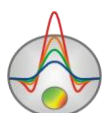


Программа двумерной интерпретации данных метода сопротивлений и вызванной поляризации.

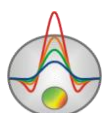
(наземный, скважинный и акваторный варианты)

ZONDRES2D

<i>Назначение и возможности программы.....</i>	<i>3</i>
<i>Удельное электрическое сопротивление и поляризуемость горных пород</i>	<i>5</i>
<i>Установка и удаление программы.....</i>	<i>8</i>
<i>Регистрация программы.....</i>	<i>8</i>
<i>Требования к системе.....</i>	<i>8</i>
<i>Начало работы с программой, основные ее опции</i>	<i>9</i>
Создание и открытие файла данных.....	9
Панель инструментов главного окна программы	10
Меню функций главного окна программы.....	10
“Горячие” клавиши	14
Панель статуса.....	14
Диалог настройки стартовой модели.....	15
<i>Формат основного файла данных.....</i>	<i>18</i>
I часть файла данных: Наблюденные данные	18
II часть файла данных: Данные топографии.....	20
III часть файла данных: Данные модели	22
<i>Подготовка данных для инверсии.....</i>	<i>23</i>
<i>Визуализация кажущихся параметров.....</i>	<i>24</i>
План графиков.....	25
Псевдоразрез	28
<i>Редактор электродов.....</i>	<i>29</i>
<i>Инверсия данных</i>	<i>31</i>
Диалог настройки параметров инверсии	31



Диалог Cell summarization	42
Оценка невязки в результате инверсии	43
<i>Режимы и параметры визуализации модели</i>	<i>43</i>
<i>Моделирование.....</i>	<i>46</i>
Диалог Default array	47
Редактор модели	48
Работа с моделью	50
Диалог настройки параметров ячейки	51
<i>Сохранение результатов интерпретации</i>	<i>52</i>
<i>Информация о проекте.....</i>	<i>53</i>
<i>Импорт и экспорт данных.....</i>	<i>54</i>
Диалог настройки экспортируемого изображения.....	58
Формат файла данных каротажа и литологии	59
<i>Дополнительные возможности визуализации</i>	<i>62</i>
<i>Особенности работы с данными топографии и данными акваторных измерений.....</i>	<i>64</i>
Приложение 1: Редактор набора графиков	66
Приложение 2: Редактор графика	67
Приложение 3: Редактор легенды для графиков	70
Приложение 4: Диалог настройки параметров псевдореза	71
Приложение 5: Редактор осей	73
Приложение 6: Диалог настройки параметров модели	77
Приложение 7: Редактор точек псевдореза	79



Назначение и возможности программы

Программа «ZONDRES2D» предназначена для 2.5-мерной интерпретации профильных данных электротомографии методом сопротивлений, вызванной поляризации и метода заряда. Удобный интерфейс и широкие возможности представления данных позволяют максимально эффективно решить поставленную геологическую задачу.

При решении прямой и обратной задачи используется математический аппарат метода конечных элементов, дающий лучшие результаты по сравнению с сеточными методами [Dey&Morrison, 1979; Lowry, 1989].

При моделировании поля точечного источника среда разбивается сетью треугольных ячеек с различными удельными сопротивлениями. Поведение потенциала внутри ячейки аппроксимируется линейной базисной функцией.

$$N(x, z) = \frac{\phi + bx + cz}{2A} \quad (1)$$

Поле точечного источника внутри двумерной среды имеет трехмерную структуру. Воспользовавшись преобразованием Фурье, решение задачи можно перевести в область пространственных частот.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) - \lambda^2 \sigma \phi = -I \delta(x) \delta(z) \quad (2)$$

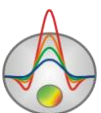
$$\frac{\partial \phi}{\partial n} + \nu \cdot \phi = 0 \quad (3)$$

где ϕ – значение спектральный потенциал, λ – пространственная частота, I – значение силы тока, σ – электропроводность среды, δ – дельта функция Дирака.

Последующее решение для набора пространственных частот и применение обратного Фурье преобразования к полученным значениям спектрального потенциала дает искомые значения потенциала точечного источника в узлах сетки [Xu, 2000].

$$U(x, y, z) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \phi(x, \lambda, z) \cos(\lambda \cdot y) d\lambda \quad (4)$$

Для решения обратной задачи (инверсии) используется метод наименьших квадратов с регуляризацией. Регуляризация повышает устойчивость решения и позволяет



получить более гладкое распределение сопротивления или поляризуемости в среде [Constable, 1987].

$$(A^T W^T W A + \mu C^T R C) \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T R C m \quad (5)$$

где A – матрица частных производных измеренных значений по параметрам разреза (Якобиан), C – сглаживающий оператор, W – матрица относительных погрешностей измерений, m – вектор параметров разреза, μ – регуляризирующий параметр, Δf – вектор невязок между наблюдаемыми и рассчитанными значениями, R – фокусирующий оператор.

При разработке обратной задачи особое внимание уделено учету априорной информации (веса отдельных измерений, диапазоны изменения параметров).

«ZONDRES2D» обладает мощной системой визуализации профильных данных, редактором измерений, и системой анализа чувствительности и разрешающей способности метода.

Для отображения измеренных и рассчитанных значений, а также разницы между ними или весов измерений в программе используются два вида графиков: план графиков и псевдоразрез.

В редакторе электродов пользователь может просмотреть параметры установки измерений, задать веса (значимость) отдельных измерений и подкорректировать значения измеренных характеристик.

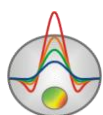
В системе анализа разрешающей способности пользователь изучает функцию чувствительности модели – т.е. степень влияния той или иной ячейки модели на результаты измерений.

$$S = \sqrt{\text{diag}(A^T A)} \quad (6)$$

Исследование чувствительности позволяет сделать оптимальный выбор типа и параметров установки для решения поставленной геологической задачи.

«ZONDRES2D» использует простой и понятный формат файла данных, позволяющий сочетать несколько типов установок на одном профиле. Измеренными характеристиками могут служить как кажущееся сопротивление, так и отношение сигнала к току и кажущаяся поляризуемость. Программа позволяет импортировать и отображать результаты измерений другими методами, что способствует, более комплексному подходу к интерпретации данных.

В «ZONDRES2D» предусмотрена система моделирования, включающая все основные типы установок, используемые в методе сопротивлений. Выбор параметров



установки и количества точек измерений осуществляется пользователем в режиме диалога.

Программа «ZONDRES2D» представляет удобный аппарат для автоматической и интерактивной интерпретации данных электротомографии, и может быть использована на IBM PC-совместимых персональных компьютерах с операционной системой Windows.

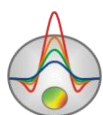
Удельное электрическое сопротивление и поляризуемость горных пород

Удельное электрическое сопротивление (УЭС), измеряемое в омметрах (Омм), характеризует способность пород оказывать электрическое сопротивление прохождению тока и является наиболее универсальным электромагнитным свойством. Оно меняется в горных породах и рудах в очень широких пределах: от 10^{-3} до 10^{15} Омм. Для наиболее распространенных осадочных, изверженных и метаморфических горных пород УЭС зависит от минерального состава, физико-механических и водных свойств горных пород, концентрации солей в подземных водах и в меньшей мере от их химического состава, а также от некоторых других факторов (температуры, глубины залегания, степени метаморфизма и др.) [Хмелевской, 1997].

Удельное электрическое сопротивление минералов зависит от их внутрикристаллических связей. Для минералов-диэлектриков (кварц, слюды, полевые шпаты и др.) с преимущественно ковалентными связями характерны очень высокие сопротивления (10^{12} - 10^{15} Омм). Минералы-полупроводники (карбонаты, сульфаты, галоиды и др.) имеют ионные связи и отличаются высокими сопротивлениями (10^4 - 10^8 Омм). Глинистые минералы (гидрослюда, монтмориллонит, каолинит и др.) обладают ионно-ковалентными связями и выделяются достаточно низкими сопротивлениями.

Рудные минералы (самородные, некоторые окислы) отличаются электронной проводимостью и очень хорошо проводят ток. Первые две группы минералов составляют "жесткий" скелет большинства горных пород. Глинистые минералы создают "пластичный" скелет, способный адсорбировать связанную воду, а породы с "жесткими" минералами могут насыщаться лишь растворами и свободной водой, т.е. той, которая может быть выкачана из породы.

Удельное электрическое сопротивление свободных подземных вод меняется от долей Омм при высокой общей минерализации до 1000 Омм при низкой минерализации.

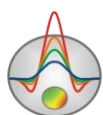


Химический состав растворенных в воде солей не играет существенной роли, поэтому по данным электроразведки можно судить лишь об общей минерализации подземных вод. Удельное электрическое сопротивление связанных вод, адсорбированных твердыми частицами породы, низкое и мало меняется (от 1 до 100 Ом·м). Это объясняется достаточно постоянной их минерализацией (3-1 г/л). Средняя минерализация вод мирового океана равна 36 г/л.

Так как поровая вода (свободная и связанная) отличается значительно более низким удельным электрическим сопротивлением, чем минеральный скелет большинства минералов, то сопротивление горных пород практически не зависит от его минерального состава, а определяется такими параметрами пород, как пористость, трещиноватость, водонасыщенность. С их увеличением сопротивление пород уменьшается за счет увеличения ионов в подземной воде. Поэтому электропроводность большинства пород является ионной (электролитической).

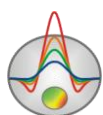
С ростом температуры на 40° сопротивление уменьшается примерно в 2 раза, что объясняется увеличением подвижности ионов. При замерзании сопротивление горных пород возрастает скачком, так как свободная вода становится практически изолятором, а электропроводность определяется лишь связанной водой, которая замерзает при очень низких температурах (ниже -50° C). Возрастание сопротивлений при замерзании разных пород различно: в несколько раз оно увеличивается у глин, до 10 раз - у скальных пород, до 100 раз - у суглинков и супесей и до 1000 и более раз - у песков и грубообломочных пород.

Несмотря на зависимость удельного сопротивления от множества факторов и широкий диапазон изменения у разных пород, основные закономерности УЭС установлены достаточно четко. Изверженные и метаморфические породы характеризуются высокими сопротивлениями (от 500 до 10000 Ом·м). Среди осадочных пород высокие сопротивления (100 - 1000 Ом·м) у каменной соли, гипсов, известняков, песчаников и некоторых других. Обломочные осадочные породы, как правило, имеют тем большее сопротивление, чем больше размер зерен, составляющих породу, т.е. зависят прежде всего от глинистости. При переходе от глин к суглинкам, супесям и пескам удельное сопротивление изменяется от долей и первых единиц омметров к первым десяткам и сотням омметров [Хмелевской, 1997].



Способность пород поляризоваться, т.е. накапливать заряд при пропускании тока, а затем разряжаться после отключения этого тока, оценивается коэффициентом поляризуемости. Величина η вычисляется в процентах как отношение напряжения, которое остается в измерительной линии по истечении определенного времени (обычно 0,5-1 с) после размыкания токовой цепи к напряжению в той же линии при пропускании тока.

Поляризация - это сложный электрохимический процесс, протекающий при пропускании через породу постоянного или низкочастотного переменного (до 10 Гц) тока. Наибольшей поляризуемостью отличаются руды с электронной проводимостью (сульфиды, сульфосоли, некоторые самородные металлы, отдельные окислы, графит, антрацит). Природа этих потенциалов ВП связана с так называемой концентрационной и электродной поляризацией рудных минералов. Коэффициенты поляризуемости до 2-6% наблюдаются над обводненными рыхлыми осадочными породами, в которых имеются глинистые частицы. Поляризуемость их обусловлена деформациями внешних обкладок двойных электрических слоев, возникающих на контакте твердой и жидкой фазы. Большинство изверженных, метаморфических и осадочных пород, насыщенных минеральной водой, слабо поляризуются [Хмелевской, 1997].



Установка и удаление программы

Программа «ZONDRES2D» поставляется на компакт-диске или через интернет. В комплект поставки входит настоящее Руководство. Последние обновления программы Вы можете загрузить на сайте: www.kaminae.narod.ru.

Для установки программы перепишите программу с компакт диска в нужную директорию (например Zond). Для установки обновления, просто запишите новую версию программы поверх старой.

Перед первым запуском программы необходимо установить драйвер защитного ключа SenseLock. Для этого откройте папку SenseLock (драйвер можно загрузить с компакт диска, или на сайте) и запустите файл InstWiz3.exe. После установки драйвера вставьте ключ. Если все в порядке в нижней системной панели появится сообщение, что ключ обнаружен.

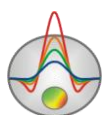
Для удаления программы сотрите рабочий каталог программы.

Регистрация программы

Для того чтобы зарегистрировать программу нажмите в главном меню программы пункт “Registration file”. В появившемся диалоге заполните все поля, выберите имя файла регистрации и сохраните его. Созданный файл пересылается на указанный в договоре адрес, после чего пользователь получает уникальный пароль, связанный с серийным номером жесткого диска, который необходимо ввести в пункте “Registration”. Второй вариант - использование программы с поставляемым ключом SenseLock. При этом необходимо, чтобы во время работы ключ был вставлен в разъем USB.

Требования к системе

Программа «ZONDRES2D» может быть установлена на компьютере с операционной системой Windows 98 и выше. Рекомендуемые параметры системы: процессор P IV-2 ГГц, 512 мб. памяти, разрешение экрана 1024 X 768, цветовой режим - True color. (Не следует изменять разрешение экрана в режиме работы с данными).



Так как программа на данный момент активно использует ресурсы системного реестра, в системах выше Windows XP, ее следует запускать от имени администратора (правой кнопкой мыши на значок программы – запустить от имени администратора).

Начало работы с программой, основные ее опции

Создание и открытие файла данных

Для начала работы с программой «ZONDRES2D» необходимо создать файл данных определенного формата, содержащий информацию о координатах электродов, топографии и результаты измерений. «ZONDRES2D» также поддерживает наиболее популярные форматы данных: RES2DINV (Geotomo Software, M.H. Loke), SENSINV2D (Geotomographie, T. Fleschner), ABEM data и ProfileR (A. Binley).

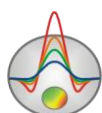
Обычно один файл содержит данные по одному профилю наблюдений. Текстовые файлы данных, организованные в формате программы «ZONDRES2D», имеют расширение «*.z2d» (*подробно в разделе «[Формат основного файла данных](#)»*).

Zond data file	Открыть файл данных или файл проекта формата Zond.
ProfileR data file	Открыть файл данных формата программы ProfileR.
ABEM data file	Открыть файл данных формата ABEM.
Res2dInv	Открыть файл данных формата программы Res2dInv.
Sens2dInv	Открыть файл данных формата программы Sens2dInv.
Zond1d file conversion	Импортировать данные из файла формата Zond-IP 1d.
Program configuration	Открыть файл с параметрами программы.

Для правильной работы программы файл данных не должен содержать:










- нетрадиционные символы, разделяющие записи в строке (используйте символы TAB или SPACE)
- абсурдные значения параметров измерений (например, отрицательные значения кажущегося сопротивления)

Желательно, чтобы суммарное количество измерений содержащихся в одном файле не превышало 5000, а количество уникальных положений электродов не превышало 500.



Панель инструментов главного окна программы

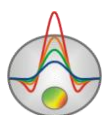
Панель инструментов служит для быстрого вызова наиболее часто используемых в программе функций. Она содержит следующие функциональные кнопки (слева - направо):

	Открыть файл данных.
	Вызвать диалог сохранения данных.
	Вызвать диалог настройки параметров инверсии.
	Вызвать редактор электродов.
	Запустить процедуру расчета прямой задачи.
	Запустить процедуру инверсии или остановить (при повторном нажатии).
	Перейти в режим интерпретации данных метода сопротивлений.
	Перейти в режим интерпретации данных метода вызванной поляризации.
	Отменить шаг изменения модели среды.

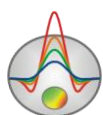
Меню функций главного окна программы

Ниже перечислены названия пунктов меню и их назначение:

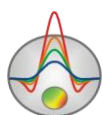
File/Open file	Открыть файл данных.
File/Create survey	Вызвать диалог создания синтетической системы измерений.
File/Save file	Вызвать диалог сохранения данных.
File/Edit data	Открыть, используемый программой файл данных, в редакторе Notepad.
File/Project information	Показать информацию о загруженном проекте.
File/Print preview	Вызвать диалог печати главного окна программы.
File/Recent	Последние используемые файлы
File/Reg file	Создание регистрационного файла
File/Register	Регистрация программы
File/Exit	Выход из программы
Options/Mesh constructor	Вызвать диалог настройки стартовой модели.



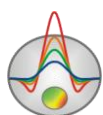
Options/Program setup	Вызвать диалог настройки параметров инверсии.
Options/Electrode editor	Вызвать редактор электродов.
Options/Observed graphics	Вызвать диалог настройки параметров наблюдаемых графиков.
Options/Calculated graphics	Вызвать диалог настройки параметров рассчитанных графиков.
Data /Apparent resistivity	Изображать значения кажущихся сопротивлений.
Data/Resistance	Изображать значения нормированных сигналов.
Data/Pseudo-section	Изображать рассчитанные и наблюдаемые данные в виде псевдоразреза.
Data/Graphics-plot	Изображать рассчитанные и наблюдаемые данные в виде плана графиков.
Data/Calculated data	Отобразить во второй секции рассчитанный псевдоразрез.
Data/Data misfit	Отобразить во второй секции псевдоразрез относительных невязок.
Data/Data weights	Отобразить во второй секции псевдоразрез весов измерений.
Data/Iso-pole graphics	Способ построения плана графиков, в котором каждый из графиков, соответствует определенному положению питающей линии.
Data/Iso-psZ graphics	Способ построения плана графиков, в котором каждый из графиков, соответствует определенной псевдоглубине (коэффициенту установки).
Data/Display/ Display every N point	Отображать каждую N точку псевдоразреза. Данная опция используется при больших объемах измерений(>3000).
Data/ Display/	Отобразить данные в виде графиков для фиксированного положения выбранных электродов.
Model /Block section	Изображать модель в виде блоков.
Model/Smooth section	Изображать модель в гладкой интерполяционной палитре.
Model/Contour section	Изображать модель в виде контурного разреза.
Model/Resistivity	Изображать модель сопротивлений.
Model/Sensitivity	Изображать функцию чувствительности модели в виде контурного разреза.



Model/Extend bottom	При наличии рельефа данная опция протягивает нижние ячейки модели до максимума глубины.
Model/Cutting angle	Задать угол обрезки модели с левого и правого краев.
Model/Histogram	Показать график распределения параметров модели. Диалог позволяет задать минимум и максимум цветовой шкалы параметра.
Advanced/ Inverse procedure/ Length step optimize	Включить или отключить режим автоматического выбора длины шага. Данный режим приводит к ускорению сходимости алгоритма, но в некоторых случаях не позволяет обойти локальные минимумы решения.
Advanced/ Inverse procedure/ Display process	Показывает графики изменения параметров инверсии внутри каждой итерации и в общем процессе подбора (Ошибка данных, ошибка модели, сглаживающий фактор, взвешенная ошибка данных).
Advanced/Inverse procedure/Underwater options/ Resistivity 3.00	Устанавливает сопротивление воды.
Advanced/Inverse procedure/Underwater options/ Invert	Включить подбор сопротивления воды.
Advanced/Inverse procedure/Underwater options/ Sublayers number 3	Устанавливает количество разбиений водного слоя.
Advanced/ Inverse procedure/ Average window 8x4	При включении этой опции в качестве фонового значения m_0 для расчета модельной невязки используется медиана в окне (только при гладкой инверсии Оссам).
Advanced/Cells summarization	Вызвать диалог объединения ячеек разреза (загрубления или сглаживания разреза).
Advanced/Distribution/ Potential distribution	Включить режим отображения изолиний потенциала для каждого положения питающей линии. Текущее измерение выбирается в таблице редактора электродов.
Advanced/Distribution/	Включить режим отображения изолиний чувствительности



Sensitivity isoline	для каждого измерения. Текущее измерение выбирается в таблице редактора электродов.
Advanced/Distribution/ Sensitivity contour	Включить режим отображения контуров чувствительности для каждого измерения. Текущее измерение выбирается в таблице редактора электродов.
Advanced/Display both	Отобразить изолинии поляризуемости поверх модели сопротивлений или наоборот.
Advanced/Isoline setup	Вызвать диалог настройки изолиний второго параметра.
Advanced/ Reverse pseudosection	Повернуть и сместить на постоянную величину сет данных при загрузке.
Advanced/ Open in modeling mode	Открыть файл данных в режиме моделирования.
Advanced/ Real topo coordinates	Отображать реальные превышения профиля.
Advanced/Extended nodes	Добавляет дополнительные узлы по краям модели
Advanced/Electrode RMS	Показывает значение относительной невязки для каждого электрода
Advanced/Smooth topo	Включить режим гладкой интерполяции точек рельефа.
Import/Export/Carotage data	Открыть и показать файл с каротажными данными и стратиграфическими колонками.
Import/Export / Import model/data	Импортировать в программу произвольные данные или модель.
Import/Export /Remove data	Удалить из проекта график полученный из импортируемых данных
Import/Export / Save selection	Сохранить параметры выделенных в редакторе модели ячеек.
Import/Export / Load selection	Открыть файл с выделенными ячейками и вставить с текущей позиции курсора.
Import/Export / Extract 1d log	Сохранить вертикальный профиль сопротивлений или поляризуемостей для заданной горизонтальной координаты.
Import/Export /Load 1d log	Вставить в модель вертикальный профиль сопротивлений или поляризуемостей и их пределов на заданной



	горизонтальной координате.
Import/Export/Section file	Импорт файл формата программы SectionCor (*.sec).
Import/Export/Remove	Очистить от импортируемых данных
Import/Export/ Output setting	Настройки экспортируемого изображения

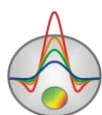
“Горячие” клавиши

Курсорные клавиши /курсор в редакторе модели	Изменение активной ячейки модели.
Delete /курсор в редакторе модели	Очистить активную ячейку.
Insert / курсор в редакторе модели	Присвоить активной ячейке текущее значение.
F / курсор в редакторе модели	Зафиксировать значение активной ячейки.
X / курсор в редакторе модели	Использовать инструмент magic wand для выделения области.
V / курсор в редакторе модели	Удалить выделение.
Вверх/вниз / курсор на цветовой шкале	Изменить текущее значение.
Space	Рассчитать прямую задачу.


Панель статуса

Панель статуса расположена в нижней части рабочего окна программы и разделена на несколько секций, содержащих различную информацию:

Координаты курсора и активной ячейки.
Параметры активной ячейки.
Режим работы редактора модели.
Индикатор процесса.
Относительная невязка.
Дополнительная информация. Например, количество измерений и ячеек модели или статус процесса при



Диалог настройки стартовой модели

После создания файла данных «*.Z2D», его следует загрузить с помощью кнопки  или соответствующего ей пункта меню. При успешной загрузке файла, появляется диалог настройки стартовой модели, в котором предлагается выбрать параметры сети и удельное сопротивление и поляризуемость вмещающей среды. Также этот диалог можно загрузить через главное меню программы **Options/Mesh Constructor** (рис.1).

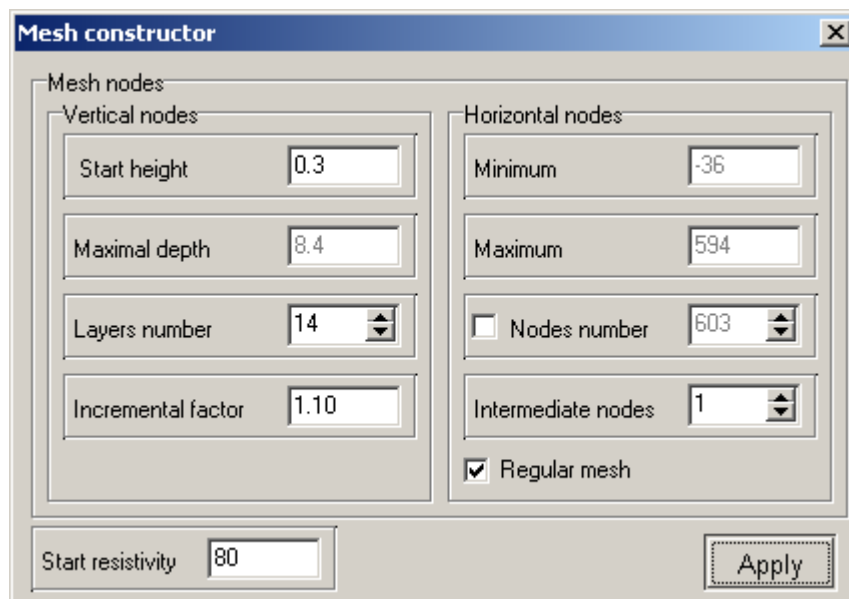
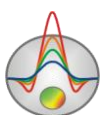


Рис. 1. Диалоговое окно **Mesh constructor**.

