

Неведрова Н.Н. , Санчаа А.М., Суродина И.В.

**Характеристики разломных структур по данным
электромагнитных зондирований.**

Моделирование разломов

**Лаборатория электромагнитных полей
Института нефтегазовой геологии и геофизики
им. А.А.Трофимука СО РАН,
г. Новосибирск, Академгородок
NevedrovaNN@ipgg.nsc.ru**

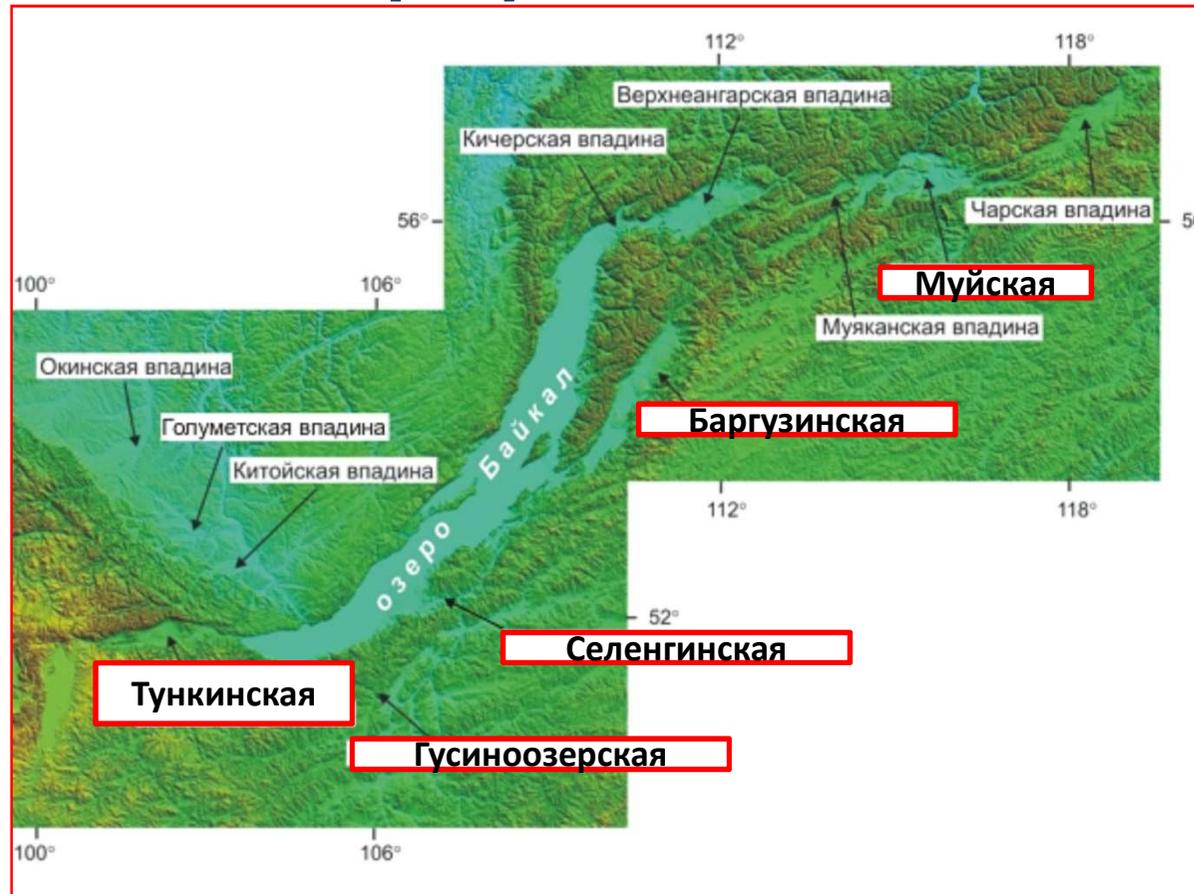
8-12 октября 2012 г., Москва

Цель работы:

- 1. Количественные характеристики разломных структур по результатам интерпретации полевых данных геоэлектрики**
- 2. Методические рекомендации при измерениях в разломных зонах на основе трехмерного моделирования электромагнитных полей**

Объекты исследования – межгорные впадины Сибири

Районы исследования: Байкальская рифтовая зона



Алтае- Саянская горная область:

Горный Алтай



Методы исследования

Методы геоэлектрики

с контролируемым источником:

- вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ),
- электротомография на постоянном токе (многоэлектродные установки),
- электромагнитные зондирования становлением поля (ЗС) в нескольких модификациях

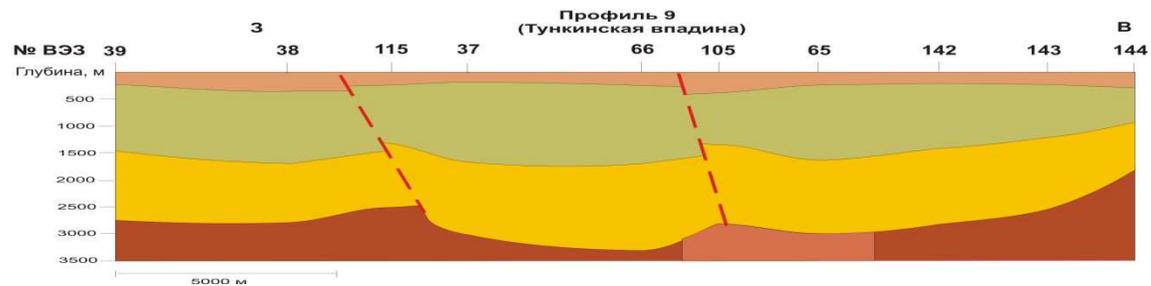
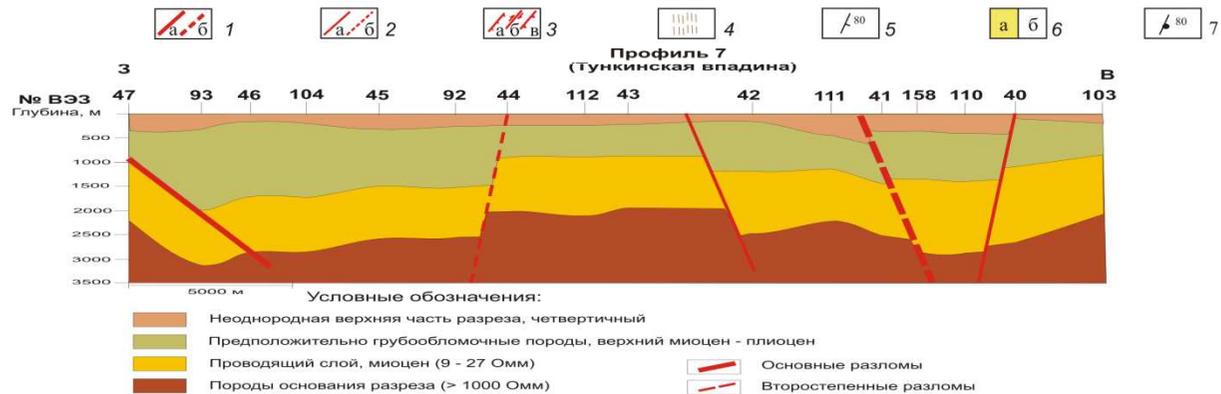
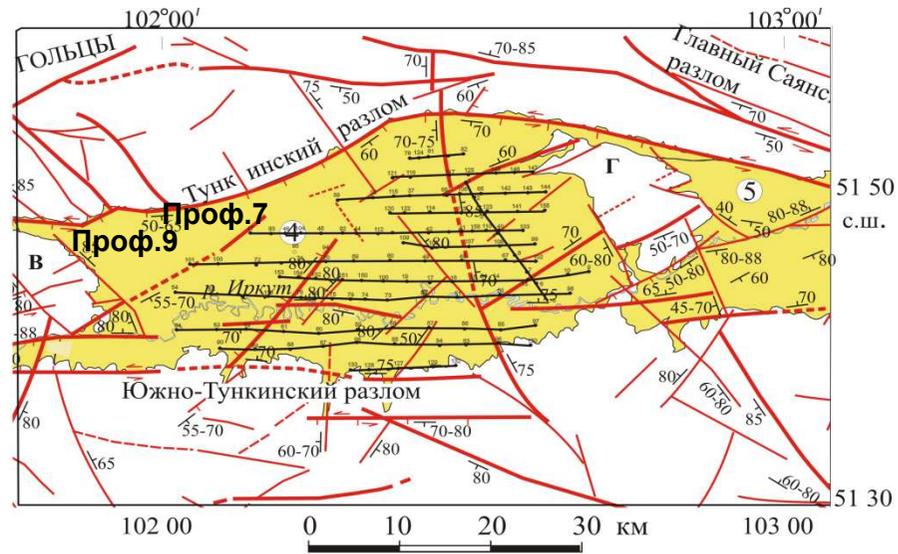
Этапы интерпретации полевых данных геоэлектрики. Программные средства

I. Интерпретация с использованием горизонтально-слоистой модели среды: 1D моделирование, 1D инверсия,
программные комплексы: СОНЕТ (НГУ);
IPI2Win (МГУ); ЕРА, EMS (ИНГГ СО РАН).

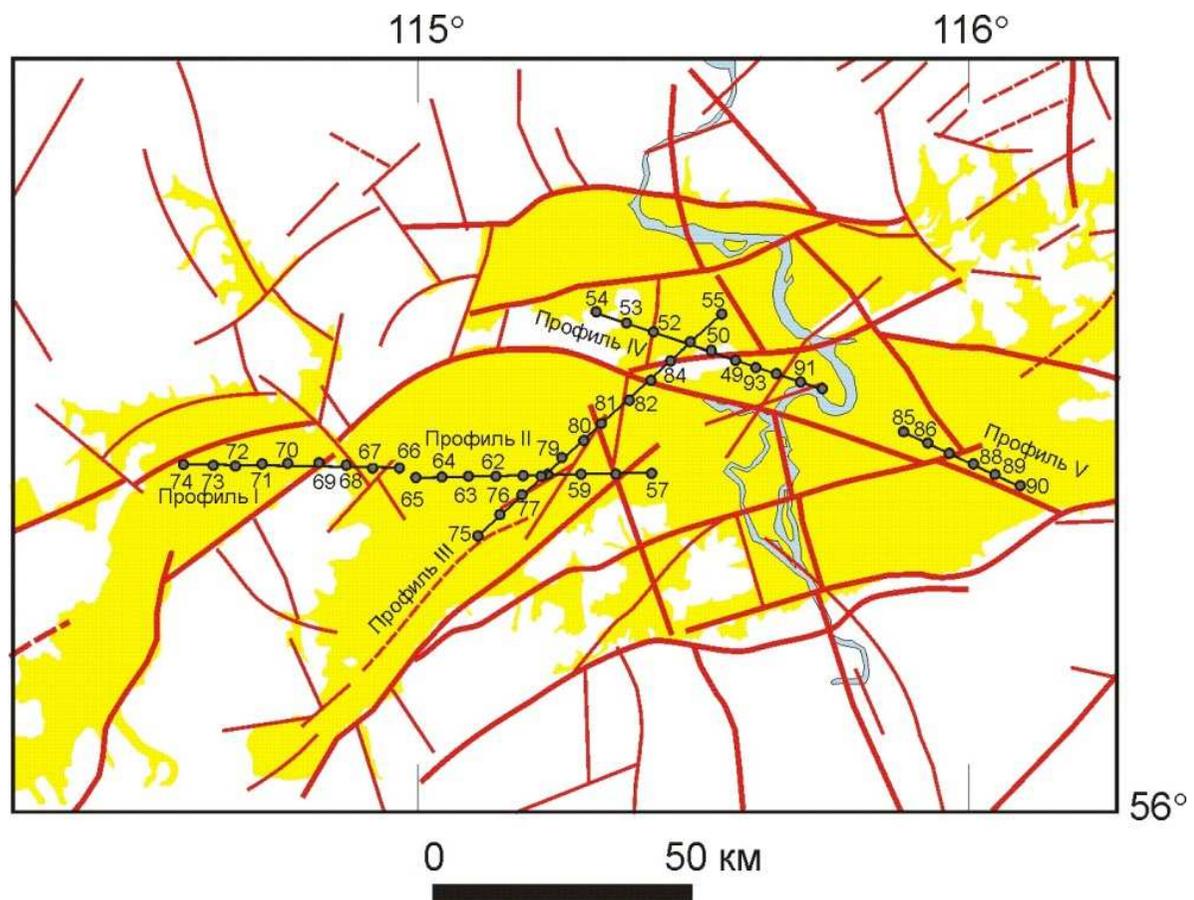
II. 2D моделирование:
программы IE2DP1 (МГУ);
2D инверсия: программы Res2dinv (Geotomo, Малайзия).

III. 3D моделирование:
программы EMF_DC3Dmod (ИНГГ СО РАН), 3DDCXH (Клаус Спитцер, Канада);
3D инверсия: программа Res3Dinv (Geotomo, Малайзия).

1D интерпретация Тункинская впадина



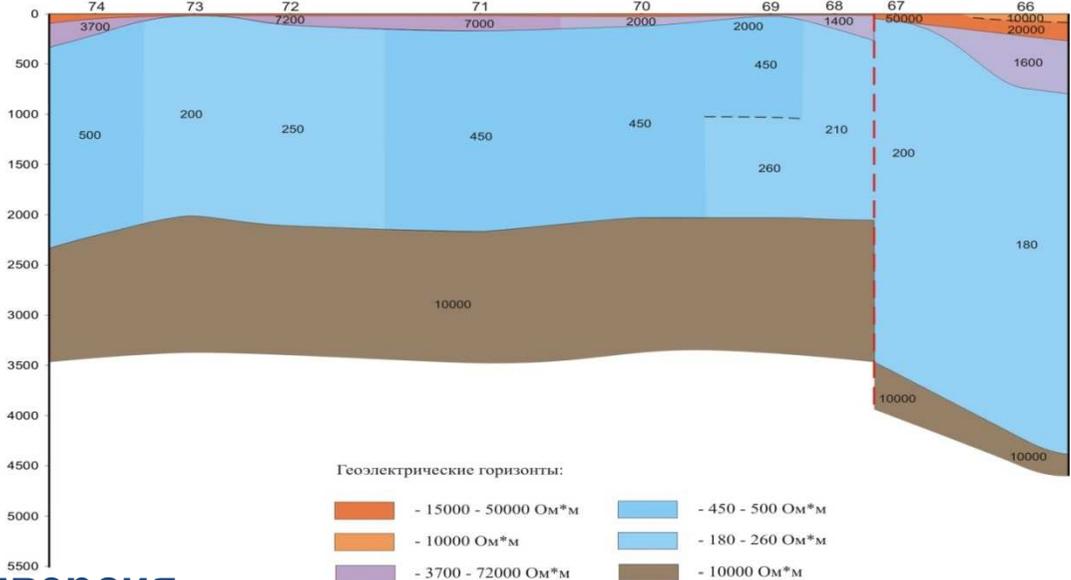
Муйская впадина БРЗ. Метод ВЭЗ.



