

ЭМЗ-2013

2-6 Сентября, 2013

г. Новосибирск

*Численное решение задачи индукционного
каротажа с использованием
математической библиотеки Intel®MKL*

ИНГГ СО РАН СО РАН
г.Новосибирск

Соловьев С.А., Глинских В.Н., Лисица В.В.

Система уравнений Максвелла

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{j}_f \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \operatorname{div}(\vec{D}) &= \rho \\ \operatorname{div}(\vec{B}) &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \vec{B} &= \mu\mu_0 \vec{H} \\ \vec{D} &= \varepsilon_0 \vec{E} \\ \vec{J} &= \sigma \vec{E} \end{aligned}$$

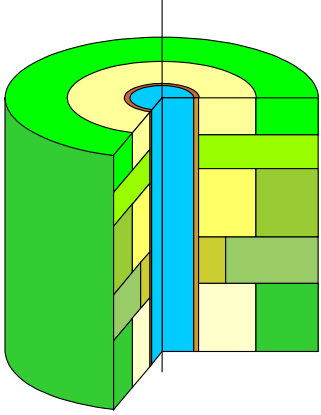
Преобразование Фурье уравнений Максвелла

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \gamma \vec{E} + \vec{j} \\ \operatorname{rot} \vec{E} &= i \omega \mu \mu_0 \vec{H} \\ \gamma &= (\sigma - i \omega \epsilon \epsilon_0) \end{aligned} \right\}$$

Исключаем вектор H из системы

$$\left. \begin{aligned} \mu \operatorname{rot} \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} \vec{E} + k^2 \vec{E} &= i \omega \mu \mu_0 \vec{j} \\ k^2 &= -i \omega \mu \mu_0 (\sigma - i \omega \epsilon \epsilon_0) \end{aligned} \right\}$$

Осесимметричный случай



$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial (r E_{\varphi})}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 E_{\varphi}}{\partial z^2} + k^2 E_{\varphi} = i \omega \mu \mu_0 j_{\varphi}$$

запись с использованием оператора Лапласа

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial E_{\varphi}}{\partial r} \right) - \frac{1}{r^2} E_{\varphi} + \frac{\partial^2 E_{\varphi}}{\partial z^2} + k^2 E_{\varphi} = i \omega \mu \mu_0 j_{\varphi}$$

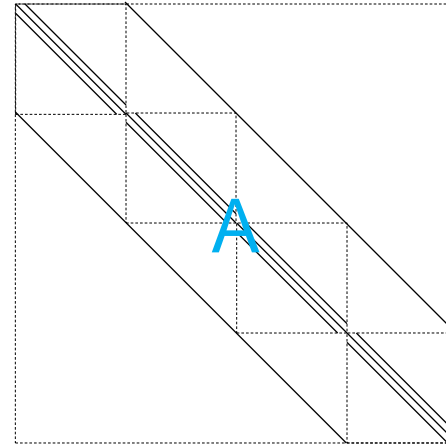
$$\Delta E_{\varphi} + \left(k^2 - \frac{1}{r^2} \right) E_{\varphi} = i \omega \mu \mu_0 j_{\varphi}$$

- нулевые условия Дирихле на оси симметрии
- идеально подходящий поглощающий слой на границе области (PML) 4