Область **Vertical nodes** содержит опции позволяющие задать параметры вертикальной сетки модели. Программа автоматически выбирает эти параметры, руководствуясь следующими правилами:

- Глубина нижнего слоя соответствует половине максимальной псевдоглубины системы измерений.
- Число слоев соответствует удвоенному количеству уникальных коэффициентов установки для данной системы измерений и не превышает 16.
- Толщина последующего слоя в 1.1 раз больше предыдущего.

Start height – устанавливает толщину первого слоя. Эта величина должна приблизительно соответствовать длине ячейки и удовлетворять необходимой разрешающей способности.



Maximal depth – указывает глубину нижнего слоя. Следует иметь в виду, что максимальная глубина не должна быть слишком велика, т.к. влияние параметров геоэлектрического разреза с глубиной уменьшается.

Layers number – устанавливает количество слоев модели. Обычно достаточно 12-14 слоев для описания модели. Нежелательно задавать большие значения этого параметра, т.к. это существенно понизит скорость вычислений.

Incremental number – устанавливает соотношение между толщиной смежных слоев. Значения этого параметра обычно выбирают в диапазоне от 1 до 2.

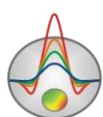
Область **Horizontal nodes** содержит опции позволяющие задать параметры горизонтальной сетки модели.

Minimum – указывает минимальную координату профиля измерений.

Maximum - указывает максимальную координату профиля измерений.

Intermediate nodes – устанавливает количество дополнительных узлов между уникальными положениями электродов на профиле (0 - 4). Это положительно отражается на точности решения прямой задачи, особенно при использовании суммарного потенциала (Total potential calculation).

Nodes number – если опция включена, построение сети производится с равномерным (по горизонтали) шагом, от значения поля **Minimum** к значению поля **Maximum**. Количество узлов задается в поле **Nodes number**. Эту опцию следует включать в случае нерегулярной сети измерений. Необходимо иметь в виду, что при выборе данного режима, программа использует схему - Secondary potential calculation, которая не позволяет учесть рельеф дневной поверхности. Лучше всего использовать равномерную сеть при работе с не томографическими системами наблюдений, например при двумерной интерпретации данных ВЭЗ (рис.2).



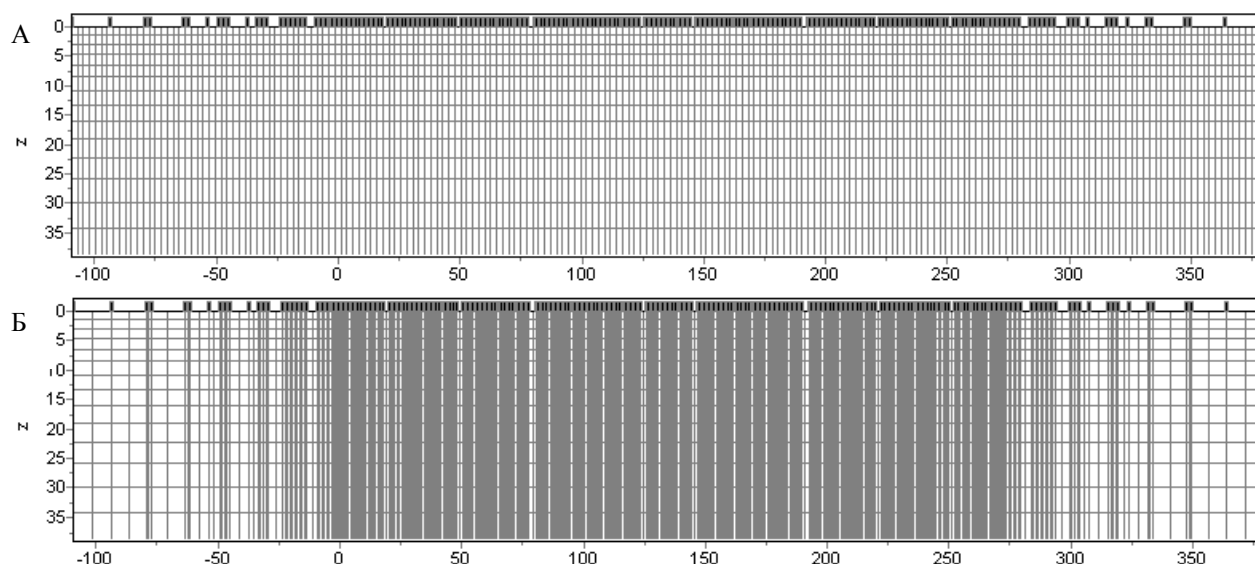


Рис. 2. Равномерная (А), неравномерная (Б) сети модели.

При включении этой опции значительно сокращается количество ячеек, но алгоритм пренебрегает данными, при которых питающий и приемный электрод попадают в одну ячейку из-за нелинейности функции потенциала в этом случае.

Regular mesh – включает алгоритм построения горизонтальной сети, при котором дополнительные узлы выбираются из условия равномерности разбиения. Опцию следует включать в случае сильно различающихся расстояний между соседними электродами (это положительно отражается на решении прямой и обратной задачи). При нажатии правой кнопкой мыши на панели с надписью **Regular mesh** можно указать шаг разбиения ячеек по оси X, если включена опция **Nodes number**.

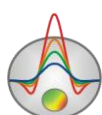
Half-space resistivity – устанавливает удельное сопротивление стартовой модели.

Half-space polarizability – устанавливает поляризуемость стартовой модели.

После настройки параметров сети нажимается кнопка **Apply**, и программа переходит в режим работы.

Скорректировать сеть: добавить или удалить промежуточные узлы сети, выровнять высоту или ширину ячеек, можно также воспользовавшись опциями в редакторе модели (*подробно в разделе «[Редактор модели](#)»*).

Альтернативой использования файла данных, является создание синтетической системы наблюдений, позволяющей смоделировать различные геологические ситуации для наиболее распространенных электроразведочных установок (*подробно в разделе «[Моделирование](#)»*).



Формат основного файла данных

Программа представляет универсальный формат данных, включающий информацию о координатах питающих и приемных электродов, отметки относительных превышений рельефа и собственно измеренные значения (нормированный сигнал или кажущееся сопротивление и кажущаяся поляризуемость).

Формат данных программы *ZONDRES2D data files* (расширение *.Z2D).

Файл данных условно можно разделить на три части: 1) наблюдаемые данные, 2) данные топографии (если таковые имеются), 3) данные модели (сохраняются в файл после инверсии или моделирования).

I часть файла данных: Наблюдаемые данные

Первая строка – содержит управляющие ключи, указывающие программе, какие данные содержатся в том или ином столбце.

В «ZONDRES2D» приняты следующие обозначения (ключи) для координат электродов:

Питающие **C1 C2 C1z C2z C1y C2y** (от англ. Current)

Приемные **P1 P2 P1z P2z P1y P2y** (от англ. Potential)

Y и Z координаты электродов следует вводить при необходимости. Например, при использовании планшетной системы наблюдений, погруженного источника или измерений на акваториях. [Файл-пример – sample_with_z_source](#). Расстояние вдоль оси Y не должно превышать 1/3 максимального разноса (расстояния между приемным и питающим электродами). [Файл-пример – sample_with_y](#). При вводе Z координат электродов следует помнить, что положительные величины означают погружение электрода относительно поверхности измерений. Отрицательные координаты используются только при акваторных измерениях (здесь поверхностью измерений считается дно).

Для измеренных значений:

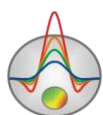
Кажущееся сопротивление **Ro_a**

Модуль нормированного сигнала (отношение разности потенциалов к значению силы тока) **Res**

Нормированный сигнал **SRes** (например, для измерений с погруженным источником, с учетом знака)

Рекомендуется ВСЕГДА использовать величину Res или SRes при создании файла данных, чтобы избежать ошибок при наличии данных топографии.

Кажущаяся поляризуемость **Eta_a**



В качестве Eta_a можно использовать кажущуюся поляризуемость, измеренную во временной области и рассчитанной по формуле:

$$\text{Eta}_a (\%) = (\Delta U_{\text{ВП}} / \Delta U_{\text{ПР}}) \cdot 100\%, \quad (7)$$

где $\Delta U_{\text{ПР}}$ – разность потенциалов в момент пропускания тока, $\Delta U_{\text{ВП}}$ – в паузе. [Файл-пример – sample_with_ip](#). При использовании заряжаемости следует предварительно поделить измеренные значения на 10.

В частотной области мерой вызванной поляризации является сдвиг фаз ($\phi_{\text{ВП}}$), который по эмпирической формуле пересчитывается в значения кажущейся поляризуемости.

$$\text{Eta}_a (\%) = - 2.5 \cdot \phi_{\text{ВП}} (\text{градусы}) \quad (8)$$

Погрешность, или вес измерений задается в столбце с ключом **Weight**, определяет качество измерений. Значения весов измерений должны быть заданы в диапазоне от нуля до единицы. При отсутствии сведений о погрешностях измерений (т.е. при отсутствии столбца с ключом **Weight**) программа автоматически назначает вес **1** каждому измерению.

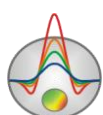
Вторая и последующие строки содержат собственно данные, соответствующие каждому измерению, записанные в той же последовательности, что и управляющие ключи первой строки.

В том случае если на одном профиле использованы разные (по количеству электродов) установки, вместо координаты отсутствующего электрода записывается символ *. [Файл-пример – sample_with_array_combi](#).

Далее вводится столбец дополнительных узлов горизонтальной сети (если это необходимо). Координата каждого нового узла вводится после символа ***. Дополнительные узлы сети обычно вводятся для расширения области модели за крайние электроды косы или при наличии резкого рельефа за пределами косы. [Файл-пример – sample_with_ext_nodes](#).

После чтения файла (в случае необходимости) производится нормировка данных по формуле, соответствующей кажущемуся сопротивлению на постоянном токе.

$$\rho_a = G \cdot \frac{|U|}{C}, \quad (9)$$



где G - геометрический коэффициент установки, U – измеренное значение, C – значение силы тока.

II часть файла данных: Данные топографии

Если имеются данные о рельефе, далее следует строка со словом **topo**, а затем список из координат и превышений рельефа. При интерпретации с учетом рельефа, в качестве исходных данных лучше всего использовать значения **res**. Различным методикам задания рельефа соответствуют следующие дополнительные ключи.

topo этот ключ используется, если координаты электродов и топографической съемки приведены в горизонтальных проекциях. [Файл-пример – topo1](#).

topo~ приведение к горизонтальной плоскости. Кривая рельефа аппроксимируется прямой по методу наименьших квадратов, затем поворачивается со всеми точками рельефа до совпадения с горизонтальной осью (рис. 3). Этот способ следует применять, когда работы производятся вдоль склона с известными абсолютными значениями рельефа. [Файл-пример – topo2a/topo2b](#).

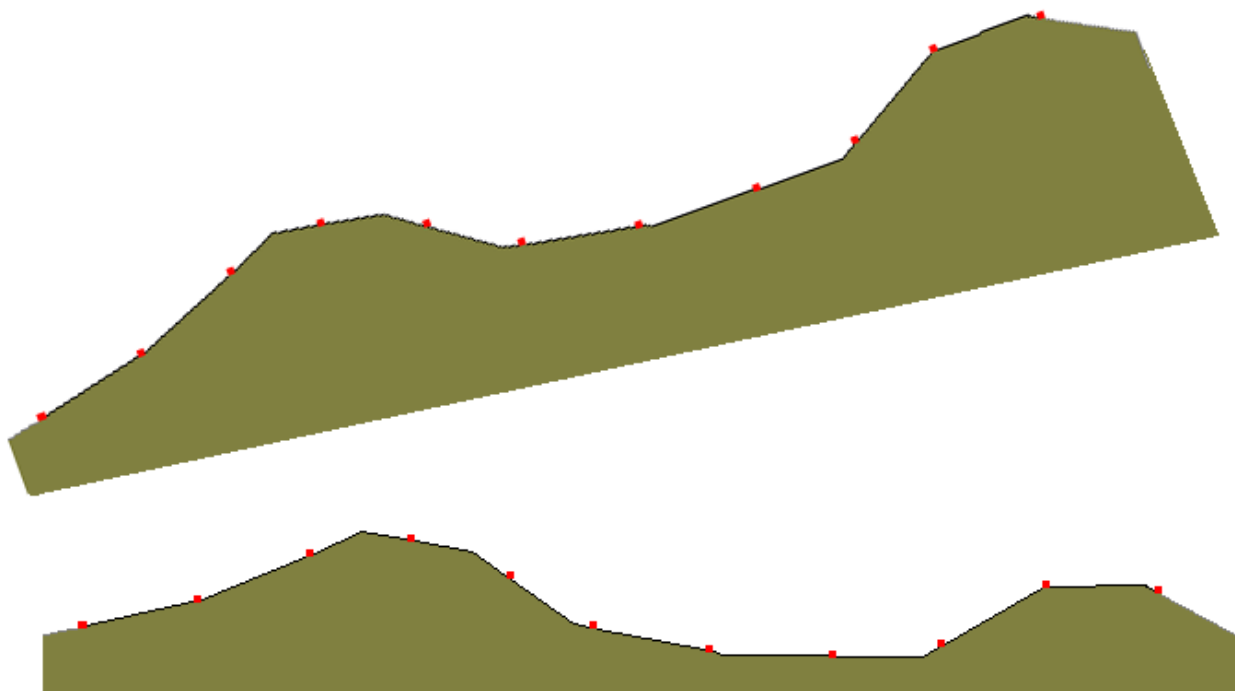
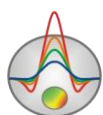


Рис. 3. Приведение рельефа по склону к горизонтально плоскости.

topo# задание координат профиля по длинам (“змейка”). Горизонтальной координатой электродов в данном случае является расстояние вдоль косы (рис. 4), а не X проекция. X - координаты электродов пересчитываются из длин в горизонтальные проекции. В следующей за ключом строке, должна быть записана привязка одного из



электродов **P** на косе к точке на рельефе. Вторая запись - координата электрода (в длинах), первая запись – соответствующая ей X координата в списке топографических превышений. [Файл-пример – topo3](#).

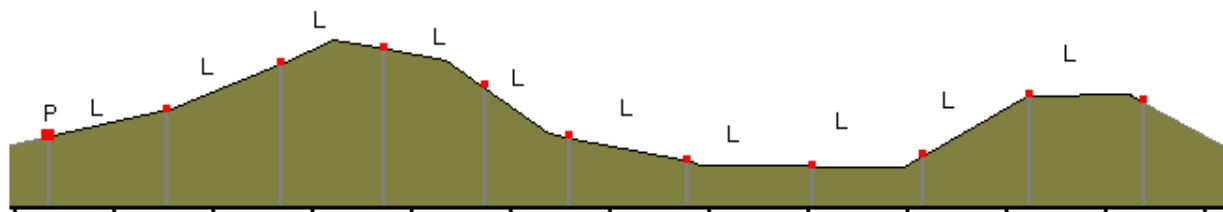


Рис. 4. Положение электродов с расстоянием между ними с учетом изменений рельефа (вдоль косы).

topo% задание данного ключа необходимо, если к качеству исходных данных заданы **ro_a** рассчитанные для проекций, то есть расстояния между электродами пересчитываются из расстояний вдоль косы (L) в реальные координаты.

topo^ данный ключ необходим, если данные топографии и координаты электродов заданы в расстояниях вдоль косы. [Файл-пример – topo4](#).

Ключи можно комбинировать, например, так **topo~#**.

topow – данный ключ используется если, проводится интерпретации данных полученных при работе на акваториях (на поверхности воды и на дне). В этом случае в качестве координат рельефа используется профиль дна или дна переходящего в сушу (если используются смешанные измерения) (рис. 5). При этом, в этой же строчке через пробел необходимо указать уровень воды (относительно заданных ниже профиля координат дна (в системе координат, в которой задан рельеф)), удельное электрическое сопротивление воды и количество дополнительных разбиений водного слоя (3-10). Последние два параметра можно менять, используя меню функций главного окна программы **Options/Advanced/Inverse procedure/Underwater options**. [Файл-пример – water1](#). Можно задавать комбинированные системы, когда измерения производятся на дне и на поверхности водного слоя. [Файл-пример – water3](#). Для этого следует вводить вертикальные координаты электродов относительно уровня профиля дна.

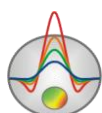
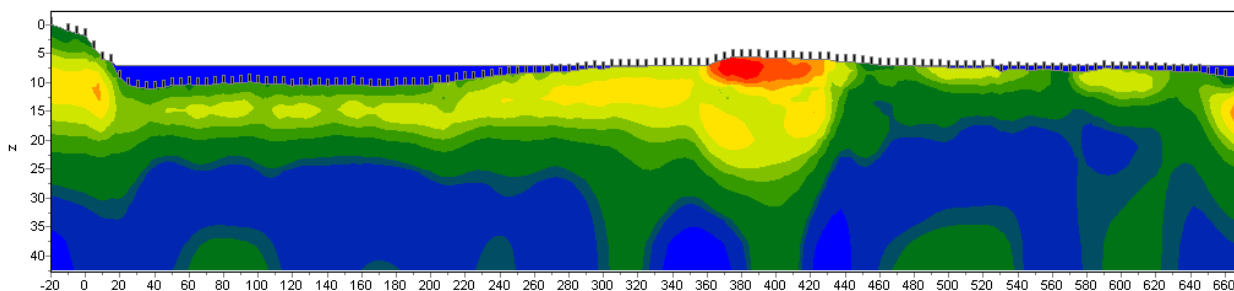


Рис. 5. Геоэлектрический разрез, полученный в результате смешанных измерений на суше и акватории.

topo* – в водном случае данный ключ упрощает ввод данных топографии, если коса находится на поверхности воды (мобильная система). [Файл-пример – water2](#).

Также необходимо ознакомиться с дополнительными опциями, *описанными в разделе «[Особенности работы с данными топографии и данными акваторных измерений](#)»*.

III часть файла данных: Данные модели

Описание модели среды начинается с ключевого слова **model**. В первой строке последовательно записаны следующие параметры: удельное сопротивление среды, минимальное сопротивление цветовой шкалы, максимальное сопротивление цветовой шкалы, коэффициент дисторсии модели с рельефом (**topo coefficient**).

Вторая и третья строка содержат списки горизонтальных и вертикальных координат узлов сети (длина n и m).

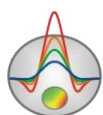
Четвертая строка длиной n указывает, соответствует ли положение одного из электродов данному узлу.

Следующие n-1 строк длиной m-1 содержат матрицу сопротивлений модели.

Следующие n-1 строк длиной m-1 содержат матрицу фиксации ячеек модели.

Далее следует описание модели поляризуемости. В первой строке последовательно записаны следующие параметры: удельная поляризуемость среды, минимальная поляризуемость цветовой шкалы, максимальная поляризуемость цветовой шкалы.

Следующие n-1 строк длиной m-1 содержат матрицу поляризуемости модели.



Подготовка данных для инверсии

Оценка качества полевых данных электротомографии обычно ограничивается анализом стандартных статистик, получаемых в процессе обработки сигналов. Электротомография оперирует значительно большим объемом информации по сравнению с классическими профилированием и зондированием. Поэтому считается допустимым использование данных с некоторым процентом брака при инверсии.

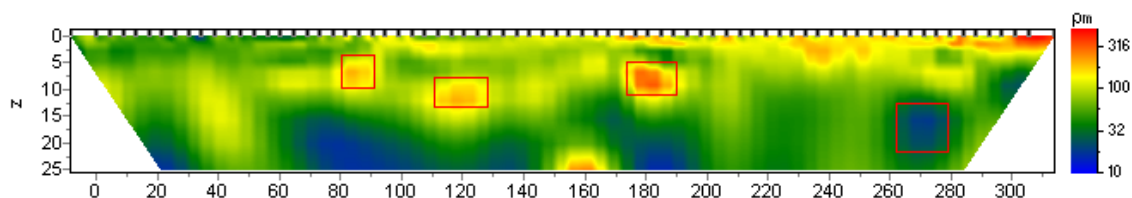
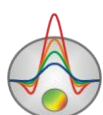


Рис. 6. Разрез удельного электрического сопротивления с ложными аномалиями в результате инверсии некачественных полевых данных.

Наличие некачественных измерений, конечно, может и не отразиться на результатах интерпретации (например, когда шум представлен редкими некоррелируемыми выбросами), но иногда приводит к существенному искажению модели. Нами отмечены неоднократные случаи, когда небольшой процент брака приводил к образованию ложных аномалий в виде систем “скомпенсированных диполей”. Это проявляется в виде чередующихся локальных аномалий относительно низкого и высокого сопротивления. В такой ситуации не помогает использование адаптивных робастных схем - только полное удаление некачественных данных из инверсии.

Программа **ZondProtocol** – представляет готовое решение для электрической томографии, и решает широкий спектр задач от задания протоколов измерений и управления процессом измерений до обработки и анализа данных. Благодаря простоте использования и полной совместимости с программой **ZondRes2d**, **ZondProtocol** позволяет получать качественные результаты прямо на профиле.



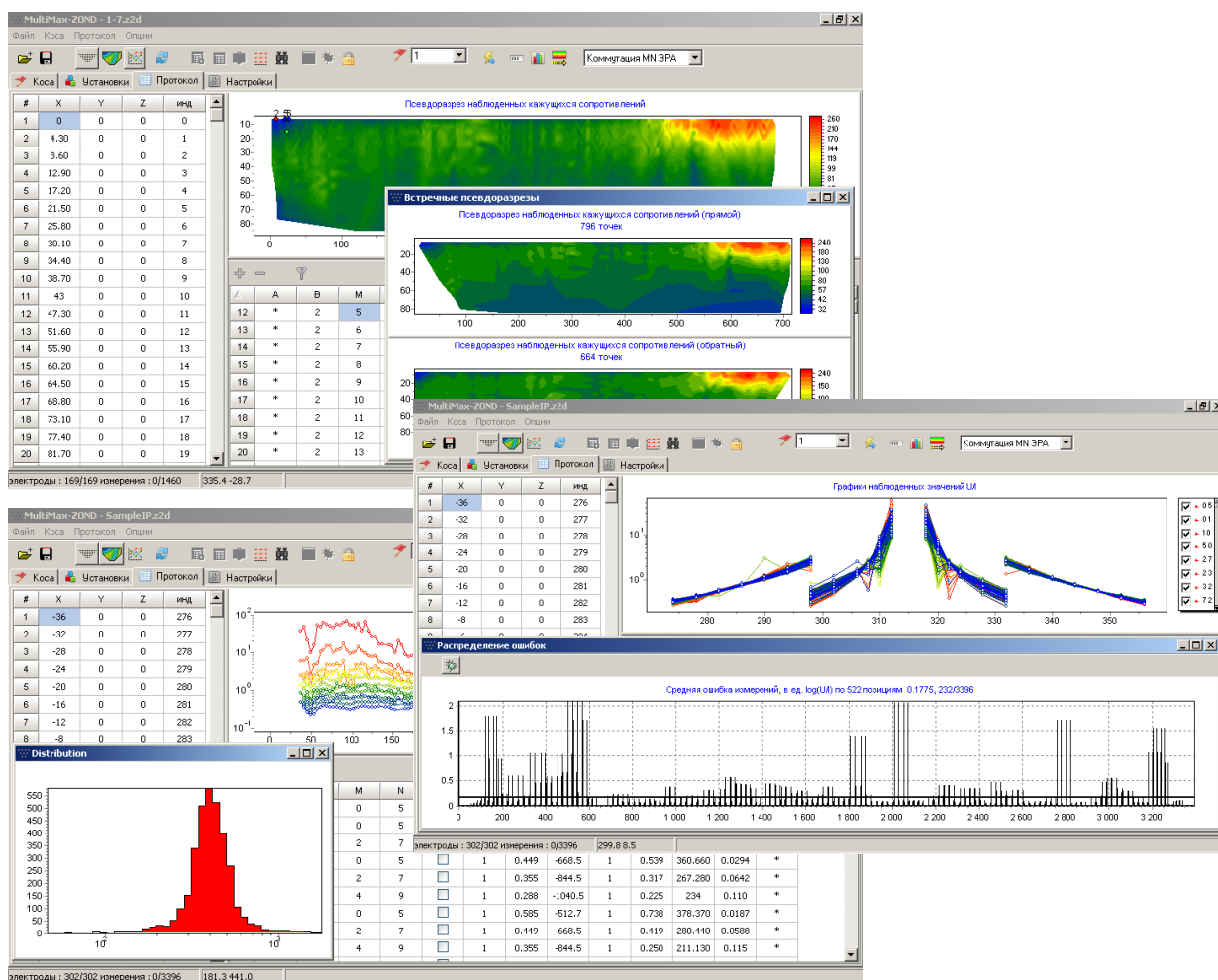


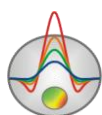
Рис 7. Рабочие окна программы **ZondProtocol**

Программа решает следующие задачи: задание протокола (автоматическое и интерактивное), визуализация и анализ результатов измерений, отдельное отображение установок, пересчет данных в различные установки, импорт и экспорт, подготовка данных к инверсии.

