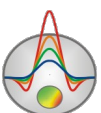


**Programa de interpretación unidimensional de datos de
SEV y SEV-PI (mediciones terrestres y acuáticas).**

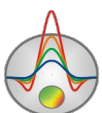
ZONDIP1D

Manual del usuario

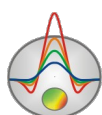


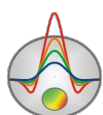
Contenido

<i>Propósito y capacidades del programa.....</i>	<i>5</i>
<i>Requisitos del sistema.....</i>	<i>8</i>
<i>Instalación y desinstalación del programa.....</i>	<i>8</i>
<i>Notaciones convencionales adoptadas en el programa.....</i>	<i>9</i>
<i>Creación y apertura de archivo de datos.....</i>	<i>9</i>
Formatos de datos soportados.....	10
<i>Formato de archivo de datos.....</i>	<i>10</i>
Formato de archivo de sondeos de inducción DMV (*.vmd).....	14
<i>Diálogo de entrada de datos de campo (VES notepad).....</i>	<i>15</i>
<i>Procesamiento de datos de campo.....</i>	<i>17</i>
<i>Guardado de resultados de interpretación.....</i>	<i>18</i>
<i>Exportación de datos.....</i>	<i>19</i>
<i>Procedimiento de trabajo con el programa.....</i>	<i>20</i>
Ventana principal del programa.....	20
Biblioteca de estilos del programa.....	21
Barra de herramientas de la ventana principal del programa.....	22
Menú de funciones de la ventana principal del programa.....	23
Teclas de acceso rápido.....	26
Ventana de propiedades del programa.....	27
<i>Interpretación de datos de campo.....</i>	<i>36</i>
Ajuste automático de parámetros del modelo.....	36
Objetos del programa.....	37
Editor de modelo (Model editor).....	37
Gráfico de curvas teóricas y experimentales (Data Editor).....	40
Tabla de parámetros.....	45
Sección (Section).....	54
Pseudosección (Pseudosection).....	58
Gráficos de perfilado (Profile).....	62
Trabajo con datos areales y visualización 3D.....	64
Introducción de información a priori.....	71
Opciones de interpretación conjunta de datos de sondeos SEV y MT (AMT, RMT).....	76
Menú Buffer para comparar resultados de inversión.....	78
<i>Configuración de objetos gráficos.....</i>	<i>79</i>
Diálogo de configuración de paleta.....	79



Redactor de ejes.....	80
Editor de conjunto de gráficos.....	83
Editor del gráfico.....	84
Diálogo de vista previa de impresión (Print preview).....	85
<i>Editor geológico de secciones.....</i>	<i>87</i>
<i>Fundamentos físicos y algoritmos.....</i>	<i>91</i>
Modelo del medio.....	91
Problema directo de SEV en corriente continua.....	91
Polarización inducida.....	92
SEV en corriente alterna.....	92
Sondeos de inducción DMV.....	92
Sondeos magnetotelúricos.....	93
Planteamiento del problema inverso.....	93
Operador de suavizado y modelo de referencia.....	94
Pesos robustos de los datos.....	95
Espesores, profundidades y límites.....	96
Inversión conjunta de SEV y MT.....	96
Búsqueda global y análisis de equivalencia.....	96
<i>Cuadros de diálogo auxiliares.....</i>	<i>97</i>
Configuración de objetos (Setup).....	97
Suavizado de datos (Smoothing settings).....	98
Agrupamiento (Clustering).....	99
Modelo inicial (Set start model).....	99
Cortes para Surfer.....	100
Planos XY (Setup XY planes).....	101
Imagen para exportación (Picture settings).....	101
Escalas de exportación a CAD (Output scales).....	102
Exportación a SEG-Y (SegY export).....	102
Zona UTM (UTM zone).....	103
Paleta de isolíneas (Edit levels).....	103
Herramientas de dibujo (Element's toolbox).....	104
Nodo y rectángulo (Node, Set rectangle).....	104
Selección de estaciones MT (Stations positions).....	105
Grabación de video (Record video).....	105
Importación de datos de texto (Export text data).....	106
<i>Apéndice 1. Formato del archivo de datos de litología.....</i>	<i>107</i>
<i>Materiales adicionales:.....</i>	<i>109</i>





Zond geophysical software

Propósito y capacidades del programa

El programa ZondIP1D está diseñado para la interpretación unidimensional de datos de perfiles de diversas modificaciones de sondeo eléctrico vertical. La interfaz conveniente y las amplias capacidades de presentación de datos permiten resolver de manera más eficiente la tarea geológica planteada.

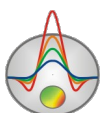
El programa ZondIP1D presenta un aparato conveniente para la interpretación automática y semiautomática (interactiva) de datos de perfiles y puede ser utilizado en computadoras personales compatibles con IBM PC con sistema operativo Windows.

El método de sondeo eléctrico vertical (SEV) es uno de los métodos más antiguos de prospección eléctrica. Las primeras aplicaciones del método datan de los años 20 del siglo XX. La simplicidad comparativa y la claridad del SEV condujeron a su amplia difusión y desarrollo en todo el mundo.

Hoy en día, los sondeos eléctricos siguen siendo uno de los métodos de prospección eléctrica más utilizados. Basándose en los SEV se han desarrollado otras tecnologías modernas, por ejemplo, la electrotomografía, que se fundamenta en los mismos principios que los sondeos eléctricos «clásicos». Uno de los requisitos fundamentales para la aplicación de métodos geofísicos es el contraste en las propiedades físicas del objeto de estudio en relación con el medio circundante. Para la prospección eléctrica por métodos de resistividad, a los cuales pertenece el SEV, esto significa que el objeto estudiado (cuerpo, capa, estrato, etc.) debe diferenciarse notablemente por su resistividad eléctrica específica de las rocas circundantes [MSU, 2007].

La resistividad eléctrica específica (REE), medida en ohmios-metro (Ωm), caracteriza la capacidad de las rocas de ofrecer resistencia eléctrica al paso de la corriente y es la propiedad electromagnética más universal. Varía en rocas y minerales en límites muy amplios: desde 10^{-3} hasta $10^{15} \Omega\text{m}$. Para las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas más comunes, la REE depende de la composición mineralógica, las propiedades físico-mecánicas e hídricas de las rocas, la concentración de sales en las aguas subterráneas y, en menor medida, de su composición química, así como de algunos otros factores (temperatura, profundidad de yacimiento, grado de metamorfismo, etc.) [Khmelevskoy, 1997].

La resistividad eléctrica específica de los minerales depende de sus enlaces intracrystalinos. Para los minerales dieléctricos (cuarzo, micas, feldespatos, etc.) con enlaces predominantemente covalentes son características resistividades muy altas ($10^{12} - 10^{15} \Omega\text{m}$). Los minerales semiconductores (carbonatos, sulfatos, haluros, etc.) tienen enlaces iónicos y se distinguen por resistividades altas ($10^4 - 10^8 \Omega\text{m}$). Los minerales arcillosos (hidromica, montmorillonita, caolinita, etc.) poseen enlaces iónico-covalentes y se caracterizan por resistividades suficientemente bajas.



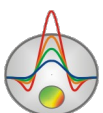
Los minerales de mena (nativos, algunos óxidos) se distinguen por conductividad electrónica y conducen la corriente muy bien. Los dos primeros grupos de minerales constituyen el esqueleto "rígido" de la mayoría de las rocas. Los minerales arcillosos crean un esqueleto "plástico", capaz de adsorber agua ligada, mientras que las rocas con minerales "rígidos" pueden saturarse solamente con soluciones y agua libre, es decir, aquella que puede ser bombeada fuera de la roca.

