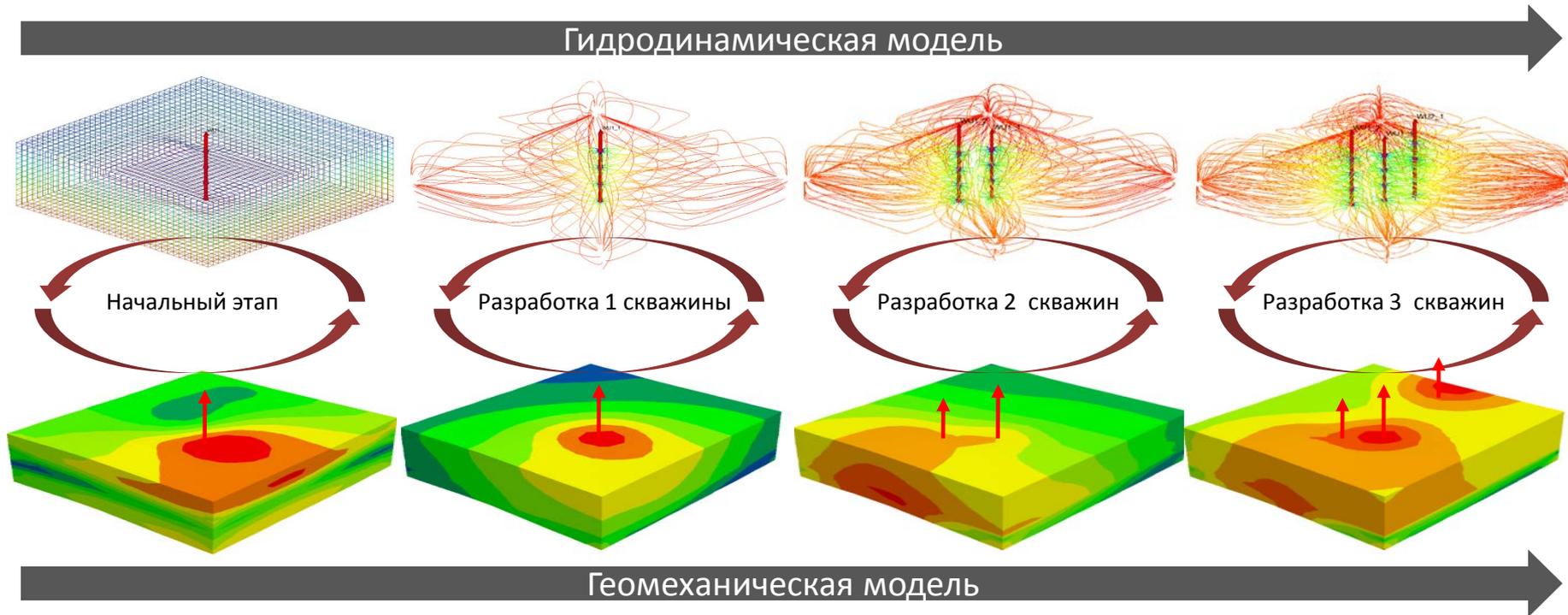
---

## Публикации

- Lewis R. W., Ghafouri H. R//International journal for numerical and analytical methods in geomechanics. – 1997
- Minkoff S. E , Stone, C. M. et al//Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2003
- Osorio J. G., Chen H. Y., Teufel L. //SPE Reservoir Simulation - 1999.

И др.

# Связанная модель нефтяного месторождения



## Исходные данные для построения модели :

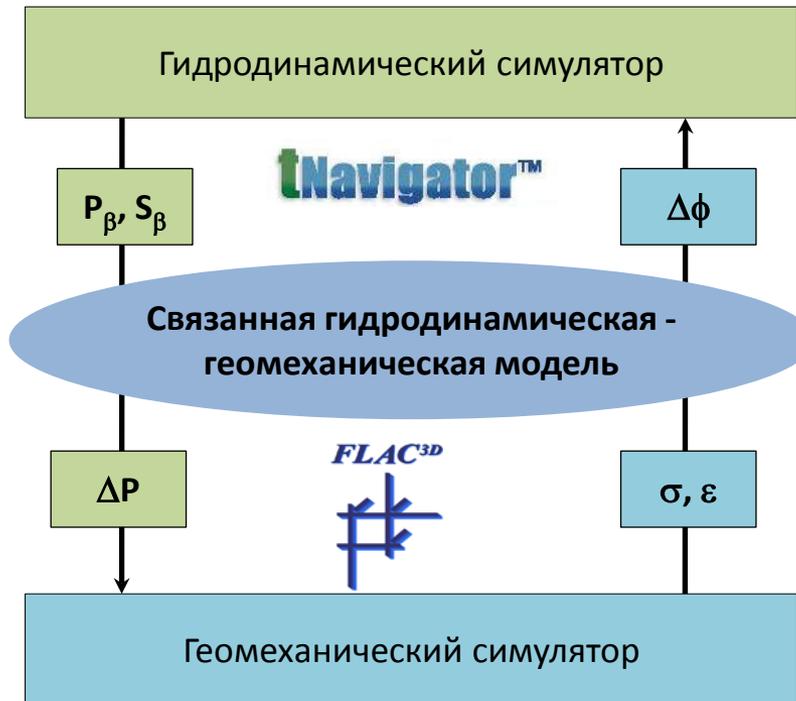
- Инклинометрия скважин;
- Отбивки пластов;
- Геологические горизонты;
- Литологические характеристики пластов;
- Скорости  $V_p$ , плотность и пористость пород полученные по данным ГИС;
- Упругие модули рассчитанные по данным скоростей  $V_p$ .