Конечно-разностная аппроксимация

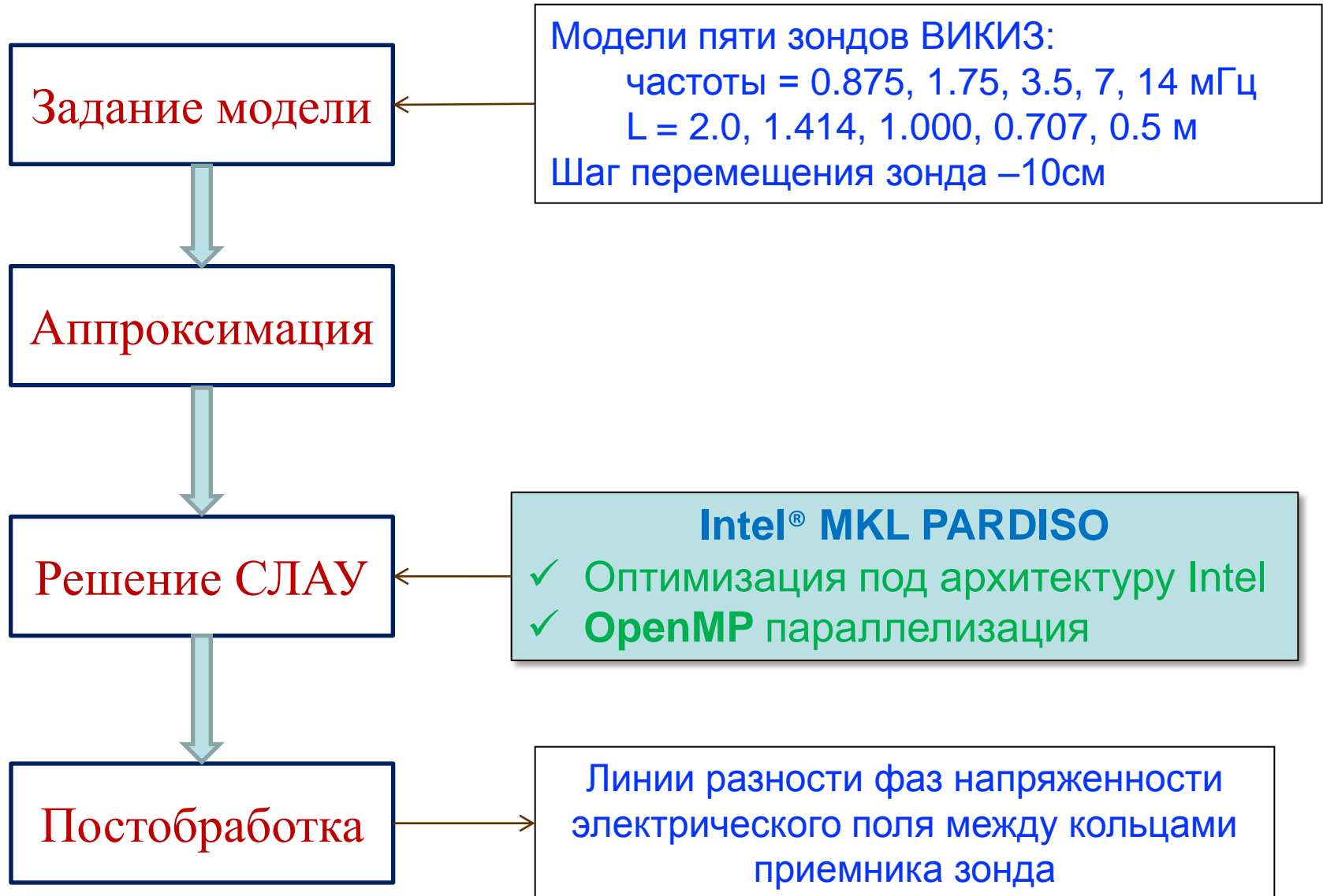
Результат аппроксимации на прямоугольной сетке – система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) $\mathbf{AX}=\mathbf{B}$

A – пятидиагональная матрица $N \times N$
 X, B – плотные матрицы $N \times m$



Решение системы – прямой (точный) метод решения СЛАУ эффективно реализованный в Intel® MKL PARDISO