La resistividad eléctrica específica de las aguas subterráneas libres varía desde fracciones de Ωm con alta mineralización total hasta 1000 Ωm con baja mineralización. La composición química de las sales disueltas en el agua no juega un papel significativo, por lo tanto, según los datos de prospección eléctrica se puede juzgar solamente sobre la mineralización total de las aguas subterráneas. La resistividad eléctrica específica de las aguas ligadas, adsorbidas por partículas sólidas de la roca, es baja y varía poco (de 1 a 100 Ωm). Esto se explica por su mineralización suficientemente constante (3-1 g/l). La mineralización media de las aguas del océano mundial es igual a 36 g/l.

Dado que el agua porosa (libre y ligada) se distingue por una resistividad eléctrica específica significativamente más baja que el esqueleto mineral de la mayoría de los minerales, la resistividad de las rocas prácticamente no depende de su composición mineralógica, sino que está determinada por parámetros de las rocas tales como porosidad, fracturación, saturación de agua. Con su aumento la resistividad de las rocas disminuye debido al aumento de iones en el agua subterránea. Por lo tanto, la conductividad eléctrica de la mayoría de las rocas es iónica (electrolítica).

Con el aumento de la temperatura en 400 la resistividad disminuye aproximadamente 2 veces, lo que se explica por el aumento de la movilidad de los iones. Durante la congelación la resistividad de las rocas aumenta bruscamente, ya que el agua libre se convierte prácticamente en un aislante, y la conductividad eléctrica está determinada solamente por el agua ligada, que se congela a temperaturas muy bajas (por debajo de -500 C). El aumento de las resistividades durante la congelación de diferentes rocas es distinto: en varias veces aumenta en las arcillas, hasta 10 veces - en rocas cristalinas, hasta 100 veces - en limos arcillosos y arenosos, y hasta 1000 y más veces - en arenas y rocas detríticas gruesas.

A pesar de la dependencia de la resistividad específica de múltiples factores y del amplio rango de variación en diferentes rocas, las regularidades principales de la resistividad eléctrica específica están establecidas con suficiente claridad. Las rocas ígneas y metamórficas se caracterizan por resistividades altas (de 500 a 10000 Ωm). Entre las rocas sedimentarias tienen resistividades altas (100 - 1000 Ωm) la sal gema, yesos, calizas, areniscas y algunas otras. Las rocas sedimentarias detríticas, por lo general, tienen mayor resistividad cuanto mayor es el tamaño de los granos que constituyen la roca, es decir, dependen principalmente del contenido de arcilla. En la transición de arcillas a limos arcillosos, limos arenosos y arenas, la resistividad específica cambia desde



fracciones y primeras unidades de ohmímetros a primeras decenas y centenares de ohmímetros [Khmelevskoy, 1997].

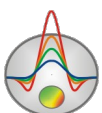
La capacidad de las rocas para polarizarse, es decir, acumular carga al pasar corriente y luego descargarse después de desconectar esta corriente, se evalúa mediante el coeficiente de cargabilidad. La magnitud se calcula en porcentaje como la relación entre el voltaje que permanece en la línea de medición después de un tiempo determinado (normalmente 0,5-1 s) tras la interrupción del circuito de corriente y el voltaje en la misma línea durante el paso de corriente.

La polarización es un proceso electroquímico complejo que ocurre al pasar corriente continua o alterna de baja frecuencia (hasta 10 Hz) a través de la roca. La mayor cargabilidad se observa en minerales con conductividad electrónica (sulfuros, sulfosales, algunos metales nativos, ciertos óxidos, grafito, antracita). La naturaleza de estos potenciales PI está relacionada con la llamada polarización de concentración y polarización de electrodo de los minerales metálicos. Coeficientes de cargabilidad de hasta 2-6% se observan sobre sedimentos sueltos saturados de agua que contienen partículas arcillosas. Su cargabilidad se debe a deformaciones de las capas externas de las dobles capas eléctricas que se forman en el contacto entre las fases sólida y líquida. La mayoría de las rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias saturadas con agua mineral se polarizan débilmente [Khmelevskoy, 1997].

La idea del método SEV es extremadamente simple. En la superficie terrestre se dispone un dispositivo de prospección eléctrica que, por regla general, consiste en dos electrodos de corriente y dos electrodos receptores (Fig. 1).

En la tierra se genera un campo eléctrico y, consecuentemente, una corriente eléctrica. La intensidad de corriente en la línea de alimentación se mide mediante un amperímetro incluido en el circuito. En los electrodos receptores M y N se produce una diferencia de potencial eléctrico que se mide con un voltímetro.

A partir de los resultados de las mediciones se puede juzgar sobre las propiedades eléctricas de las rocas a profundidades de penetración de la corriente en la tierra. La profundidad de "inmersión de la corriente" depende principalmente de la distancia entre los electrodos de corriente.



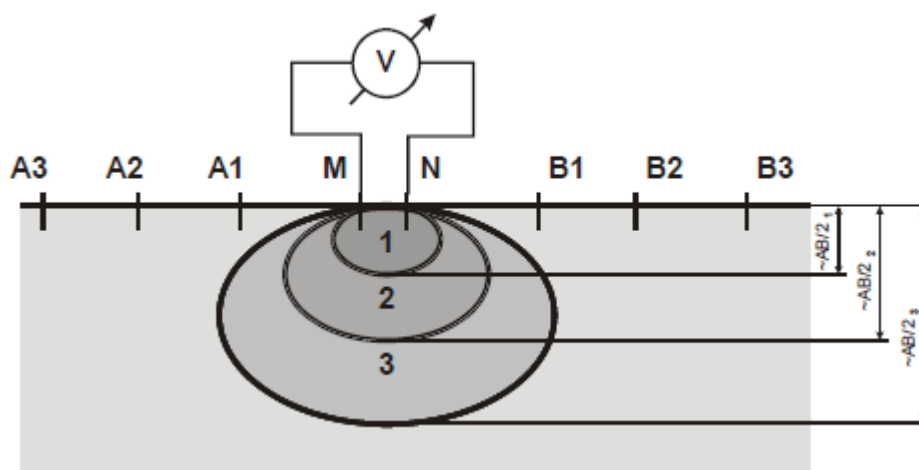


Fig. 1 Esquema de mediciones en el método SEV.

A partir de los resultados de las mediciones realizadas se calcula la resistividad eléctrica aparente [MSU, 2007].

El programa resuelve los problemas directo e inverso para dispositivos arbitrarios sobre la superficie de un medio horizontalmente estratificado. Los parámetros de la capa son: espesor de la capa (en metros), resistividad eléctrica específica (en Ohm m) y cargabilidad (en porcentaje).

Al resolver el problema directo, el cálculo del potencial de una fuente puntual se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$U(r) = \frac{\rho}{\pi} \left(\frac{1}{r} + \int_0^{\infty} R(m) \cdot J_0(mr) dm \right)$$

La cargabilidad aparente (en porcentaje) se calcula mediante la fórmula de Komarov-Siegel:

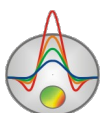
$$\eta_k = \frac{\rho_K(\rho)}{\rho_K[\rho \cdot (1 + \eta/100)]} \cdot 100 \%$$

Requisitos del sistema

El programa ZondIPD puede instalarse en un ordenador con sistema operativo Windows XP o superior. Parámetros recomendados del sistema: procesador P IV-2 GHz, 512 MB de memoria, resolución de pantalla 1024 X 768, modo de color -True color (no se debe cambiar la resolución de pantalla durante el trabajo con datos).