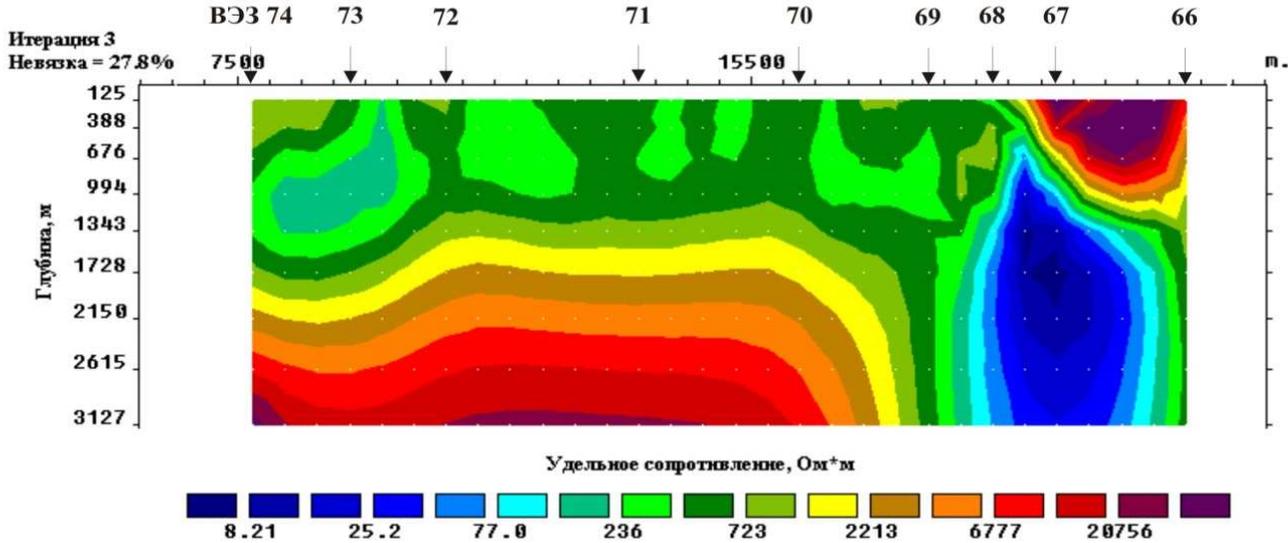
Профиль в Муйской впадине, Байкальская рифтовая зона

Одномерная инверсия

Пр. 1



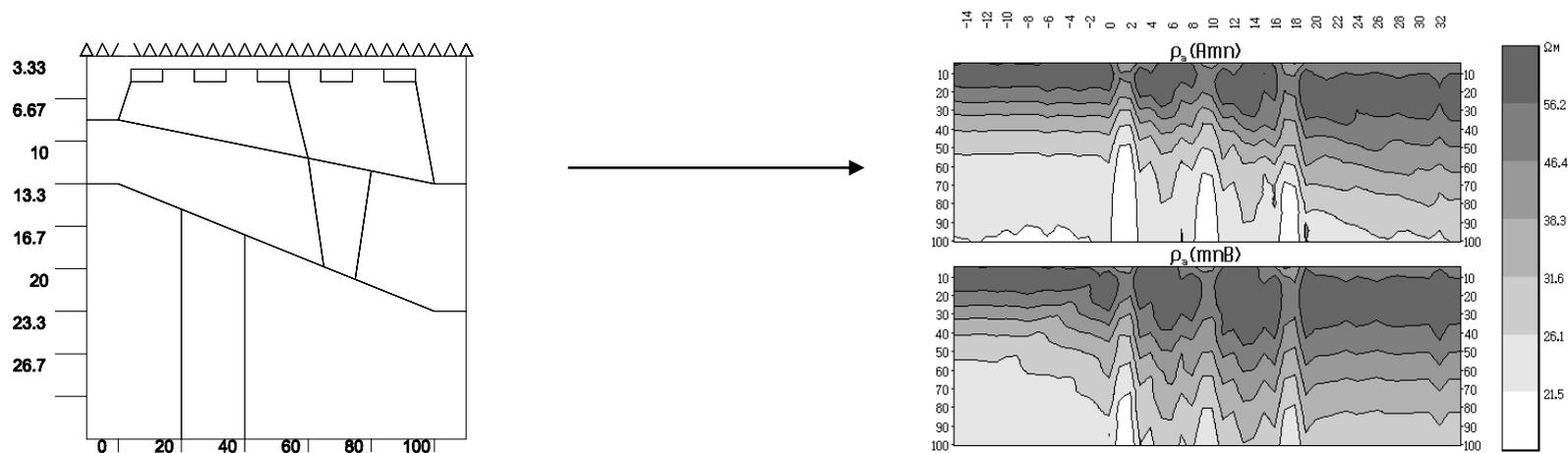
Двумерная инверсия



Результат двумерной инверсии по профилю 1 (RES2DINV, Geotomo Software)

2D моделирование

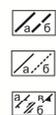
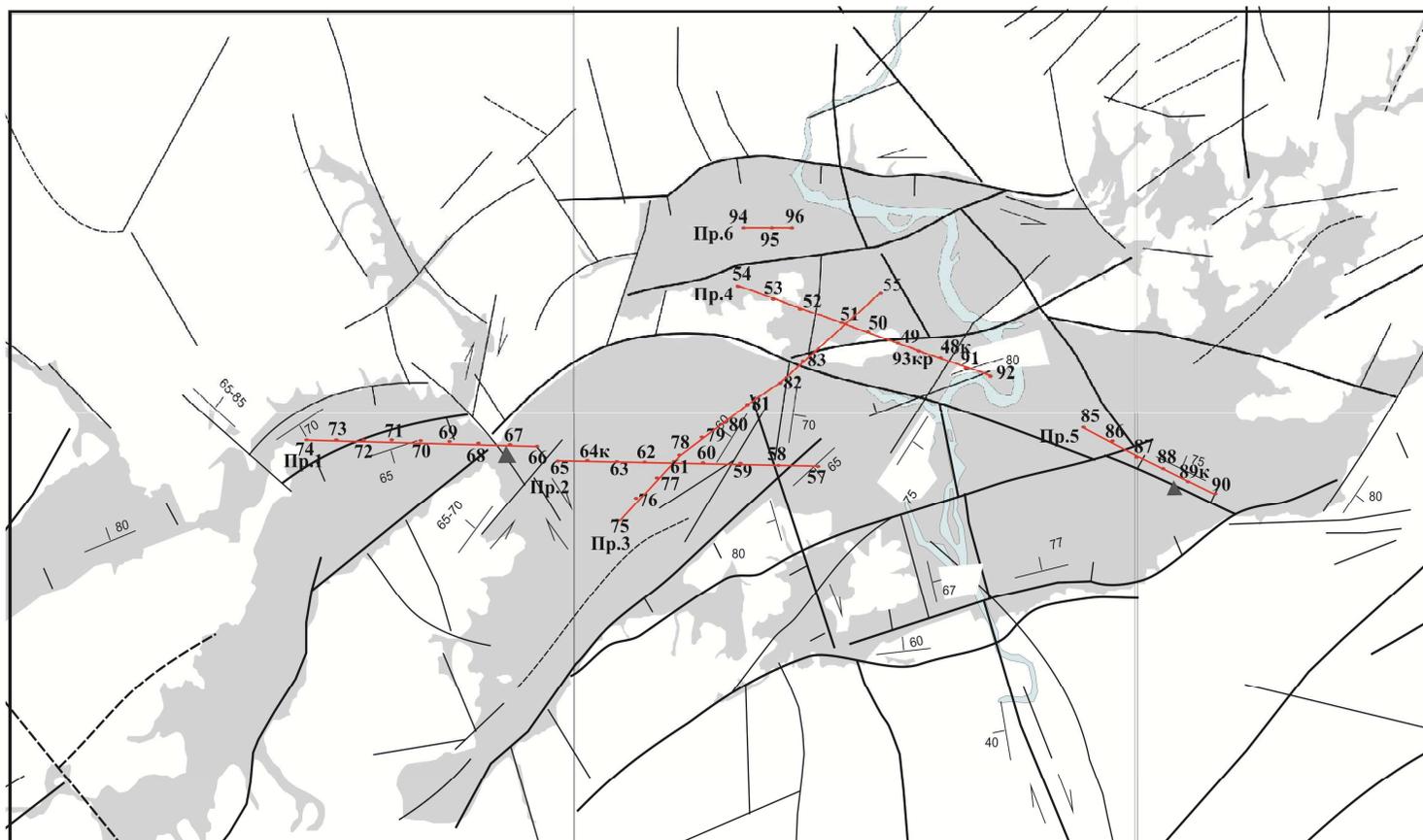
- Программный комплекс **IE2DP1** (Бобачев, Модин, Перваго, Шевнин, МГУ) предназначен для двумерного моделирования электрических полей для различных модификаций электроразведки методом сопротивлений и ВП для установок с точечными питающими электродами.
- **Прямая задача решается методом интегральных уравнений.** В основе метода лежит представление о том, что под действием первичных токовых источников на границах неоднородностей геоэлектрического разреза возникают вторичные токовые источники. **Суммарное электрическое поле рассчитывается как суперпозиция полей первичных и вторичных источников**



Муйская впадина Байкальской рифтовой зоны

114

116



1 - Достоверные (а) и предполагаемые (б) региональные разломы



2 - Достоверные (а) и предполагаемые (б) локальные разломы



3 - Сбросы (а), сдвиги (б), взбросы (в)



4 - Впадины, заполненные кайнозойскими осадками



5 - Выходы кристаллического фундамента



6 - Населенный пункт

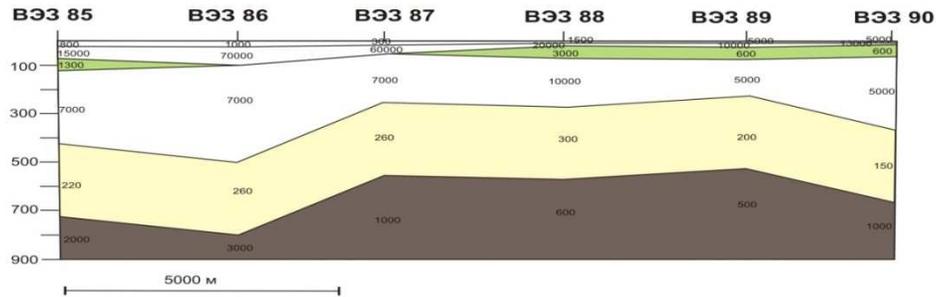


7 - Пункты и профили ВЗЗ

Двумерное моделирование разломных структур

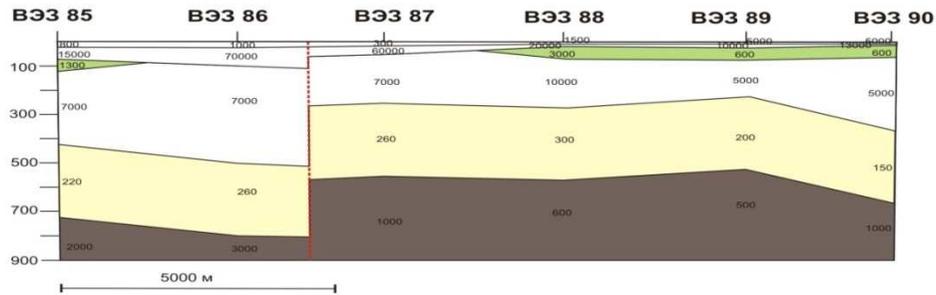
Профиль 5

Модель 1

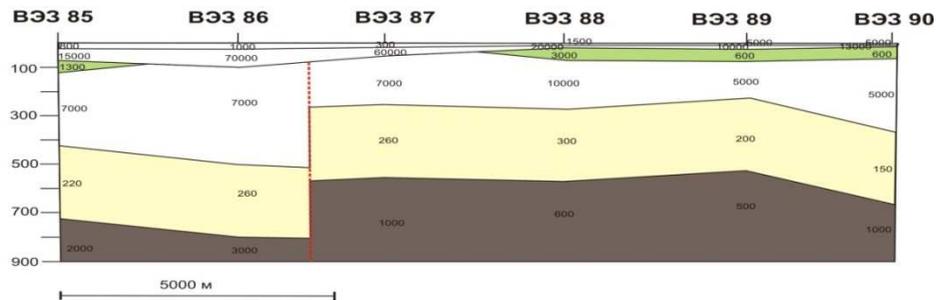


Программа
двумерного моделирования
IPI2D (МГУ)