Реализация вычислений

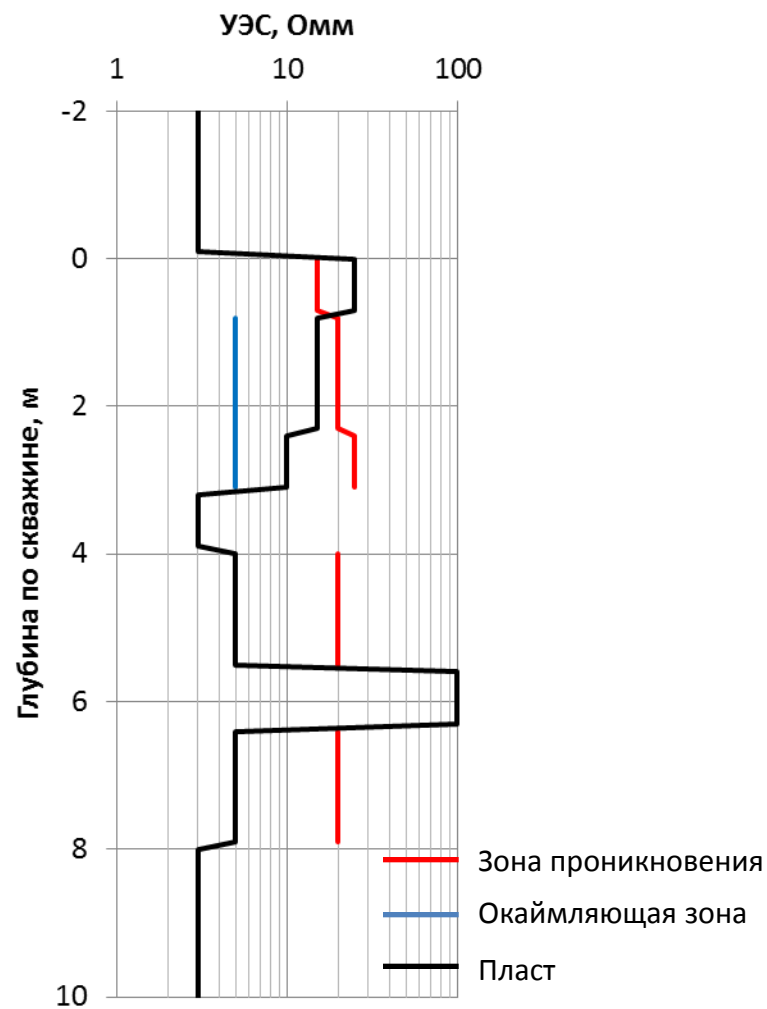
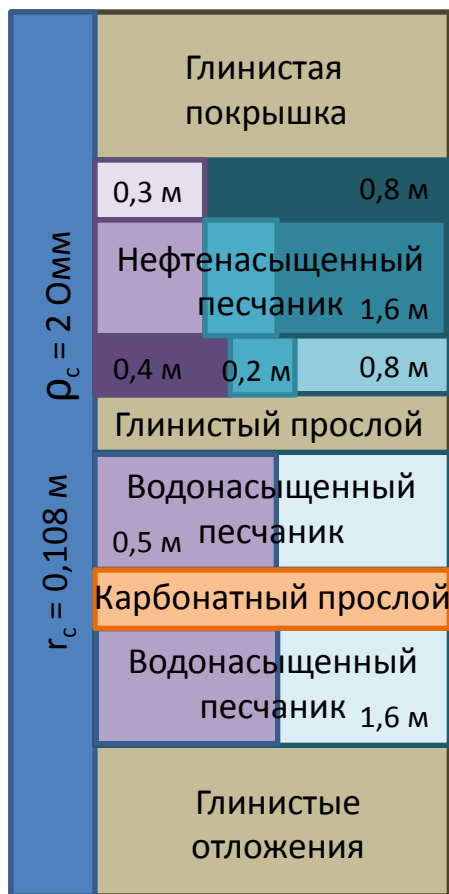