Instalación y desinstalación del programa

El programa ZondIPD se suministra por internet. El paquete de suministro incluye este Manual. Las últimas actualizaciones del programa pueden descargarse en el sitio web: www.zond-geo.com. Para instalar el programa descargue el programa del sitio web en el directorio deseado (por



[ejemplo, «Zond»\).](#) Para instalar una actualización simplemente sobrescriba la nueva versión del programa sobre la antigua.

Antes del primer inicio del programa es necesario instalar el driver de la llave de protección SenseLock. Para ello abra la carpeta SenseLock (el driver puede descargarse en el sitio web) e inicie el archivo InstWiz3.exe. Después de instalar el driver inserte la llave. Si todo está en orden aparecerá un mensaje en el panel del sistema inferior indicando que se ha detectado la llave.

Para desinstalar el programa elimine los directorios de trabajo del programa.

Notaciones convencionales adoptadas en el programa

Ro_a – resistividad aparente. $\rho_a = G \cdot \frac{\Delta U}{I}$, donde G coeficiente del dispositivo.

Eta_a - cargabilidad aparente. $\eta_a = \frac{\Delta U^{B\Pi}}{\Delta U^{IP}} \cdot 100\%$, en porcentaje.

Separación: AB/2 para dispositivo Schlumberger, Wenner y simétrico; AM para dispositivo de dos electrodos; AO para dispositivo de tres electrodos; O'O para dispositivo dipolo-dipolo.

Pseudoprosfundidad – profundidad aproximada de investigación, relacionada con el coeficiente del dispositivo (en este caso la separación del dispositivo).

Estación de sondeo – posición del centro de la línea de alimentación para dispositivo Schlumberger, Wenner y simétrico; para otros tipos de sondeos, la estación de sondeo es indefinida (generalmente es la posición del electrodo fijo).

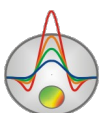
Todas las magnitudes geométricas del programa se definen en metros.

Creación y apertura de archivo de datos

Para comenzar a trabajar con el programa ZondIP1D es necesario crear un archivo de datos de formato determinado, que contenga información sobre el sistema de observaciones y los valores medidos de resistividad aparente y cargabilidad. Habitualmente un archivo contiene datos de un perfil de observaciones.

Al utilizar dispositivos multielectródicos, debe tenerse en cuenta que en el programa ZondIP1D se considera como elemento de datos una curva de sondeo. Por lo tanto, los datos deben representarse como un conjunto de curvas de sondeo.

Los archivos de texto de datos, organizados en formato del programa ZondIPD, tienen extensión «*.zlf», «*.zlp» y «*.ves». También el programa soporta archivos de sondeos de inducción con dipolo magnético vertical formato *.vmd. El formato del archivo de datos se



describe detalladamente en la sección Formato de archivo de datos. El programa también soporta archivos de texto del programa IPI2WIN(dat, dtg) y algunos otros formatos (USF, es).

Para el correcto funcionamiento del programa el archivo de datos no debe contener:

- curvas con cantidad de separaciones menor que 3
- símbolos no tradicionales, que separan registros en la línea (use símbolos TAB o SPACE)
- valores absurdos de parámetros de mediciones

Es deseable que la cantidad total de mediciones contenidas en un archivo no exceda 50000.

Al abrir un archivo binario de proyecto con extensión «*.zlp» se cargan no solo los datos de campo, sino también el modelo correspondiente a la interpretación realizada previamente.

Formatos de datos soportados

Lista de formatos que se abren con el comando File/Open data:

Extensión	Contenido
*.zlf	Formato de texto del programa (SEV, SEV-PI, SEV en corriente alterna, mediciones de fondo) – descrito abajo.
*.zlp	Archivo binario de proyecto: datos de campo, modelos, pesos, ajustes de objetos.
*.ves	Tabla de uno o varios sondeos (ab/2, mn, ρ_k , η_k) – descrito abajo.
*.vmd	Sondeos de inducción con dipolo magnético vertical ($ Hz / Hr $) – descrito abajo.
*.dat, *.dtg	Archivos del programa IPI2Win.
*.es	Archivos del programa VES Master.
*.amp, *.xml, *.usf	Archivos de equipos de medición (AMP, AMS) y formato universal USF.
*.aves	Archivos SEV con disposición arbitraria de electrodos.

Adicionalmente a través del menú Options/MT data se cargan curvas MT (formatos *.txt, *.mdf, *.m2d, ver sección «Opciones de interpretación conjunta de datos SEV y MT»).

Formato de archivo de datos

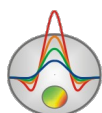
El programa representa un formato de datos universal, que incluye información sobre la geometría del dispositivo, coordenadas y alturas relativas de las estaciones de sondeo.

Formato de datos del programa Zond-IP data files (extensión *.zlf).

Las tres primeras líneas contienen información sobre parámetros de mediciones, comunes para todo el perfil.

Primera línea – debe contener los siguientes registros, separados por espacio o símbolo de tabulación:

La primera entrada está reservada por el programa ZondIP1D para la frecuencia o para mediciones en el fondo (valor 8). La segunda entrada (0-5) es el tipo de dispositivo: "0" –



Schlumberger, Wenner (para ella es necesario especificar la longitud de la línea receptora), dispositivo de tres electrodos; "1" – dispositivo dipolo-axial; "2" – dispositivo de dos electrodos; "3" – dispositivo universal de tres electrodos; "4" – dispositivo universal de cuatro electrodos; "5" – cualquier dispositivo universal (Fig. 2). Secuencia de entradas en la línea para diferentes dispositivos:

"0" – 0 0 1 (la tercera entrada especifica el desplazamiento de la línea receptora respecto a la emisora a lo largo del eje Y (se especifica cuando es necesario, normalmente en mediciones de PI en modo de frecuencia)).

"1" – 0 1 Len_dip, donde Len_dip es la longitud del dipolo de alimentación.

"2" – 0 2

"3" – 0 3 delt_y dircosX dircosY, donde delt_y es el desplazamiento del perfil de mediciones a lo largo del eje Y, dircosX y dircosY son los cosenos directores de la línea receptora.

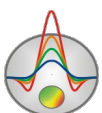
"4" – 0 3 Bx By delt_y dircosX dircosY, donde Bx y By son las coordenadas del segundo electrodo de alimentación, delt_y es el desplazamiento del perfil de mediciones a lo largo del eje Y, dircosX y dircosY son los cosenos directores de la línea receptora.

Dispositivos universales (3,4). Las coordenadas del primer electrodo de alimentación son iguales a cero. Las separaciones se introducen sin tener en cuenta los desplazamientos respecto al primer electrodo de alimentación. Las mediciones se realizan a lo largo del eje X, en dirección positiva. Los cosenos directores determinan la orientación de la línea receptora respecto al perfil. El desplazamiento del perfil de mediciones se realiza en dirección positiva a lo largo del eje Y. En general, los dispositivos universales (en las últimas versiones del programa) no son necesarios. Pueden ser reemplazados por un dispositivo arbitrario de tipo (5).



Fig. 2 Dispositivos SEV.