Модель 2

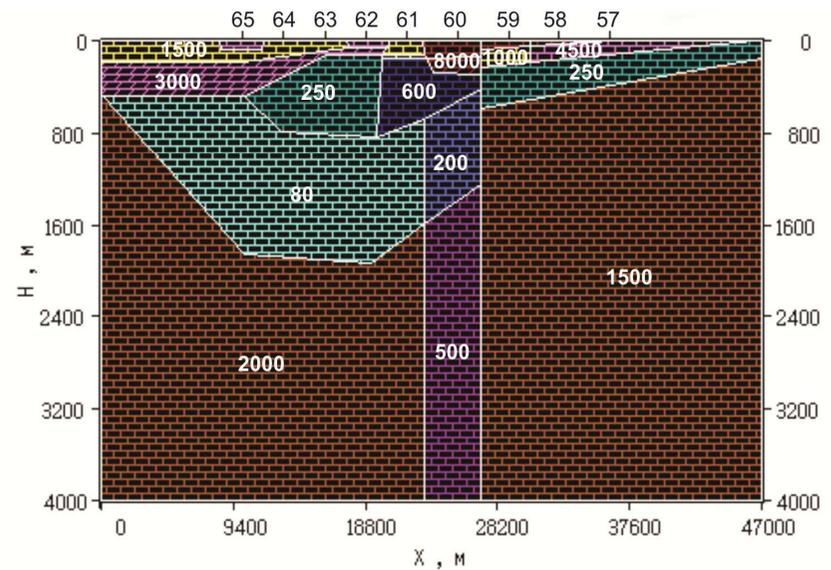
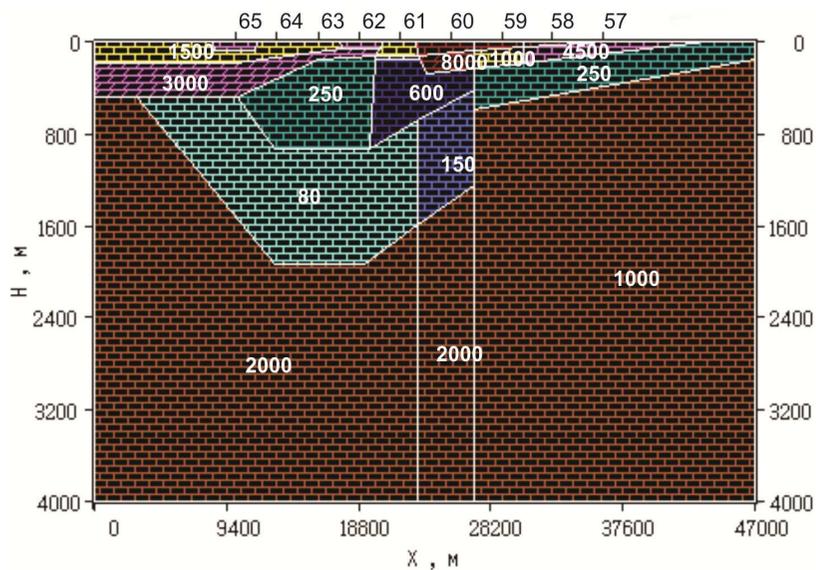
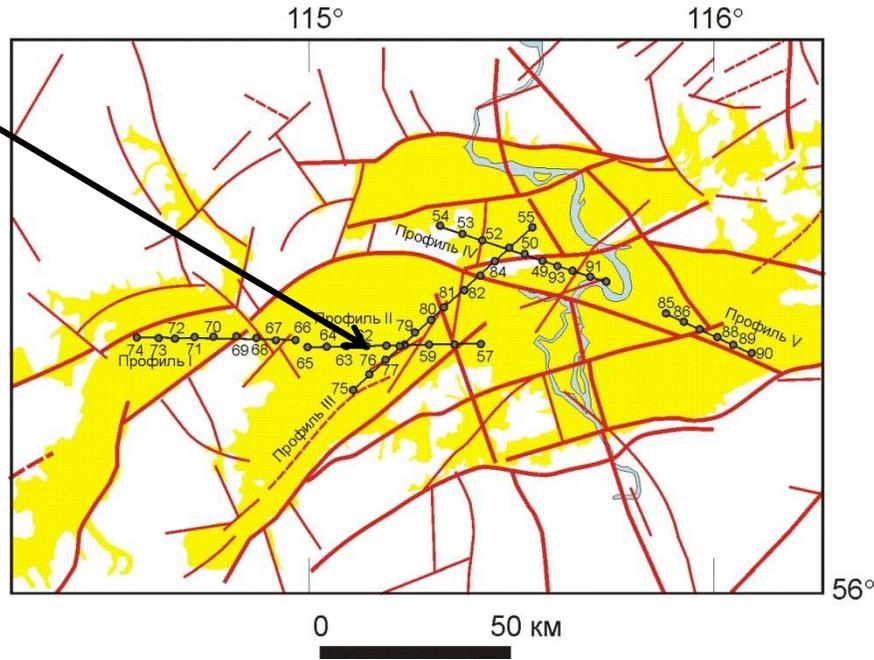


Модель 3

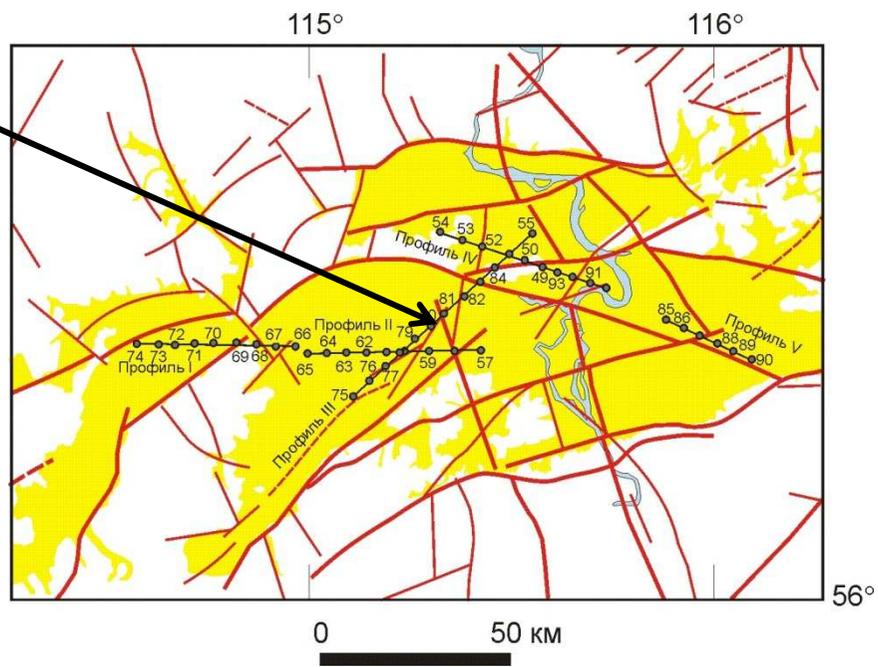


Муйская впадина БРЗ

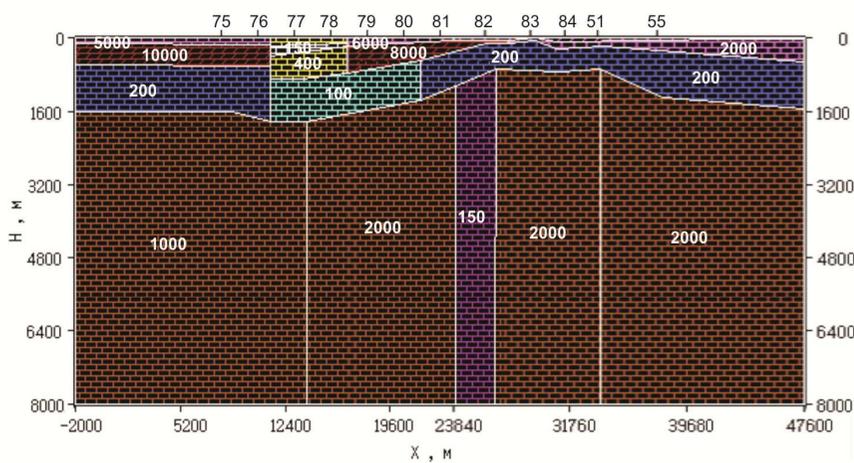
Профиль II



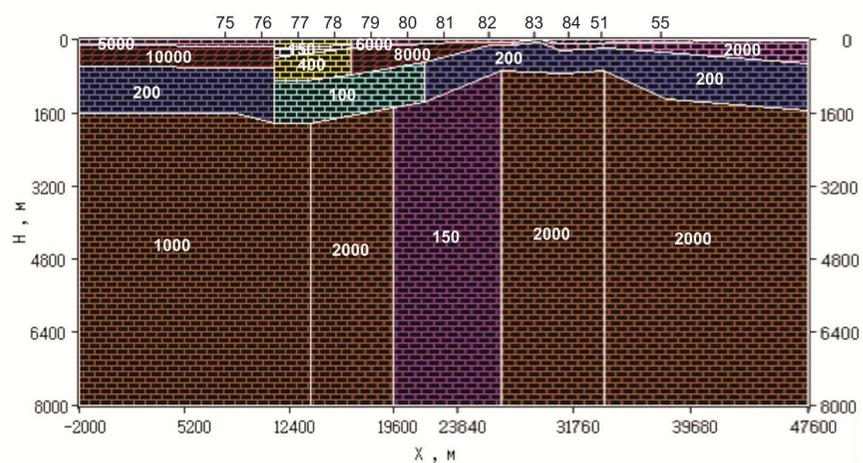
Профиль III



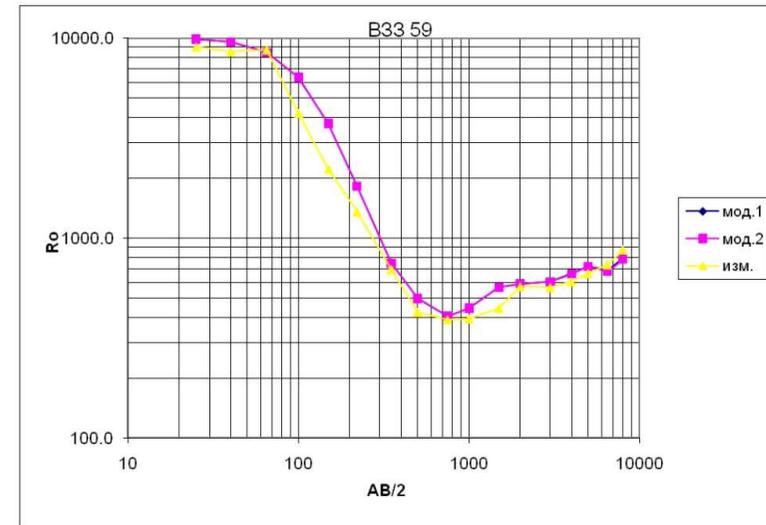
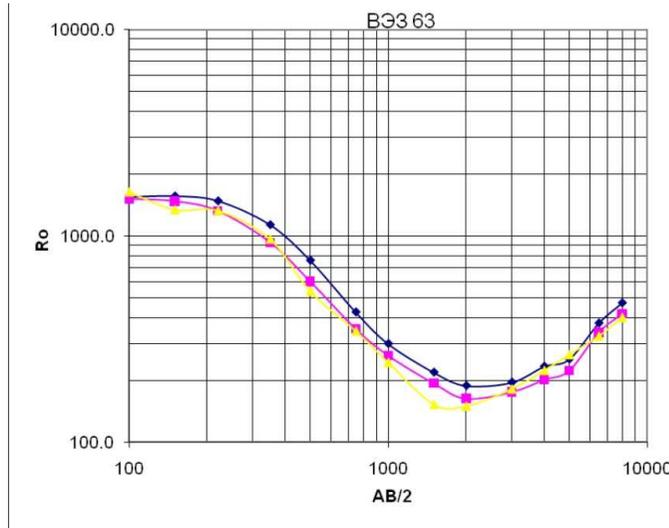
a)



б)



Модель выбирается в результате анализа невязок между полевыми и синтетическими данными



Зона пересечения нескольких локальных разломов в районе профиля № 2 моделируется проводящей ставкой в фундаменте с удельным сопротивлением в 500 Ом·м.

Сопротивления консолидированных пород фундамента составляют более 1500 Ом·м.

Ширина разломной зоны по пр. № 3 оценивается в несколько километров, что согласуется с данными ГСЗ

▪

3D моделирование, программа EMF_DC3Dmod (ИНГГ СО РАН)

- **Задача для изотропной среды.**

Пусть в декартовой системе координат (x, y, z) задано трехмерное распределение электропроводности

$$\sigma = \sigma(x, y, z)$$

Чтобы выделить в явном виде особенность решения задачи, **искомый потенциал электрического поля представляется в виде суммы аномального и первичного потенциалов**

$$U = U^0 + U^a$$

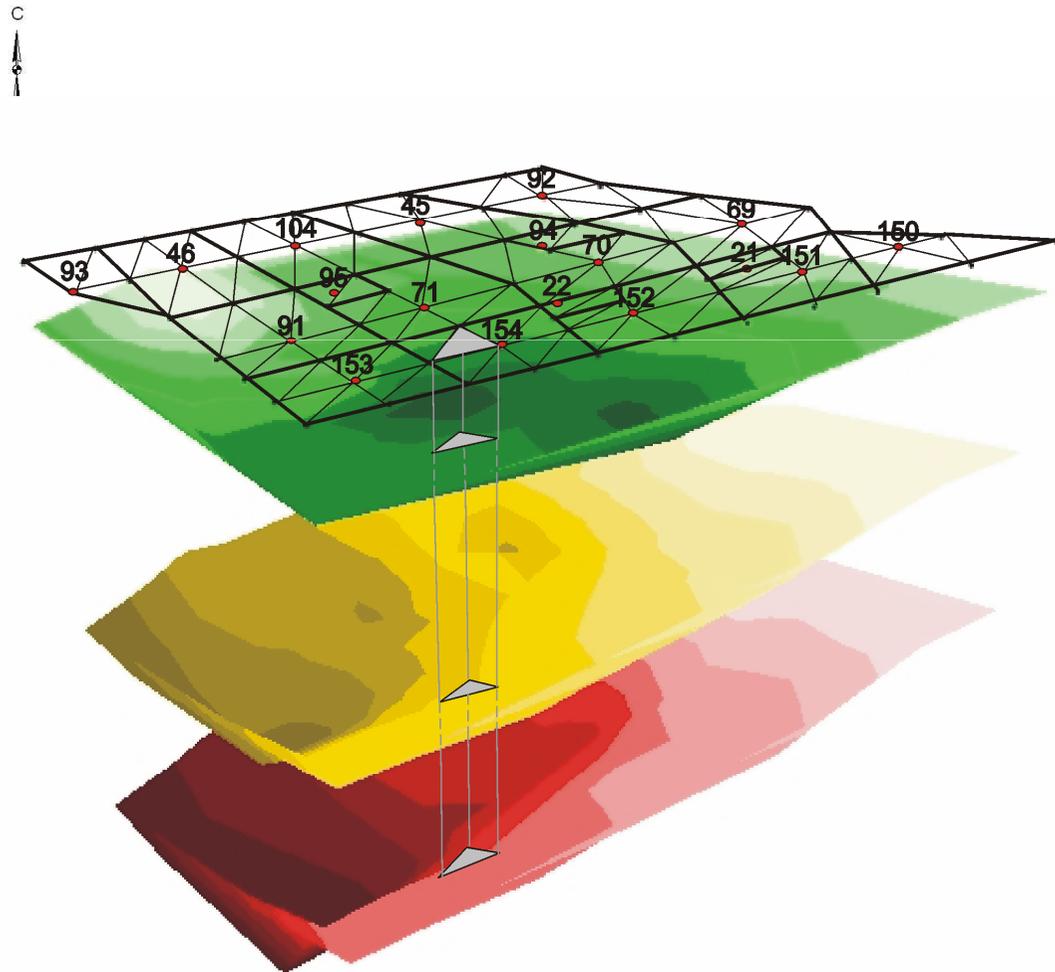
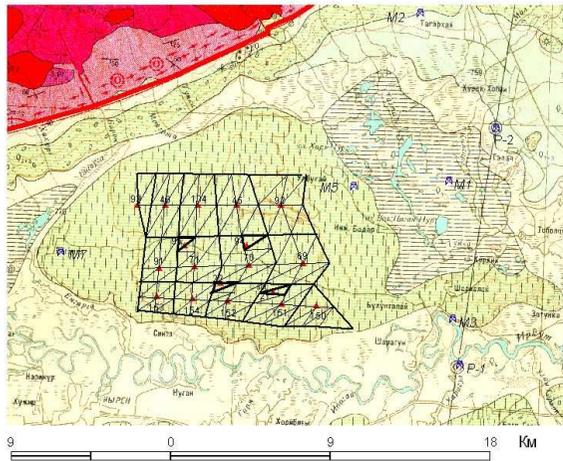
При переходе в цилиндрическую систему координат уравнение для аномального потенциала имеет вид:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(\sigma r \frac{\partial U^a}{\partial r} \right) + \frac{\sigma}{r^2} \frac{\partial^2 U^a}{\partial \phi^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial U^a}{\partial z} \right) =$$
$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left((\sigma_0 - \sigma) r \frac{\partial U^0}{\partial r} \right) + \frac{(\sigma_0 - \sigma)}{r^2} \frac{\partial^2 U^0}{\partial \phi^2} + \frac{\partial}{\partial z} \left((\sigma_0 - \sigma) \frac{\partial U^0}{\partial z} \right),$$