## Параметры гидродинамической модели:

- Тип модели «Вода-нефть»;
- Тип коллектора "Одинарная пористость";
- Интервал времени моделирования разработки с 10.09.2014 по 10.10.2015
- Глубина залегания коллектора 3400м, размеры модели в плане 1600x1600м

Продуктивный слой-коллектор рассматривается в массиве вмещающих пород как **единая механическая система** и моделируется **поронасыщенной упругопластической средой** с предельным условием Кулона-Мора в рамках концепции эффективных напряжений, предложенной М.Вiot.

# Схема связанного геомеханического и гидродинамического моделирования



$$\phi = f(\epsilon_v)$$

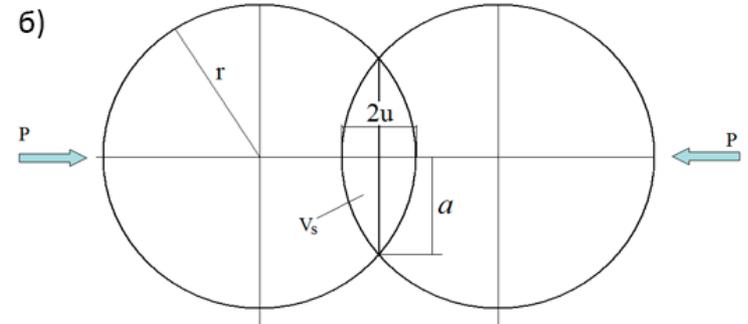
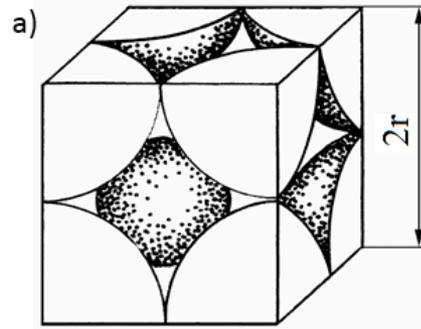
---

$P_\beta$  - давление фазы  $\beta$ ;  
 $S_\beta$  - насыщение фазы  $\beta$ ;  
 $\Delta\phi$  - пористость;  
 $\Delta P$  - давление;  
 $\sigma$  - напряжение;  
 $\epsilon$  - деформация;

---

# Связь пористости и деформации

$$\phi = f(\varepsilon_v)?$$



$$\phi = \left\{ [2(1 - \varepsilon)]^3 - \left[ \frac{4}{3}\pi - \pi\varepsilon^2 \left(1 - \frac{1}{3}\varepsilon\right) \right] \right\} / [2(1 - \varepsilon)]^3$$

$$\Delta\phi = a\Delta\varepsilon_v$$

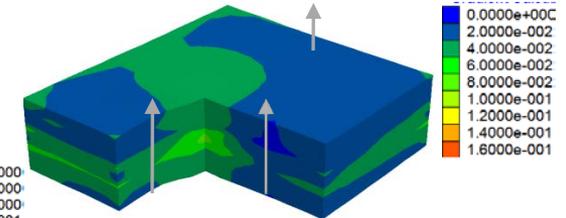
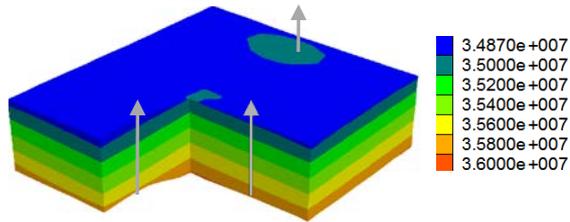
# Результаты моделирования

Пластовое давление, Па

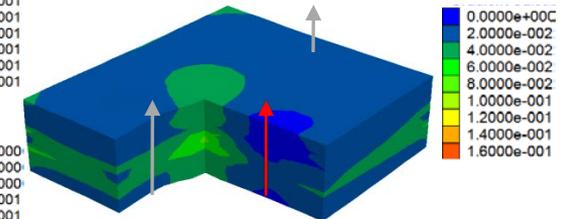
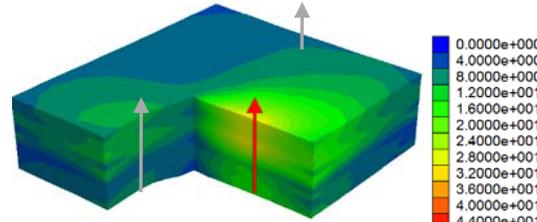
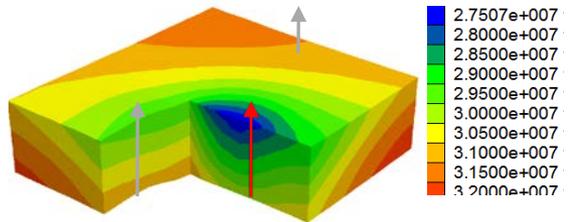
Изменение пористости, %

Пористость, д.ед.