Si se selecciona un sistema de mediciones en el fondo, es decir, los electrodos se ubican en el fondo de un cuerpo de agua, en la primera entrada debe colocarse el número 8. En la siguiente



línea se registra la resistividad del agua después de la clave "water". La profundidad de sondeo se introduce en el bloque de descripción del sondeo, en lugar del valor de elevación, con signo menos. Ejemplo de descripción del sistema en el fondo:

8 0

Water 30

La segunda línea debe contener los valores de las separaciones en las que se realizaron las mediciones. Para los dispositivos 0, 3, 4 es la distancia desde el primer electrodo de alimentación hasta el centro de la línea receptora. Para el dispositivo dipolo-axial (1) es la distancia entre los centros de los dipolos. Para el dispositivo arbitrario (5) el usuario elige los valores de las separaciones. Para el dispositivo de dos electrodos (2) es la distancia entre los electrodos receptor y de alimentación.

También se puede utilizar un dispositivo arbitrario.

Descripción del dispositivo arbitrario:

el dispositivo arbitrario de tipo "5" implica especificar las posiciones de los electrodos de alimentación y receptores de forma explícita. Al describir este dispositivo se deben introducir las coordenadas X e Y de los electrodos, en las líneas inmediatamente después de la línea de descripción de las separaciones. En este caso, las separaciones se pueden especificar arbitrariamente, es decir, los valores los elige el usuario (se utilizarán solo para la visualización de las curvas). Las coordenadas de los electrodos se especifican mediante líneas que comienzan con una clave que indica al programa qué coordenadas y de qué electrodo se contienen en dicha línea. En el programa están disponibles las siguientes claves: Ax, Ay, Bx, By, Mx, My, Nx, Ny. Si el electrodo está ausente, su valor se reemplaza por el símbolo *. Las coordenadas Y se introducen solo cuando es necesario. Ejemplo de especificación del dispositivo de tipo "5":

0 5

1 2 3 4 5 // separaciones – especificadas por el usuario

Ax -1 -2 -3 -4 -5 //coordenadas X del electrodo A para cada separación

Bx -2 -3 -4 -5 -6 //coordenadas X del electrodo B para cada separación

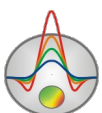
Mx 1 2 3 4 5 //coordenadas X del electrodo M para cada separación

Nx 2 3 4 5 6 //X – coordenadas del electrodo N para cada separación

En este ejemplo, como vemos, las coordenadas Y de los electrodos están ausentes. Pueden introducirse de la misma manera que las coordenadas X.

La tercera línea – puede contener los valores de las separaciones de la línea receptora.

Si la tercera línea está ausente, las separaciones de la línea receptora se consideran infinitamente pequeñas. Como el programa toma en cuenta la longitud de las líneas receptoras al calcular el problema directo, se recomienda introducir esta línea. Para el dispositivo arbitrario (5) esta línea no se introduce.



Al utilizar sistemas de observación complejos, con un sistema de separaciones que varía de estación en estación, en la segunda y tercera líneas es necesario escribir todos los pares únicos (separación de línea receptora y de línea de corriente) utilizados en el perfil, según las reglas descritas anteriormente.

A continuación siguen los registros que contienen información sobre cada estación de sondeo en el perfil, agrupados en los bloques descritos a continuación.

Bloque de descripción de la estación de sondeo:

Primera línea – indicador de inicio del bloque de descripción de la estación de sondeo (debe contener el registro «{»).

Segunda línea – nombre de la estación de sondeo.

Tercera línea – parámetros adicionales del sondeo.

El primer registro - coordenada de la estación de sondeo a lo largo del perfil, el segundo registro – elevación del relieve o profundidad (número positivo para sistema terrestre, negativo para sistema marino; (en metros)).

La cuarta y quinta líneas contienen, propiamente, las mediciones de campo.

Cada una de las líneas descritas debe comenzar con un registro-clave que indique al programa a qué tipo de datos corresponden los valores que le siguen.

Valores de las claves de control que controlan el tipo de datos:

«Ro_a» – resistividades aparentes.

En caso de usar el sistema marino (8), para evitar errores en el cálculo de la resistividad aparente, en esta línea se introducen las relaciones de la señal medida a la corriente (señal normalizada).

«Eta_a» – cargabilidades aparentes.

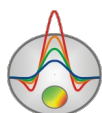
Si se añade «_w» a la clave - entonces en esta línea se establecen los pesos de las mediciones individuales.

El número y secuencia de registros en las líneas debe corresponder al sistema de separaciones descrito en la segunda línea del archivo. En ausencia de medición en alguna separación, su valor se reemplaza con el símbolo «*».

Sexta línea – indicador de fin del bloque de descripción de la estación de sondeo (debe contener el registro «}»).

Luego sigue la descripción de la siguiente estación de sondeo comenzando con el símbolo «{» y así sucesivamente.

También el programa trabaja con archivos con extensión *.ves. Este formato es conveniente para preparar datos de campo en cualquier editor de texto. A continuación se presenta un ejemplo de archivo en formato *.ves:



La primera línea contiene el valor de la frecuencia de la corriente (Hz), en la segunda se indica el nombre del punto de sondeo, en la tercera línea se indican las coordenadas, luego sigue una tabla de parámetros del dispositivo y valores de resistividades aparentes. Después del bloque que contiene información para el primer punto, sigue el bloque para el siguiente, comenzando con el campo title y así sucesivamente.

```
frequency 4.88
name: 1
X 10
Y 0
Z 0
ab/2 mn rk nk
1 1 100 2
2.5 1 101 2
5 1 90 2
8 1 80 2
10 1 70 2
25 1 80 2
50 1 90 2
80 1 101 2
```

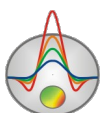
Formato de archivo de sondeos de inducción DMV (*.vmd)

El programa ZondIP1D admite archivos de sondeos inductivos de frecuencia con dipolo magnético vertical (DMV) en formato *.vmd. La magnitud medida es la relación de los módulos de las componentes vertical y radial del campo magnético $|H_z|/|H_r|$ a una separación r dada entre los dipolos generador y receptor. Al leer el archivo, cada relación se convierte inmediatamente en resistividad aparente (ver sección «Fundamentos físicos y algoritmos», subsección «Sondeos inductivos DMV»), por lo que en las ventanas del programa los datos DMV se muestran e invierten como curvas de resistividad aparente en función de la separación. El problema directo calcula la relación $|H_z|/|H_r|$ para un modelo estratificado y la convierte en resistividad aparente mediante la misma fórmula, por lo que el error de la conversión aproximada no afecta el resultado del ajuste.

Primera línea – altura de instalación sobre la superficie del terreno h , m (un número; 0 – instalación en la superficie).

Segunda línea – valores de las separaciones r , m (distancias entre los dipolos generador y receptor), en las que se realizaron las mediciones, en orden creciente. Cuando el sistema de separaciones varía de estación en estación, en la segunda línea se escriben todas las separaciones únicas, y los valores ausentes en las líneas de datos se reemplazan con el símbolo «-».

Tercera línea – frecuencia del generador, Hz. El programa utiliza el primer número de esta línea como frecuencia de trabajo para todas las estaciones del perfil. Si en la línea se registran varias



frecuencias, los demás valores se ignoran: los datos multifrecuencia deben dividirse en archivos separados (un archivo por frecuencia) e interpretarse por separado.

A continuación siguen los bloques de descripción de las estaciones de sondeo.