Численные эксперименты

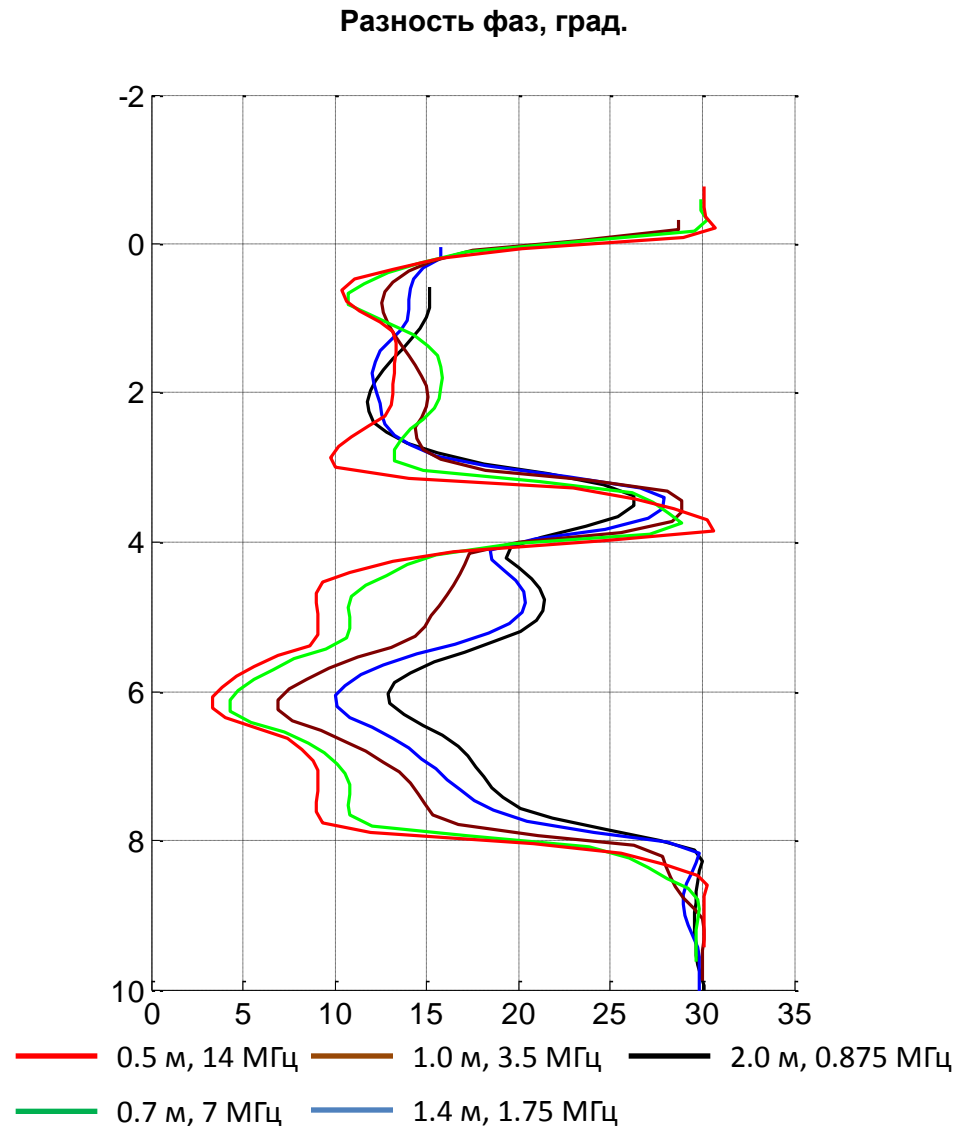
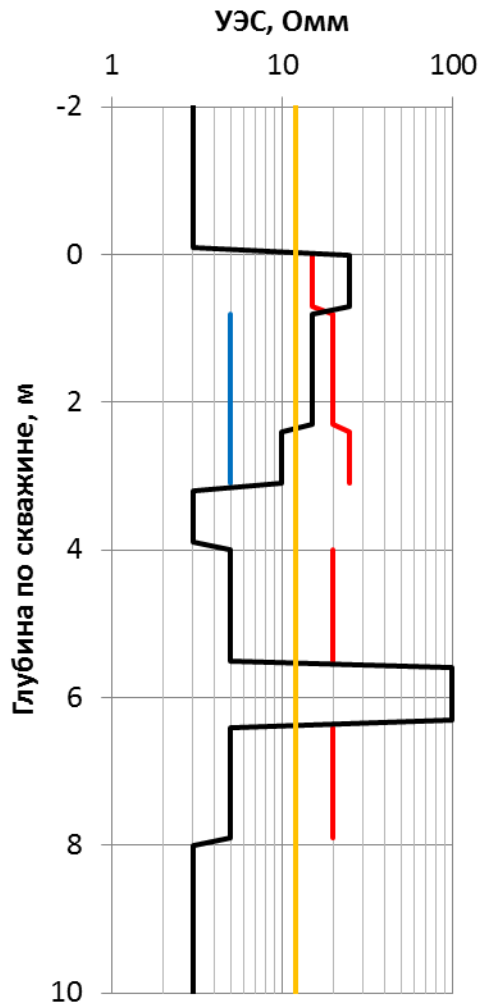
1. Нефтеводонасыщенный терригенный коллектор в глинах
2. Трещиноватый флюидонасыщенный карбонатный коллектор
3. Баженовская свита

- ✓ Проверка корректности расчетов
- ✓ Оценка эффективности программной реализации