Выборку измерений также можно производить с помощью опций программы **ZondRez2d**. Не включать измерения в обработку возможно, задав им веса, равные нулю (*подробно в разделе «План графиков»*) или отключив их через редактор электродов. В редакторе электродов также можно задавать определенный вес измерению.

Визуализация кажущихся параметров

В программе существует возможность отображать кажущиеся параметры в виде псевдоразреза **Options/Data/Pseudo-section**, и в виде планов графиков **Options/Data/Graphics-plot**. В режиме работы с удельным электрическим



сопротивлением, параметр можно отобразить в нормированных сигналах (**Option/Data/Resistance**) или в кажущихся удельных электрических сопротивлениях (**Option/Data/Apparent resistivity**).

План графиков

План графиков служит для отображения значений кажущихся сопротивления вдоль профиля, в форме графиков.

В главном меню программы можно выбрать способ построения графиков или по определенной псевдоглубине **Options/Data/Graphics-plot/Iso-PsZ** в зависимости от коэффициента установки или по определенному положению питающей линии **Options/Data/Graphics-plot/Iso-Pole** (рис. 8).

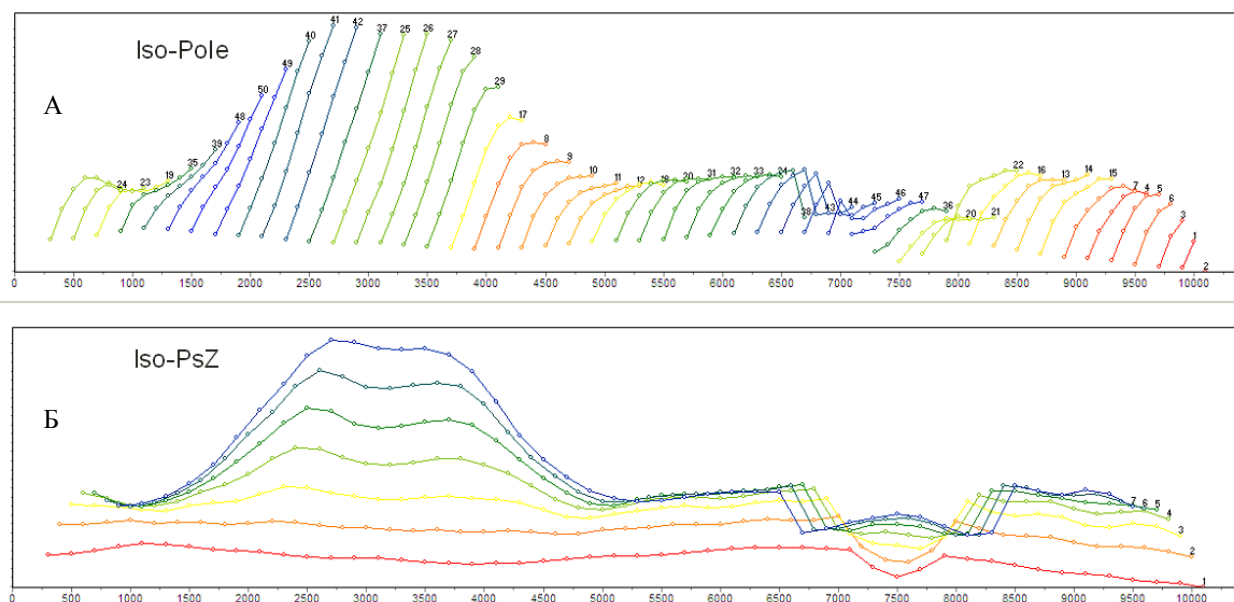
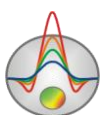


Рис.8. А. План графиков, построенный по определенным положениям питающей линии (**Iso-Pole**),

Б. План графиков, построенный по определенной псевдоглубине (**Iso-PsZ**).

Работа с планом графиков производится с помощью мыши:

Увеличение отдельного участка или его перемещение осуществляется в режиме с нажатой кнопкой (инструмент – “резиновый прямоугольник”). Для выделения участка, который необходимо увеличить, курсор мыши перемещается вниз и вправо, с нажатой левой кнопкой (Рис.9А). Для возврата к первоначальному масштабу, производятся те же действия, но мышь движется вверх и влево (Рис.9В).



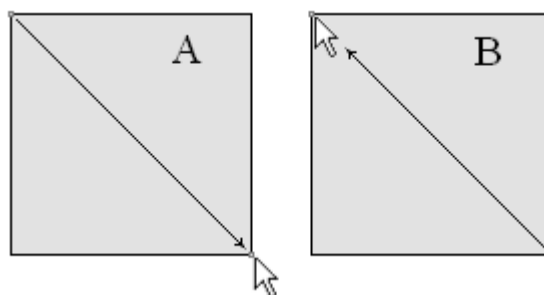
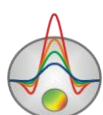


Рис. 9. Направление движения мыши при изменении масштаба.

При нажатии левой кнопки мыши на точке графика производятся следующие действия: убираются остальные графики и отображаются положения электродов для активной точки (до отпускания кнопки мыши). Редактирование измеренных значений производится путем перетаскивания точки графика с нажатой правой кнопкой.

Диалог настройки плана графиков вызывается из главного меню **Options/Observed graphics** **Calculated** **graphics** (описан в

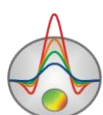


[Приложение 1](#): Редактор набора графиков). Редактор графика вызывается щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на графике (описан в [Приложение 2](#): Редактор графика). Редактор осей вызывается щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на интересующей оси (описан в [Приложение 5](#): Редактор осей). Редактор легенды для графиков можно вызвать щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на легенде справа от графика (описан в [Приложение 3](#): Редактор легенды для графиков).

Выделение одного и соответственно удаление остальных графиков производится кнопкой мыши на легенде с нажатой клавишей SHIFT. При повторном нажатии производится обратная операция.

Для прокрутки графиков используется колесо мыши. Для этого необходимо выделить несколько соседних графиков (на легенде) и крутить колесо мыши, поместив курсор на легенду. Индексы активных графиков будут меняться. При нажатии правой кнопки мыши на точке графика – измерение будет выделено в таблице.

В режиме отображения данных в виде графиков существует возможность исключить некоторые измерения из обработки, задавая им вес **0**. Отдельное измерение можно исключить при нажатии ALT и левой кнопки мыши на точке графика, при нажатии правой кнопки мыши и ALT на графике, все измерения, принадлежащие этому графику, будут иметь вес **0**.



Псевдоразрез

Псевдоразрез в первом приближении отражает распределение параметра вдоль профиля с глубиной.

Построение в форме изолиний производится в осях: координата измерения по профилю, псевдоглубина. Шкала цвета устанавливает соотношение между изображаемым значением и цветом.

Двойное щелчок мыши в области осей объекта вызывает контекстное меню со следующими опциями:

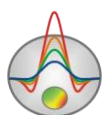
Log data scale	Использовать логарифмический масштаб для цветовой шкалы.
Display grid point	Показывать метки точек измерений.
Display ColorBar	Показывать цветовую шкалу.
Setup	Вызвать диалог настройки параметров псевдоразреза.
Print preview	Распечатать псевдоразрез.
Save picture	Сохранить псевдоразрез в графический файл *. emf.
Save XYZ file	Сохранить псевдоразрез в дат-файл.
Default	Установить параметры псевдоразреза равными значениям по умолчанию.

Диалог настройки параметров псевдоразреза **Setup** описан [Приложение 2](#): Редактор графика. Редактор осей вызывается щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на интересующей оси (описан в [Приложение 5](#): Редактор осей). Редактор точек псевдоразреза можно вызвать щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на точке (описан в [Приложение 7](#): Редактор точек псевдоразреза).

Увеличение отдельного участка или его перемещение осуществляется в режиме с нажатой кнопкой (инструмент – “резиновый прямоугольник”). Для выделения участка, который необходимо увеличить, курсор мыши перемещается вниз и вправо, с нажатой левой кнопкой (Рис. 9А). Для возврата к первоначальному масштабу, производятся те же действия, но мышь движется вверх и влево (Рис.9В).

Способ построения псевдоразреза отличается для различных установок. Положение точек псевдоразреза:

1. для установки Венера по оси X соответствует центру установки, по оси Y – $\frac{1}{4}$ разности от крайнего электрода до центра установки;



2. для Поль-Дипольной установки по оси X – центру между приемными электродами, по оси Y – разному от питающего электрода до центра между приемными электродами;
3. для Диполь-Дипольной установки по оси X – центру установки, по оси Y – $\frac{1}{2}$ расстояния между центрами диполей (приемных и питающих электродов);
4. для установки Градиента по оси X – центру между приемными электродами, по оси Y – $\frac{1}{2}$ разности от ближайшего питающего электрода до центра между приемными электродами;
5. для двухэлектродной установки по оси X – центр установки, по оси Y – центр установки;
6. для установки ВЭЗ по оси X – центр установки, по оси Y – $\frac{1}{4}$ расстояния между крайними электродами.

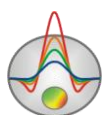
При отображении данных в виде псевдоразреза можно просмотреть данные отдельных установок, используя меню **Options/Data/ Display/**. При больших объемах измерений с помощью опции **Display every N point** можно проредить точки псевдоразреза. По умолчанию эта опция включается при загрузке файла данных, содержащего более 3000 измерений.

В средней графической секции программы в виде псевдоразреза можно отобразить веса измерений с помощью опции **Options/Data/Data Weights** и по окончании процесса инверсии относительную невязку по каждому измерению **Options/Data/Data Misfit**.

Редактор электродов

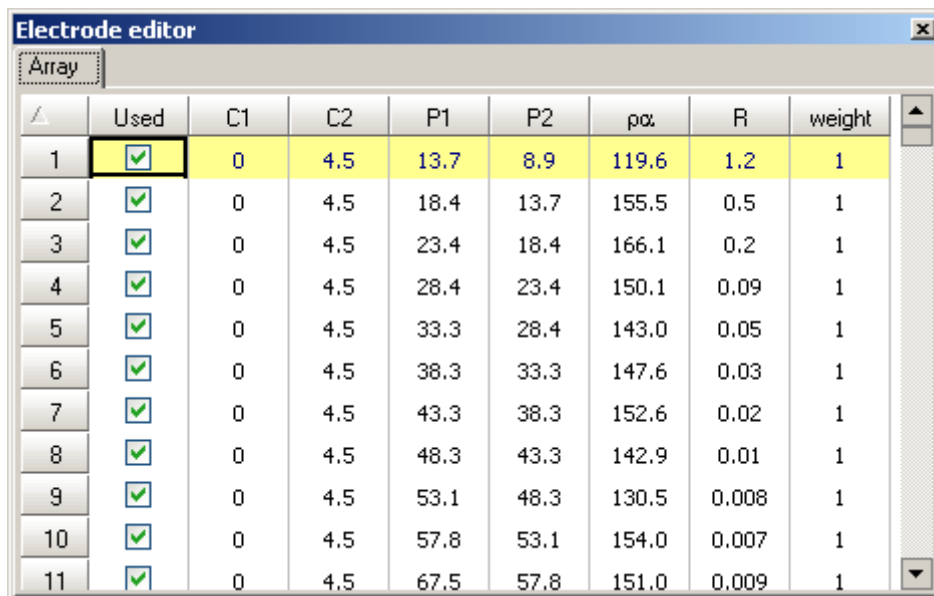
Редактор электродов служит для визуализации системы наблюдений и измеренных значений. Окно содержит таблицу позволяющую настроить параметры каждого измерения (рис. 10). Таблица содержит 9 столбцов:

ID	Индекс измерения
Used	Индикатор, указывающий используется ли измерение при инверсии.
C1	Положение первого питающего электрода на профиле.
C2	Положение второго питающего электрода на профиле.
P1	Положение первого приемного электрода на профиле.



P2	Положение второго приемного электрода на профиле.
$\rho\alpha$	Значение измеренного кажущегося сопротивления.
R	Значение измеренного нормированного сигнала.
Weight	Вес измерения.

В случае отсутствия одного из электродов его координата заменяется символом *.



The screenshot shows a window titled 'Electrode editor' with a tab labeled 'Array'. It contains a table with 11 rows and 9 columns. The columns are: a triangle icon, 'Used', 'C1', 'C2', 'P1', 'P2', ' $\rho\alpha$ ', 'R', and 'weight'. The first row is highlighted in yellow. All 'Used' checkboxes are checked. The 'C1' column contains zeros, and the 'C2' column contains the value 4.5 for all rows.

	Used	C1	C2	P1	P2	$\rho\alpha$	R	weight
1	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	13.7	8.9	119.6	1.2	1
2	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	18.4	13.7	155.5	0.5	1
3	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	23.4	18.4	166.1	0.2	1
4	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	28.4	23.4	150.1	0.09	1
5	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	33.3	28.4	143.0	0.05	1
6	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	38.3	33.3	147.6	0.03	1
7	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	43.3	38.3	152.6	0.02	1
8	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	48.3	43.3	142.9	0.01	1
9	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	53.1	48.3	130.5	0.008	1
10	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	57.8	53.1	154.0	0.007	1
11	<input checked="" type="checkbox"/>	0	4.5	67.5	57.8	151.0	0.009	1

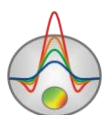
Рис. 10. Диалоговое окно **Electrode editor**

Три последних столбца, в случае необходимости, могут быть отредактированы с помощью клавиатуры. Не следует вводить абсурдные значения для кажущегося сопротивления или нормированного сигнала. Веса измерений задаются в диапазоне от 0 до 1. При нажатии на заголовок столбца, производится сортировка таблицы по значениям данного столбца.

При перемещении курсора по таблице, положения электродов активного измерения отображаются на псевдоразрезе или плане графиков.

Редактор электродов также вызывается опциями **Advanced/Distribution**, в режиме отображения изолиний потенциала или чувствительности. Анализ распределения потенциала или чувствительности в среде позволяет лучше понять принципы работы электротомографии (рис. 11).

А



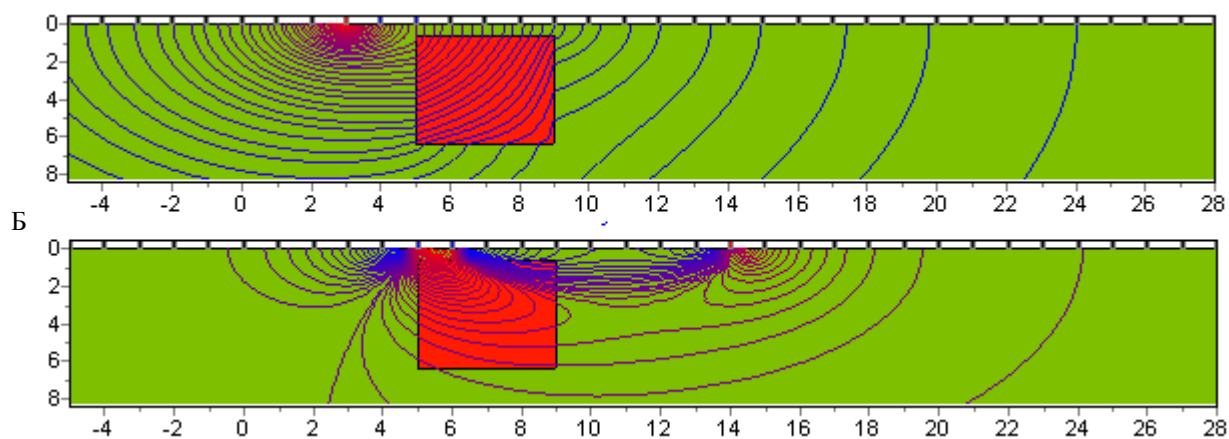



Рис. 11. Изолинии потенциала (А) и изолинии чувствительности (Б)
трехэлектродной установки.

При перемещении курсора по таблице, изолинии потенциала или чувствительности перестраиваются для текущего измерения.

Инверсия данных

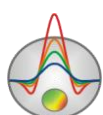
После загрузки фала данных и настройки стартовой модели следующим шагом необходимо выбрать тип инверсии и настроить параметры. Диалог настройки параметров инверсии можно вызвать с помощью кнопки  или пункта меню **Option/Program setup**.

Диалог настройки параметров инверсии

Диалог предназначен для настройки параметров, связанных с решением прямой и обратной задачи.

Default – присваивает параметрам значения “по умолчанию”.

Вкладка **Inversion** предназначена для настройки параметров инверсии (рис.12).



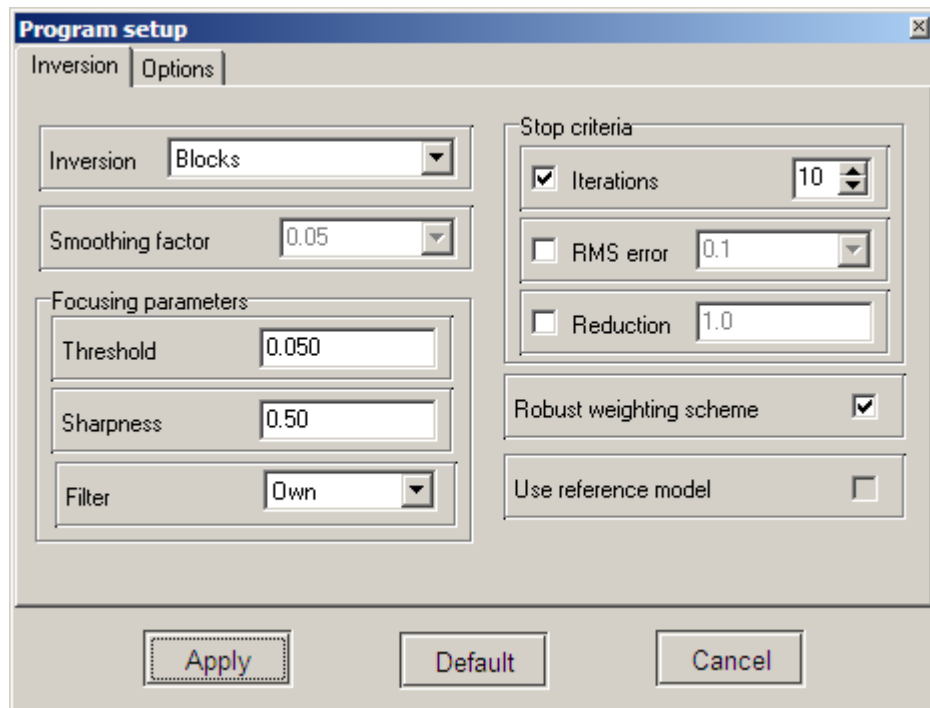


Рис. 12. Диалоговое окно **Program setup**, вкладка **Inversion**

Опция **Inversion** определяет алгоритм, посредством которого будет решаться обратная задача.

Рассмотрим различные алгоритмы инверсии, на примере модели среды состоящей из нескольких блоков (рис.13).

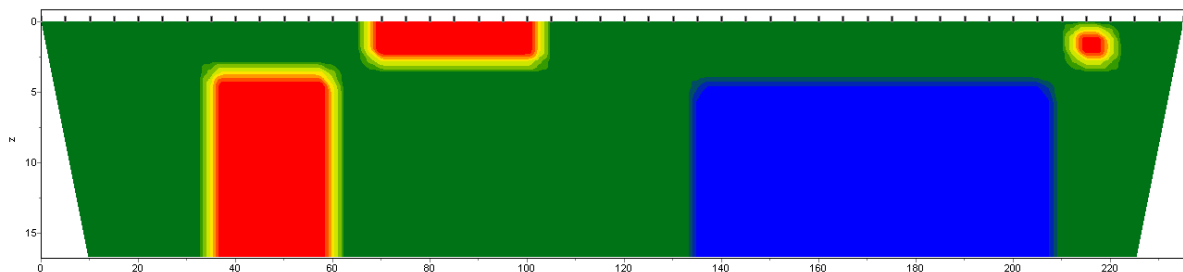
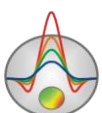


Рис. 13. Тестовая модель среды.

Для тестирования алгоритмов рассчитаем теоретический отклик для данной модели и наложим пятипроцентный гауссовский шум.

Smoothness constrained – инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора. В результате применения этого алгоритма получают гладкое (без резких границ) и устойчивое распределение параметров (рис.13).



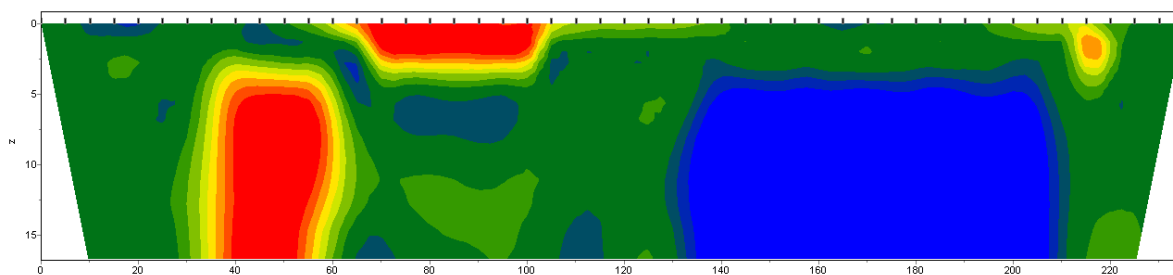


Рис. 14. Восстановленная модель в результате инверсии *Smoothness constrained*.

Матричное уравнение для данного варианта инверсии выглядит следующим образом:

$$A^T W^T W A + \mu C^T C \Delta m = A^T W^T \Delta f \quad (10)$$

Как видно из уравнения при инверсии не минимизирует контрастность модели. Данный алгоритм позволяет достичь минимальных значений невязки. Рекомендуется использовать его на начальных этапах интерпретации, в большинстве случаев.

Occam – инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора и дополнительной минимизацией контрастности [Constable, 1987]. В результате применения этого алгоритма получают наиболее гладкое распределение параметров (рис.15).

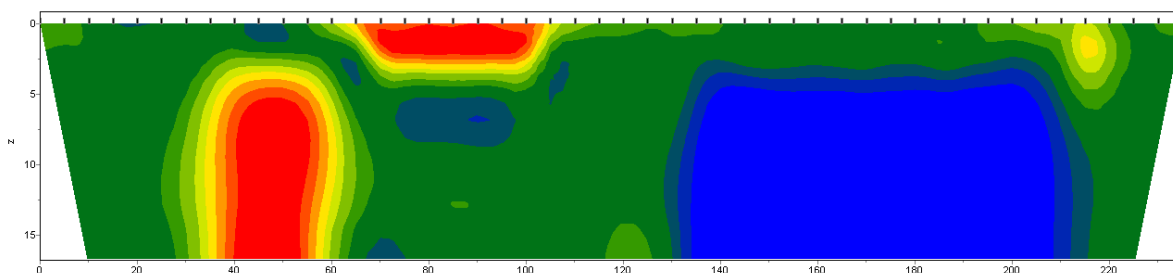


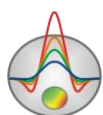
Рис. 15. Восстановленная модель в результате инверсии *Occam*.