- Primera línea del bloque – indicador de inicio de bloque «{».
- Segunda línea – nombre de la estación de sondeo.
- Tercera línea – coordenada de la estación a lo largo del perfil, elevación del relieve y, si es necesario, coordenadas X, Y (como en formato *.zlf).
- Línea de datos con la clave «Hz/Hr» (se permite «Hz/Hr1») – relaciones $|Hz|/|Hr|$ para cada separación de la segunda línea. Las líneas con las claves «Hz/Hr2»...«Hz/Hr5» y las líneas de pesos con terminación «_w» se omiten durante la lectura; los pesos de los puntos después de la carga se definen en el programa (menú contextual de los puntos de la curva).
- Última línea del bloque – indicador de fin de bloque «}». La estación sin línea «Hz/Hr» se carga sin datos.

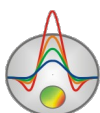
Ejemplo de archivo *.vmd (altura de instalación 1 m, separaciones 10–40 m, frecuencia 10 kHz):

```
1
10 20 30 40
10000
{
PK1
0 0
Hz/Hr 0.82 1.35 2.10 2.95
}
{
PK2
20 0.5
Hz/Hr 0.80 1.31 - 2.90
}
```

Durante la lectura, el programa crea en su carpeta un archivo temporal tmp.tmp con los valores recalculados de resistividad aparente. La carpeta del programa debe estar disponible para escritura. Las estaciones se registran en orden creciente de coordenada a lo largo del perfil.

Diálogo de entrada de datos de campo (VES notepad)

El diálogo está destinado a la introducción de nuevos datos y está disponible en el menú principal del programa File/VES notepad. La Fig. 3 muestra la ventana de diálogo de la opción VES notepad.



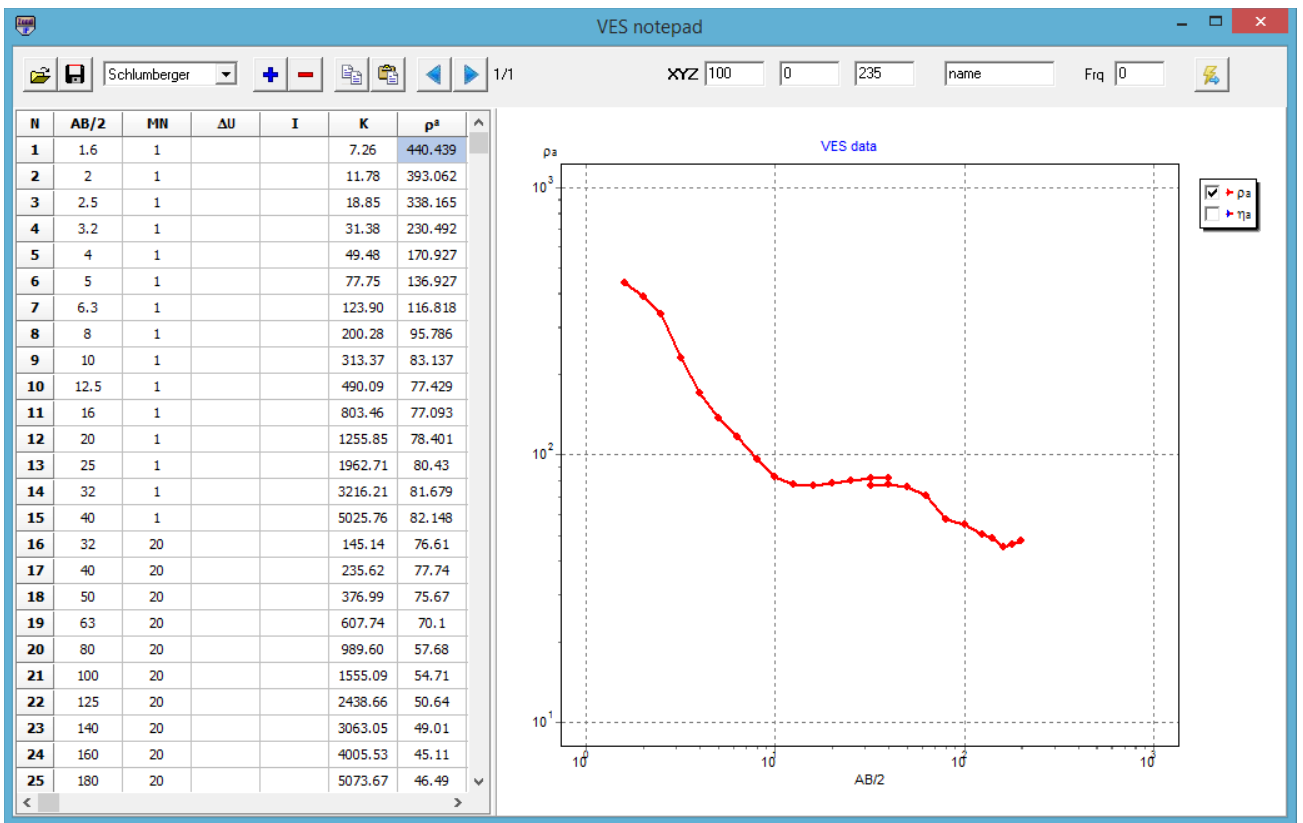
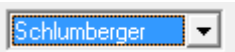
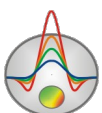


Fig. 3 Ventana de diálogo VES notepad.

El menú principal de la ventana contiene los siguientes botones:

	Abrir archivo de datos para un sondeo o base de datos para varios en formato *.txt.
	Guardar archivo para un sondeo o base de datos para varios sondeos en formato *.txt.
	Campo de selección del tipo de dispositivo.
	Agregar punto de sondeo.
	Eliminar punto de sondeo.
	Copiar datos en la tabla.
	Pegar datos del portapapeles (copiados, por ejemplo, en archivo MC Excel).
	Ir al punto adyacente.
	campos de entrada, donde se introducen secuencialmente las coordenadas X,Y,Z(elevación del relieve), de la estación de sondeo.
	En este campo se debe introducir el nombre de la estación de sondeo. Es recomendable no más de 5 caracteres.



	Si la frecuencia de corriente es relativamente alta (>20 Hz), entonces a partir de ciertas separaciones, esto puede influir en los resultados. Para frecuencias relativamente bajas (<10 Hz), se puede usar un valor igual a cero.
	Formar el proyecto y pasar al modo de interpretación.

Los datos pueden copiarse directamente en la tabla desde la aplicación MS Excel ([CTRL] + [C], [CTRL] + [V]).

En el campo XYZ es necesario indicar las coordenadas de la estación de sondeo, así como el nombre de la estación (campo «name» en la fig. 3).

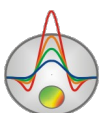
En el campo Frq – establecer la frecuencia de corriente. Permite realizar el cálculo teniendo en cuenta la frecuencia, se recomienda usar en caso de frecuencias de corriente superiores a 20 Hz.

En la parte izquierda de la ventana se encuentra una tabla que contiene las siguientes columnas: la primera o las dos primeras columnas (dependiendo del tipo de dispositivo) están destinadas a definir la geometría del dispositivo. Para el dispositivo Schlumberger: [AB/2] – mitad de la longitud de la línea de corriente, [MN] – longitud de la línea receptora; dispositivo Schlumberger de 3 electrodos – A0, [MN] – longitud de la línea receptora; para el dispositivo Wenner [AB/2] – mitad de la longitud de la línea de corriente, para el dispositivo dipolo-dipolo [OO] – distancia entre los centros de las líneas receptora y de corriente, [MN] – longitud de la línea de corriente; para el dispositivo pole-pole AO. Luego siguen las columnas que contienen directamente los datos de medición: [ΔU] – tensión, [I], [A] – corriente, [K] – coeficiente del dispositivo (se calcula automáticamente), [$\rho_a, \text{Ohm} \cdot \text{m}$] – resistividad aparente (puede ser establecida o calculada automáticamente), [η_a] – cargabilidad aparente.