$$U^0 = \frac{I}{4\pi\sigma_0 R} \quad R = \sqrt{r^2 + z^2}$$

, I – сила тока,

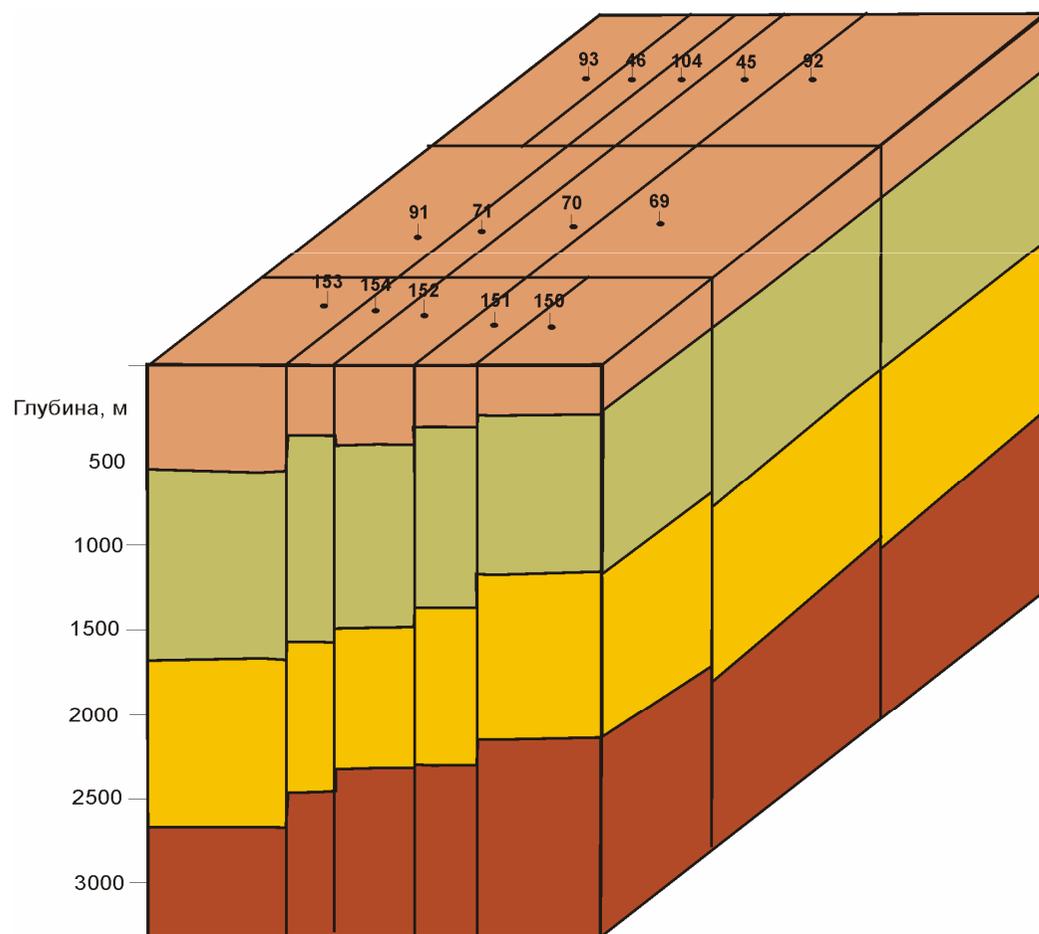
Формирование модели в программе EMF_DC3Dmod (ИНГГ СО РАН)



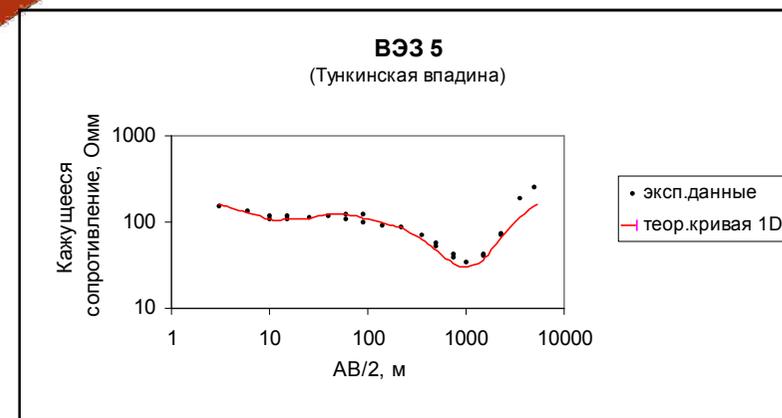
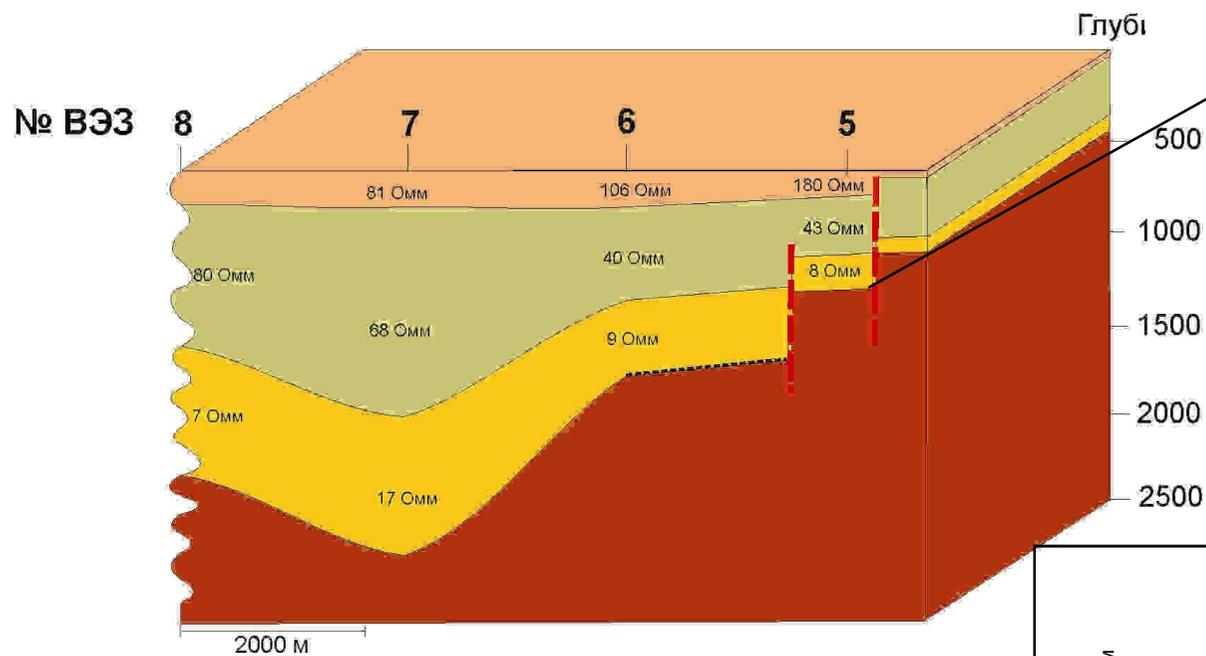
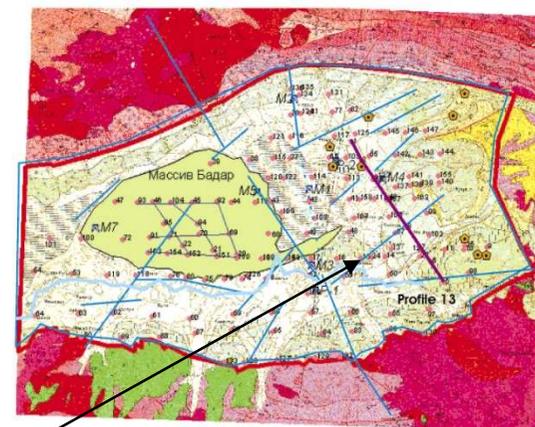
Spitzer K. A., **3-D finite-difference algorithm for DC resistivity modeling** using conjugate gradient methods

- Программа **3DDCXH**, создана профессором Клаусом Спитцером (Германия). Она предназначена для 3D моделирования методом сопротивлений. Прямая задача решается на основе алгоритма конечных разностей, используя метод сопряженных градиентов.
- Входной файл содержит модель среды, координаты узлов сетки по x , y , z . Здесь же указывается плоскость, на которой производится решение задачи. Составляемая модель представляет собой **набор прямоугольных блоков**, что позволяет в ряде случаев достаточно точно аппроксимировать реальную ситуацию.

Пример составления 3 D модели в программе Клауса Спитцера Тункинская впадина

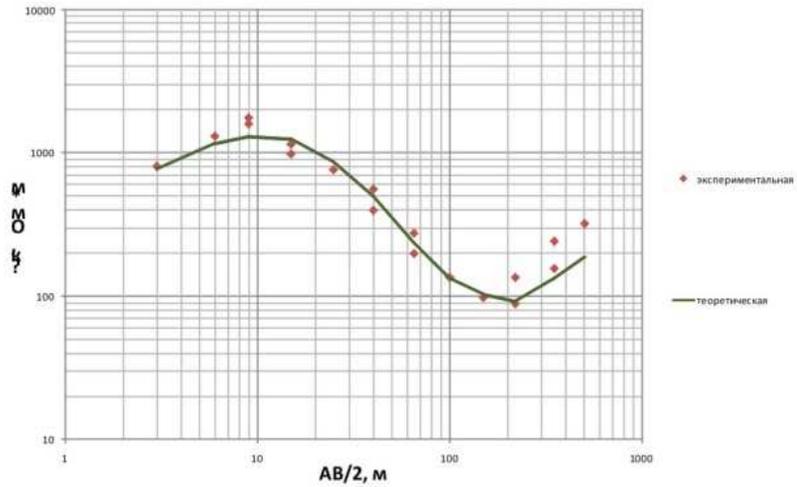


Байкальская рифтовая зона, Тункинская впадина, 3D моделирование, Программа 3DDCXH