Матричное уравнение для данного варианта инверсии выглядит следующим образом:

$$A^T W^T W A + \mu C^T C \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T C m \quad (11)$$

Степень гладкости результирующей модели прямо пропорциональна значению **Smoothness factor**. Следует отметить, что слишком большие значения параметра могут привести к увеличению невязки.

Marquardt – классический алгоритм инверсии по методу наименьших квадратов с регуляризацией дампирующим параметром (**Ridge regression**) [Marquardt, 1963]. При



малом количестве параметров разреза, алгоритм позволяет получать контрастную модель среды (рис.16).

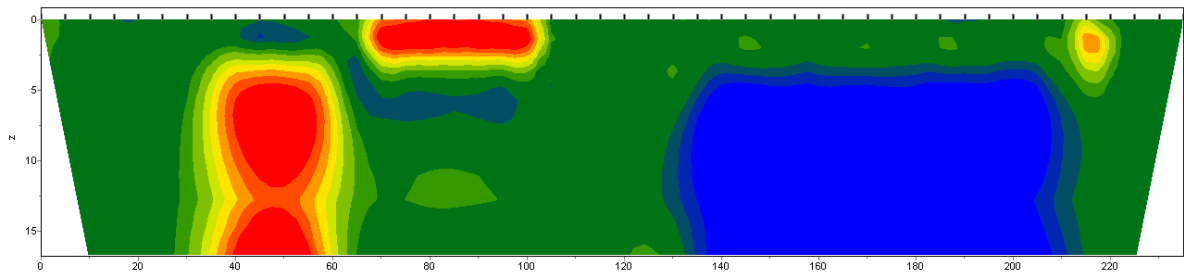


Рис. 16. Восстановленная модель в результате инверсии *Marquardt*.

Матричное уравнение для данного варианта инверсии выглядит следующим образом:

$$\left(A^T W^T W A + \mu I \right) \Delta m = A^T W^T \Delta f \quad (12)$$

Неосторожное использование данной модификации инверсии может привести к получению неустойчивых результатов или увеличению среднеквадратического отклонения, то есть расхождению алгоритма.

Лучше всего применять метод *Marquardt*, как уточняющий (для уменьшения невязки), после проведения инверсии с помощью алгоритмов *Smoothness constrained* или *Occam*.

Focused – инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора и дополнительной фокусировкой контрастности [Portniaguine, 2000]. В результате применения этого алгоритма получают кусочно-гладкое распределение параметров, то есть модель, состоящую из блоков имеющих постоянное сопротивление (рис.17).

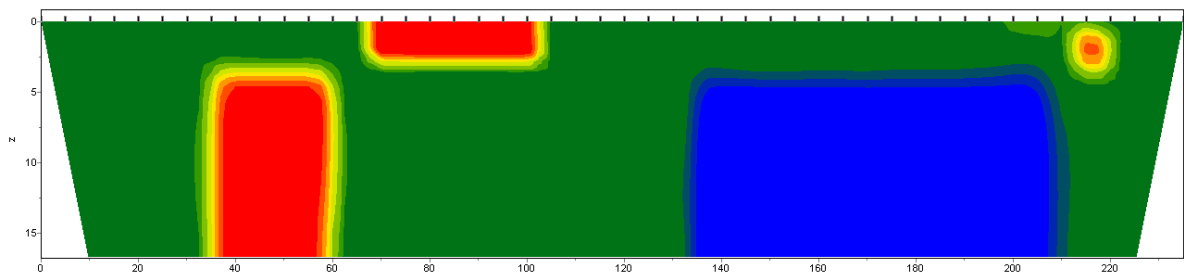
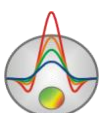


Рис. 17. Восстановленная модель в результате инверсии *Focused*.

Матричное уравнение для данного варианта инверсии выглядит следующим образом:

$$\left(A^T W^T W A + \mu C^T R C \right) \Delta m = A^T W^T \Delta f - \mu C^T R C m \quad (13)$$



Использование данного варианта инверсии требует тщательного выбора параметра пороговой контрастности **Threshold**. Этот параметр определяет пороговое значение контрастности соседних ячеек, по достижению которого параметры этих ячеек не осредняются между собой (то есть считается, что между ячейками проходит граница). Зависимость степени (или веса) осреднения двух соседних ячеек R_i от порога контрастности e и контрастности между этими ячейками r_i выглядит следующим образом:

$$R_i = \frac{e^2}{e^2 + r_i^2}. \quad (14)$$

Blocks – подбор параметров отдельных областей различающихся по сопротивлению. Области с одинаковым сопротивлением рассматриваются как единые блоки (рис.18).

Матричное уравнение данного варианта инверсии выглядит так же, как и для алгоритма **Marquardt**:

$$A^T W^T W A + \mu I \Delta m = A^T W^T \Delta f \quad (15)$$

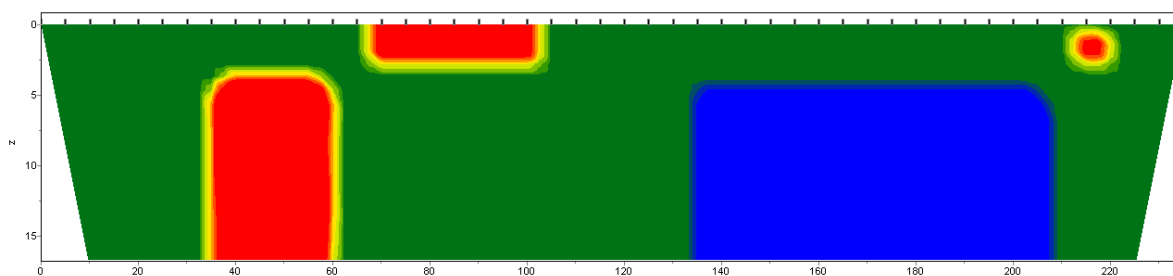
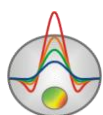


Рис. 18. Восстановленная модель в результате инверсии **Blocks**.

Алгоритм лучше использовать на этапе уточнения результатов предыдущих методов (лучше всего **Focused**), предварительно объединив ячейки в нужные блоки с помощью опции **Cell summarization**. При выборе отдельных блоков вручную следует использовать редактор модели, выделяя отдельные области разными параметрами. Отдельные блоки будут выделены границей во время работы с окном данного диалога.

Smoothing factor – устанавливает соотношение между минимизацией невязки измерений и невязки модели (например гладкости). Для данных с высоким уровнем помех или для того чтобы получить более гладкое и устойчивое распределение параметров, выбираются относительно большие значения сглаживающего параметра: 0.5 - 2; при высоком качестве измерений используются значения: 0.005 - 0.01. При больших значениях сглаживающего параметра чаще всего получают большие значений невязки данных (рис.19). Используется в алгоритмах инверсии **Occam** и **Focused**.



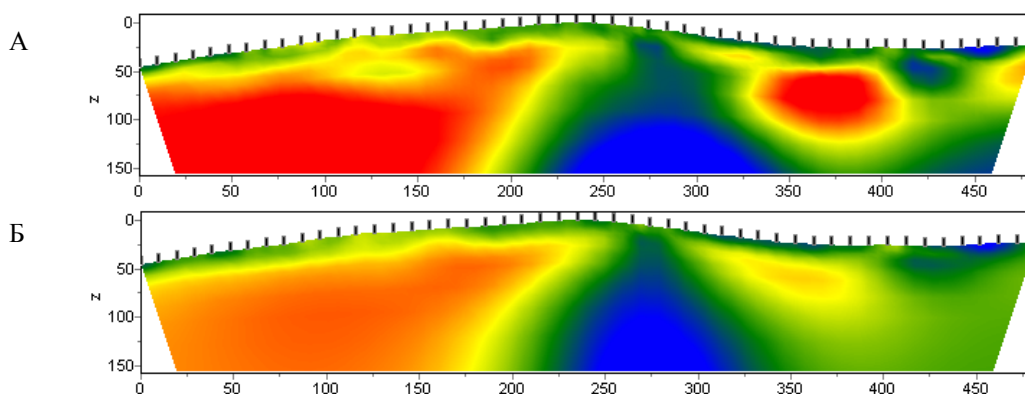


Рис. 19. Геоэлектрические модели в результате инверсии *Occam* с параметром **smoothing factor**: 0.01 (А) и 1.0 (Б).

Результирующая невязка для случая А – 4.5 %, для Б – 6 % .

Robust weighting scheme – эту опцию следует включать если в данных присутствуют отдельные сильные выбросы, связанные с систематическими ошибками измерений. Если количество брака в данных сопоставимо с количеством качественных измерений данный алгоритм может не дать положительных результатов.

Область **Stop criteria** содержит критерии остановки инверсии.

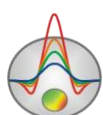
Iterations – если опция включена, то процесс инверсии останавливается по достижении установленного номера итерации.

RMS error – если опция включена, то процесс инверсии останавливается по достижении установленного значения невязки.

Reduction – если опция включена, то процесс инверсии останавливается при повторном увеличении невязки (на установленное значение в %) для двух последовательных итераций.

Область **Focusing parameters**

Threshold – устанавливает пороговое значение контрастности соседних ячеек по достижению которого параметры этих ячеек не усредняются между собой (то есть считается что между ячейками проходит граница). Значения этого параметра выбирается эмпирическим путем (0.001-1) (Рис.20). Выбор очень малого значения параметра может привести к расхождению алгоритма (при этом следует увеличить его значение). Слишком большие значения параметра приводят к получению гладкого распределения.



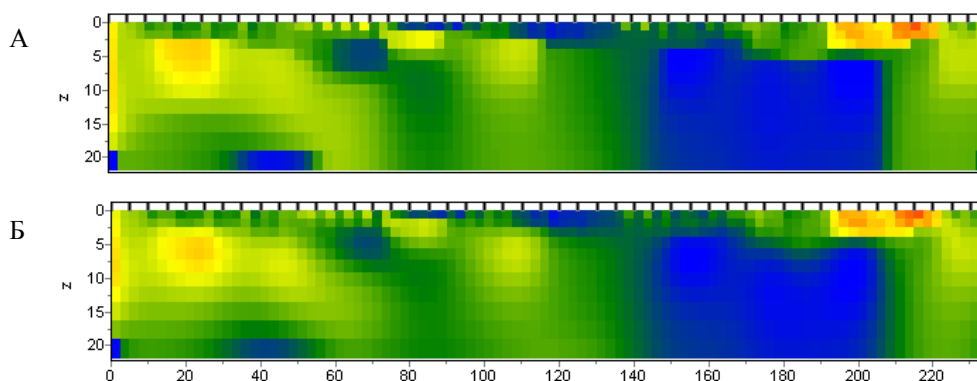


Рис. 20. Геоэлектрические модели в результате инверсии *Focused* с параметром **Threshold**: 0.01 (А) и 0.1 (Б).

Sharpness — определяет соотношение между минимизацией объема аномалеобразующих объектов (0), и получением кусочно-гладкого распределения в среде(1) (рис.21). Значения этого параметра выбирается эмпирическим путем (0.7).

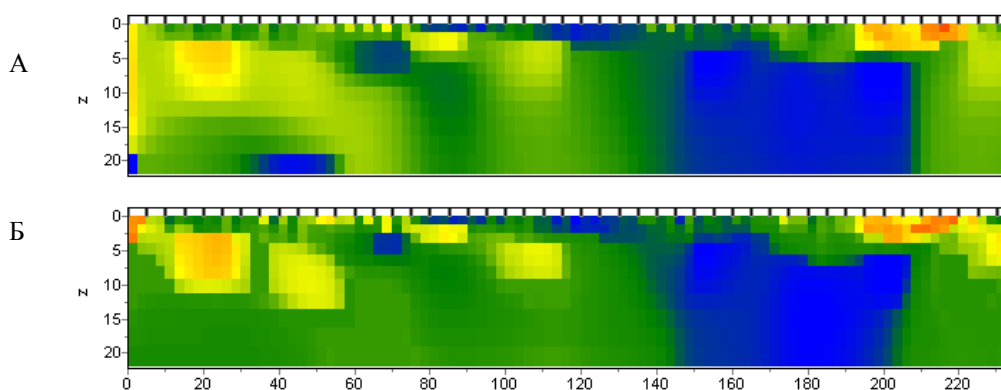
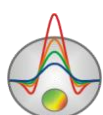


Рис. 21. Геоэлектрические модели в результате инверсии *Focused* с параметром **Sharpness**: 0.8 (А) и 0.2 (Б).

Focused filter — определяет механизм построения фокусирующего фильтра. Если выбрано значение **Own**, фильтр будет строиться по текущим параметрам (в текущем режиме интерпретации). В случае значения **Other**, используется фокусирующий фильтр, построенный по другому параметру среды. Например, получена модель сопротивлений с границами, соответствующими нашим представлениям о параметрах среды. Теперь, чтобы получить модель поляризуемости в тех же границах, необходимо перейти в режим интерпретации данных метода вызванной поляризации и выбрать значение **Other** и выбрать значение **Threshold**, соответствующее предполагаемым особенностям разреза поляризуемости.



Use reference model – использовать стартовую модель, как априорную. При включении данной опции результирующая модель не будет сильно отличаться от стартовой (рис.22). Использовать стартовую модель можно при инверсии алгоритмами *Occam* и *Focused*. Расхождение между стартовой и результирующей моделью можно регулировать, меняя соотношение между минимизацией невязки измерений и невязки модели. То есть чем ниже значение сглаживающего параметра, тем больше могут различаться стартовая и результирующая модель.

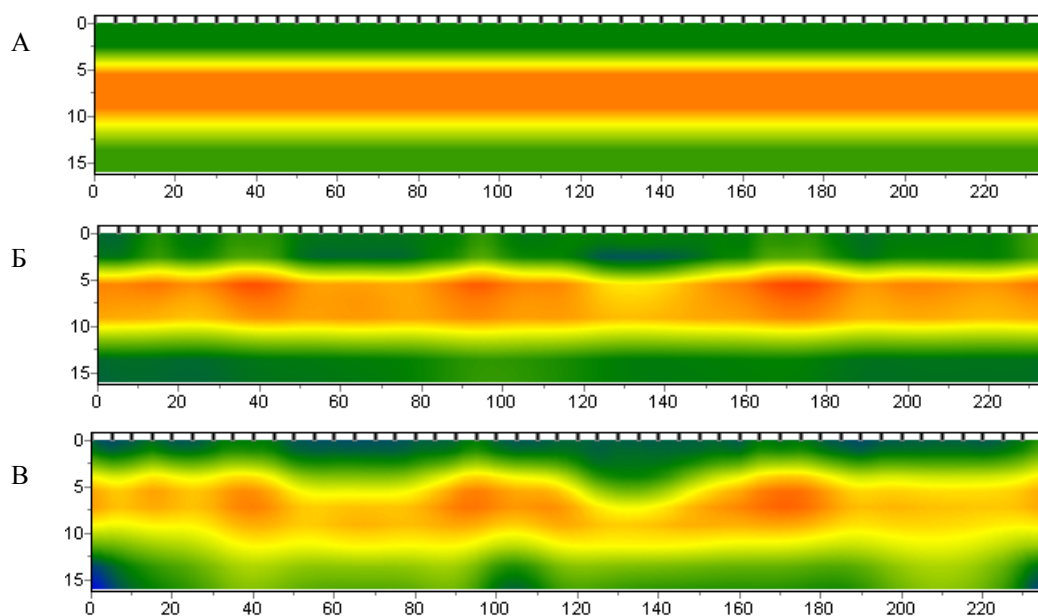
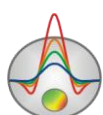


Рис. 22. Стартовая геоэлектрическая модель (А), геоэлектрические модели в результате инверсии *Occam* с использованием стартовой модели (Б), без нее (В).

Вторая вкладка **Options** предназначена для настройки дополнительных параметров инверсии (рис.23).



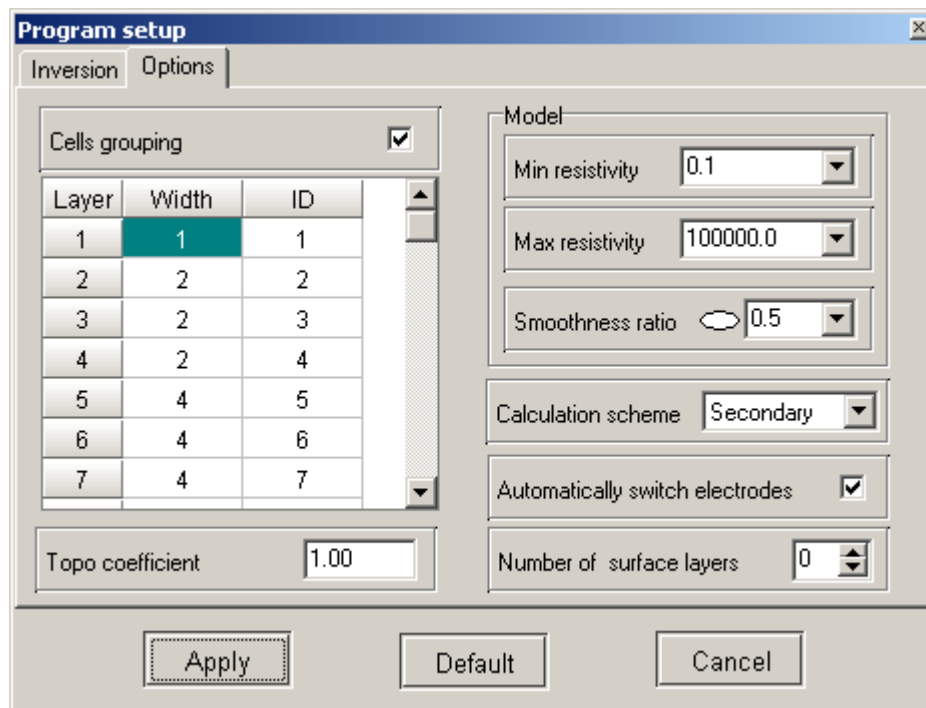


Рис. 23. Диалоговое окно **Program setup**, вкладка **Options**

Область **Model**

Min resistivity, **Max resistivity** – устанавливает пределы изменения параметров модели при инверсии.

Smoothness ratio – определяет соотношение степени сглаживания в горизонтальном и вертикальном направлениях. Для горизонтально-слоистых структур используйте значения этого параметра <1 , для вертикально-слоистых >1 . Обычно, для этого параметра, используются значения от 0.2 до 1 (рис.24).

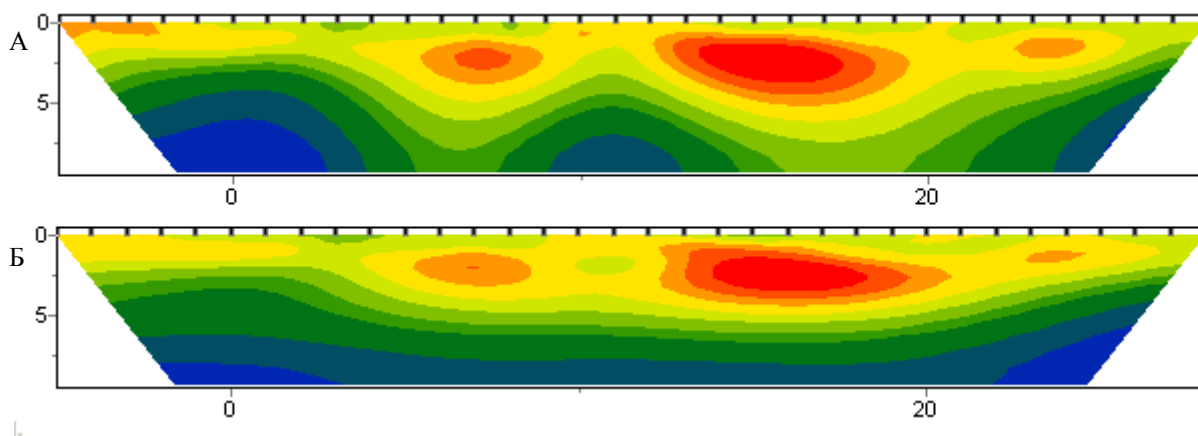
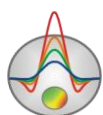


Рис. 24. Геоэлектрические модели в результате «гладкой» инверсии с параметром **Smoothness ratio**: 1 (А) и 0.3 (Б).

Topo coefficient – задать коэффициент искажения формы рельефа с глубиной (0-5). 0 – рельеф каждого последующего слоя повторяет предыдущий. 1 - рельеф



выполаживается с глубиной, последний слой – плоский (рис.25). Искаженная глубина рассчитывается по следующей формуле:

$$z^*(z) = Topo(z) + z \cdot \left(1 + \frac{\max(Topo) - Topo(z)}{\max(z)} \cdot Tcoeff \right), \quad (16)$$

где $Topo$ – превышение рельефа, z - глубина от поверхности.

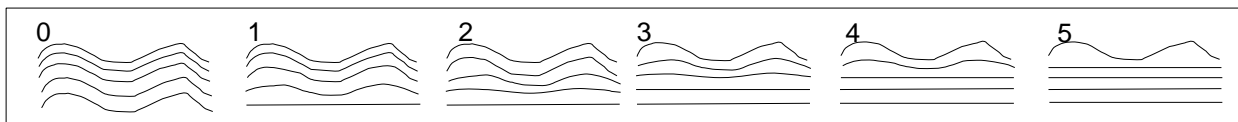


Рис. 25.Искажение слоев модели

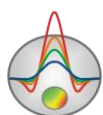
с использованием параметра **Topo coefficient** от 1 до 5.

Number of surface layers (0-2) – задает количество слоев, в которых возможны сильные вариации параметров. Используйте 1-2 слоя в тех случаях, когда верхняя часть разреза очень сильно неоднородна. Данную опцию следует использовать в средах с очень низкой контрастностью, где основной аномальный эффект в данных вызван приповерхностными неоднородностями.

Cell grouping – используйте эту опцию в случае больших моделей. Опция активизирует таблицу, позволяющую объединить смежные ячейки и получить меньшее число определяемых параметров при инверсии. В случае использования данной опции количество ячеек для решения прямой задачи остается прежним, а количество ячеек для инверсии уменьшается. В идеале, количество подбираемых параметров должно быть близко к количеству данных.

Таблица содержит три столбца: в первом (**Layer**) указан номер слоя исходной модели; в третьем (**ID**) устанавливается номер слоя инверсионной сети; во втором (**Width**) необходимо указать количество ячеек (в горизонтальном направлении), содержащихся в каждой ячейки инверсионной сети, для данного слоя. Инверсионная сеть будет изображаться в редакторе модели во время ее настройки. Двойное нажатия левой кнопки мыши на ячейки в столбце **Width** позволяет объединять ячейки в горизонтальном направлении для данного слоя, а нажатие правой кнопкой - для данного и всех нижележащих слоев.

Двойное нажатия левой кнопки мыши на ячейки в столбце **ID** позволяет объединять ячейки в вертикальном направлении, а нажатие правой кнопкой - для данного и всех нижележащих слоев.



Ниже приведены примеры трех инверсионных сетей: в первой, инверсионная сеть соответствует модельной (рис.26А), во второй, начиная со второго слоя, ячейки объединены в группы по две (рис. 26Б), в третьей, начиная со второго слоя, ячейки объединены в группы по четыре ячейки (рис.26В).