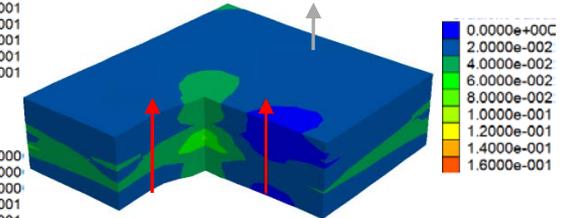
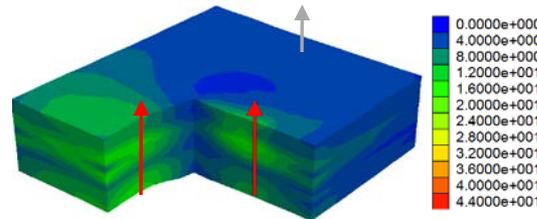
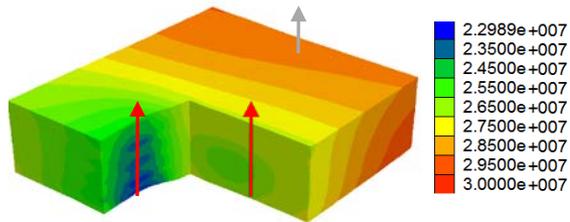
Начальный этап



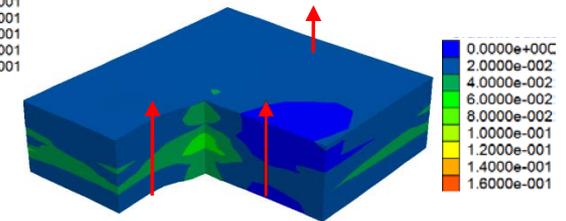
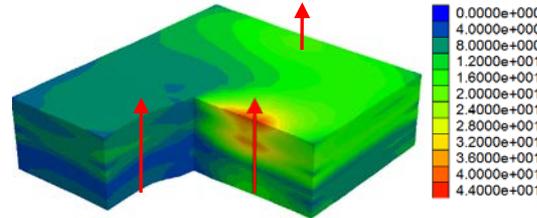
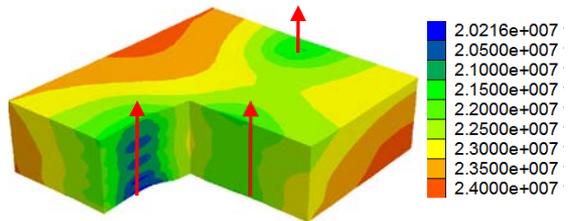
1 этап