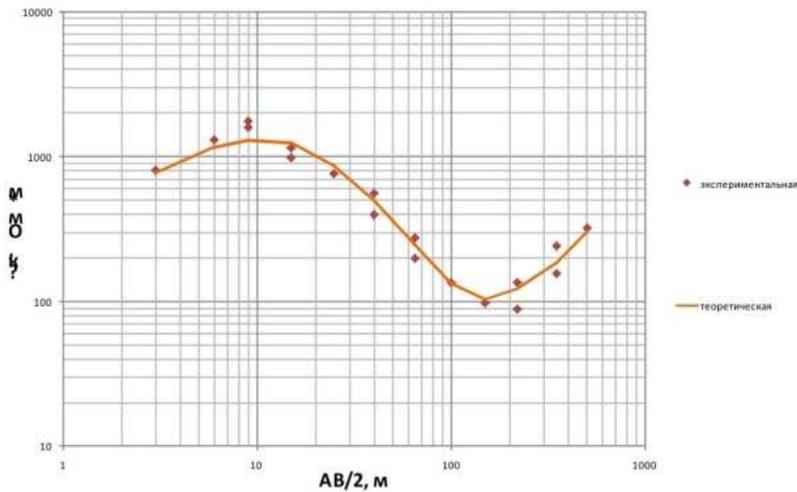


3D программа 3DDCXH

ВЭЗ 30, профиль №2

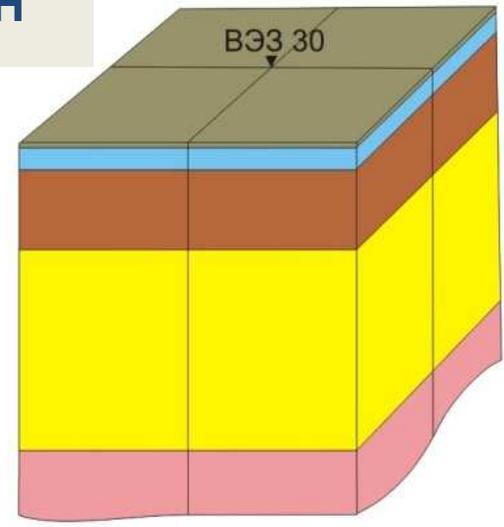


ВЭЗ 30, профиль №2

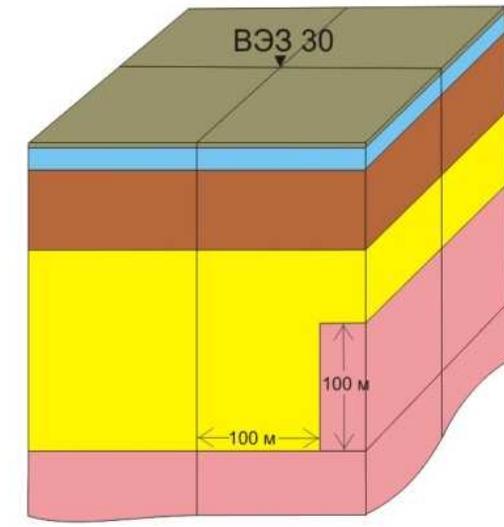


ВЭЗ 30	
ρ , Ом*м	h, м
400	1
2000	8
240	36
60	130
3000	

ВЭЗ 30	
ρ , Ом*м	h, м
400	1
2000	8
240	36
60	30
3000/6	100
0	
3000	



Курайская впадина

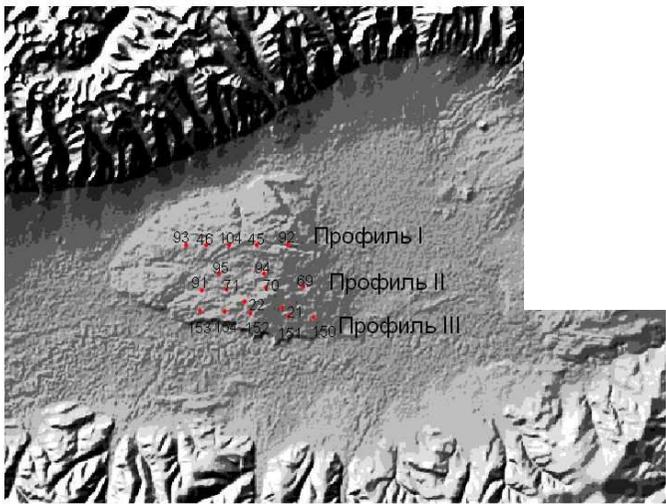
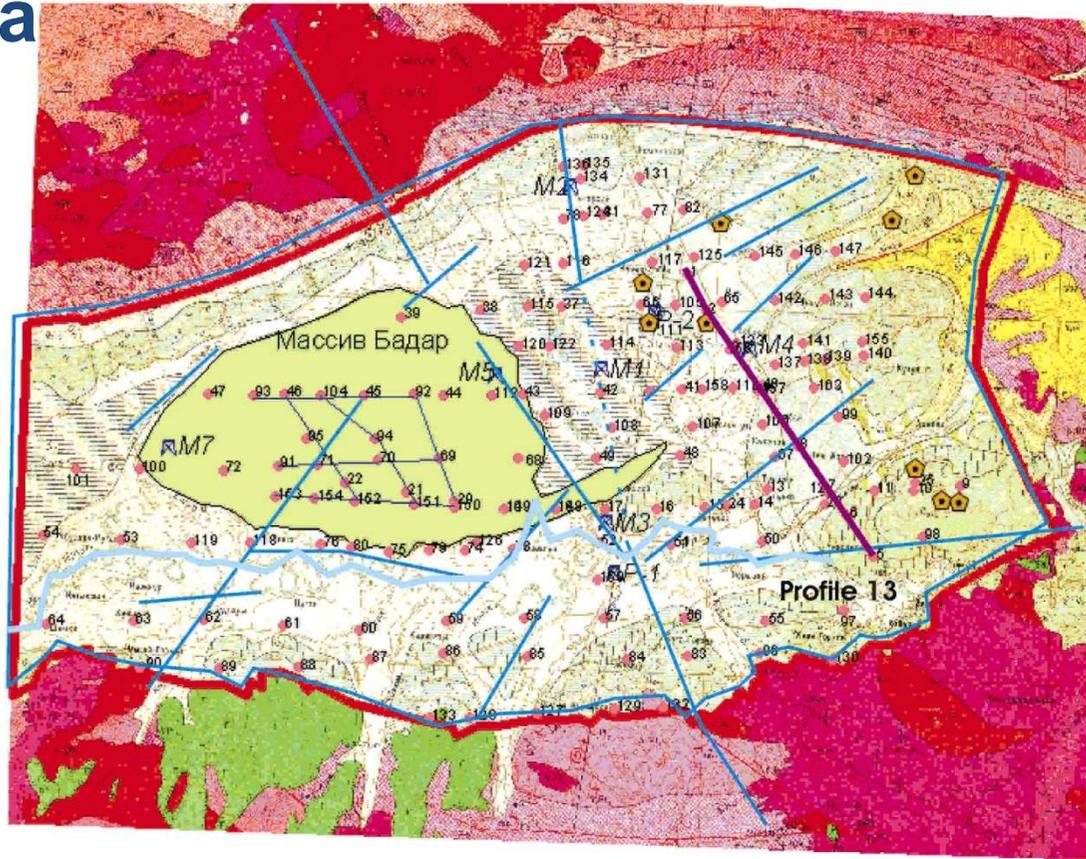