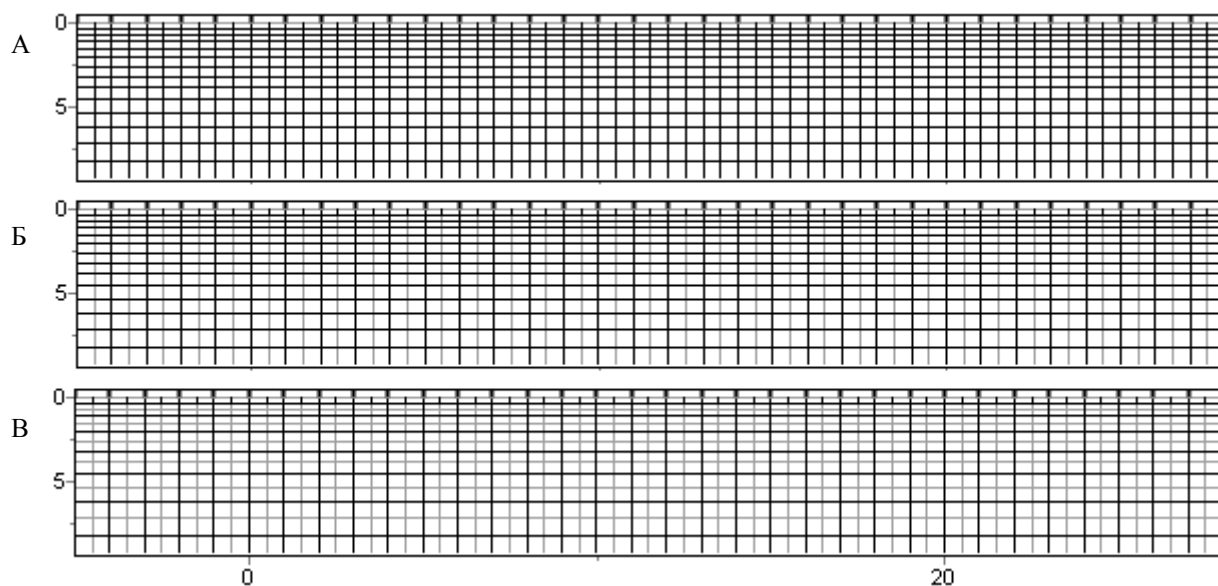
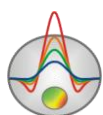


Рис. 26.Примеры инверсионных сетей.

Calculation scheme (Secondary, Total) – определяет алгоритм расчета электрического потенциала. В случае Secondary, производится расчет вторичного потенциала. Этот способ более медленный и не дает возможности учесть рельеф поверхности измерений, но позволяет, при использовании достаточно грубой сети, получать достаточно точные результаты. При расчете полного потенциала (**Total**) необходимо использовать более густую сеть (1 – 2 узла между соседними электродами на профиле) и относить дальше внешнюю границу модели. Это связано с большой погрешностью определения потенциала вблизи питающего электрода.

Automatically switch electrodes – при включении этой опции, программа автоматически меняет местами приемные электроды для получения положительного значения геометрического коэффициента установки.



Диалог Cell summarization

Опция **Cell summarization** позволяет сгладить или загрузить (разбить на блоки) текущую модель. Блочная модель может быть использована при инверсии типа **Blocks**. В этом случае производится подбор параметра для каждого блока. Перед разбиением на блоки лучше всего использовать фокусирующую инверсию.

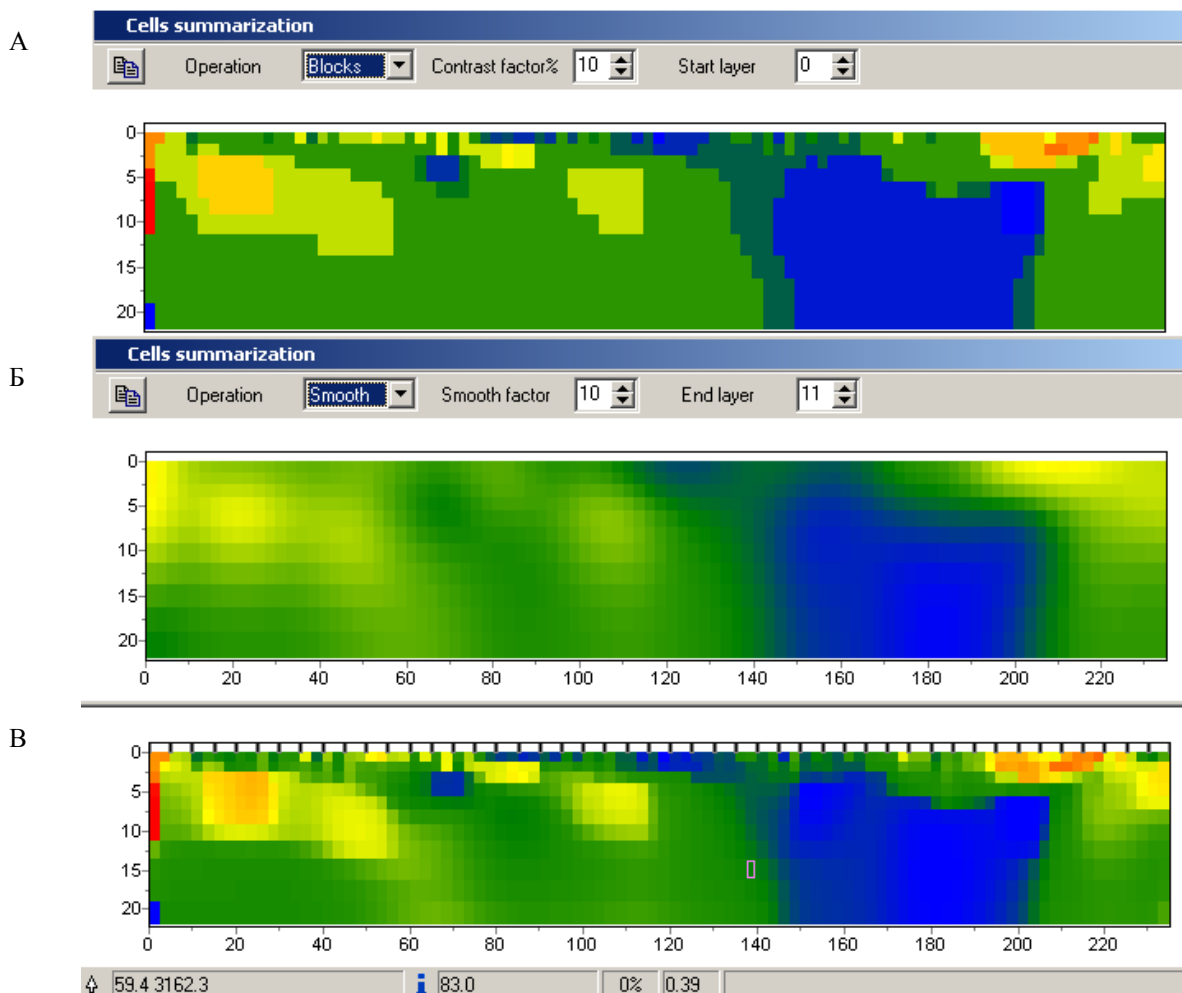
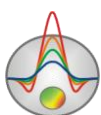



Рис. 27. Пример сглаживания (Б) и разбиения на блоки (А) геоэлектрической модели (В) при использовании диалога **Cell summarization**.

При использовании режима **Blocks**, в зависимости от параметра контрастности (**Contrast factor**), производится объединение ячеек со сходными параметрами в области с постоянным значением. Опция **Start layers** задает номер слоя, начиная с которого производится данная операция.

В режиме **Smooth**, в зависимости от сглаживающего фактора (**Smooth factor**), производится осреднение параметров ячеек модели. Опция **End layers** задает номер слоя, до которого производится данная операция.



Кнопка  копирует полученную модель редактор модели.

Оценка невязки в результате инверсии

Экспресс-оценку результата инверсии можно дать по значению относительной невязки на панели статуса программы. Как правило, при «среднем» качестве данных значение не должно превышать 5%.

Сходимость по каждому измерению между наблюдаемыми и вычисленными значениями можно оценить, отобразив псевдоразрез относительных невязок при помощи опции **Options/Data/Data Misfit** (рис.28А).

Невязку по каждому электроду можно посмотреть, воспользовавшись опцией **Options/Advanced/Electrode RMS** (рис.28Б).

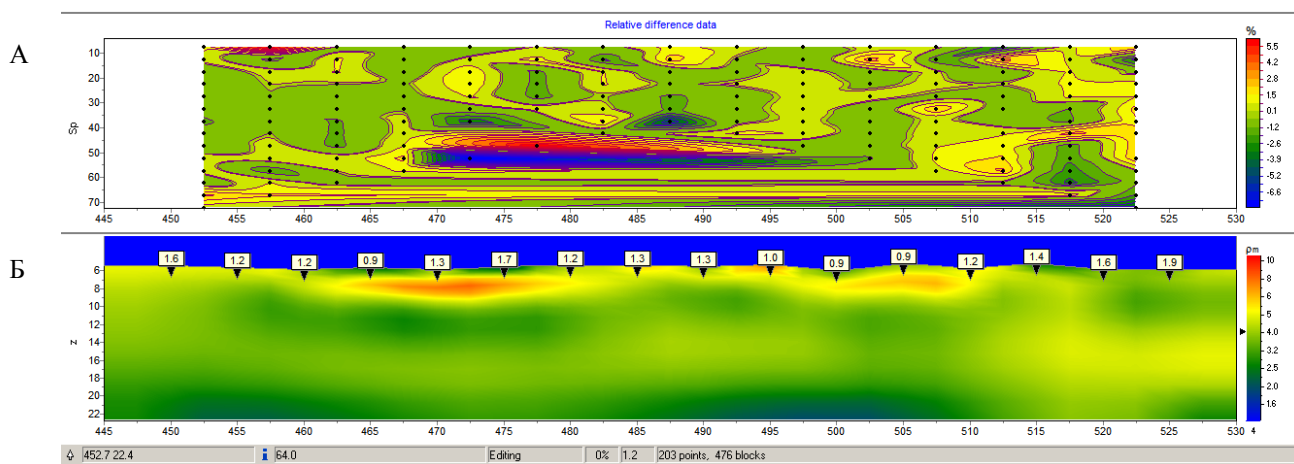


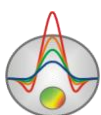
Рис. 28. А. Псевдоразрез относительных невязок,

Б. Модель с отображенными невязками по каждому электроду.

На основании оценки невязки можно проводить повторную выбраковку данных, с целью исключить некачественные, плохо подобранные данные, ведущие к появлению ложных аномалий в результате инверсии.

Режимы и параметры визуализации модели

Модель можно отображать в виде ячеек **Options/Model/Block-section** (рис.29А), в гладкой интерполяционной палитре **Options/Model/Smooth-section** (рис.29Б), а также в виде контурного разреза **Options/Model/Contour-section** (рис.29В).



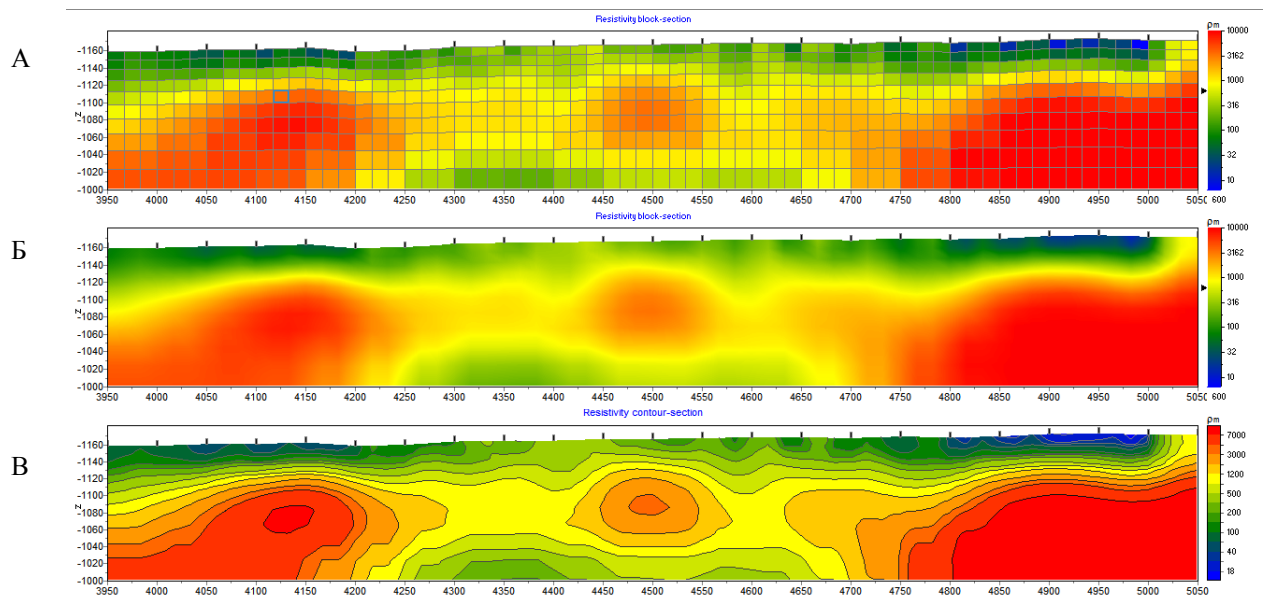
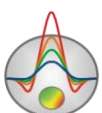


Рис. 29. Варианты отображения модели:

Block-section (A), Smooth-section (Б), Contour-section (B).

При двойном нажатии мыши в разных областях редактора модели появляются контекстные меню со следующими опциями:

Верхняя область	Display model mesh	Указывает, нужно ли изображать сеть.
	Display objects border	Указывает, нужно ли изображать границу объекта.
	Display color bar	Указывает, нужно ли изображать цветовую шкалу.
	Setup	Вызвать диалог настройки параметров модели.
	Zoom&Scroll	Включить режим увеличения и прокрутки.
	Print preview	Распечатать модель.
Цветовая шкала	Set minimum	Установить минимальное значение цветовой шкалы.
	Set maximum	Установить максимальное значение цветовой шкалы.
	Set incremental factor	Определить минимальное и максимальное значения цветовой шкалы относительно



		значения вмещающей среды.
	Automatic	Автоматически определить минимальное и максимальное значения цветовой шкалы.
	Log scale	Установить логарифмический масштаб для цветовой шкалы.
	Set halfspace value	Определить значение параметра вмещающей среды.
	Set cursor value	Установить текущее значение параметра.

Диалог настройки параметров модели **Setup** при работе в режиме **Block-section** и **Smooth-section** описан в [Приложение 6](#): Диалог настройки параметров модели, в режиме **Contour-section** описан [Приложение 4](#): Диалог настройки параметров псевдоразреза.

Диалог **Options/Model/Histogram** позволяет посмотреть график распределения параметров модели (Рис. 30). Изменение положений вертикальных линий, позволяет задать минимум и максимум цветовой шкалы параметра.

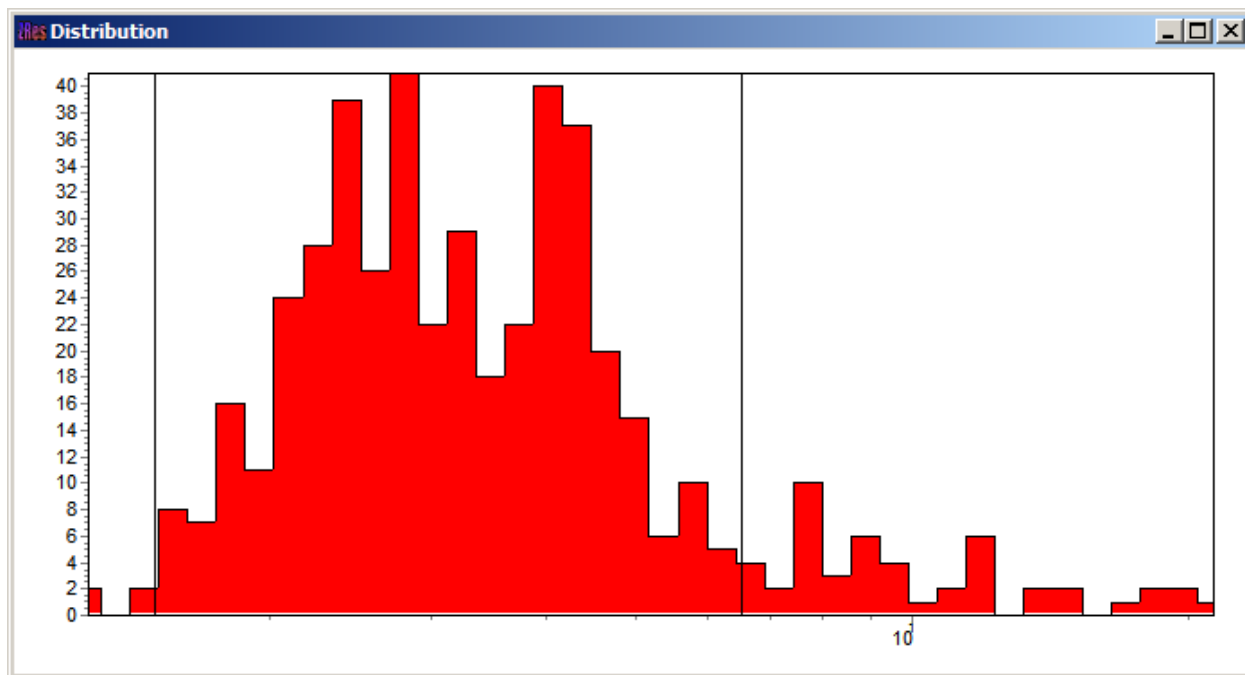
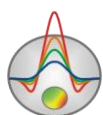


Рис. 30. Диалог **Distribution**

При перемещении курсора мыши по созданным в процессе работы с программой окнам, в левой секции панели статуса главного окна программы отображаются координаты, соответствующие собственным осям данного окна.



От выбранного режима отображения модели зависят дополнительные возможности программы. Математическое моделирование удобнее проводить в режиме **Block-section**. Распределение интегральной чувствительности отображается в режиме контурного разреза (**Contour-section**) - опция **Option/Model/Sensitivity**. Распределение потенциала и функция чувствительности отображается в режиме (**Block-section**) или в интерполяционной палитре (**Smooth-section**) (см. также раздел «[Дополнительные возможности визуализации](#)»).

Краевые части модели обычно характеризуются худшей разрешающей способностью. Очень часто эти области содержат многочисленные ложные аномалии. Опция **Options/Model/Cutting angle** позволяет скрыть края модели, задав значение (в градусах) угла обрезки.

Моделирование

Моделирование – важный процесс, предвещающий полевые работы. Он позволяет выбрать оптимальные параметры системы измерений для решения поставленной геологической задачи. Вооружившись априорной информацией об объекте исследований, интерпретатор может промоделировать различные геологические ситуации, планируя геофизические работы.

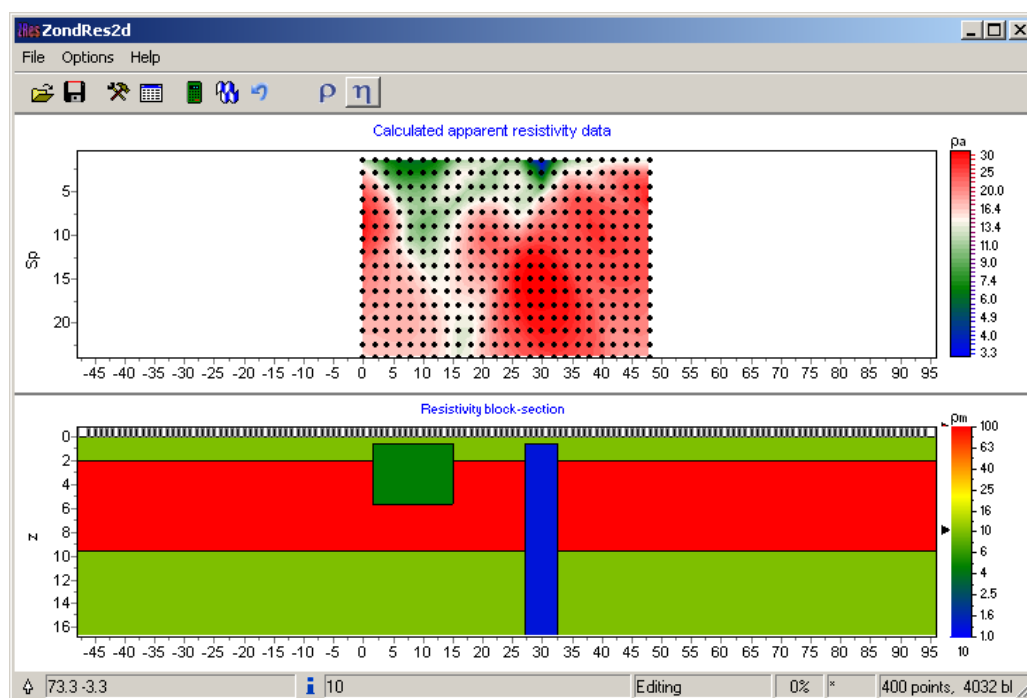
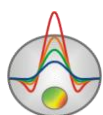


Рис. 31. Рабочее окно программы в режиме моделирования.



На первом этапе необходимо выбрать параметры системы наблюдений, принимая во внимание: характер и глубину залегания изучаемых объектов, условия работы (рельеф, условия заземления), а также возможности аппаратуры. Перейти в диалог, содержащий набор опций по выбору параметров измерительной системы, можно воспользовавшись опцией главного меню программы: **File/Create survey** (рис. 32).

Диалог Default array

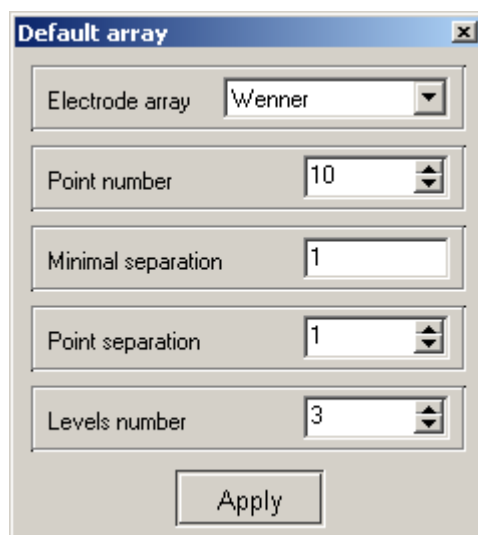
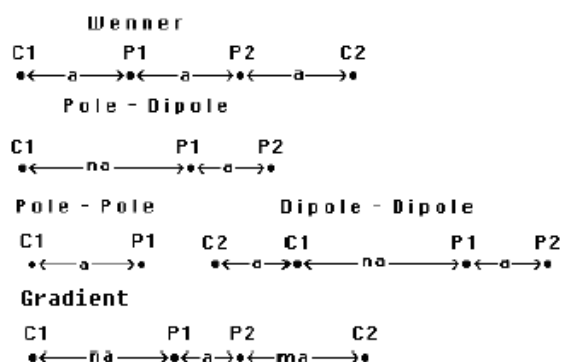
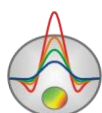


Рис. 32. Диалоговое окно **Default array**.

Electrode array – устанавливает тип используемой установки.



Point number – определяет количество положений питающей линии или питающего электрода на профиле (для всех типов установок кроме Wenner/VES). Для установки Венера эта опция определяет количество точек зондирования на профиле. Здесь под зондированием подразумевается набор измерений установками Венера, центры которых совпадают.



Minimal separation (a) – определяет единичную длину (в метрах), которой будут кратны расстояния между электродами.

Point separation – устанавливает расстояние (в единицах **a**) между положениями питающих линий или питающих электродов на профиле (для всех типов установок кроме Wenner/VES). Для установки Венера опция определяет расстояние между центрами установок соседних точек зондирования.

Длина приемной линии и минимальное расстояние от питающего электрода до приемной линии для всех установок (кроме Венеры) равна **a**. Для установки Венера длина приемной линии изменяется от **a** до величины **Levels number* a**.

Levels number(n) – определяет количество положений приемной линии для данного положения питающей линии или электрода (количество уникальных коэффициентов установки на профиле). Для установки **Gradient** число измерений внутри питающей линии удваивается. Для установки **Wenner/VES** опция устанавливает число расстановок, центры которых совпадают.