2 этап

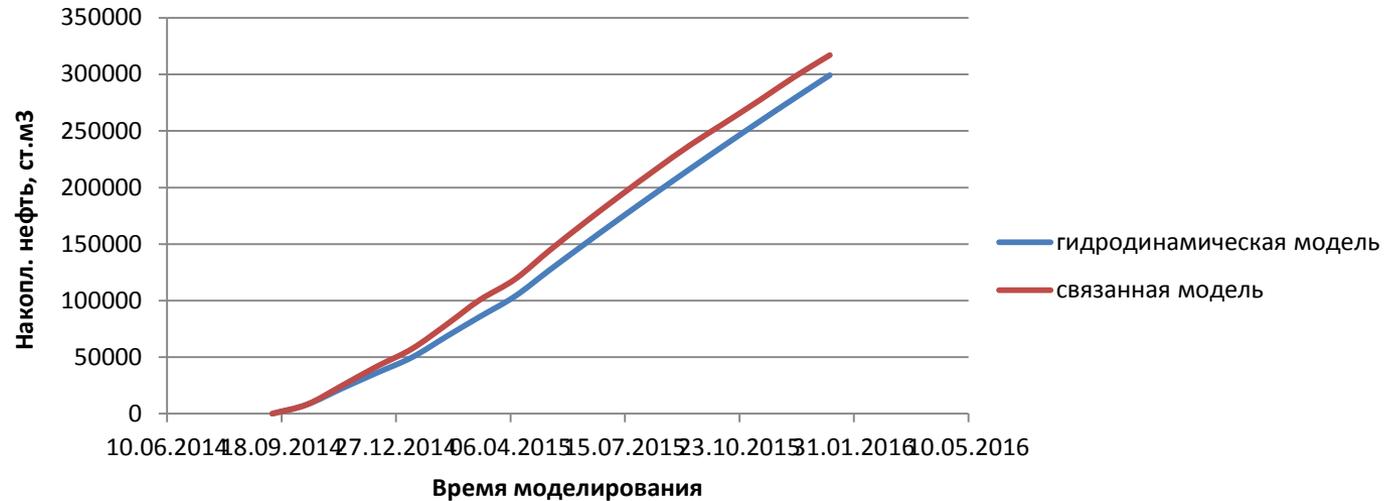


3 этап

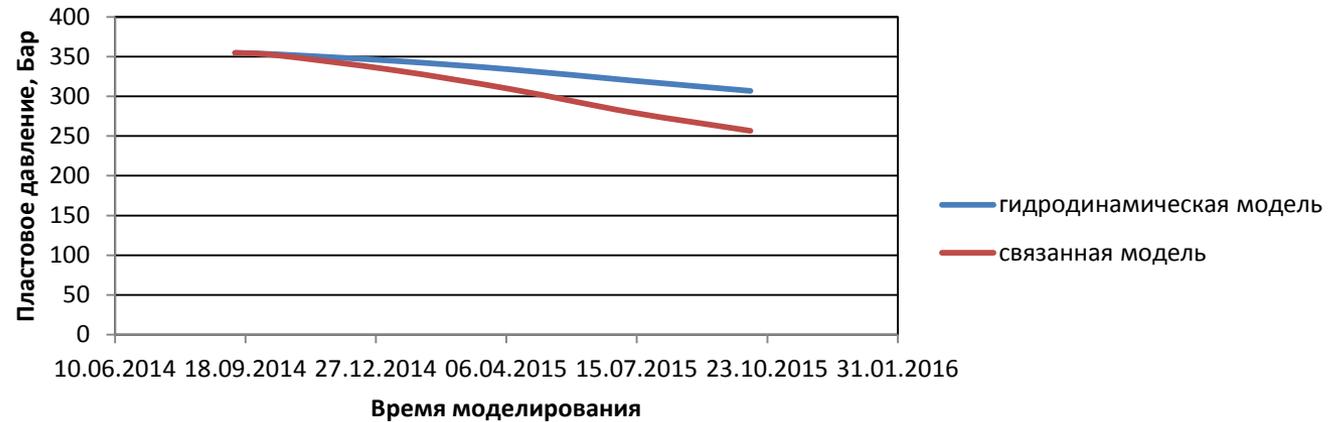


# Влияние н.д.с. пласта-коллектора на результаты гидродинамического моделирования

## Накопленная нефть



## Пластовое давление

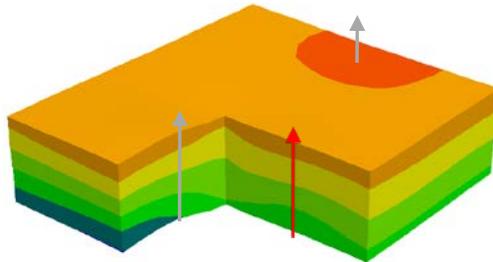


# Результаты гидро-геомеханического моделирования

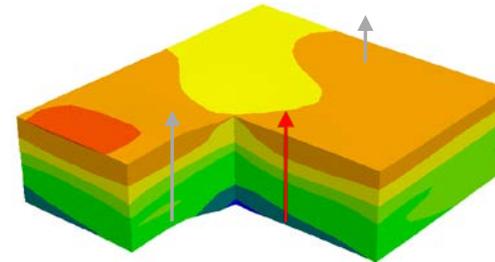
Вертикальное напряжение, Па

Минимальное горизонтальное напряжение, Па

1 этап

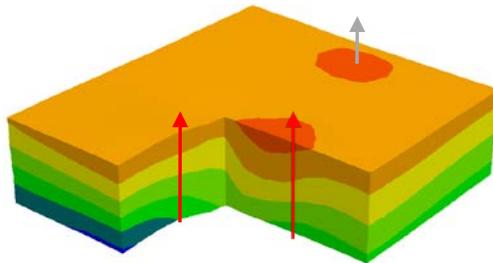


Gradient Calculation  
-9.8070e+007 to -9.8000e+007  
-9.8000e+007 to -9.5000e+007  
-9.5000e+007 to -9.4000e+007  
-9.4000e+007 to -9.3000e+007  
-9.3000e+007 to -9.2000e+007  
-9.2000e+007 to -9.1000e+007  
-9.1000e+007 to -8.0752e+007  
Interval = 1.0e+006

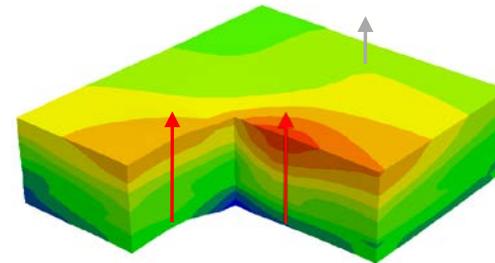


Gradient Calculation  
-4.7852e+007 to -4.7500e+007  
-4.7500e+007 to -4.7000e+007  
-4.7000e+007 to -4.6500e+007  
-4.6500e+007 to -4.6000e+007  
-4.6000e+007 to -4.5500e+007  
-4.5500e+007 to -4.5000e+007  
-4.5000e+007 to -4.4954e+007  
Interval = 5.0e+005