3000

Тункинская впадина

3D моделирование

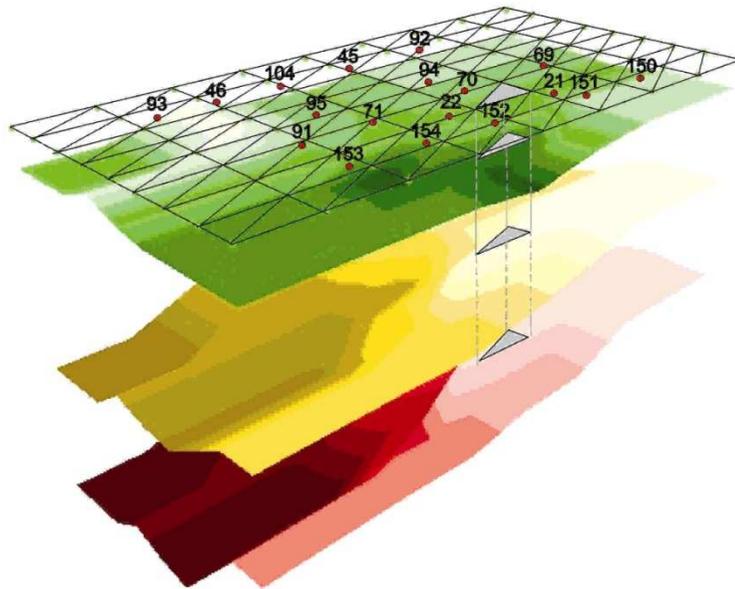
EMF_DC3Dmod



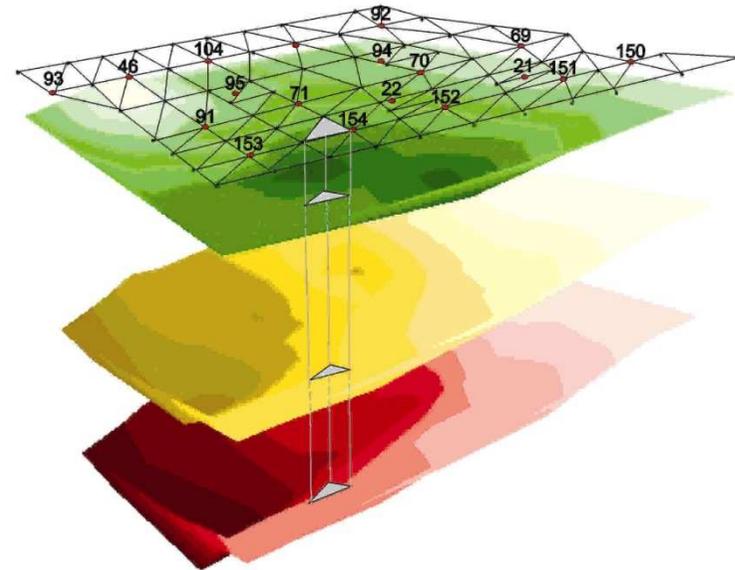
20 0 20 40 Kilometers

Трехмерное моделирование структуры массива Бадар

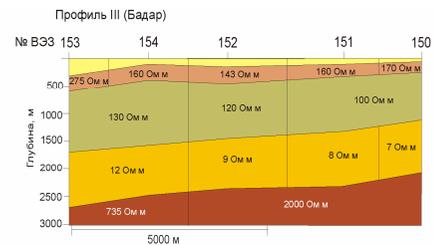
Вариант 1
Равномерное разбиение



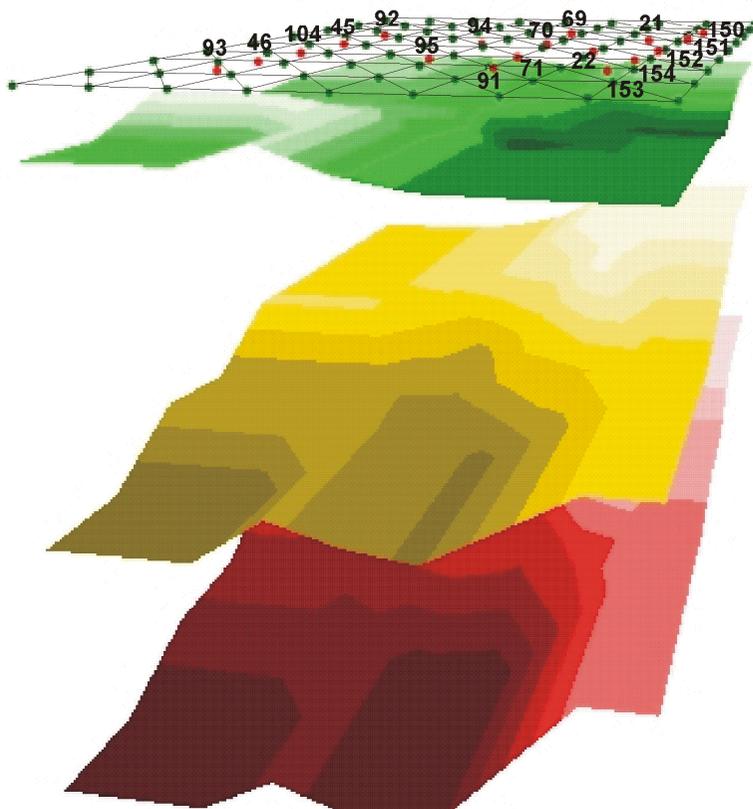
Вариант 2
Неравномерное разбиение



Трёхмерная модель массива Бадар

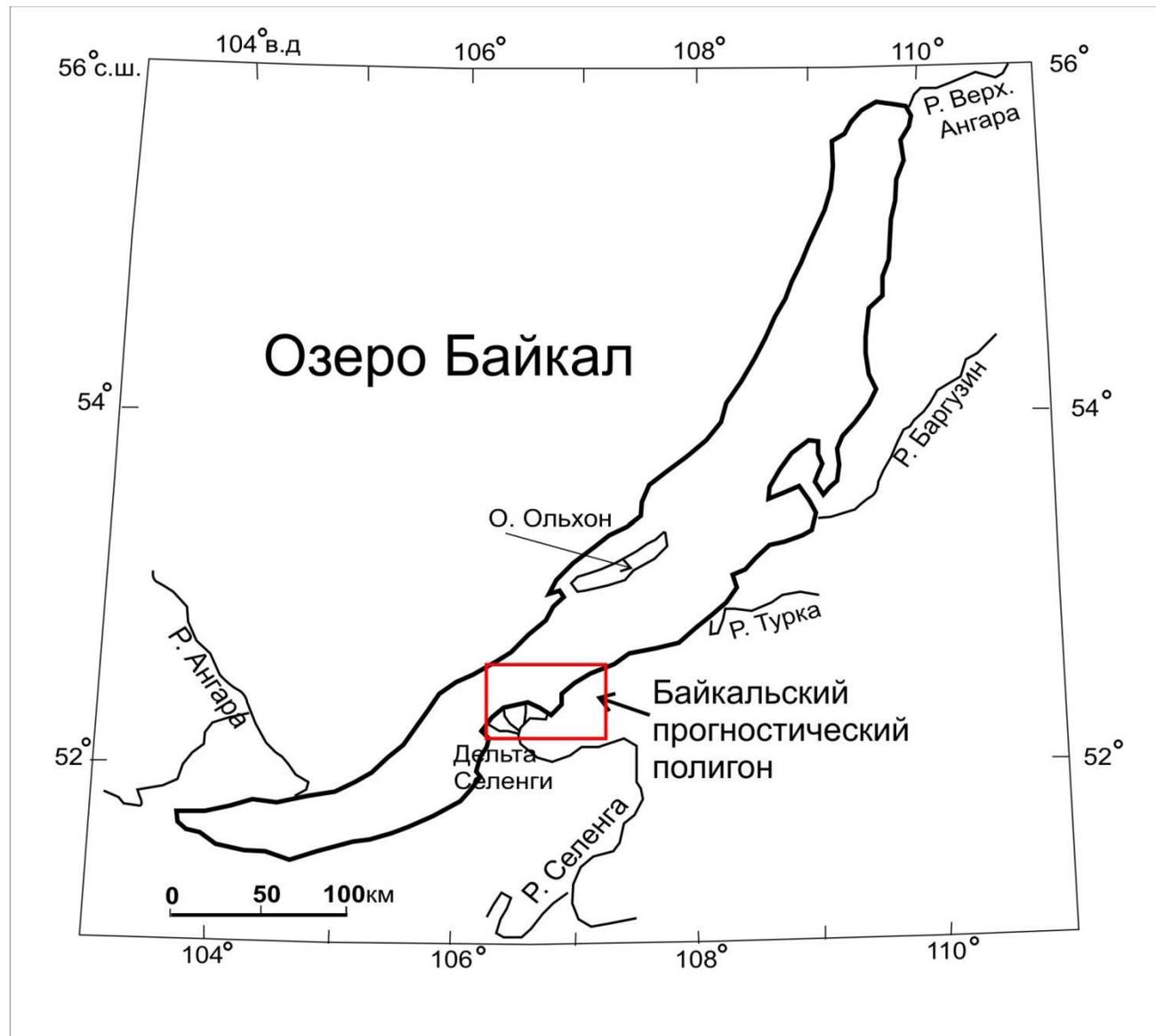


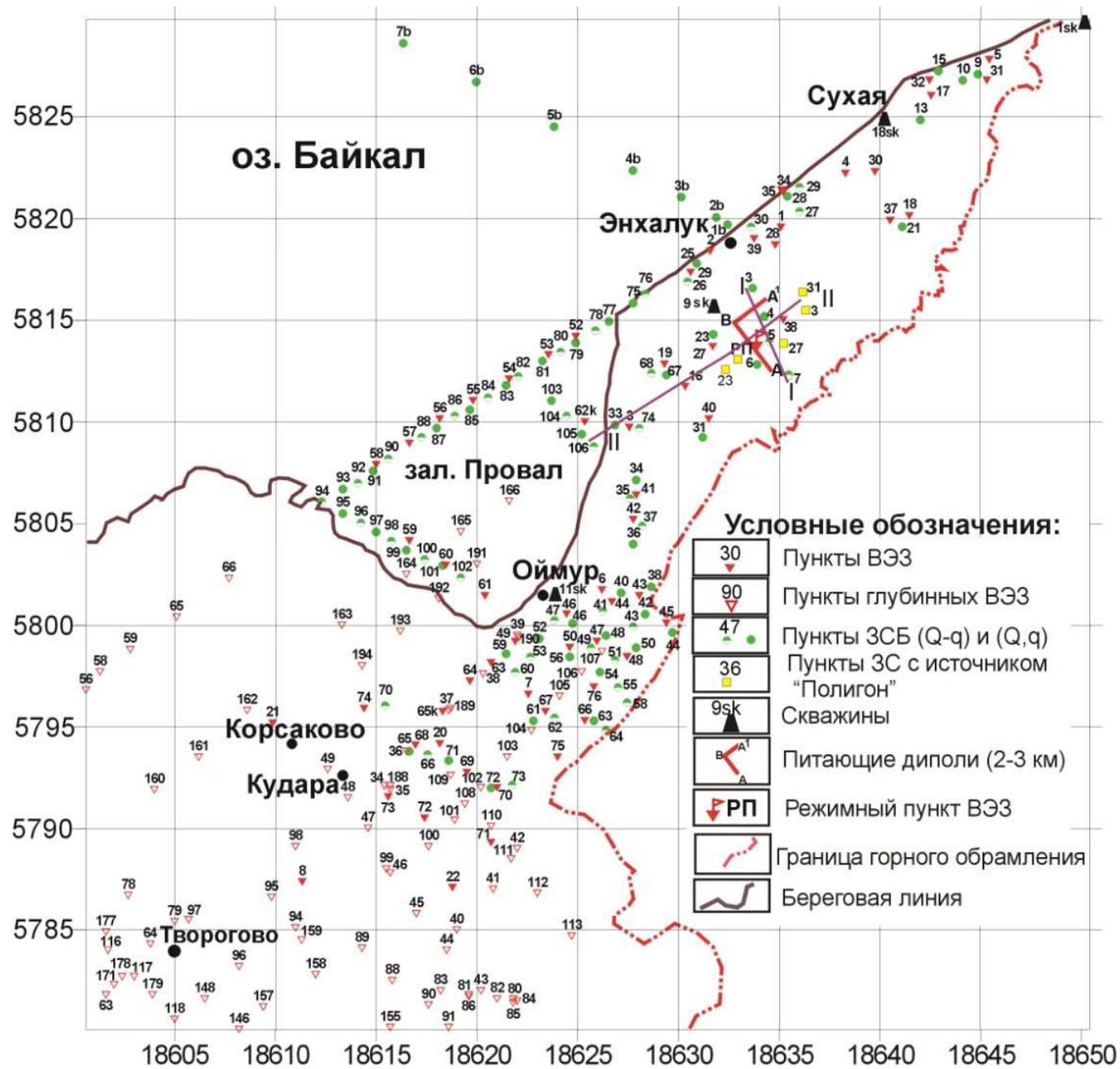
Итерация 5. Погрешность=7.4%

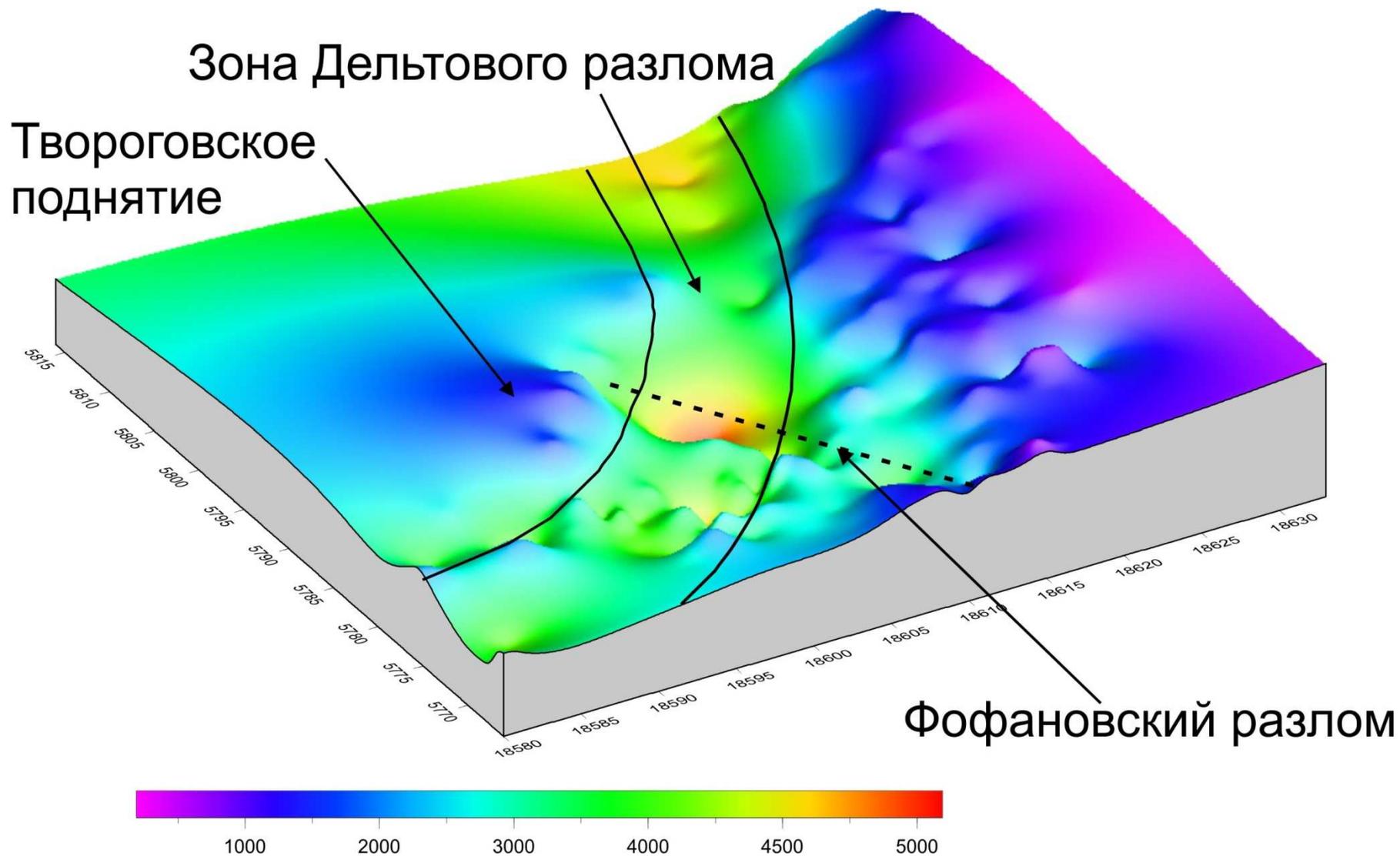


Озеро Байкал



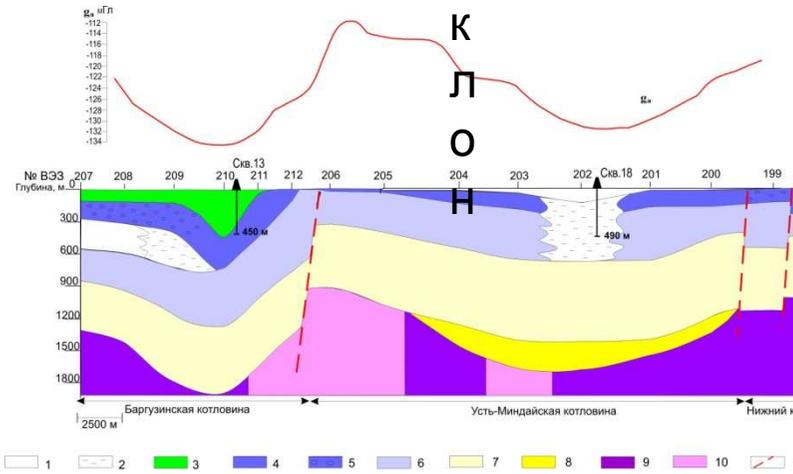




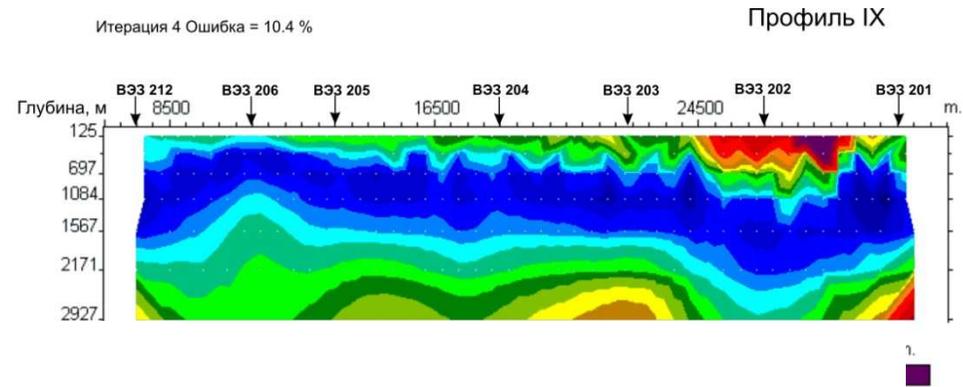


Баргузинская впадина, профиль в южной части

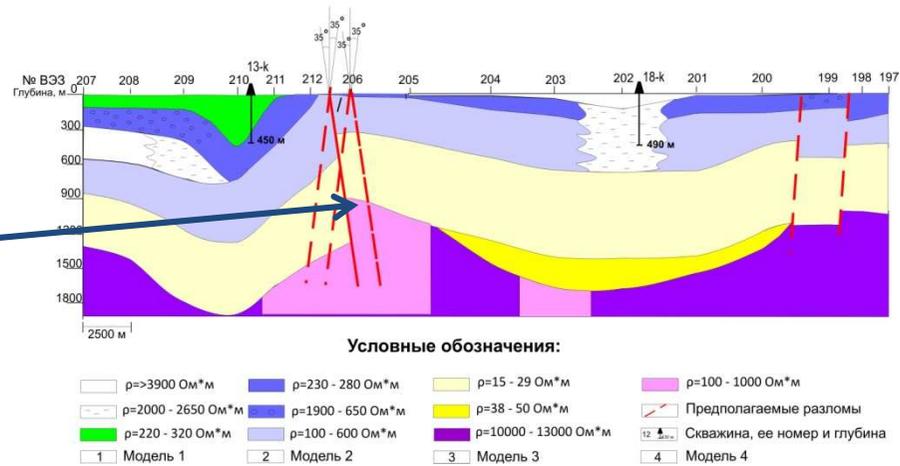
Одномерная интерпретация



2 D инверсия



Положение разлома по результатам 3D моделирования (сплошная линия)



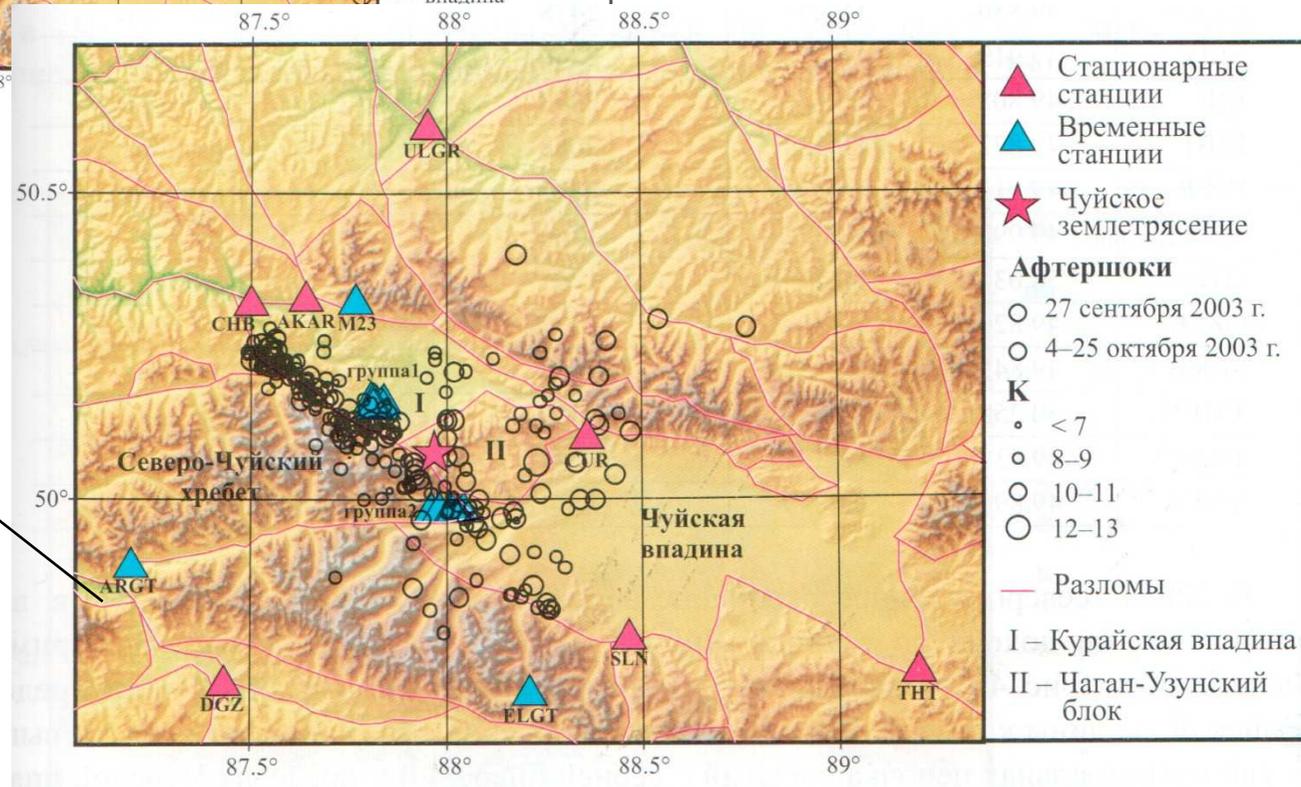
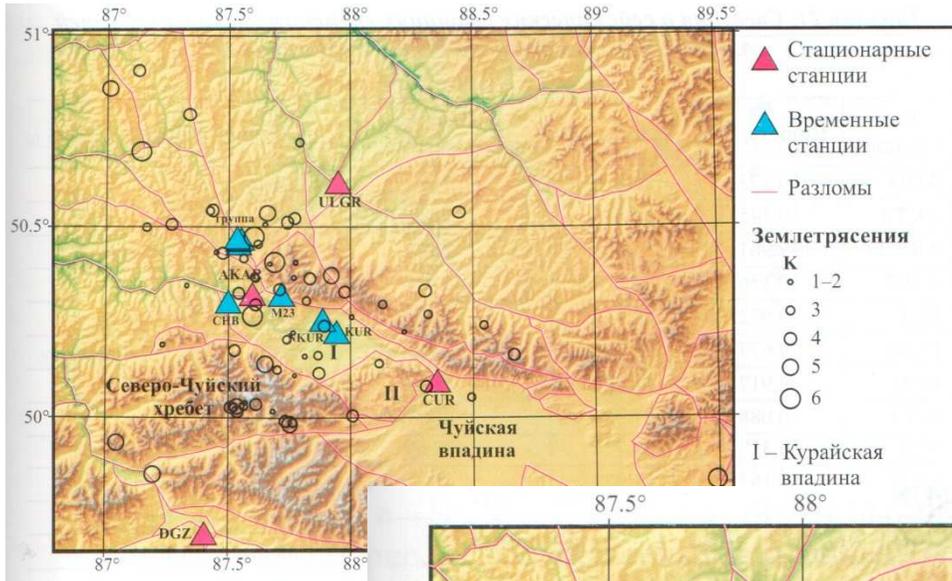
Б
а
р