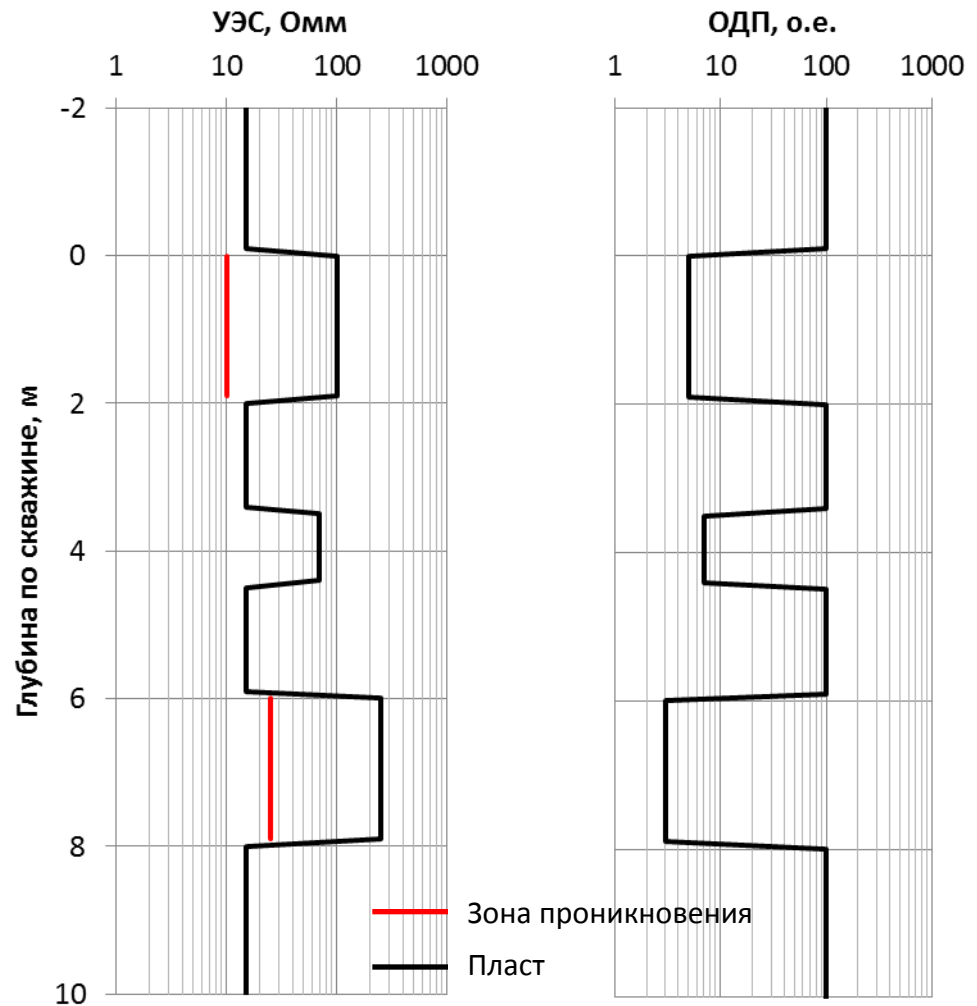
Геоэлектрическая модель нефтеводонасыщенного терригенного коллектора в глинах