2 этап

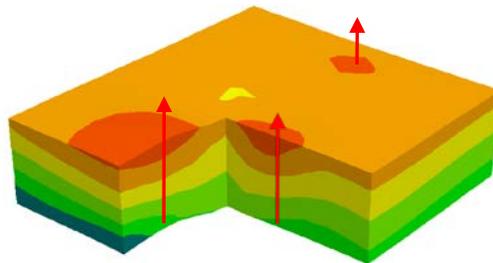


Gradient Calculation  
-9.8070e+007 to -9.8000e+007  
-9.8000e+007 to -9.5000e+007  
-9.5000e+007 to -9.4000e+007  
-9.4000e+007 to -9.3000e+007  
-9.3000e+007 to -9.2000e+007  
-9.2000e+007 to -9.1000e+007  
-9.1000e+007 to -8.0752e+007  
Interval = 1.0e+006

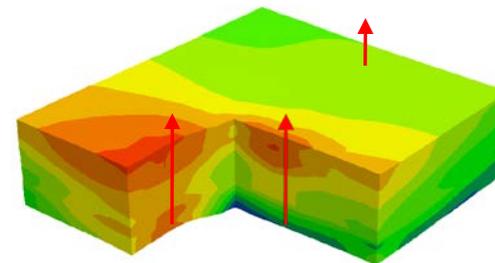


Gradient Calculation  
-4.7852e+007 to -4.7500e+007  
-4.7500e+007 to -4.7000e+007  
-4.7000e+007 to -4.6500e+007  
-4.6500e+007 to -4.6000e+007  
-4.6000e+007 to -4.5500e+007  
-4.5500e+007 to -4.5000e+007  
-4.5000e+007 to -4.4954e+007  
Interval = 5.0e+005

3 этап

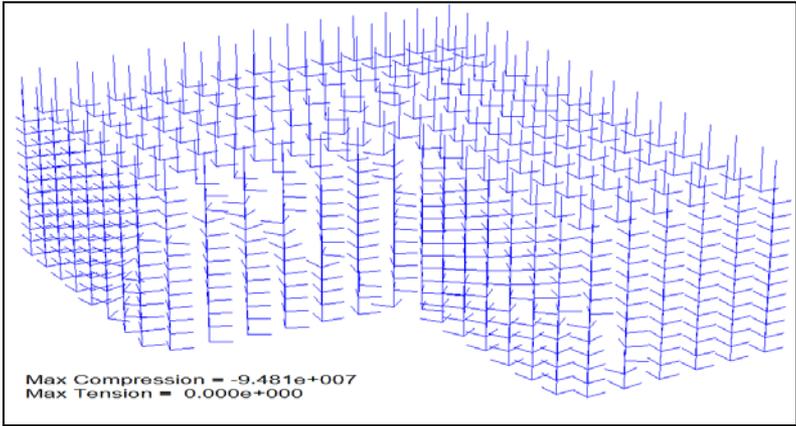


Gradient Calculation  
-9.8070e+007 to -9.8000e+007  
-9.8000e+007 to -9.5000e+007  
-9.5000e+007 to -9.4000e+007  
-9.4000e+007 to -9.3000e+007  
-9.3000e+007 to -9.2000e+007  
-9.2000e+007 to -9.1000e+007  
-9.1000e+007 to -8.0752e+007  
Interval = 1.0e+006



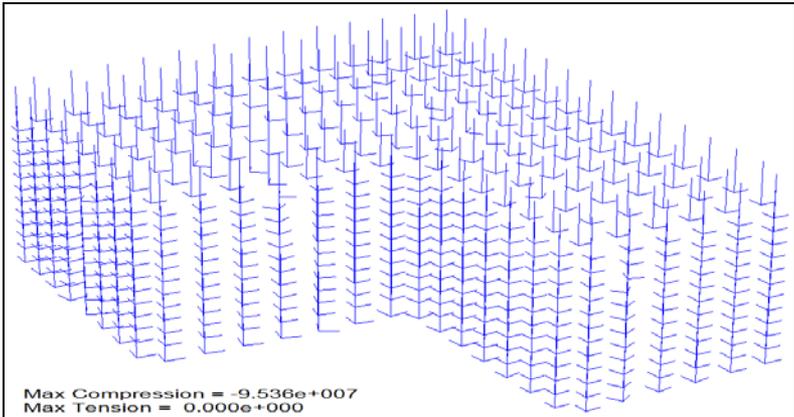
Gradient Calculation  
-4.7852e+007 to -4.7500e+007  
-4.7500e+007 to -4.7000e+007  
-4.7000e+007 to -4.6500e+007  
-4.6500e+007 to -4.6000e+007  
-4.6000e+007 to -4.5500e+007  
-4.5500e+007 to -4.5000e+007  
-4.5000e+007 to -4.4954e+007  
Interval = 5.0e+005