Наклон сместителя

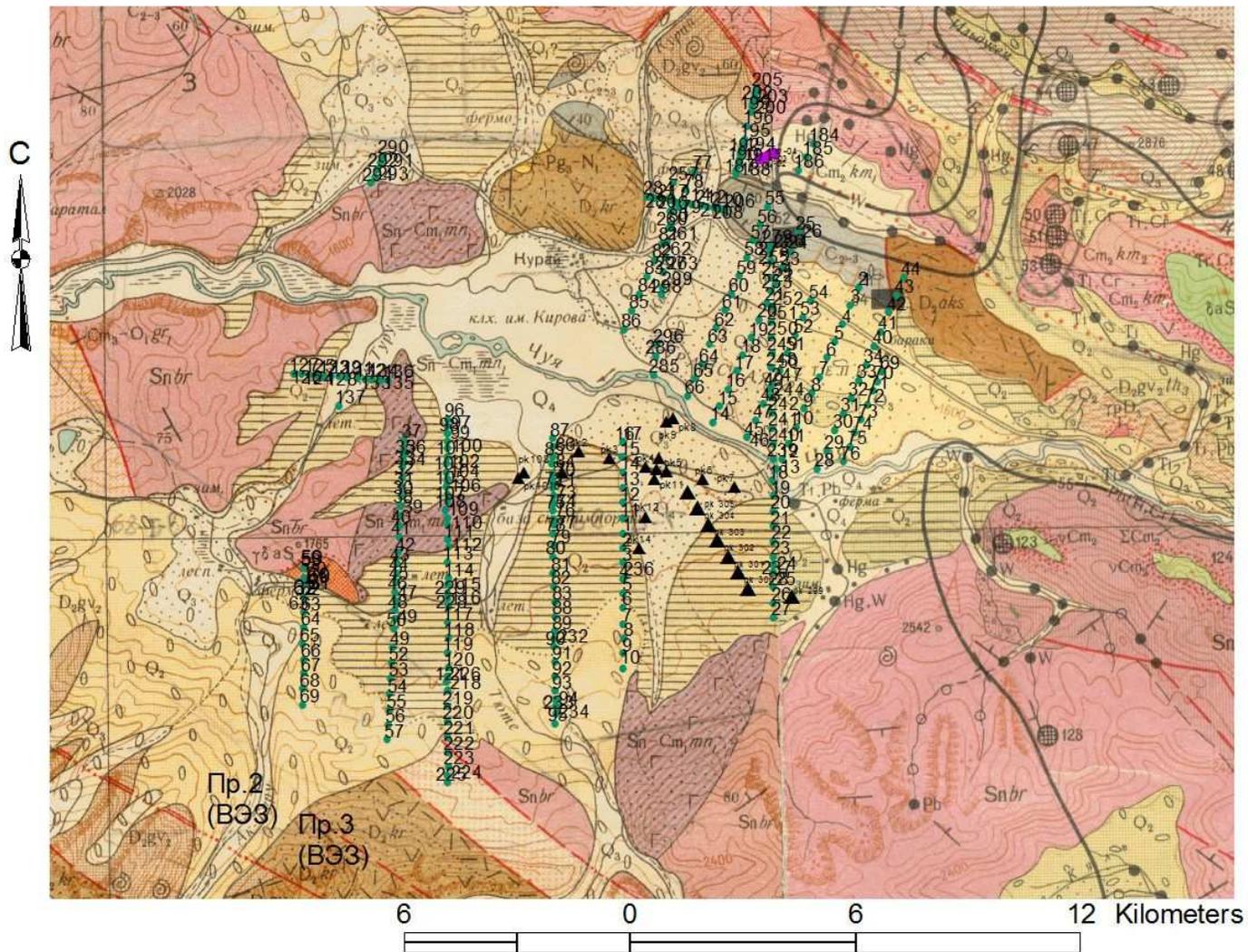
Чуйско-Курайская сейсмоактивная зона



Сейсмологические данные (Еманов и др., 2004, 2006, 2011)



Измерения в Курайской впадине



Условные обозначения:

- ▲ Пункты ЗС (соосные и разнесенные)
- Пункты ВЭЗ архивные
- Пункты ВЭЗ 2010 г.

Результаты на основе одномерной инверсии

Геоэлектрические разрезы по профилям 2, 3 в южной части
впадины по данным архивных ВЭЗ.

Профили пересекают Салгандуйский массив

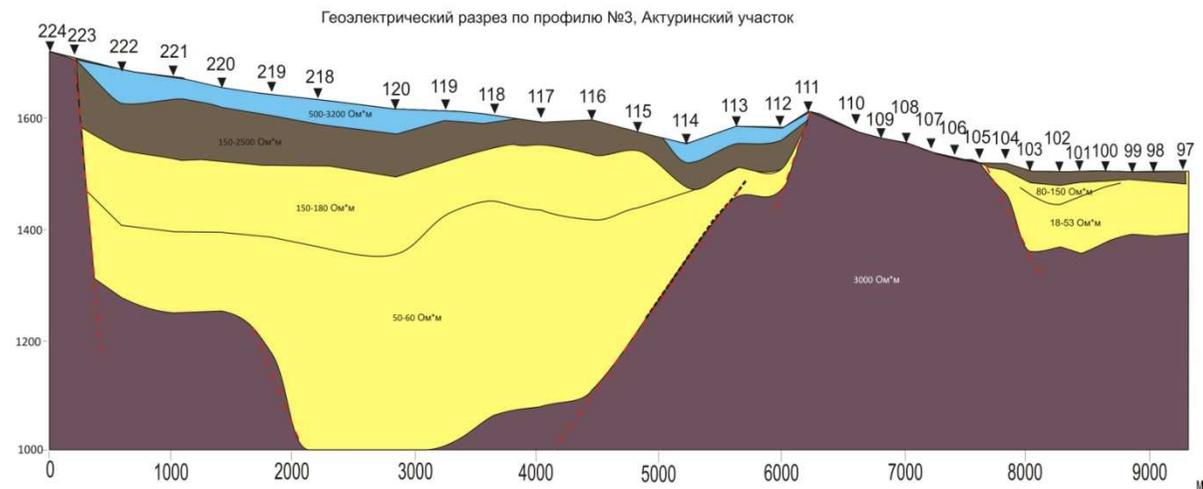
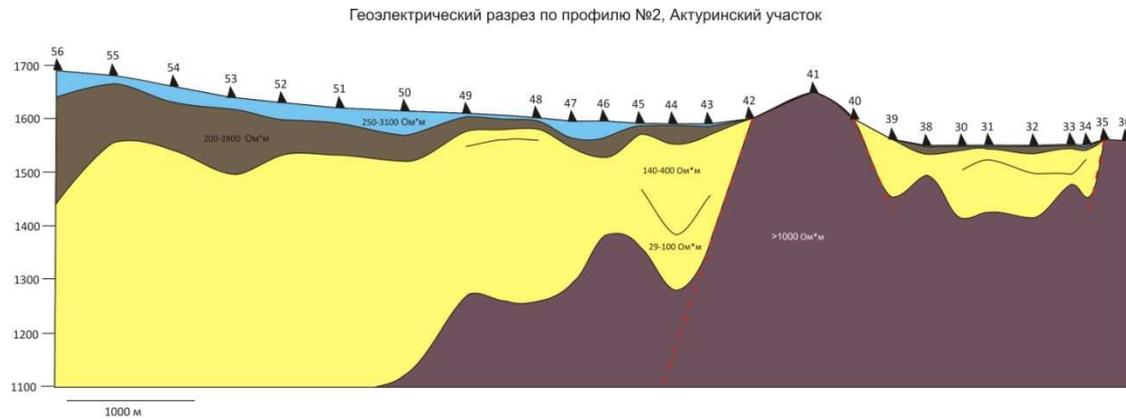
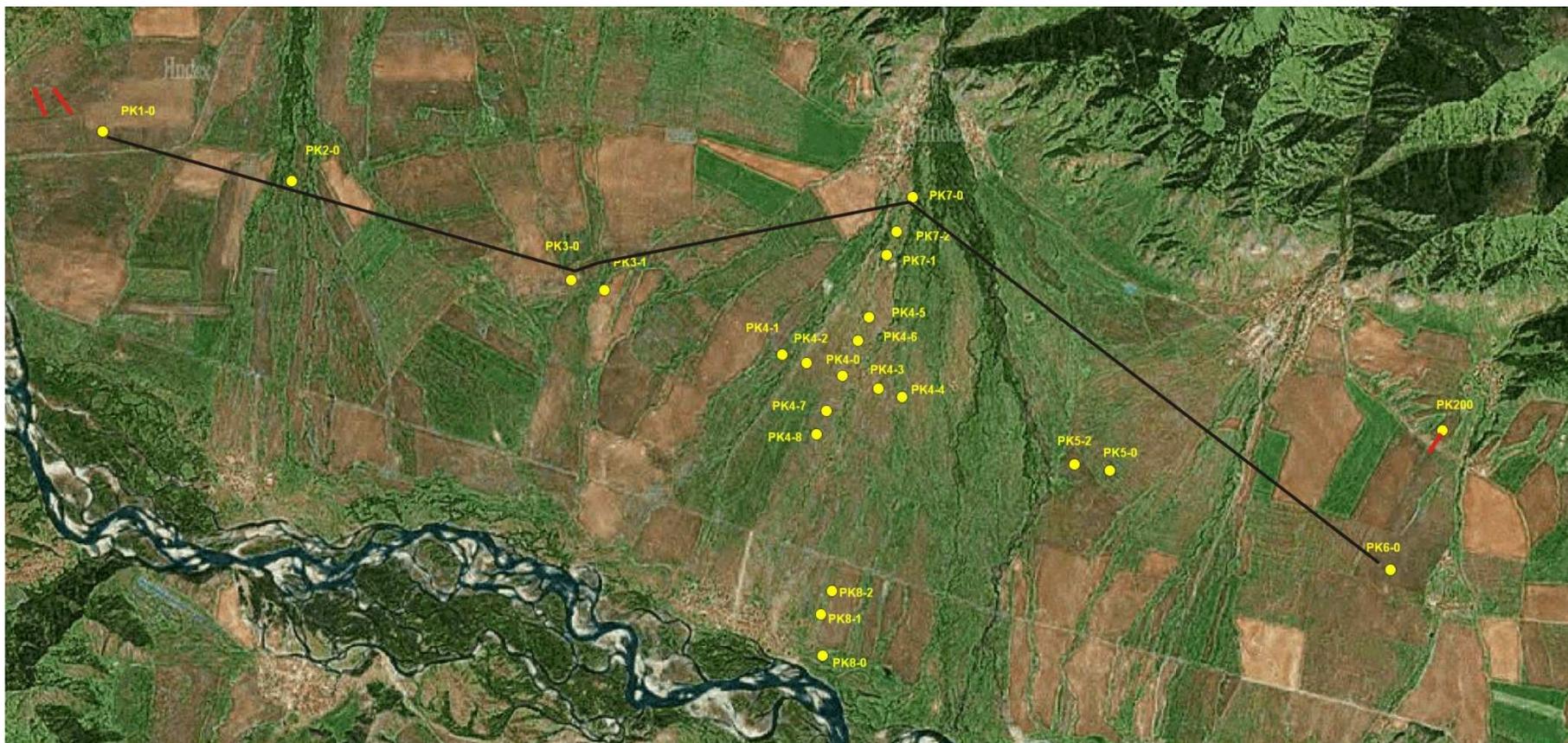
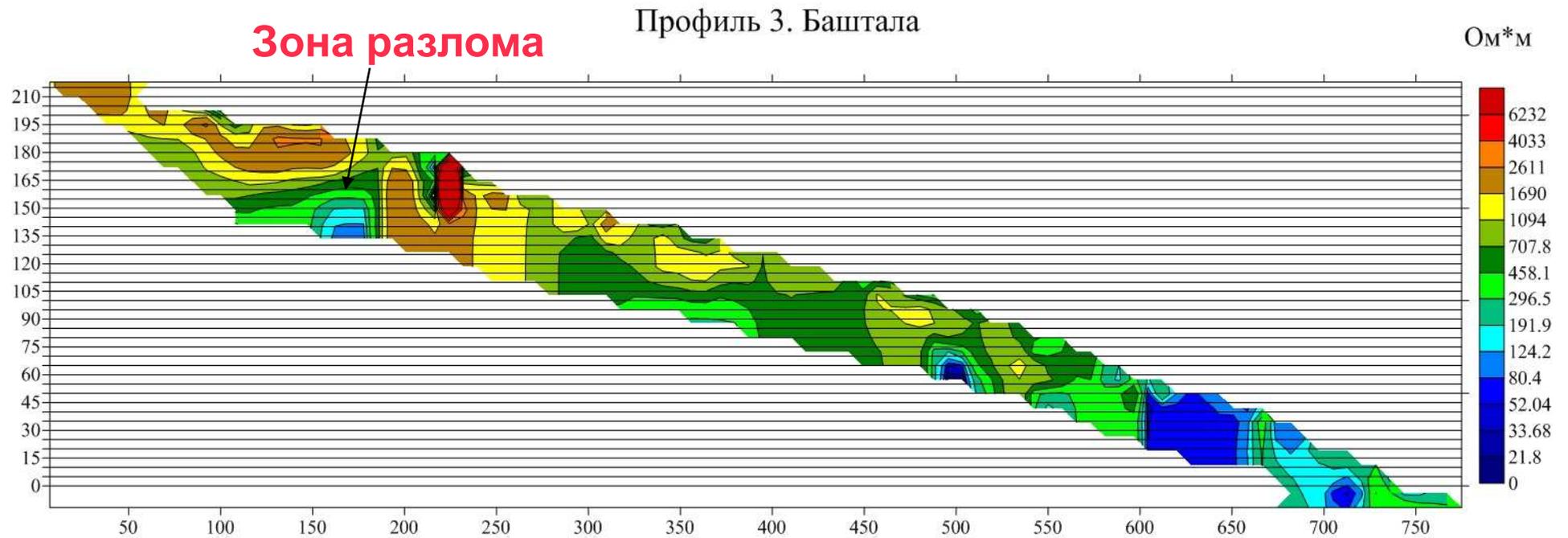