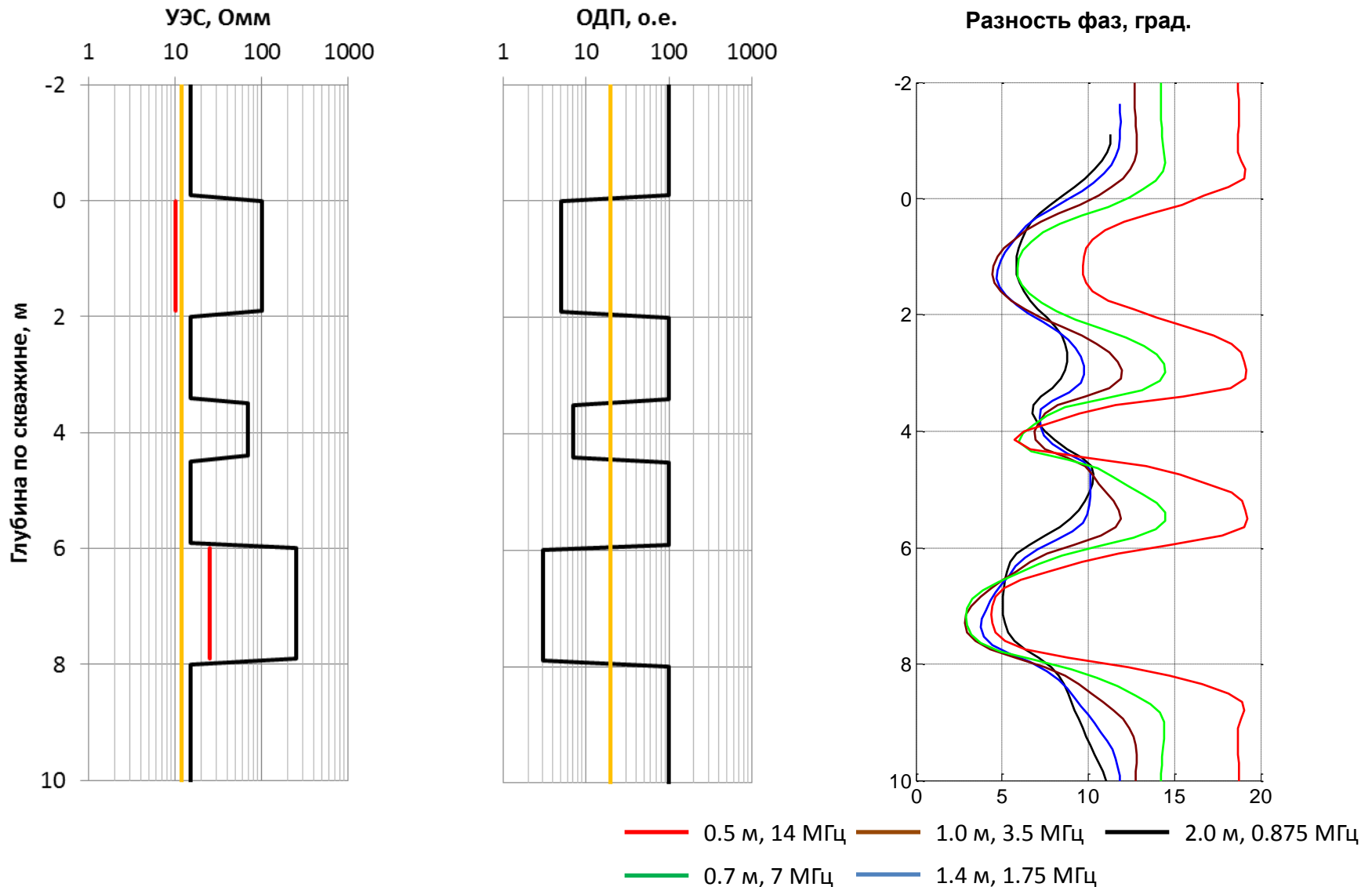
Синтетические диаграммы ВЭМКЗ в нефтеводонасыщенном коллекторе