Исходное состояние

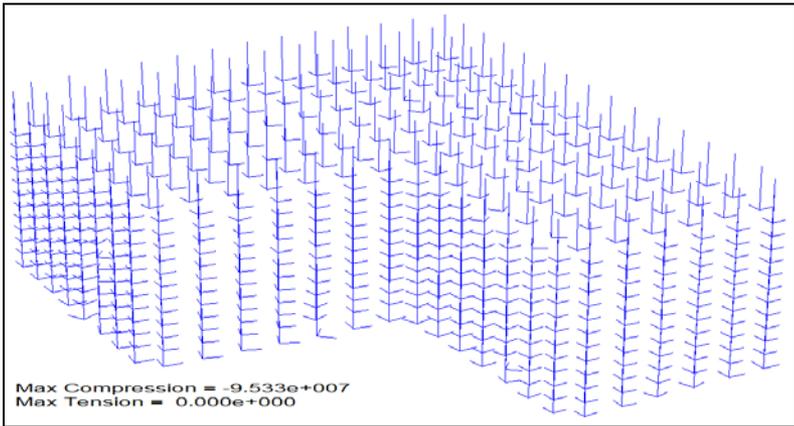


Ориентация главных осей

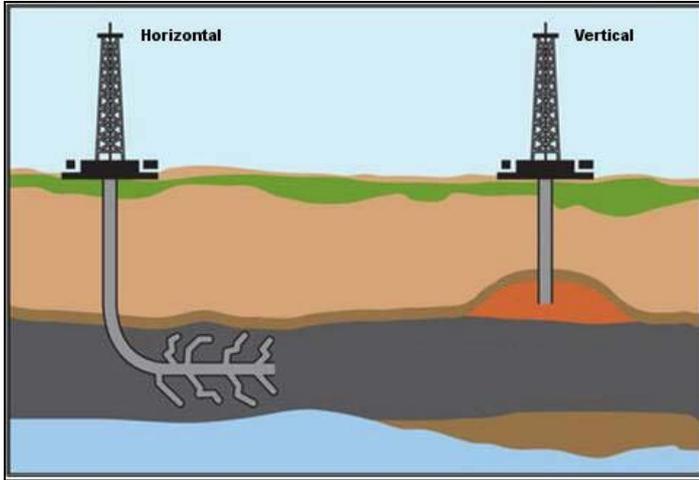
Разработка - 1-й этап



Разработка - 2-й этап



# Сравнение результатов геомеханического моделирования с аналитическим и эмпирическим решениями



Для неконсолидированного песчаного коллектора (компания Shell, Мексиканский залив), расположенного на глубине 3700м, было получено эмпирическое соотношение

$$\sigma_{11}^{\text{exp}} = \sigma_{11}^0 + \Delta\sigma_{11}, \quad \Delta\sigma_{11} = \Delta p / 2$$

Аналитическое решение  
для пористой среды

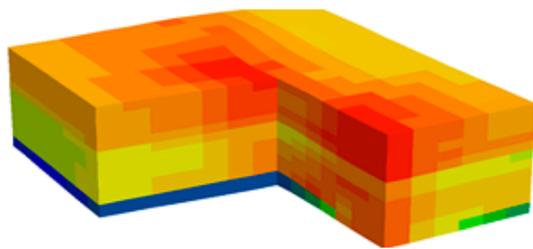
$$\Delta\sigma_{11} = \Delta\sigma_{22} = \alpha\Delta p \frac{1-2\nu}{1-\nu}$$

$$\begin{aligned} \nu &= 0.33 \\ \frac{1-2\nu}{1-\nu} &= 0.507 \end{aligned}$$

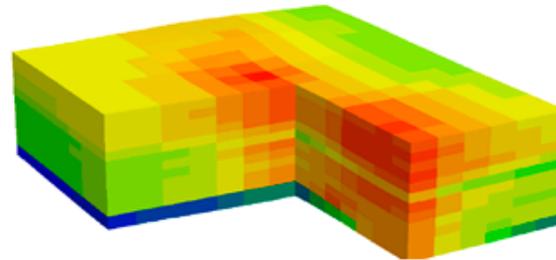
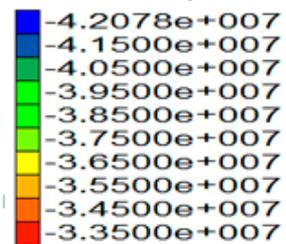
# Сравнение результатов геомеханического моделирования с аналитическим и эмпирическим решениями

Минимальное горизонтальное напряжение  $\sigma_1$

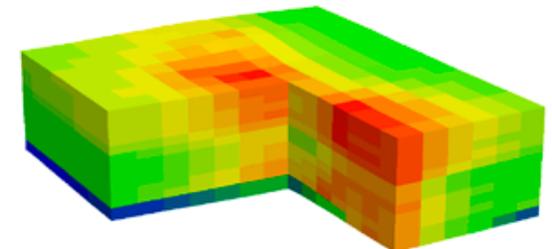
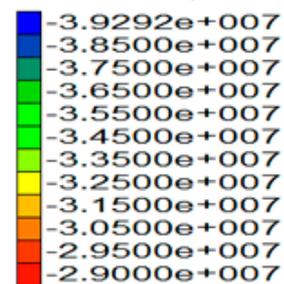
а) Расчетное распределение      б) Аналитическое распределение      в) Эмпирическое распределение