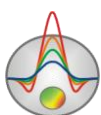
После настройки параметров измерительной установки нажимается кнопка **Apply** и появляется диалог настройки параметров сети **Mesh constructor** (*подробно в разделе «Диалог настройки стартовой модели»*). В полях **Half-space resistivity** (и **Half-space polarizability**) следует установить удельное сопротивление (и поляризуемость) вмещающих пород. После нажатия кнопки **Apply** на панели инструментов главного окна программы, активизируются функциональные кнопки для работы с данными, и в правой секции панели статуса появляется краткая информация о данных и модели.

Редактор модели

Создание геоэлектрической среды производится в редакторе модели – нижняя графическая секция окна программы при режиме **block-section**.

Редактор модели служит для изменения параметров отдельных ячеек модели с помощью мыши. Справа от области редактирования модели находится цветовая шкала, связывающая значение цвета со значением сопротивления. Для выбора текущего значения следует щелкнуть по шкале правой кнопкой мыши, при этом его значение изображается ниже цветовой шкалы.

Работа с ячейками модели сходна с редактированием растрового изображения в графических редакторах. При перемещении курсора в области модели, на нижней панели



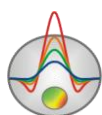
статуса главного окна программы отображаются координаты и параметры активной ячейки, в которой находится курсор. Активная в данный момент ячейка окружена прямоугольником – курсором. Выделенная или зафиксированная ячейка отмечается крапом из белых или черных точек.

При двойном нажатии на вертикальной и горизонтальных осях и при нажатии правой кнопки мыши в области редактора модели появляются опции, позволяющие редактировать сеть, созданную при работе с диалогом **Mesh constructor**.

Вертикальная ось	Log scale	Установить логарифмический масштаб для вертикальной оси.
	Set maximum	Установить значение глубины нижнего слоя.
	Redivide	Установить одинаковую толщину слоев для всех слоев модели (в данном масштабе).
	Thick mesh	Удалить каждый второй узел вертикальной сетки.
	Thin mesh	Добавить промежуточные узлы в вертикальную сетку.
Горизонтальная ось	Redivide	Установить одинаковую ширину для ячеек, расположенных между уникальными положениями электродов.
	Thick mesh	Удалить каждый второй узел горизонтальной сетки (если в данном узле не расположен электрод).
	Thin mesh	Добавить промежуточные узлы в горизонтальную сетку.

При нажатии правой кнопки мыши в области редактирования модели появляется контекстное меню со следующими опциями:

Display cell setup	Вызвать диалог настройки параметров ячейки.
Cell to cursor value	Использовать параметр активной ячейки в качестве текущего значения.
Edit mode	Включить режим редактирования.



Selection\Free form selection	Выделить набор ячеек в пределах области редактирования с помощью мыши. Область имеет заданные пользователем границы.
Selection\Rectangular selection	Выделить набор ячеек в пределах области редактирования с помощью мыши. Область имеет прямоугольный вид.
Selection\Elliptical selection	Выделить набор ячеек в пределах области редактирования с помощью мыши. Область имеет эллиптический вид.
Selection\Magic wand	Выделить набор ячеек в пределах области редактирования с помощью мыши. Выделяются активная ячейка и ячейки смежные с нею, параметры которых близки к ее параметру. Степень близости задается в диалоге настройки параметров модели.
Selection\Remove selection	Удалить выделение.
Mesh options\add column /row	Добавить новую вертикальную или горизонтальную границу. Новая граница появляется при нажатии мыши в выбранном месте.
Mesh options\remove column /row	Удалить выбранную вертикальную или горизонтальную границу.
Mesh options\resize column /row	Изменить толщину ряда или колонки с помощью мыши.
Clear model	Очистить текущую модель.

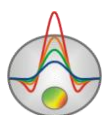
Работа с моделью

Работа производится с помощью мыши:

Нажатие левой кнопки мыши по ячейке меняет ее параметр на текущий.

Увеличение отдельного участка или его перемещение осуществляется в режиме **Zoom&Scroll** с нажатой кнопкой. Для выделения участка, который необходимо увеличить, курсор мыши перемещается вниз и вправо, с нажатой левой кнопкой. Для возвращения к первоначальному масштабу, производятся те же действия, но мышь движется вверх и влево.

Для оперативного создания модели в программе предусмотрено несколько режимов выделения ячеек: прямоугольником, в виде эллипса, свободной формы и по определенному значению параметра. Вызвать соответствующие опции возможно при



нажатии правой кнопки мыши в области редактирования модели (*опции описаны в разделе «[Редактор модели](#)»*).

Нажатие левой кнопки мыши при нажатом SHIFT по ячейке увеличивает ее параметр. Нажатие правой кнопки мыши при нажатом SHIFT по ячейке уменьшает ее параметр. Процент на который изменяется значение задается в диалоге настройки параметров модели. Если активная ячейка принадлежит выделению, то все вышеописанные операции применяются ко всему выделению.

Нажатие кнопки мыши при нажатом CTRL позволяет переместить выделенный набор ячеек в пределах области редактирования с помощью мыши. При перемещении выделения с нажатой левой кнопкой мыши содержимое выделенных ячеек копируется в новое место. При перемещении выделения с нажатой правой кнопкой мыши содержимое выделенных ячеек вырезается и копируется в новое место.

Также можно задавать значения параметра выделенным ячейкам используя диалог настройки параметров ячейки **Cell setup** (рис.33).

Диалог настройки параметров ячейки

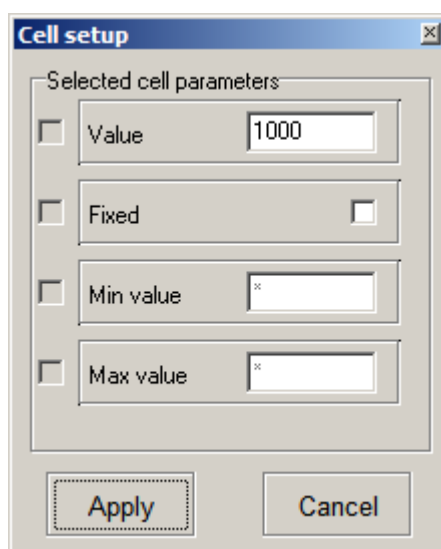


Рис. 33. Диалоговое окно **Cell setup**.

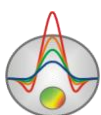
Диалог предназначен для выбора параметров ячейки или выделения.

Value – устанавливает значение параметра ячейки.


Fixed – закрепляет или освобождает параметр ячейки.

Min value, Max value – определяет диапазон изменения параметра ячейки.

Apply to selected – если опция включена, то данные настройки используются всеми ячейками выделения.



Следует отметить, что при переходе от одного режима (сопротивление/поляризуемость) выделенная область сохраняется.


Основной целью математического моделирования являются оценка уровня сигнала и оценка разрешающей способности выбранной системы наблюдения. Для того чтобы рассчитать отклик кажущихся параметров от заданной геоэлектрической модели (решить прямую задачу) необходимо нажать кнопку  на панели инструментов.

Восстановить исходную модель, то есть решить обратную задачу для рассчитанных от заданной модели данных, можно сохранив теоретические сигналы с фильтром - **Zond calculated data**, и затем открыть, как наблюденные. Сравнить восстановленную и исходную модель можно, воспользовавшись опцией **Import model/data** (раздел [«Импорт и экспорт данных»](#)), предварительно сохранив исходную модель, выбрав фильтр файлов - **Zond model with calculated**.

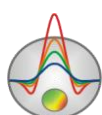
Промоделировать геологическую ситуацию для конкретной системы наблюдений можно, используя опцию **Options/Advanced/Open in modeling mode**.

Сохранение результатов интерпретации

Результат интерпретации профиля данных хранится в файле формата «ZONDRES2D» (расширение *.z2d) (подробно в разделе [«Формат основного файла данных»](#)). В этом файле сохраняются полевые данные, значения относительных весов измерений и текущая модель среды. При последующей загрузке, для создания модели среды, используются данные из файла.

Сохранить результат интерпретации, можно нажав кнопку  панели инструментов или соответствующий ей пункт меню **File/Save file**. В появившемся диалоге, также возможно выбрать формат данных, для сохранения наблюденных (**Observed**) или рассчитанных (**Calculated**) для текущей модели, значений кажущегося сопротивления и поляризуемости, а также изображений (**Model, WorkSheet**) в формате *.BMP в необходимом масштабе. Масштаб изображения можно настроить с помощью диалога **Options/Import/Export/Output settings** (описан в разделе [«Импорт и экспорт данных»](#)).

Zond project data	Сохранить измеренные значения и текущую модель среды.
Zond calculated data	Сохранить рассчитанные значения.



Zond observed data	Сохранить измеренные значения.
ProfileR observed data	Сохранить измеренные значения в формате программы ProfileR.
ProfileR calculated data	Сохранить рассчитанные значения в формате программы ProfileR.
Res2dInv observed data	Сохранить измеренные значения в формате программы Res2dInv.
Res2dInv calculated data	Сохранить рассчитанные значения в формате программы Res2dInv.
Worksheet	Сохранить три графические секции окна в формате BMP.
Model	Сохранить нижнюю графическую секцию окна в формате BMP. Для настройки масштаба изображения следует использовать диалог Output settings .
Program configuration	Сохранить параметры инверсии программы.
Zond model with calculated	Сохранить рассчитанные значения и текущую модель среды.
Grid file	Сохранить дат-файл модели.
Section file	Сохранить текущую модель в формате программы SectionCorrector.

Информация о проекте

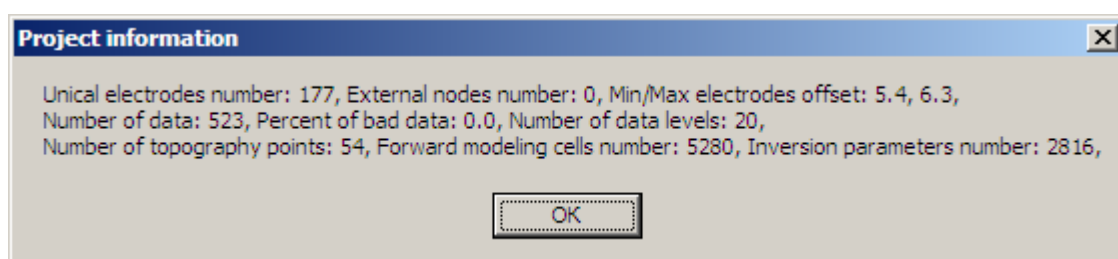
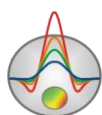


Рис. 34. Диалоговое окно **Project information**.

Посмотреть информацию о текущем проекте, можно нажав опцию главного меню программы **File/Project information**. В открывающемся окне последовательно отображается следующая информация:

- Количество уникальных положений питающей линии или электрода;



- Минимальный/ максимальный разнос;
- Количество измерений;
- Процент не качественных данных (от общего числа):
- Количество уникальных разносов;
- Количество измерений топографии;
- Количество ячеек используемых при решении прямой задачи;
- Количество ячеек используемых при решении обратной задачи;

Импорт и экспорт данных

Наиболее сильными приемами повышения качества интерпретации данных является комплексирование геофизических методов разведки и учёт априорной информации. В программе реализовано несколько способов визуализации априорной информации. С помощью опции **File/Import/Export** можно загрузить разнообразную геологическую и геофизическую информацию: литологические колонки, данные каротажа, профильные измерения в виде графиков, модели из проектов других программ Zond, графическое изображение в виде подложки под разрез (например геологический или сейсмический разрез).

При наличии каротажных измерений или литологических колонок их можно загрузить в окно модели с помощью опции **Import/Export/Carotage data** (рис.35). *Формат файла подробно описан в разделе «[Формат файла данных каротажа и литологии](#)».* *Пример в директории – [sample with_bhdata](#).*

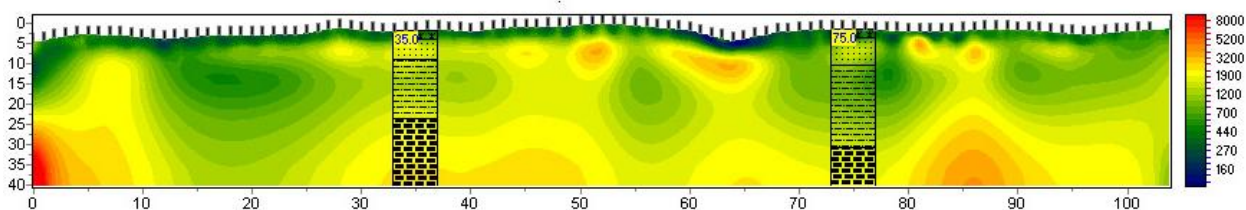
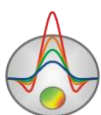


Рис. 35. Модель удельного электрического сопротивления с нанесенными литологическими колонками.

Import/Export/Import/model/data эта опция позволяет загрузить модель среды из проектов программ пакета **ZOND** в отдельные окна (рис. 36). Эта опция может быть



полезна при сопоставлении результатов интерпретации на соседних профилях или при комплексной интерпретации данных различных методов.

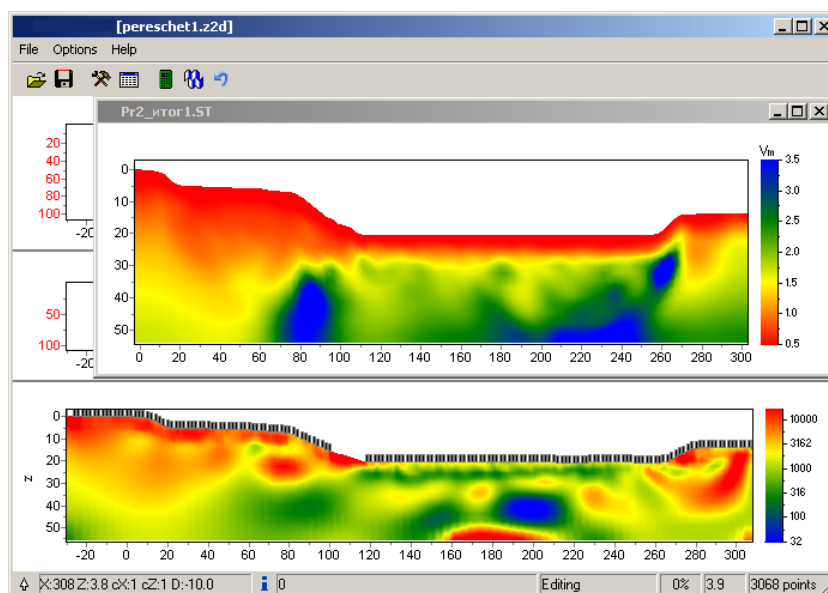


Рис. 36. Рабочее окно программы с импортируемой скоростной моделью.

Во время движения курсора в области редактора модели, он будет отображаться во всех остальных импортируемых разрезах, в соответствии с размером текущей ячейки при отображении модели в виде блоков (рис. 37).

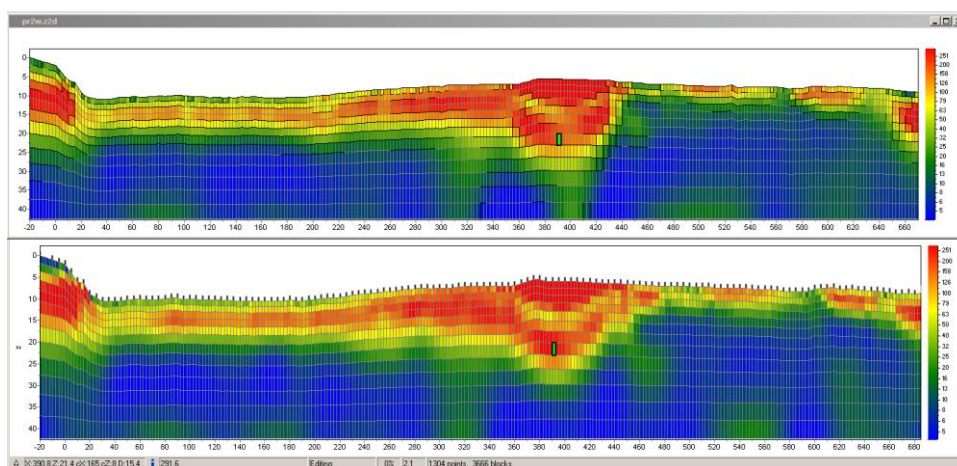
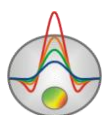


Рис. 37. Отображение моделей удельных электрических сопротивлений, и рабочей, и импортируемой в виде блоков с подсвеченным курсором.

Если в качестве импортируемого файла использовать двух колоночный файл с расширением *.dat, то в окне с расчетными данными (в режиме **graphics-plot**) отобразится график, связанный с правой осью (рис.38). [Пример в директории – sample_with_exported_graphic.](#)



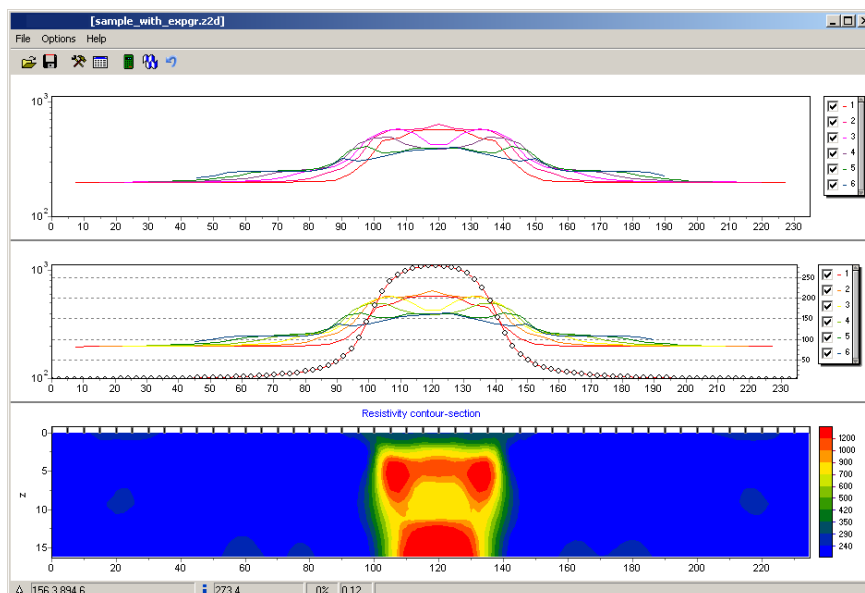


Рис. 38. Рабочее окно программы с импортируемым графиком аномального магнитного поля.

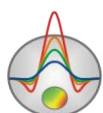
В первой колонке файла *.dat вводятся горизонтальные координаты точки измерения по профилю, во второй измеренные значения.

При нажатии правой кнопки мыши с клавишей SHIFT на оси или графике появляется всплывающее меню позволяющее вызвать диалог настройки параметров данного объекта.

Используя Опцию **Save/Load selection** можно сохранить или загрузить фрагмент модели. Для сохранения фрагмента необходимо, включив режим отображения модели виде блоков (**Blocks-section**), используя опции раздела **Selection** выделить интересующий фрагмент и нажать **Save selection** (опции **Selection** описаны в разделе «[Редактор модели](#)»).

Загрузить фрагмент модели можно следующим образом: Выделить небольшую область текущей модели. Левый верхний край выделения будет считаться тем местом, начиная с которого будет встраиваться фрагмент. Запустить опцию **Load selection** и выбрать имя файла. Если выделение отсутствует, то фрагмент будет вставлен с левого верхнего края модели.

Сохранить или загрузить вертикальный профиль параметра, для заданной горизонтальной координаты можно при помощи опции **Extract 1d log / Load 1d log**. При сохранении вертикального профиля нужно в диалоговом окне задать X координату. При загрузке вертикального профиля требуется указать диапазон по оси X. Этой опцией



можно воспользоваться, например, для внедрения каротажных данных или при исследовании мест пересечения профилей.

При наличии априорной информации существует возможность ее использования (в качестве подложки под редактор модели) с помощью опции **Import/export/ Section file**. Это может быть, например, геологический, электрический или сейсмический разрез, разрез по соседнему профилю. Для этого в диалоге настройки модели выбирается режим **half-space transparency**.

После этого загрузить графическое изображение формата *.sec в масштабе. [Пример в директории –sample_with_sectfile](#).

Файл *.sec имеет следующую структуру:

1-я строка – название файла с изображением;

2-я строка – через пробел указываются последовательно четыре координаты левого верхнего и нижнего правого угла изображения X1 Y1 X2 Y2.

sect.emf

0 0 152.4 53.3

В режиме **Blocks section** будут отображаться те ячейки, значения которых отлично от вмещающей среды. Таким образом, появляется возможность моделировать аномальные объекты поверх подложки (рис.39).

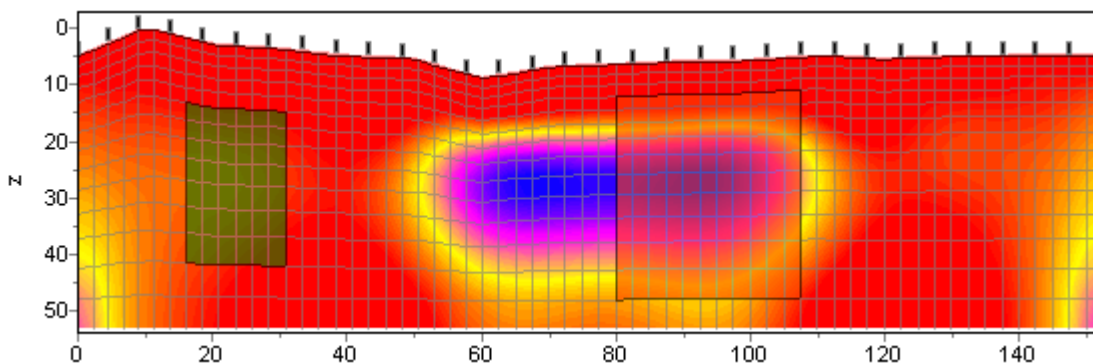
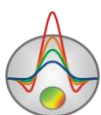


Рис. 39. Модель в режиме **Block-section** с подложкой.

В режиме **Smooth section** цвета подложки и текущей модели будут смешиваться, и можно будет увидеть особенности двух разрезов одновременно (рис.40).



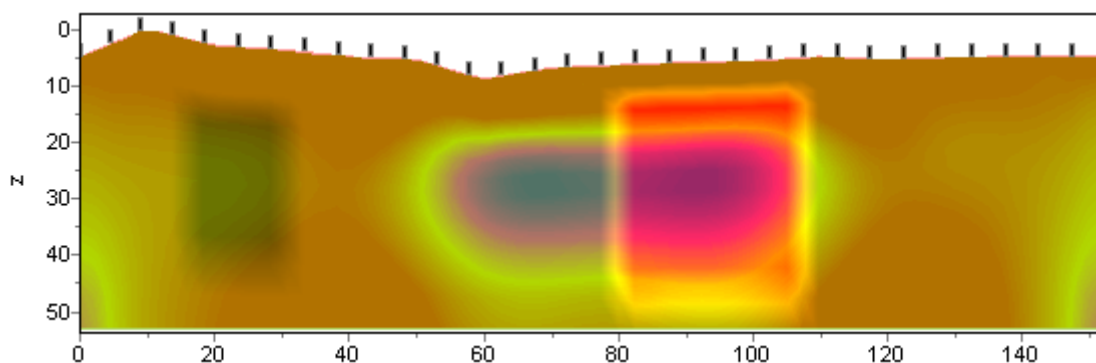


Рис. 40. Модель в режиме **Smooth-section** с подложкой.

В разделе «*Сохранение результатов интерпретации*» описаны различные возможности экспорта как данных, так и результирующей модели. Файл данных можно экспортировать в наиболее популярные форматы программ: RES2DINV (Geotomo Software, M.H. Loke), SENSINV2D (Geotomographie, T. Fleschner), ABEM data и ProfileR (A. Binley). Для дальнейшей геологической интерпретации и составления отчетной графики существует возможность сохранять текущую модель в дат-файл. Для импорта в другие программы Zond следует сохранить модель в формате программы SectionCorrector. Модель можно сохранить как растровое изображение определенного разрешения и размера с использованием диалога **Output settings**.

Диалог настройки экспортируемого изображения

Диалог **Output settings** позволяет настроить вертикальный **Vertical scale** (в метрах на сантиметр), горизонтальный масштаб **Horizontal scale** (в метрах на сантиметр), разрешение экспортируемого изображения Print resolution (в DPI) и размер шрифта **Font size**.