Геоэлектрическая модель трещиноватого флюидонасыщенного карбонатного коллектора

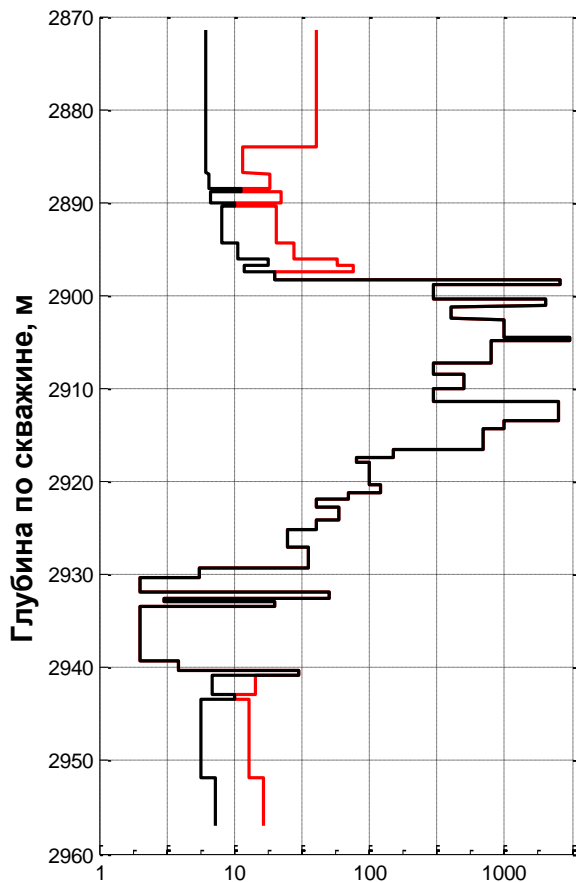


Синтетические диаграммы ВЭМКЗ в карбонатно-терригенном разрезе

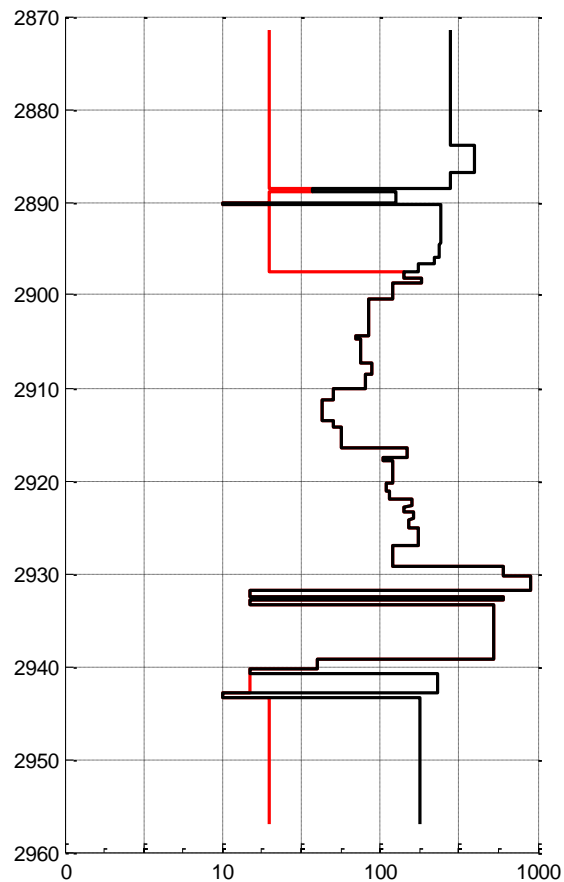


Геоэлектрическая модель Баженовской свиты

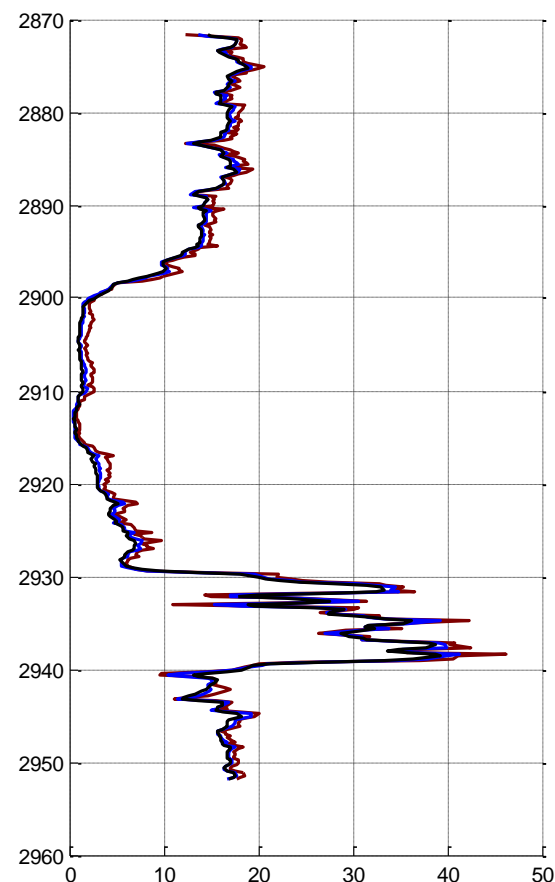
УЭС, Омм



ОДП, о.е.