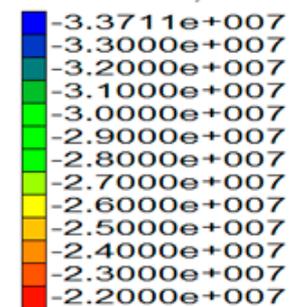
Main stress S1, Pa



Main stress S1, Pa

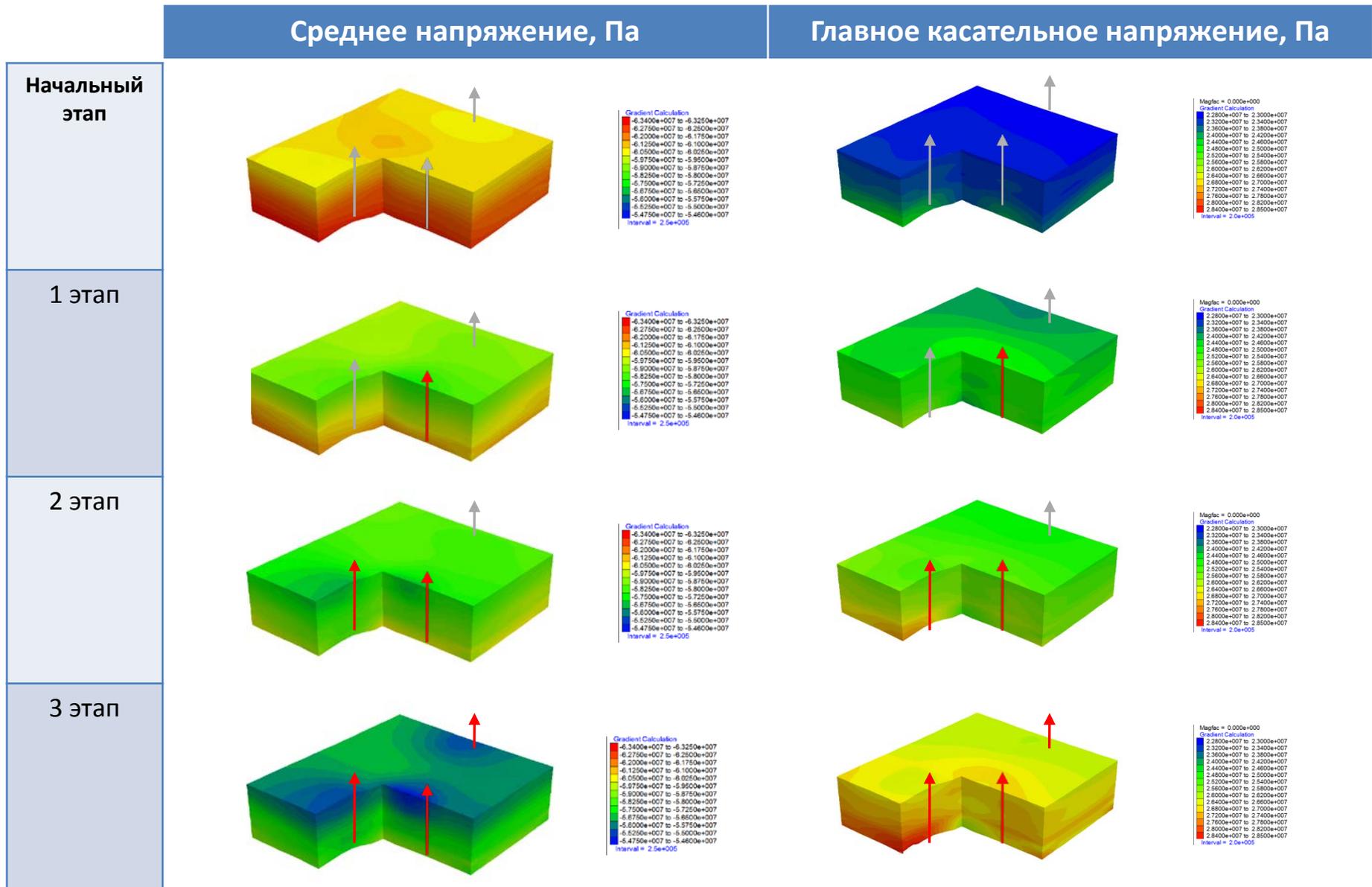


Main stress S1, Pa



# Результаты связанного моделирования

Важным аспектом геомеханики является воздействие изменения напряженно-деформированного состояния пласта-коллектора и массива вмещающих пород в процессе разработки на обсадные колонны скважин.



# Изменение напряженного состояния в окрестности добывающих скважин в процессе разработки.

Рис.1 Эволюция объемной деформации в окрестности скважины.