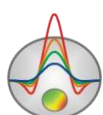
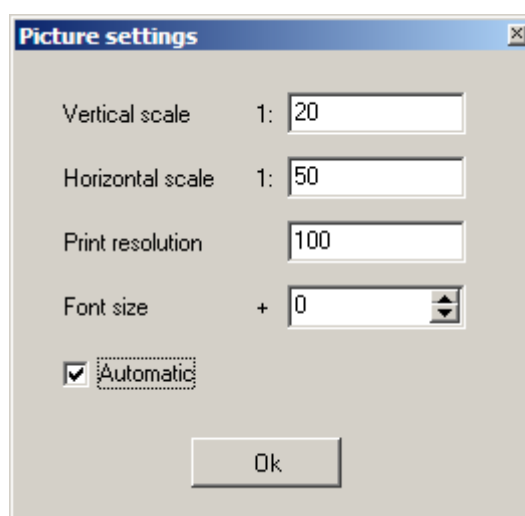



Рис. 41. Диалоговое окно **Picture settings**.

Данные настройки применяются к сохраняемой в форме BMP модели (Model) , если выключена опция **Automatic**. Иначе изображение сохраняется в том же виде как на экране.

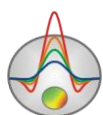
Формат файла данных каротажа и литологии

Каротажные данные и литологические колонки хранятся в файлах определенного формата. Первый тип файлов с расширением txt – это собственно данные, каротажные или литологические. При создании файла каротажных данных используется следующая структура файла:

Первая колонка содержит глубину точки записи (от поверхности земли), вторая колонка содержит каротажные измерения. Третья и четвертая колонки содержат нули.

Ниже приведен пример файла каротажных данных:

0.5	118.3035394	0	0
1	126.9002384	0	0
1.5	123.4170888	0	0
2	116.1519574	0	0
2.5	117.240884	0	0
3	111.9424174	0	0
3.5	142.0405875	0	0
4	125.3686538	0	0
4.5	521.0730567	0	0
5	735.5232592	0	0
5.5	707.7315998	0	0
6	706.3561614	0	0
6.5	725.9945623	0	0
7	722.433627	0	0
7.5	717.0991126	0	0
8	716.9836552	0	0
8.5	725.5024012	0	0
9	722.3551713	0	0
9.5	731.5717173	0	0
10	723.5097884	0	0
10.5	726.8844987	0	0
11	725.962034	0	0
11.5	743.2485878	0	0
12	726.4061156	0	0
12.5	734.399887	0	0
13	727.9166309	0	0
13.5	116.1921851	0	0
14	517.9613065	0	0
14.5	125.3706264	0	0
15	111.2952478	0	0
15.5	131.911879	0	0
16	107.9217309	0	0
16.5	114.9327361	0	0
17	134.0939196	0	0



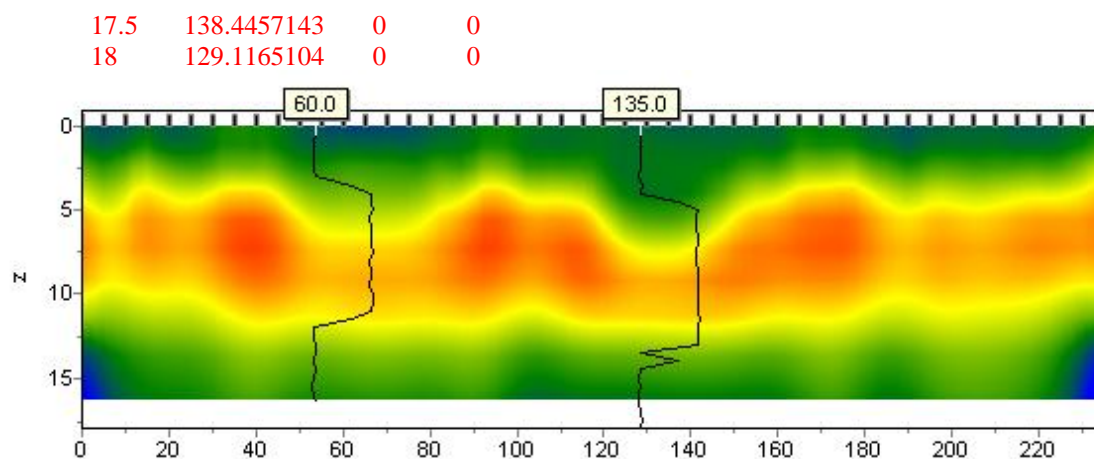


Рис. 42. Модель с нанесенными каротажными диаграммами.

При создании файла с литологической информацией используется следующая структура файла:

Первая колонка содержит глубину (от поверхности земли) литологического горизонта. Вторую колонку следует заполнить нулями. Третий столбец цвет слоя на литологической колонке. Четвертый столбец тип краппа на литологической колонке.

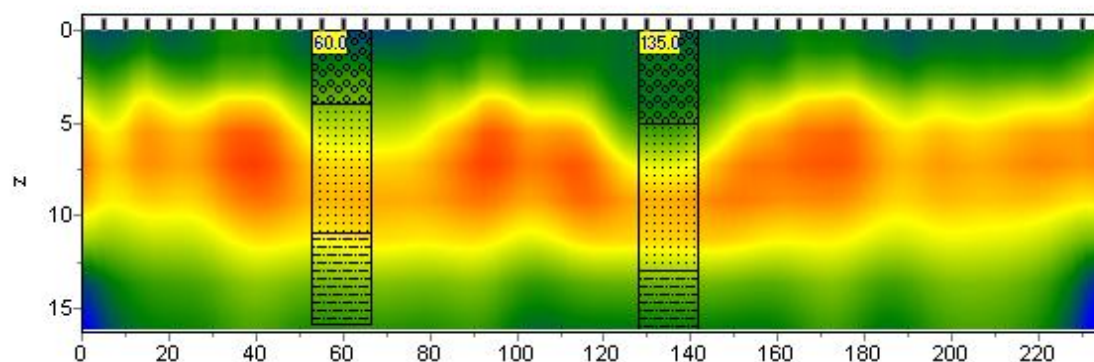


Рис. 43. Модель с нанесенными литологическими колонками.

Ниже приведен список из первых 23 краппов, которые можно использовать, при создании литологической колонки (рис.44).

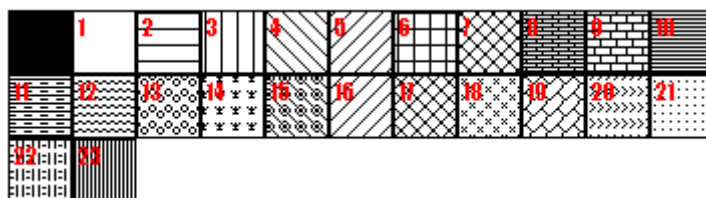
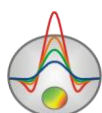


Рис. 44. Варианты штриховки литологической колонки.

Ниже приведен пример файла литологических данных.



0 1 0 13 Кровля 1 слоя
 4 1 0 13 Подошва 1 слоя
 4 1 0 19 Кровля 2 слоя
 11 1 0 19 Подошва 2 слоя
 11 1 0 27 Кровля 3 слоя
 16 1 0 27 Подошва 3 слоя

Второй тип файлов (расширение *.crt) – управляющий файл, указывающий тип данных и способ отображения. Далее следует описание структуры файла CRT для отображения литологических или каротажных для произвольного количества скважин.

2280.txt Первая строка - имя файла с данными каротажа или литологии
 скв2280 Вторая строка - Подпись скважины (будет отображаться на скважине)
 18 2 2 1 0 1 0 0 Третья строка содержит управляющие параметры -
 Запись 18 – координата скважины на профиле.

2 - ширина изображения (в процентах от длины профиля, обычно 1 - 20).

2 - тип отображения данных 0 - 3.

0 - каротажные данные (в виде график); [Файл-пример - carot1.crt](#)

1 - каротажные данные (интерполяционная цветовая колонка) для отображения данных используется цветовая шкала разреза; [Файл-пример - carot2.crt](#)

2 - литологическая колонка; [Файл-пример - strati.crt](#)

3 - каротажные данные (цветная колонка) цвета отображаемых данных соответствуют шкале модели, цвет на колонке выбирается в соответствии со значением цветовой шкалы модели;

1 - Параметр нормировки данных каротажных диаграмм 0 - 2.

0,1 – для всех данных используется общий минимум и максимум;

1,2 - вычесть из каждой каротажной диаграммы ее среднее значение;

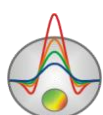
0 - Индекс метода каротажа (если необходимо отображать одновременно несколько типов каротажа, следует ввести индексы для каждого из методов) 0 – n-1, где n – количество методов.

1 - Цвет графика.

0 - Масштаб данных логарифмический 0, линейный 1.

0 – Вертикальное смещение скважины относительно земной поверхности.

3246.txt описание следующей скважины на профиле



Для создания файлов с данными литологии рекомендуется использовать программу **BHEditor**.

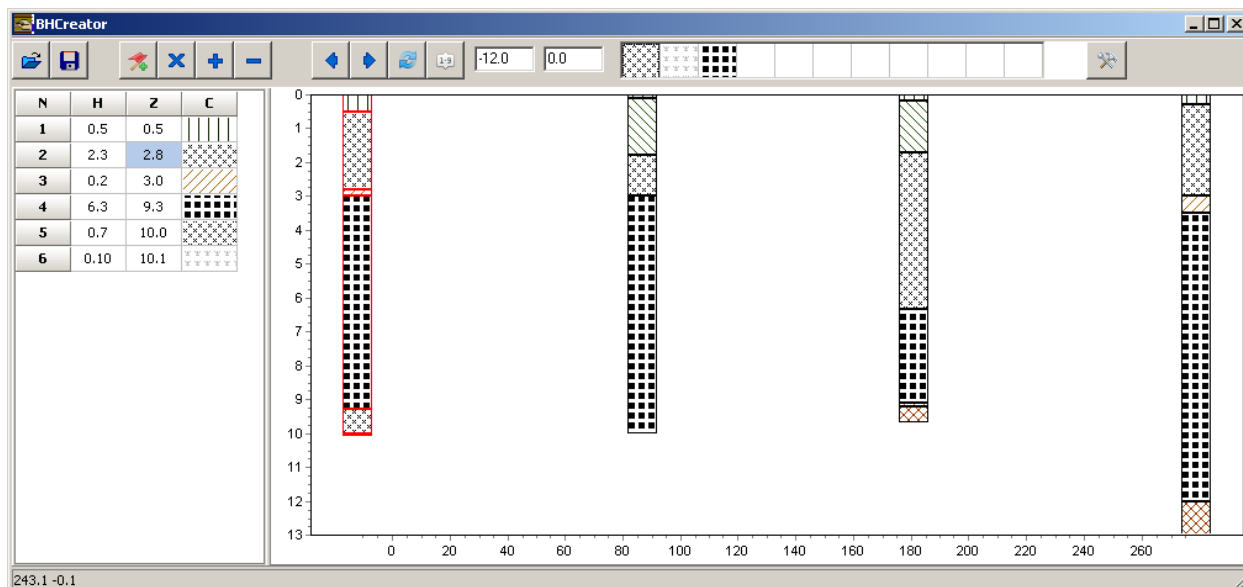



Рис. 45. Рабочее окно программы **BHEditor**.

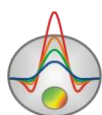
Дополнительные возможности визуализации

Программа оперирует следующими видами изображений:


Два параметра одновременно – сопротивление и поляризуемость. На изображение параметра в виде контуров изолиний (работает в режиме **Contour-section**), накладываются изолинии второго параметра (рис.46А). Вызывается пунктом главного меню программы **Options/Advanced/Display both**. Для настройки параметров изолиний второго параметра используется диалог вызываемый **Options/Advanced/Isoline setup**.

Анализ распределения потенциала или чувствительности в среде позволяет лучше понять принципы работы электротомографии.

Распределение потенциала – отображение изолиний потенциала поверх разреза для какого-нибудь источника (рис.46Б). Положение источника выбирается в таблице редактора электродов. Данный вариант работает в режимах Block или Smooth section. Вызывается пунктом главного меню программы **Options/Advanced/Distribution/Potential**. Для настройки параметров изолиний используется диалог вызываемый кнопкой , в



редакторе электродов. Вызываемый диалог аналогичен диалогу настройки параметров псевдореза ([Приложение 4](#): Диалог настройки параметров псевдореза).

Распределение функции чувствительности – отображение изолиний чувствительности поперек разреза для текущего измерения (рис.46В). Измерение выбирается в таблице редактора электродов. Данный вариант работает в режимах Block или Smooth section. Вызывается пунктом главного меню программы **Options/Advanced/Distribution/Sensitivity isoline**. Для настройки параметров изолиний используется диалог вызываемый кнопкой , в редакторе электродов (**Options/Electrode editor**). Вызываемый диалог аналогичен диалогу настройки параметров псевдореза ([Приложение 4](#): Диалог настройки параметров псевдореза).

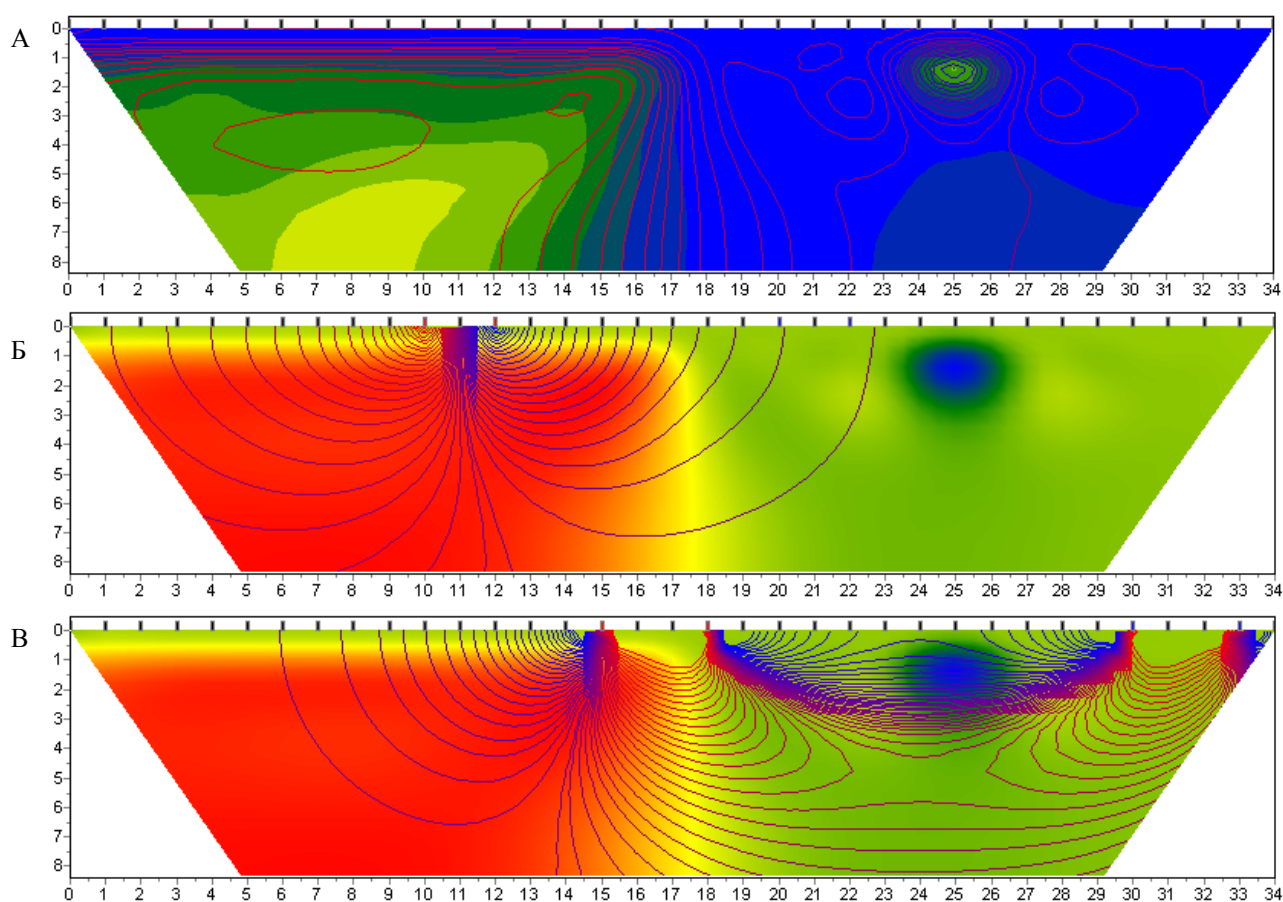
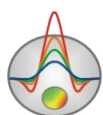


Рис. 46. А.Разрез удельного электрического сопротивления с нанесенными изолиниями поляризуемости. Б. Разрез удельного электрического сопротивления с нанесенными изолиниями функции потенциала. В. Разрез удельного электрического сопротивления с нанесенными изолиниями функции чувствительности.



Особенности работы с данными топографии и данными акваторных измерений

При задании геоэлектрической модели важно максимально точно учесть рельеф поверхности измерений [Dahlin, Loke, Oldenburg]. Для быстрого и корректного ввода данных о рельефе в программе предусмотрены различные ключи (*подробно в разделе «II часть файла данных: Данные топографии»*). При работе с данными, полученными на сильно пересеченной местности, рекомендуется воспользоваться опцией сглаживания топографии (**Options/Advanced/Smooth topo**) (рис.47). Опцию необходимо включить перед открытием файла данных.

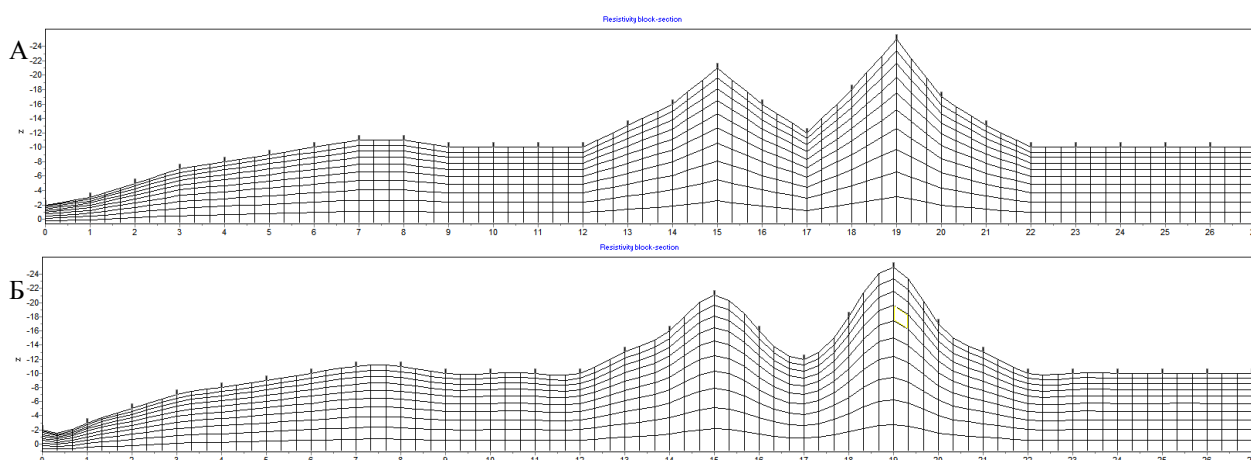


Рис. 47. Сеть модели без сглаживания (А) и с учетом сглаживания (Б).

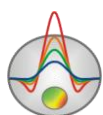
Дополнительные узлы на краях модели следует добавлять в тех случаях когда необходимо учесть формы рельефа за пределами участка (**Options/Advanced/ Extended node**). Опцию необходимо включать перед открытием файла. Можно также ввести дополнительные узлы перед описанием топографии в файле, после ключа ***.

В разделе «[Инверсия данных](#)» подробно описана опция **Topo coefficient**, позволяющая задавать коэффициент искажения рельефа с глубиной.

Опция **Options /Model/Extend bottom** включает или отключает растяжение нижних ячеек модели.

По умолчанию в окне модели, превышения в рельефе отображаются относительно нуля, при включении опции **Options/Advanced/Real topo coordinates**, отображаются превышения, которые указаны, в файле (с обратным знаком).

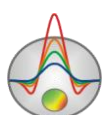
При сохранении **Grid file** с реальными превышениями в экспортируемом файле опция **Real topo coordinates** должна быть включена.



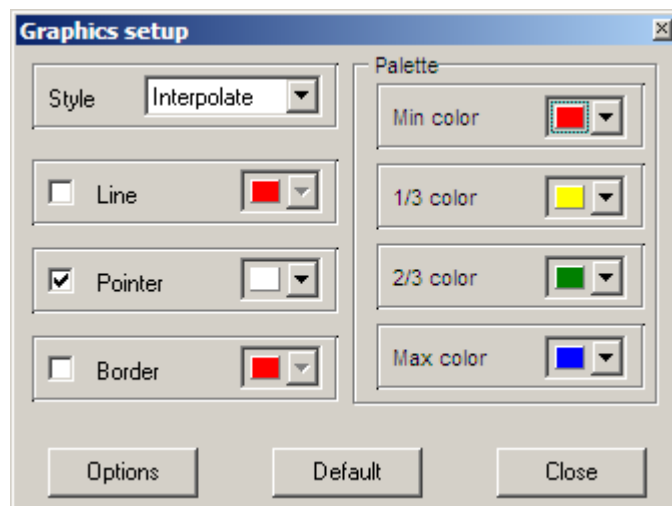
При интерпретации данных акваторных работ желательно иметь данные сопротивления воды, в случае их отсутствия, необходимо включить опцию подбора сопротивления воды (**Options/Advanced/Inverse procedure/Underwater options/ Invert**).

Задать сопротивление воды можно с помощью опции. **Options/Advanced/Inverse procedure/Underwater options/ Resistivity**.

С помощью опции **Options/Advanced/Inverse procedure/Underwater options/ Sublayers number** можно установить количество разбиений водного слоя. Количество разбиений задается исходя из толщины водного слоя.



Приложение 1: Редактор набора графиков



Редактор предназначен для настройки цветовой последовательности набора графиков.

Опция **Style** устанавливает алгоритм задания цветовой палитры для графиков.

При выборе значения **Interpolate** используется интерполяционная палитра, построенная с использованием цветов заданных в опциях: **min color**, **1/3 color**, **2/3 color** и **max color**. Значение **const** устанавливает одинаковое значение цвета (опция **color**) для всех графиков. Значение **random** задает случайные цвета всем графикам

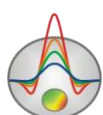
Опция **Line** позволяет задать определенный цвет для соединительных линий графиков. При отключенной опции используется цвет из палитры, иначе используется заданное в **Line** значение цвета.

Опция **Pointer** позволяет задать определенный цвет для заливки указателей графиков. При отключенной опции используется цвет из палитры, иначе используется заданное в **Pointer** значение цвета.

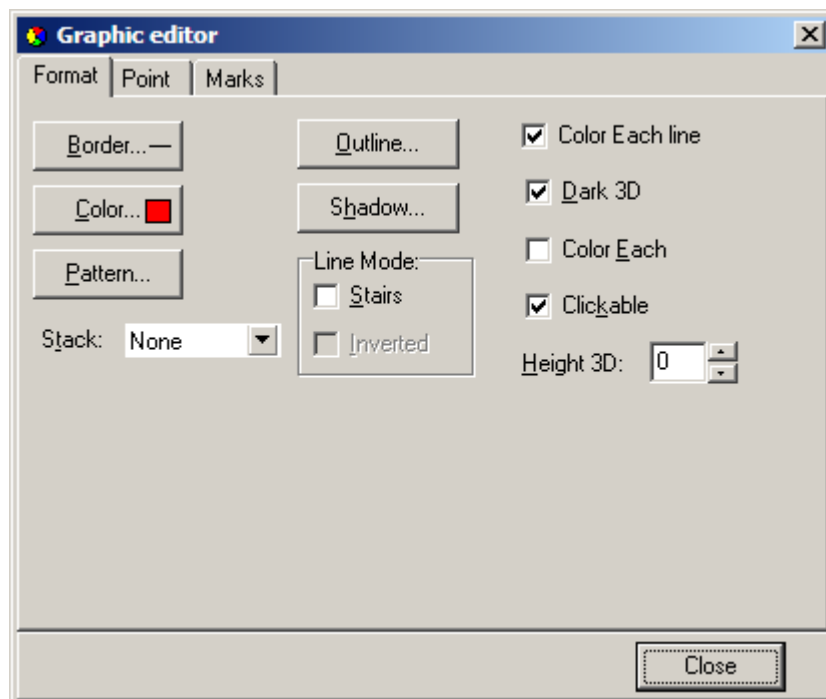
Опция **Border** позволяет задать определенный цвет для обводки указателей графиков. При отключенной опции используется цвет из палитры, иначе используется заданное в **Border** значение цвета.