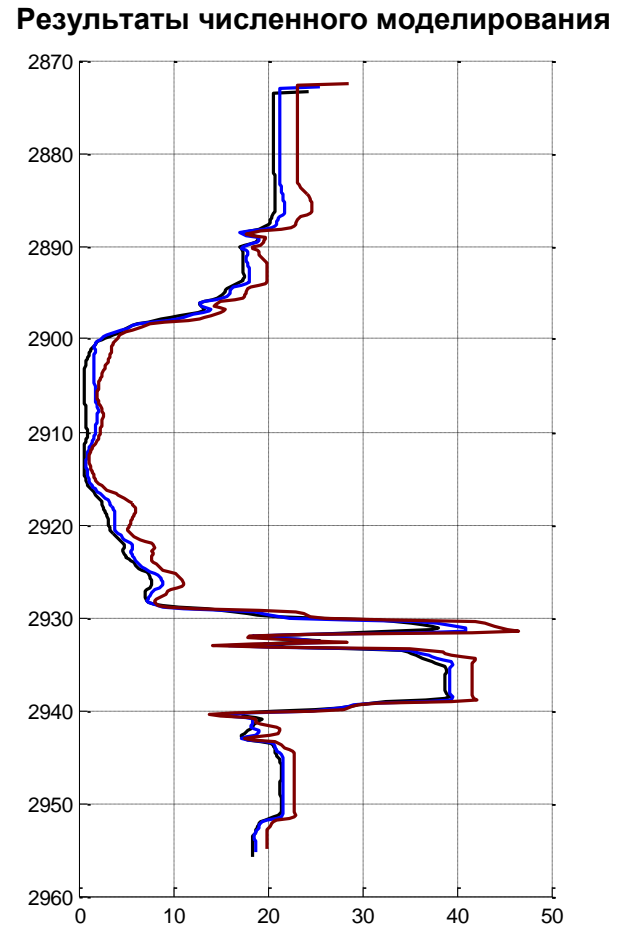
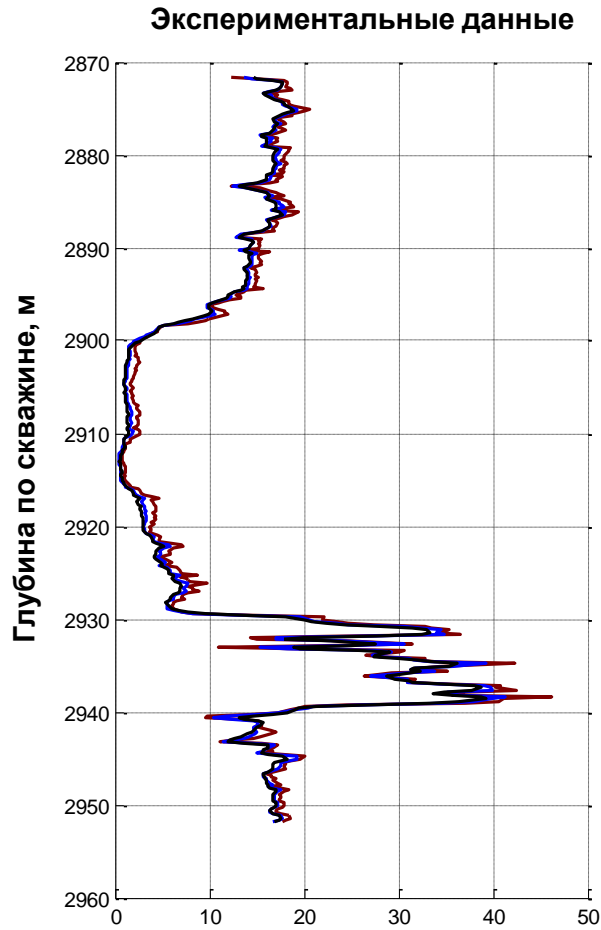


Разность фаз, град.
(экспериментальные данные)



Диаграммы ВЭМКЗ Баженовской свиты

Разность фаз, град.



Характеристики численных экспериментов

Модель	Характерные свойства среды	Число физических слоев	Число расчетных глубин	Число расчетных узлов сетки	Вычислительное время всех глубин на одну частоту
Нефтеводонасыщенный терригенный коллектор в глинах	УЭС	9	74	$0.45 \cdot 10^6$	< 4 с.
Трещиноватый флюидонасыщенный карбонатный коллектор	УЭС, ОДП	7	87	$0.5 \cdot 10^6$	4 с.
Баженовская свита	УЭС, ОДП	47	550	$5.9 \cdot 10^6$	45 с.

Общие характеристики системы:

Intel Core i7-3770K, 3.50GHz, 4 вычислительных ядра, RAM 32GB

Спасибо за внимание!