Use el botón  para crear las siguientes estaciones de sondeo. Después de establecer todos los parámetros, presione el botón  para pasar a la inversión.

Procesamiento de datos de campo

El procesamiento de datos de campo se realiza mediante las funciones de la sección del menú Data operations y se aplica a todo el perfil de mediciones.



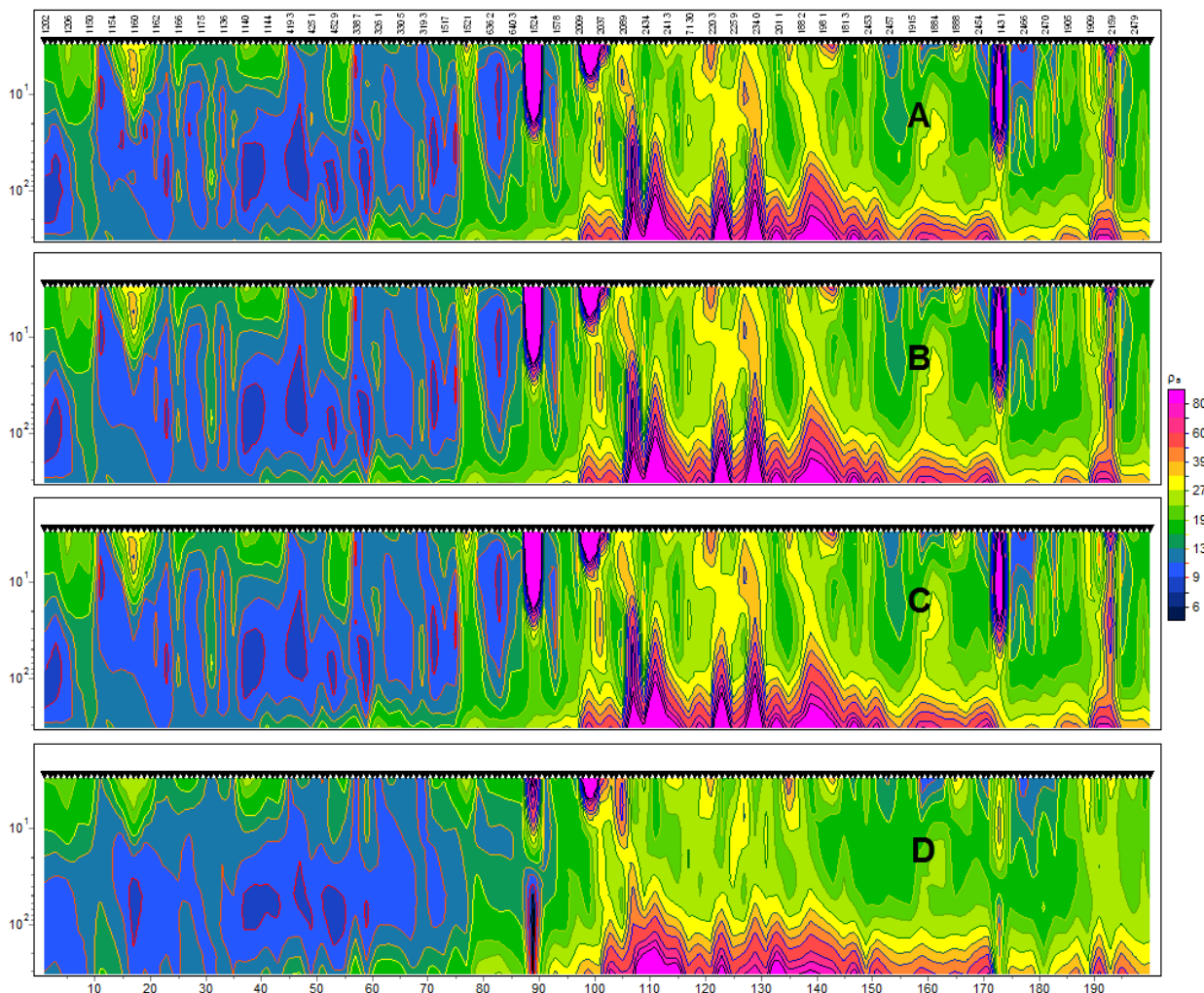
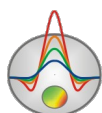


Fig. 4 Ejemplo de aplicación de las funciones Data operations a datos de perfil. Donde A - datos originales, B - datos después de aplicar la opción Denoise data, C – datos después de aplicar la opción Smooth data, D - después de aplicar la opción 2D Smoothing.

Guardado de resultados de interpretación

El resultado de la interpretación del perfil de datos se almacena en el archivo binario del proyecto Zond-IP project files (extensión *.zlp). Este archivo almacena el nombre del archivo con los datos de campo, los parámetros ajustados y los límites de variación de parámetros para cada estación de sondeo y mucho más. Guardar el resultado de la interpretación se puede presionando el botón  de la barra de herramientas o el elemento de menú correspondiente. Cuando la opción de autoguardado está activada, el resultado de la interpretación se guardará automáticamente



después del intervalo de tiempo establecido. También es posible guardar las curvas teóricas y observadas en formato zlf.

Variantes posibles de guardado de datos:

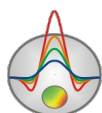
Project data files	Guardar el proyecto actual en archivo zlp.
Calculated data files	Guardar los valores calculados en archivo de texto de datos.
XYZ model files	Guardar el modelo del medio en archivo tabular.
Section file	Guardar el modelo actual en formato sec (imagen gráfica con referencia de esquinas). Este tipo de archivo puede utilizarse como capa base.
Project with calculated	Guardar el proyecto actual en archivo, reemplazando los datos observados por los calculados.
Model in columns	Guardar el modelo actual como tabla de parámetros en formato DAT
Observed data files	guardar el archivo de datos observados teniendo en cuenta la edición realizada (extensión *.ves)

Exportación de datos

El programa ZondIP1D permite exportar datos a formato MS Excel, Auto CAD, así como crear archivos para usar en otros programas Zond. Esta función está disponible en la pestaña File/Export to.

Están disponibles las siguientes opciones de exportación de datos:

<i>Excel report</i>
Crear un archivo que contenga información de reporte para cada estación de sondeo: datos medidos y calculados, coordenadas de la estación de sondeo, modelos de parámetros, etc.
<i>Excel map</i>
Crear un archivo que contenga los nombres de las estaciones, sus coordenadas y los valores de resistividad y posición de la base de cada una de las capas en cada estación de sondeo (útil para construir mapas de distribución areal del parámetro).
<i>SEG-Y file</i>
Exportar el modelo a un archivo en formato Seg-Y.
<i>CAD section</i>
Exportar modelos a archivo del programa AutoCad en formato *.dxf.
<i>Pseudo BH data</i>
Crear un conjunto de archivos correspondientes a las estaciones de sondeo en formato de datos de pozos crt.
<i>MOD1D file</i>
Guardar el modelo en un archivo con extensión *.mod1d para su uso posterior en otros programas



Zond.
<i>Joint_inv file</i>
Crear un archivo de datos para inversión conjunta, que puede ser utilizado por otros programas unidimensionales Zond.

Al seleccionar la opción Export/Pseudo BH data se crea un conjunto de modelos en formato de datos de perfilaje y litología. Estos datos son útiles para usar, por ejemplo, como referencia en la interpretación de otros métodos en programas Zond, o en la interpretación de datos de perfiles adyacentes. En este caso, los datos se cargan como columnas litológicas cuya escala de color corresponde a los valores de resistividad.