Кнопка **Options** вызывает диалог настройки графика.

Кнопка **Default** устанавливает настройки графиков равными значениям по умолчанию.



Приложение 2: Редактор графика



Редактор предназначен для настройки внешнего вида графика. Его можно вызвать щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на графике.

Вкладка **Format** содержит настройки соединительных линий графика.

Кнопка **Border** вызывает диалог настройки параметров соединительных линии графика.

Кнопка **Color** вызывает диалог выбора цвета графика.

Кнопка **Pattern** вызывает диалог выбора параметров заливки графика.

Кнопка **Outline** вызывает диалог настройки параметров обводки соединительных линии графика.

Кнопка **Shadow** вызывает диалог настройки внешнего вида тени падающей от графика.

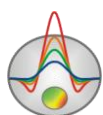
Вкладка **Point** содержит настройки указателей графика.

Опция **Visible** позволяет показать/скрыть указатели графика.

Опция **Style** устанавливает форму указателя.

Опция **Width** задает ширину указателя в единицах экрана.

Опция **Height** задает высоту указателя в единицах экрана.



Опция **Inflate margins** определяет, будет ли увеличиваться размер изображения в соответствии с размером указателей.

Кнопка **Pattern** вызывает диалог выбора параметров заливки указателя.

Кнопка **Border** вызывает диалог настройки параметров обводящей линии указателя.

Кнопка **Gradient** вызывает диалог настройки градиентной заливки указателей.

Вкладка **Marks** содержит настройки подписей к указателям графика.

Вкладка **Style**.

Опция **Visible** позволяет показать/скрыть подписи к указателям графика.

Опция **Draw every** позволяет рисовать каждую вторую, третью и т.д. подпись в зависимости от выбранного значения.

Опция **Angle** определяет угол поворота текста подписей к указателям.

Опция **Clipped** устанавливает, следует ли рисовать подпись к указателю, если она выходит за область графа.

Вкладка **Arrows** служит для настройки внешнего вида стрелки идущей от подписи к указателю.

Кнопка **Border** вызывает диалог настройки параметров линии стрелки.

Кнопка **Pointer** вызывает диалог настройки формы наконечника стрелки (опции вкладки Point).

Опция **Length** задает длину стрелки.

Опция **Distance** задает расстояние между наконечником стрелки и указателем графика.

Опция **Arrow head** определяет внешний вид наконечника стрелки. **None** – используется наконечник заданный кнопкой **Pointer**. **Line** – используется классическая тонкая стрелка. **Solid** – используется классическая толстая стрелка.

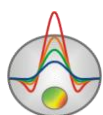
Опция **Size** задает размер наконечника, если используется классическая стрелка.

Вкладка **Format** содержит графические настройки для рамки вокруг подписи к указателю.

Кнопка **Color** вызывает диалог выбора цвета заднего фона рамки.

Кнопка **Frame** вызывает диалог настройки линии рамки.

Кнопка **Pattern** вызывает диалог выбора параметров заливки заднего фона рамки.



Опция **Bevel** задает стиль рамки: обычная, приподнятая или погруженная.

Опция **Size** задает уровень поднятия или погружения рамки.

Опция **Size** позволяет отображать рамку с закругленными углами.

Опции **Transparent** и **Transparency** задают степень прозрачности рамки.

Вкладка **Text**:

Кнопка **Font** вызывает диалог настройки шрифта для подписей указателей.

Кнопка **Outline** вызывает диалог настройки линий обводки букв подписей указателей.

Опция **Inter-char** spacing устанавливает межбуквенное расстояние для текста подписей указателей.

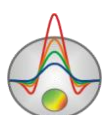
Кнопка **Gradient** вызывает диалог настройки градиентной заливки для текста подписей указателей.

Опция **Outline gradient** указывает, где будет использоваться градиентная заливка текста: на линиях обводки или внутренней области букв.

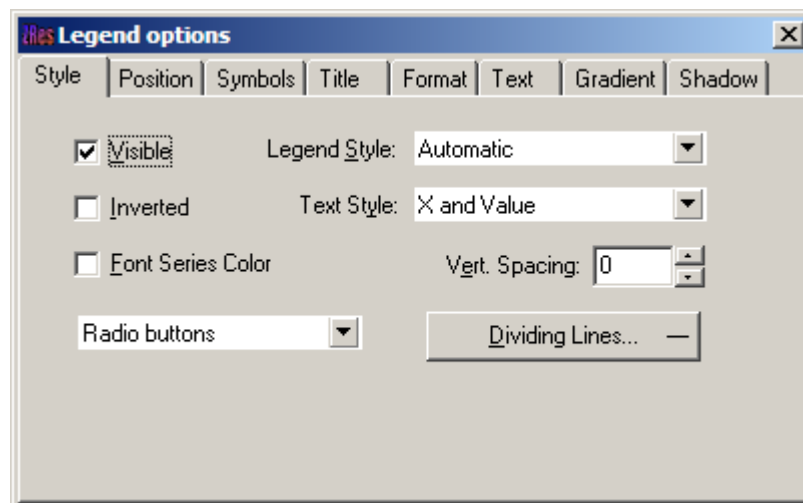
Кнопка **Shadow** вызывает диалог настройки внешнего вида тени падающей от текста подписей указателей.

Вкладка **Gradient** содержит настройки градиентной заливки для рамок вокруг подписей к указателям.

Вкладка **Shadow** содержит настройки внешнего вида тени падающей от рамок вокруг подписей к указателям.



Приложение 3: Редактор легенды для графиков



Редактор предназначен для настройки внешнего вида графиков и легенды к ним. Его можно вызвать щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей **SHIFT** на легенде справа от графика.

При этом появляется всплывающее меню с набором вкладок.

Вкладка **Style** позволяет настроить стиль отображения легенды, выбрать формат подписи данных к легенде, отобразить границы между подписями в легенде и т.д.

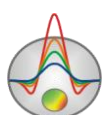
Вкладке **Position** позволяет выбрать место расположения легенды относительно плана графиков.

Вкладка **Symbols** задает параметры отображения символов легенды.

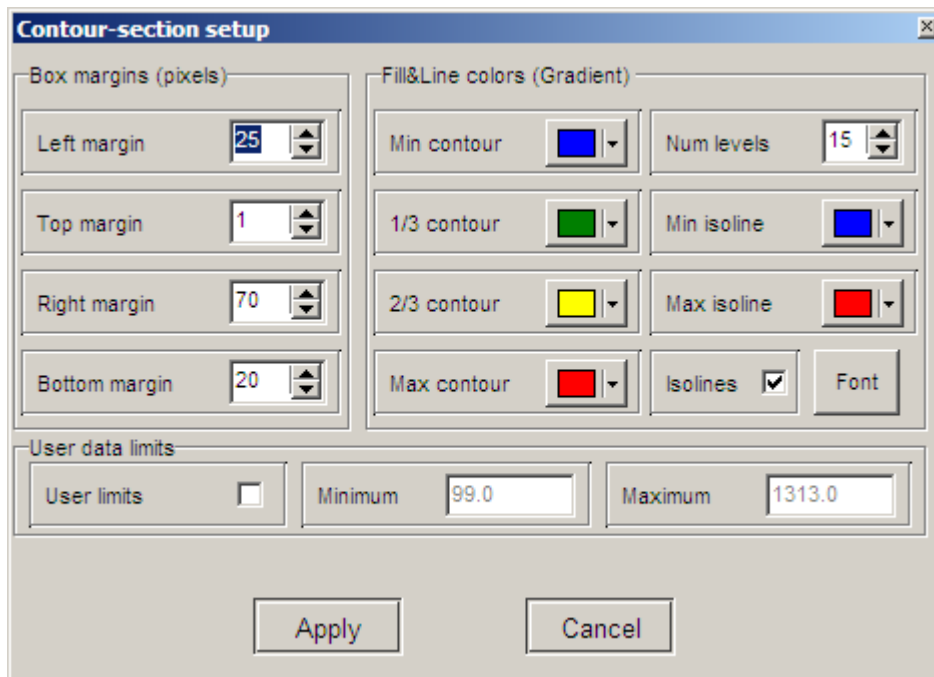
Вкладка **Title** задает название легенды и позволяет настроить его формат.

Вкладка **Text** позволяет настроить формат подписей в легенде.

Вкладки **Format**, **Gradient** и **Shadow** содержат настройки окна легенды, его градиентной заливки и тени.



Приложение 4: Диалог настройки параметров псевдореза



Диалог служит для настройки параметров псевдореза.

Область **Box margins**

Left margin – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от левого края окна.

Right margin – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от правого края окна.

Top margin – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от верхнего края окна.

Bottom margin – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от нижнего края окна.

Область **Fill&Line colors**

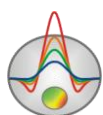
Опции **Min contour**, **1/3 contour**, **2/3 contour** и **Max contour** задают интерполяционную последовательность цветов от **Min contour** к **Max contour** через **1/3 contour** и **2/3 contour**. Созданная таким образом палитра используется для закраски пространства между соседними изолиниями.

Поле **Num levels** – определяет количество сечений изолиний. Сечения изолиний задаются равномерным линейным или логарифмическим шагом, в зависимости от типа данных.

Опции **Min isoline** и **Max isoline** задают интерполяционную последовательность цветов от **Min isoline** к **Max isoline**. Созданная таким образом палитра используется при рисовке изолиний.

Опция **Isolines** – указывает программе, нужно ли рисовать изолинии.

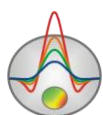
Область **User data limits**



Опция **User limits** - указывает программе, использовать минимальное и максимальное значения данных или использовать значения полей **Minimum** и **Maximum** при задании сечений изолиний.

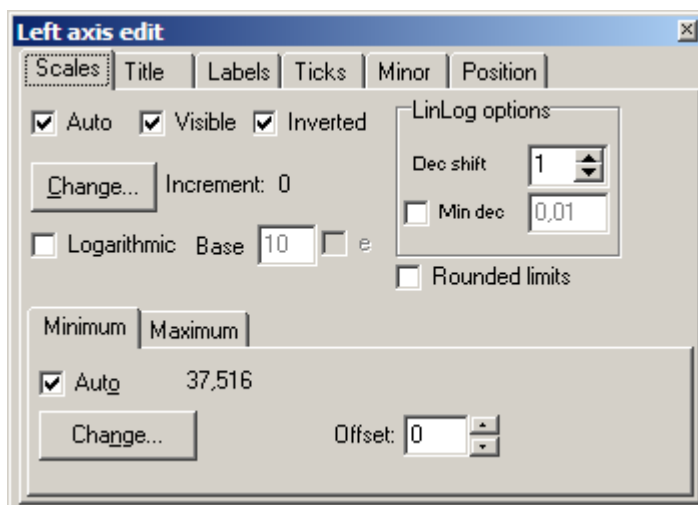
Поле **Minimum** – устанавливает минимальное значение при задании сечений изолиний.

Поле **Maximum** – устанавливает максимальное значение при задании сечений изолиний.



Приложение 5: Редактор осей

Многие объекты программы содержат координатные оси. Для настройки внешнего вида и масштабирования координатных осей используется редактор осей. Его можно вызвать щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на интересующей оси.



При этом появляется всплывающее меню с двумя пунктами: **options** и **default**. Первый вызывает диалог, второй устанавливает значения равными значениям по умолчанию.

Первая вкладка диалога **Scales** содержит опции связанные с настройкой масштабных параметров оси.

Опция **Auto** указывает программе, каким образом определяется минимум и максимум оси. Если опция включена, пределы оси находятся автоматически, иначе задаются пользователем в областях **Minimum** и **Maximum**.

Опция **Visible** позволяет показать/скрыть выбранную ось.

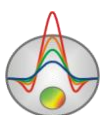
Опция **Inverted** определяет ориентацию оси.

Кнопка **Increment change** вызывает диалог задания шага меток оси.

Опция **Logarithmic** устанавливает масштаб оси - логарифмический или линейный. В случае знакопеременной оси следует дополнительно использовать опции области **LinLog options**.

Опция **Base** определяет основание логарифма для логарифмической оси.

Область **LinLog options** содержит опции, предназначенные для настройки линейно-логарифмической оси. Линейно-логарифмический масштаб позволяет представлять знакопеременные или ноль содержащие данные в логарифмическом масштабе.



Опция **Dec Shift** устанавливает отступ (в логарифмических декадах) относительно максимального по модулю предела оси до нуля. Минимальная (преднулевая) декада имеет линейный масштаб, остальные логарифмический.

Опция **Min dec** задает и фиксирует значение минимальной (преднулевой) декады, если опция включена.

Опция **Rounded limits** указывает программе, нужно ли округлять значения минимума и максимума оси.

Области **Minimum** и **Maximum** содержат набор опций по настройке пределов осей.

Опция **Auto** определяет, каким образом определяется предел оси - автоматически или задается кнопкой **Change**.

Опция **Offset** устанавливает процентный сдвиг предела оси относительно его фактического значения.

Вкладка **Title** содержит опции связанные с настройкой заголовка оси.

Вкладка **Style**:

Опция **Title** определяет текст заголовка оси.

Опция **Angle** определяет угол поворота текста заголовка оси.

Опция **Size** определяет отступ текста заголовка оси. При заданном 0 отступ находится автоматически.

Опция **Visible** позволяет показать/скрыть заголовок оси.

Вкладка **Text**:

Кнопка **Font** вызывает диалог настройки шрифта для заголовка оси.

Кнопка **Outline** вызывает диалог настройки линий обводки букв заголовка оси.

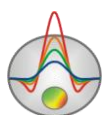
Опция **Inter-char** spacing устанавливает межбуквенное расстояние для текста заголовка оси.

Кнопка **Gradient** вызывает диалог настройки градиентной заливки для текста заголовка оси.

Опция **Outline gradient** указывает, куда применить градиентную заливку текста: на линии обводки или внутренней области букв.

Кнопка **Shadow** вызывает диалог настройки внешнего вида тени падающей от текста заголовка оси.

Вкладка **Labels** содержит опции связанные с настройкой подписей оси.



Вкладка **Style**:

Опция **Visible** позволяет показать/скрыть подписи оси.

Опция **Multiline** используется для задания многострочных подписей оси.

Опция **Round first** округляет первую подпись оси.

Опция **Label on axis** убирает подписи выходящие за пределы оси.

Опция **Alternate** расставляет подписи оси в два ряда.

Опция **Size** определяет отступ подписей оси. При заданном 0 отступ находится автоматически.

Опция **Angle** определяет угол поворота текста подписей оси.

Опция **Min separation %** задает минимальное процентное расстояние между подписями.

Вкладка **Text**:

Кнопка **Font** вызывает диалог настройки шрифта для подписей оси.

Кнопка **Outline** вызывает диалог настройки линий обводки букв подписей оси.

Опция **Inter-char spacing** устанавливает межбуквенное расстояние для текста подписей оси.

Кнопка **Gradient** вызывает диалог настройки градиентной заливки для текста подписей оси.

Опция **Outline gradient** указывает, где будет использоваться градиентная заливка текста: на линиях обводки или внутренней области букв.

Кнопка **Shadow** вызывает диалог настройки внешнего вида тени падающей от текста подписей оси.

Вкладка **Ticks** содержит опции связанные с настройкой главных меток оси.

Кнопка **Axis** вызывает диалог настройки линии оси.

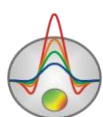
Кнопка **Grid** вызывает диалог настройки линий сетки главных меток оси.

Кнопка **Ticks** вызывает диалог настройки линий главных внешних меток оси. Опция **Len** устанавливает их длину.

Кнопка **Inner** вызывает диалог настройки линий главных внутренних меток оси. Опция **Len** устанавливает их длину.

Опция **Centered** – центрирует сетку меток оси.

Опция **At labels only** указывает программе рисовать главные метки только при наличии подписи на оси.



Вкладка **Minor** содержит опции связанные с настройкой промежуточных меток оси.

Кнопка **Grid** вызывает диалог настройки линий сетки промежуточных меток оси.

Кнопка **Ticks** вызывает диалог настройки линий промежуточных внешних меток оси.

Опция **Length** устанавливает их длину.

Кнопка **Minor** вызывает диалог настройки линий основных внутренних меток оси. Опция **Len** устанавливает их длину.

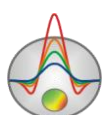
Опция **Count** устанавливает количество второстепенных меток между главными.

Вкладка **Position** содержит опции определяющие размеры и положение оси.

Опция **Position %** устанавливает смещение оси на графе относительно стандартного положения (в процентах от размера графа или единицах экрана, в зависимости от значения выбранного опцией Units).

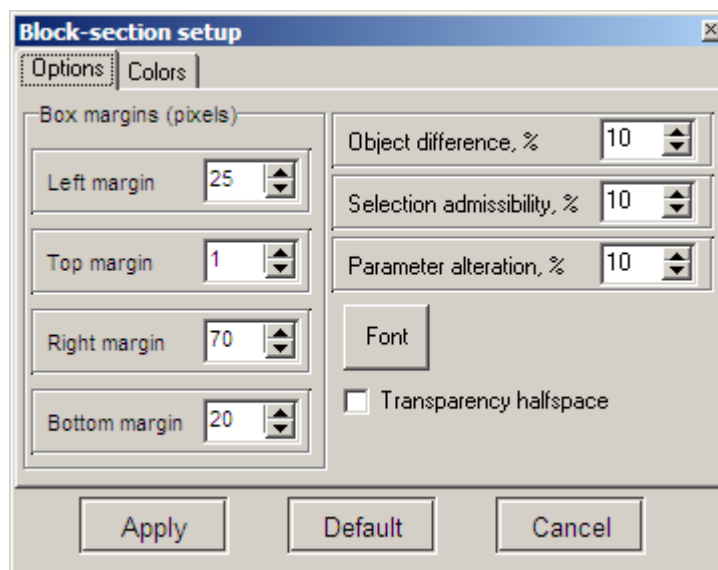
Опция **Start %** устанавливает смещение начала оси на графе относительно стандартного положения (в процентах от размера графа).

Опция **End %** устанавливает смещение конца оси на графе относительно стандартного положения (в процентах от размера графа).



Приложение 6: Диалог настройки параметров модели

Вкладка **Options**



Область **Box margins**

Left – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от левого края окна.

Right – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от правого края окна.

Top – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от верхнего края окна.

Bottom – устанавливает отступ (в пикселах) изображения от нижнего края окна.

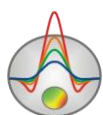
Object difference - устанавливает максимальное значение отношения параметров смежных ячеек, при превышении которого между ними рисуется граница.

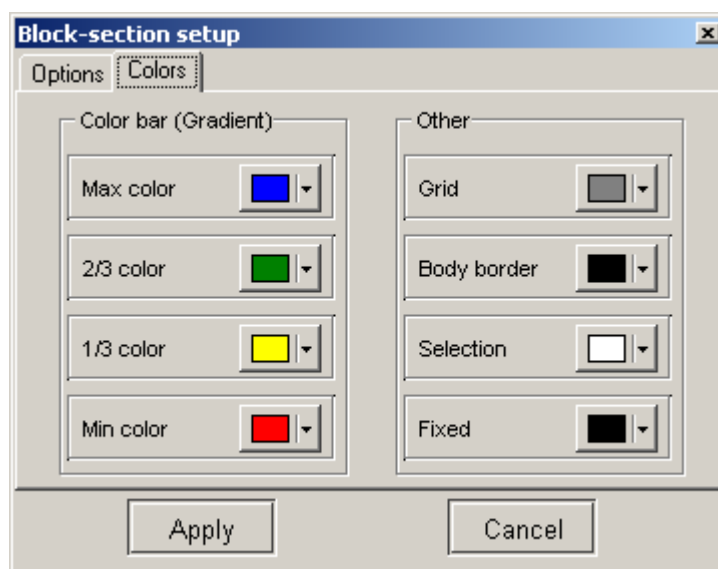
Selection admissibility - устанавливает допустимый уровень различия параметров смежных ячеек, при котором, ячейки являются единым объектом и выделяются совместно (в режиме выделения Magic Wand).

Parameter alteration – определяет величину приращения к параметрам выделенных ячеек (в процентах относительно значения параметра), при работе в режиме **Edit**, с нажатой клавишей Shift.

Кнопка **Font** вызывает диалог настройки шрифта.

Вкладка **Colors**





Область **Color bar**

Опции **Min color**, **1/3 color**, **2/3 color** и **Max color** задают интерполяционную последовательность цветов, которая устанавливает зависимость между значением параметра модели и определенным цветом.

Область **Others**

Body border – позволяет задать цвет границы между соседними ячейками, если степень различия между ними больше чем заданное в опции **Parameter alteration** значение.

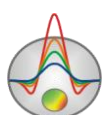
Grid – устанавливает цвет сети.

Selection - устанавливает цвет метки выделенной ячейки.

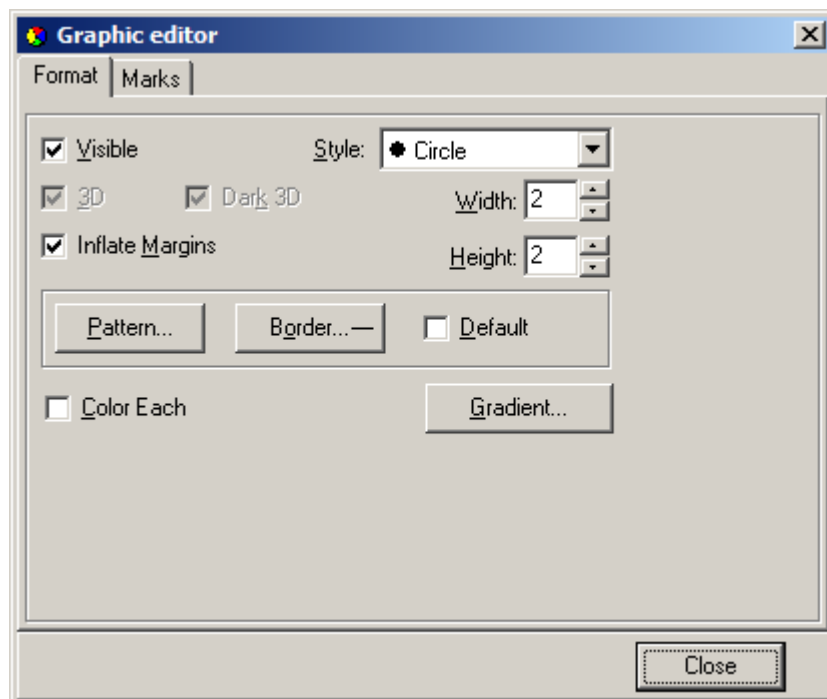
Fixed - устанавливает цвет метки зафиксированной ячейки.

Transparency halfspace – включает режим прозрачности ячейки, если значение параметра соответствует значению вмещающей среды.

При редактировании модели в виде контурного разреза диалог настройки аналогичен диалогу настройки параметров псевдоразреза ([Приложение 4](#): Диалог настройки параметров псевдоразреза).

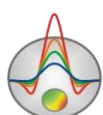


Приложение 7: Редактор точек псевдореза



Редактор предназначен для настройки внешнего вида точек псевдореза, точек положения электродов и подписей к ним. Его можно вызвать щелчком правой кнопки мыши с нажатой клавишей SHIFT на точке.

Вкладка **Format** содержит настройки внешнего вида точек псевдореза и точек положения электродов. Вкладка **Marks** содержит настройки подписей. Опции этих вкладок *описаны более подробно в*



Приложение 1: Редактор набора графиков.