Схема измерений в Уймонской впадине



Геоэлектрический разрез электротомографии в районе пос. Баштала (Уймонская впадина)

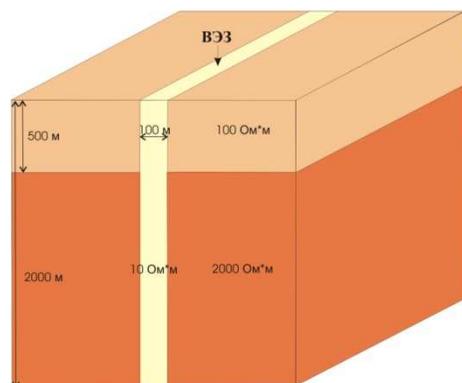


Синтетическое 3 D моделирование

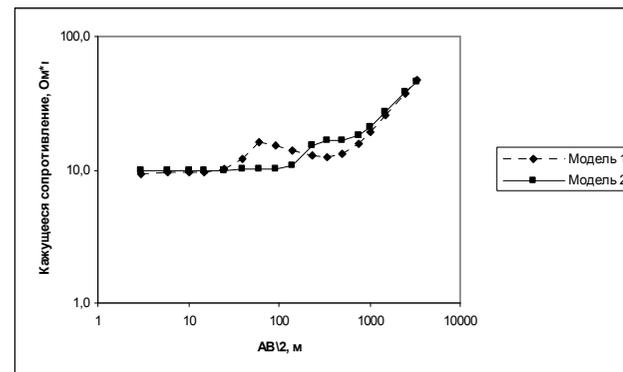
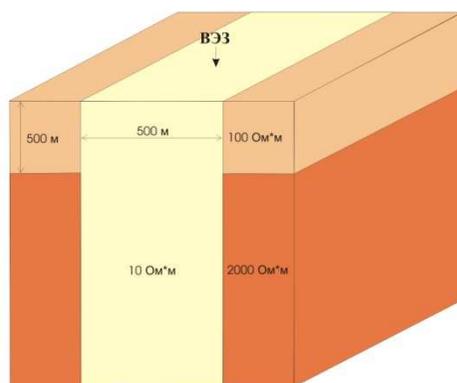
- Используется программа EMF_DC3Dmod,
ИНГГ СО РАН

3-D моделирование на теоретических моделях разломных структур

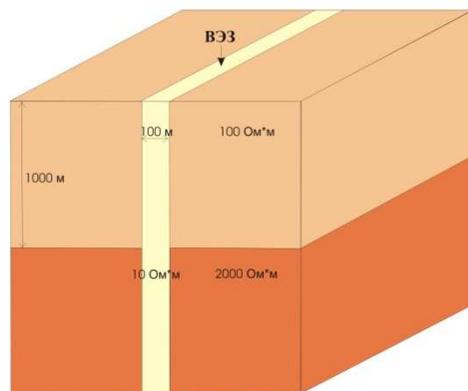
Модель 1



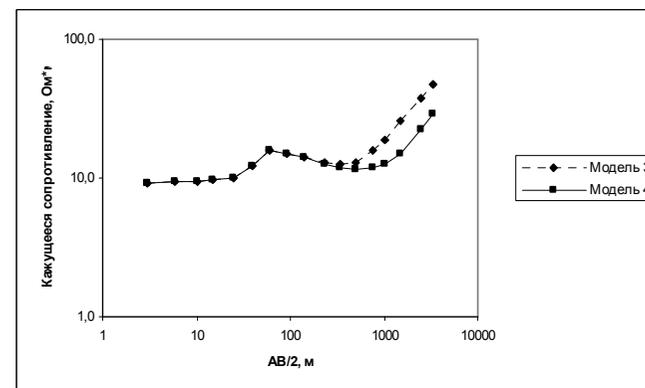
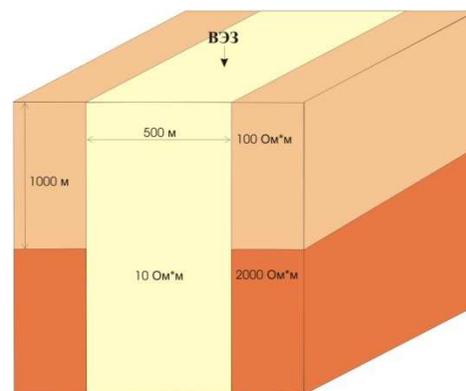
Модель 2



Модель 3



Модель 4

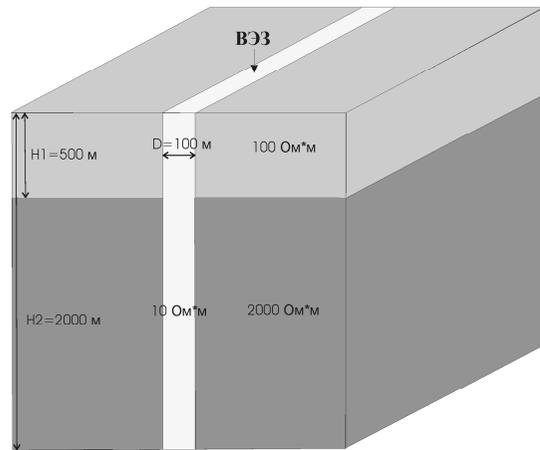


Программа EMF_DC3Dmod

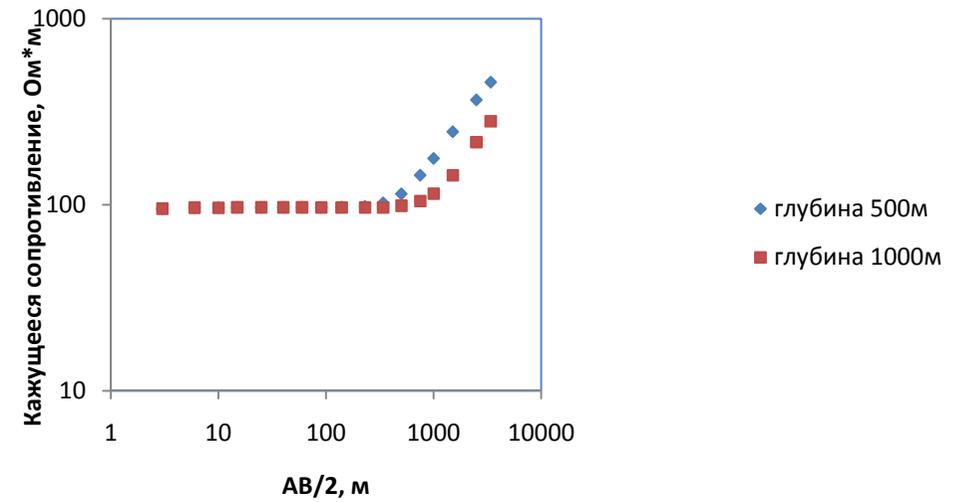
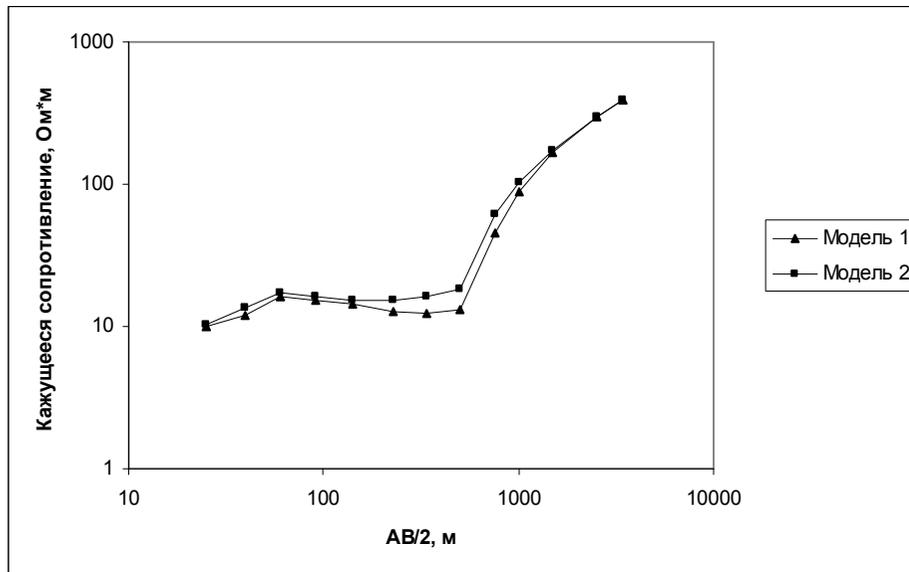
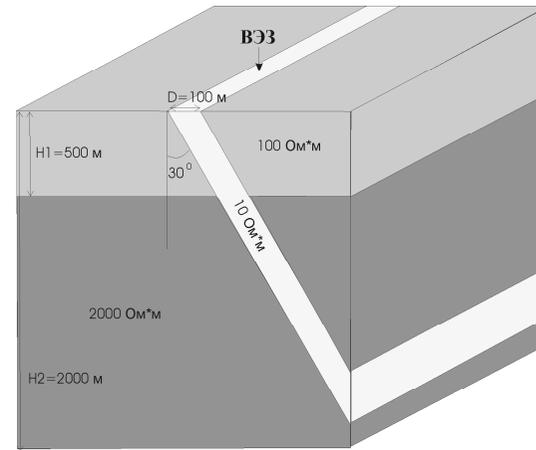
ИНГГ

Моделирование разломов

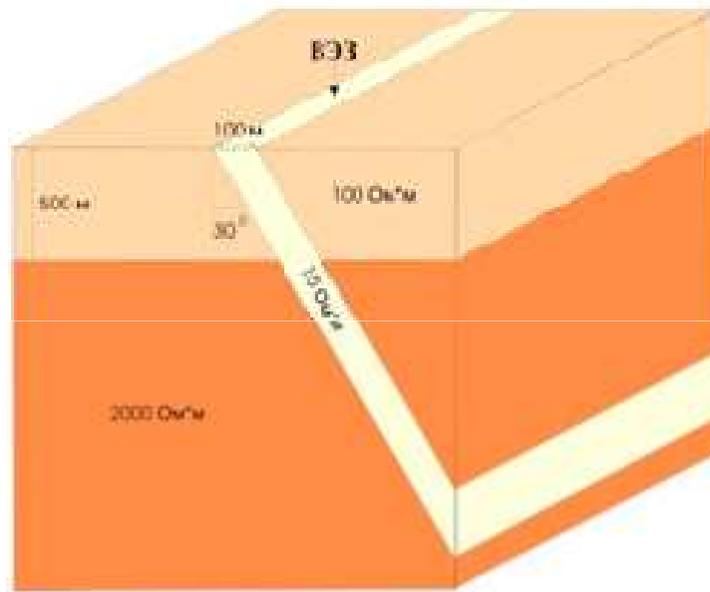
Модель 1



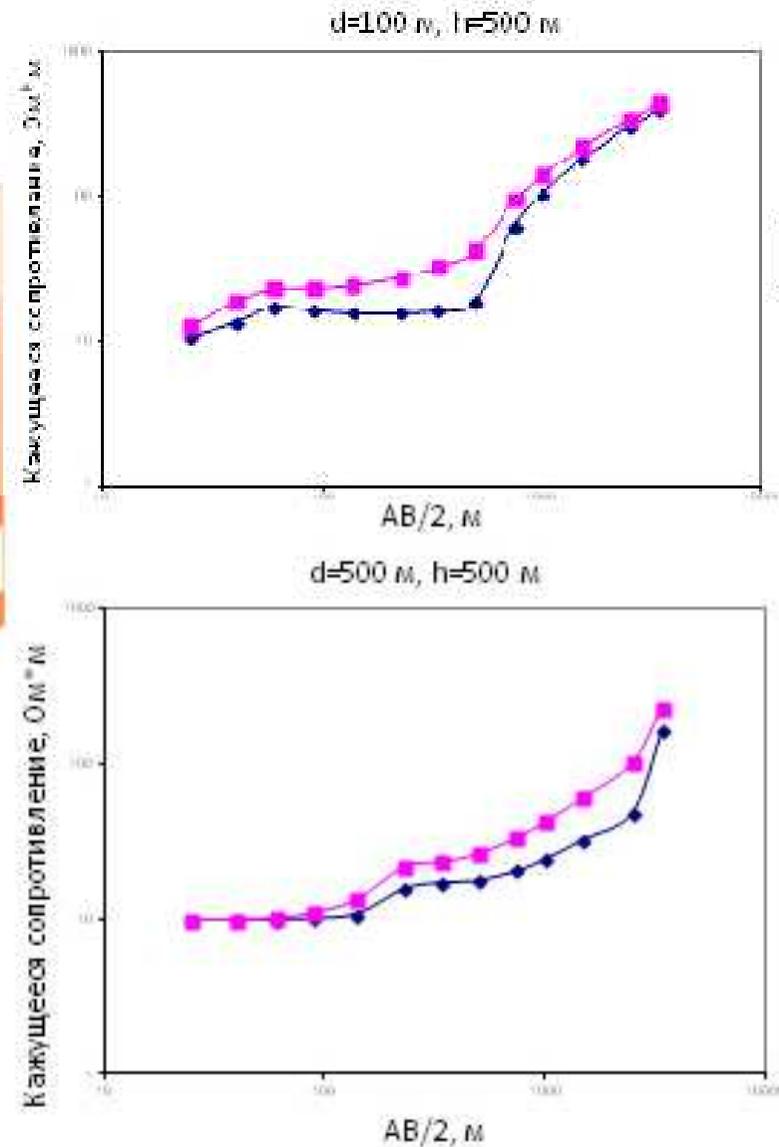
Модель 2



Теоретические модели разломных структур (3-D моделирование)



Изменяется ширина разломной зоны



Заключение

- Результаты интерпретации полевых данных геоэлектрики позволяют получать качественные и количественные оценки разломных нарушений и других тектонических структур.
- С помощью **двумерного и трехмерного моделирования** решается ряд целый ряд задач:
- 1. модельная эквивалентность,
- 2. анализ характерных искажений полевых кривых.
- 3. Определение наиболее точных параметров геоэлектрической модели, в том числе и количественных характеристик разломных нарушений, наклонов сместителя.

Трехмерное моделирование (программа EMF_DC3Dmod)

Для создания начальных 3D моделей и визуализации результатов используются геоинформационные системы, которые позволяют не только построить виртуальную модель, но и проследить за правильностью выполняемых построений.

При использовании 3D моделирования осуществляется выбор оптимального разбиения модели на блоки.

Проблемы трехмерного моделирования

1. Необходимо уменьшение расчетного времени.
2. Улучшение визуализации входных и выходных данных для перехода к трехмерной инверсии

Спасибо за внимание