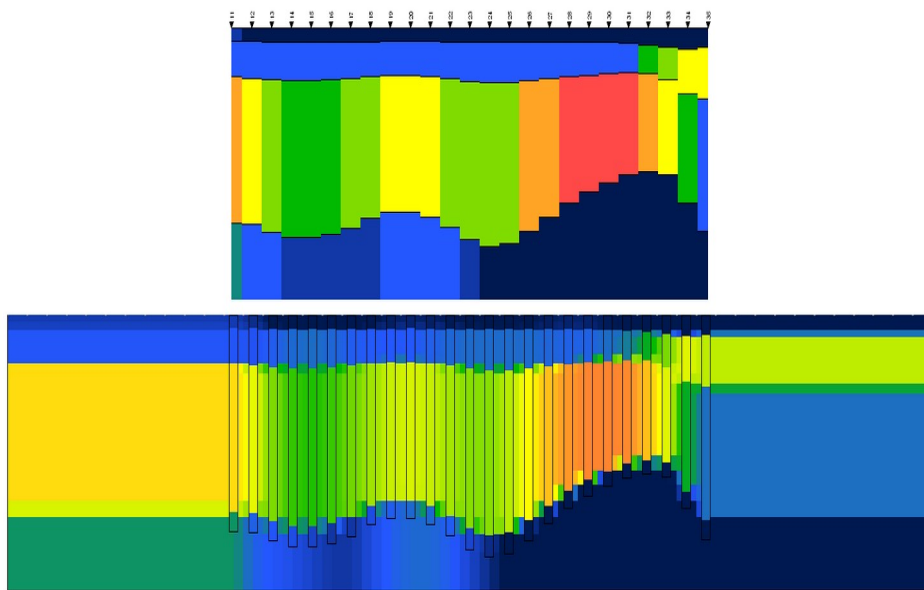


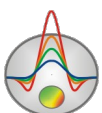
Fig. 5 Ejemplo de uso de modelos guardados mediante la opción Export/Pseudo BH data en otro programa.

Para comparar resultados de diferentes métodos también se puede utilizar la función de exportación MOD1D file. Al usar este archivo en otro programa Zond o para otro perfil en un levantamiento areal, el modelo guardado de esta manera se cargará como un nuevo modelo.

Procedimiento de trabajo con el programa

Ventana principal del programa

Después de crear el archivo de datos «*.zlf» o «*.ves», debe cargarse mediante el botón  o el elemento de menú correspondiente. Al cargar el archivo correctamente, en la barra de herramientas de la ventana principal del programa se activan los botones funcionales para trabajar con los datos, y en la sección derecha de la barra de estado aparece información breve sobre la



primera estación de sondeo (Fig. 6). Al mover el cursor del ratón sobre las ventanas creadas durante el trabajo con el programa, en la sección izquierda de la barra de estado de la ventana principal del programa se muestran las coordenadas correspondientes a los ejes propios de dicha ventana. Al presionar el primer botón del sistema  de la ventana, identificado como "configuración de objetos", se activa un menú contextual que permite acceder al diálogo de configuración para cada uno de los objetos contenidos en la ventana. El procedimiento de edición de objetos se describe detalladamente en las secciones correspondientes (Editor de modelo, Sección, Tabla de parámetros, Pseudosección, Gráficos de perfilaje, Gráfico de curvas teóricas y experimentales).

El segundo botón  y el tercer botón  permiten navegar de una estación de sondeo a otra.

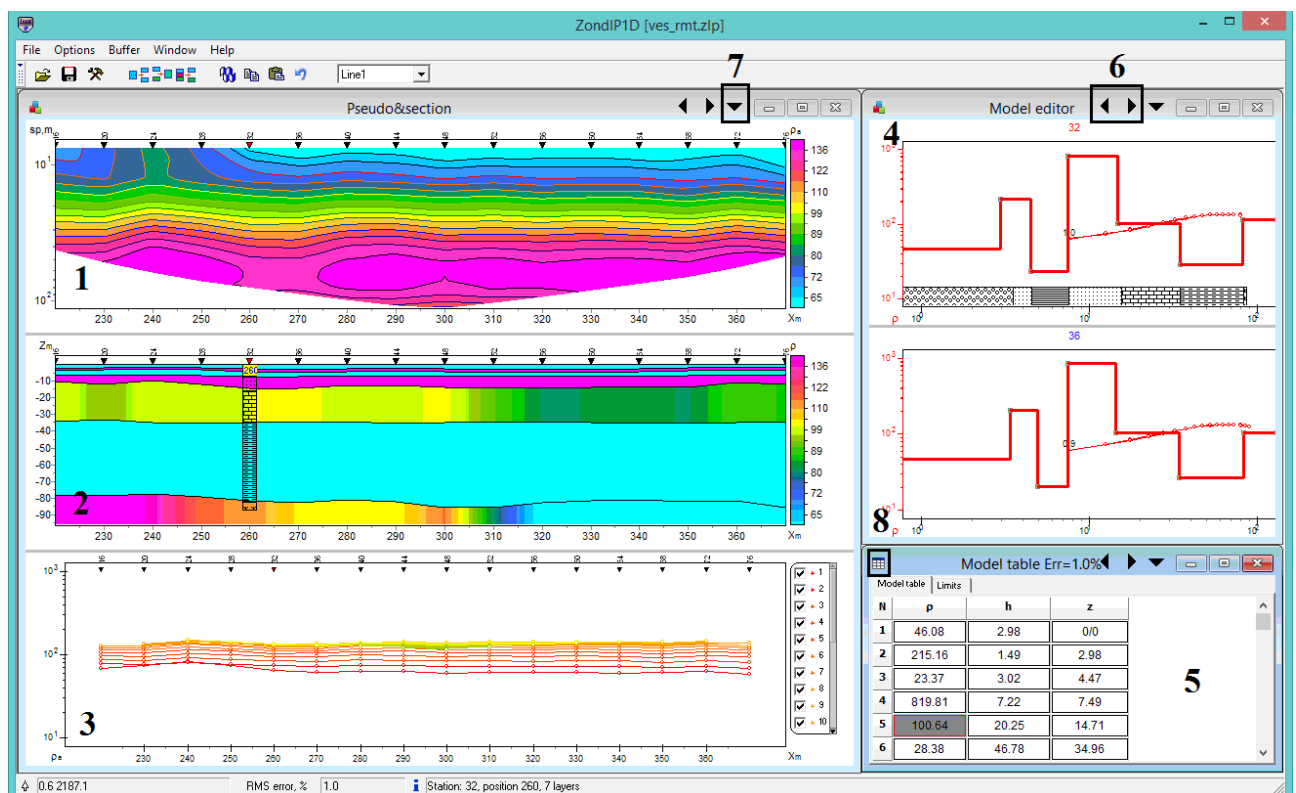
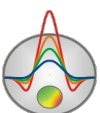


Fig. 6 Ventana principal del programa. Los números indican las siguientes ventanas: 1 – Pseudosección, 2 – Sección, 3 – Gráficos de perfilaje, 4 – Editor de modelo, 5 – Tabla de parámetros; 6 – botones de navegación entre estaciones, 7 – botón de configuración de objetos, 8 – botón de opciones adicionales.

Biblioteca de estilos del programa

Para seleccionar use la pestaña Window del menú de funciones de la ventana principal del programa.