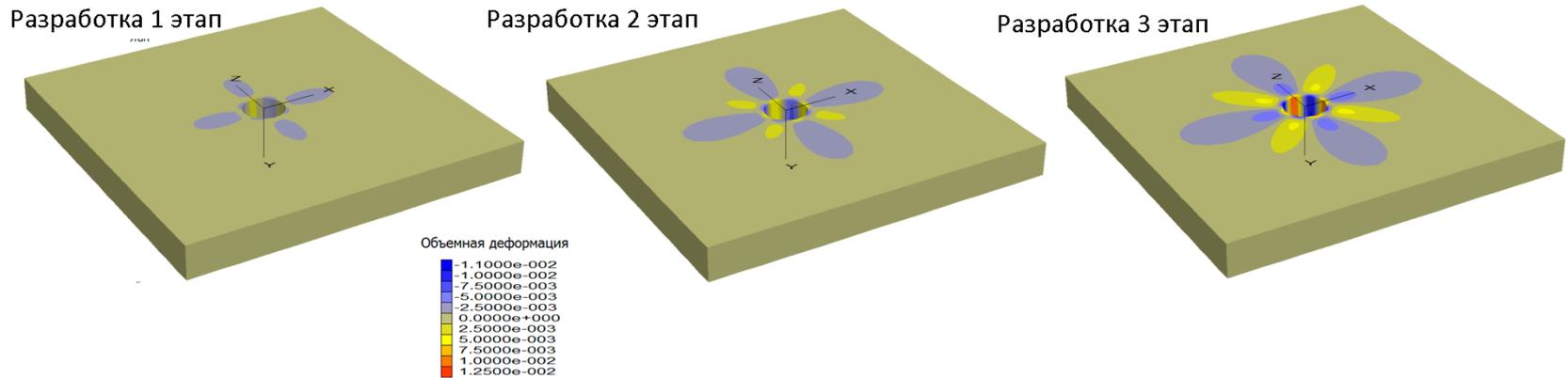
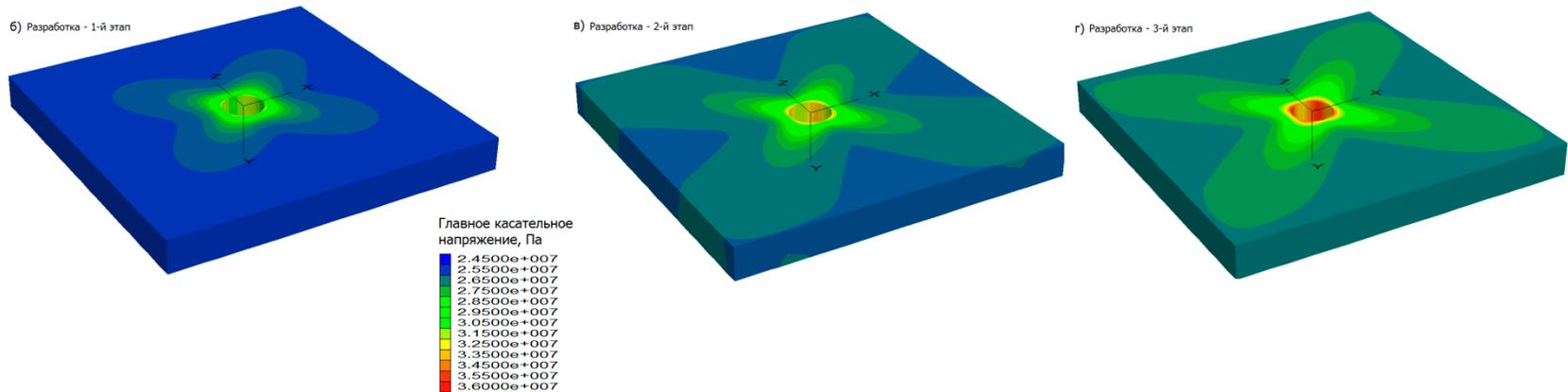


Рис.2 Распределение максимальных касательных напряжений на разных стадиях разработки.



Касательные напряжений являются наиболее «опасными» для обсадных колонн скважин.

## Заключение

### Результаты комплексного моделирования:

1. Уточнение результатов гидродинамической модели месторождения.
2. Информация о напряжениях и их динамике в массиве:
  - ✓ Оценки устойчивости скважины при бурении;
  - ✓ Оценка устойчивости скважины при разработке.

## **Заключение**

### **Результаты связанного моделирования:**

1. Уточнение результатов гидродинамической модели месторождения.
2. Информация о напряжениях и их динамике в массиве:
  - ✓ Оценки устойчивости скважины при бурении;
  - ✓ Оценка устойчивости скважины при разработке.

**Спасибо за внимание!**

## Заключение

1. Связанное моделирование позволяет учесть влияние глубинных напряжений и деформаций на процессы отбора флюида, в результате уточняются результаты гидродинамической модели.
2. Полученные данные о напряженном состоянии массива могут использоваться в задаче устойчивости ствола скважин при бурении и в процессе разработки.

Спасибо за внимание!