La biblioteca contiene 4 variantes de configuración de objetos.



En el estilo Interpretation (Fig.6) el usuario opera simultáneamente con cuatro ventanas: la primera ventana contiene la pseudosección, sección y gráficos de perfilaje (con posibilidad de elegir el parámetro a mostrar), separados por un divisor móvil; en la segunda ventana se encuentran los gráficos (de uno a tres) de edición del modelo; en la tercera ventana – la tabla de parámetros, en la cuarta – el gráfico de curvas teóricas y experimentales.

En el estilo Standard – no están presentes el gráfico de curvas teóricas y experimentales ni los gráficos de perfilaje.

El estilo Profile no contiene el gráfico de curvas teóricas y experimentales.

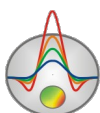
En el estilo User se utiliza una sola ventana en lugar de las dos primeras. El usuario elige qué parámetro mostrará cada uno de los objetos.

Las opciones Tile vertical y Tile horizontal de la pestaña Window permiten cambiar la disposición de las ventanas de trabajo abiertas del programa. La opción Default restablece la configuración de ventanas predeterminada para el estilo de visualización seleccionado.

Barra de herramientas de la ventana principal del programa

La barra de herramientas sirve para invocar rápidamente las funciones más utilizadas en el programa. Contiene los siguientes botones funcionales (de izquierda a derecha):

	Abrir archivo de datos o proyecto.
	Guardar resultado de interpretación o curvas calculadas.
	Abrir el diálogo de configuración de parámetros del programa.
	Agregar capa. La capa seleccionada por el usuario se divide en dos con espesores iguales (en escala logarítmica).
	Combinar dos capas en una con espesor igual al espesor total de ambas.
	Eliminar la capa seleccionada.
	Al presionar el botón derecho del ratón: muestra un menú emergente en el que es necesario elegir para qué estaciones se ejecutará la inversión: current – para la estación actual, to end – desde la estación actual hasta el final del perfil, to start – desde la estación actual hasta el inicio del perfil. Al presionar el botón izquierdo del ratón: ejecutar la inversión en la dirección seleccionada o para la estación actual.
	Guardar en el búfer el modelo en la estación actual.
	El botón derecho del ratón muestra un menú emergente con las siguientes opciones: To end - copiar el modelo del búfer a la estación actual y todas las estaciones siguientes (hasta el final del perfil); To start - copiar el modelo del búfer a la estación actual y todas las estaciones



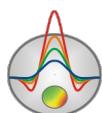
	anteriores (hasta el inicio del perfil); unfixed only – copiar solo los parámetros no fijados.
	Deshacer la última acción en la estación actual.
	Selección de perfil (al trabajar con datos areales).

Menú de funciones de la ventana principal del programa

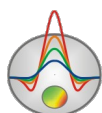
Si es necesario en el proceso de trabajo con el programa invocar ayuda sobre una u otra función del menú, esto se hace presionando el botón derecho del ratón sobre esa opción.

A continuación se enumeran los nombres de los elementos del menú y su función:

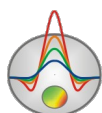
File
File/VES Notepad
Abrir el diálogo de entrada de datos de campo (más detalles).
File/Open data
Abrir archivo de datos de formato «*.zlf» o «*.zlp».
File/Save data
Guardar resultado de interpretación o curvas teóricas.
File/Edit data
Abrir y editar en el editor Notepad el archivo de datos utilizado por el programa.
File/Program setup
Abrir el diálogo de configuración de parámetros del programa (más detalles).
File/Project information
Agregar información sobre el proyecto actual (nombre de la compañía, lugar de realización de los trabajos, nombre del proyecto, equipamiento, operador, información adicional, etc.).
File/Load MOD1D/2D
Cargar archivo de modelo de formato *.mod1d o *.mod2d, guardado previamente en otros programas Zond.
File/Export to
Exportar datos o modelo (más detalles).
File/Print preview
Invocar diálogo de impresión de modelo o datos (más detalles).
File/Русский
Menú del programa en idioma ruso.
File/English
Menú del programa en idioma inglés.



File/Recent
Abrir uno de los proyectos abiertos anteriormente.
File/Exit
Salir del programa.
Options
Options/Set lines/coordinates
Establecer línea de perfil (al trabajar con datos areales) (más detalles).
Options/Plane data
Mostrar plano de isolíneas del parámetro seleccionado. Recomendado para datos areales (más detalles).
Options/3D fence diagram
Invocar diálogo de visualización de modelo volumétrico. Funciona con datos areales (más detalles).
Options/Geological editor
Invocar editor poligonal de la sección, que permite sobreponer fácilmente objetos geológicos sobre los resultados de interpretación geofísica (más detalles).
Options/Boreholes
Options/Boreholes/Create/edit borehole data
Invocar diálogo de creación (o edición) de columnas de información de sondeos (más detalles).
Options/Boreholes/Load borehole data
Cargar datos de sondeos desde archivo de formato especial. Dicho archivo debe haber sido guardado previamente en este u otro programa Zond. De esta manera se facilita el intercambio de información de sondeos entre diferentes proyectos o programas.
Options/Boreholes/Remove borehole data
Eliminar datos de sondeos del proyecto.
Options/Data operations
Options/Data operations/Denoise data
Procedimiento de corrección automática de los datos observados. En esta variante solo se eliminan los picos bruscos en las curvas. Se aplica a todo el perfil. Se recomienda guardar previamente los datos originales (más detalles).
Options/ Data operations/Smooth data
Procedimiento de corrección automática de los datos observados. En esta variante se eliminan los picos bruscos y se realiza un ligero suavizado de las curvas. Se aplica a todo el perfil. Se recomienda guardar previamente los datos originales.
Options/Data operations/2D smoothing



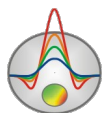
Procedimiento bidimensional de corrección automática de los datos observados. A diferencia de las variantes anteriores, en el análisis se utilizan las características de las curvas de sondeos adyacentes. Es posible suprimir efectos P/C. El procedimiento se aplica a todo el perfil. Se recomienda guardar previamente los datos originales.
Options/ <i>Invert&Apriori</i>
Options/ Invert&Apriori/Set boundaries
Llama un diálogo auxiliar para incorporar un conjunto de límites a priori en la sección. Si se dispone de información precisa sobre la geometría de los horizontes geoelectricos, se pueden introducir con el ratón. Al utilizar límites a priori se recomiendan las siguientes configuraciones: smooth inversion, m0=median (más detalles).
Options/ Invert&Apriori/ <i>Load boundaries</i>
Construir un modelo basado en límites a priori desde un archivo de texto.
Options/ Invert&Apriori/ <i>Smooth model</i>
Suavizar el modelo actual en direcciones horizontal y vertical.
Options/ Invert&Apriori/ <i>Global search</i>
Procedimiento de búsqueda del mínimo global de la solución. Para ejecutar con éxito este procedimiento se deben establecer límites generales e individuales de variación de los parámetros. El procedimiento no garantiza alcanzar el mínimo global real de la solución y el éxito de su aplicación depende de los límites de variación de parámetros correctamente establecidos.
Options/ <i>BiLog scale 1:1</i>
Establece escala bilogarítmica para los gráficos que muestran curvas individuales de sondeo.
Options/ <i>MT Data</i>
Subsección de menú para interpretación conjunta de datos MT (AMT, RMT) y SEV (más detalles).
<i>Buffer</i>
Buffer/ <i>Model 1,2...5</i>
Escribir o cargar en(desde) el búfer de intercambio el modelo.
Buffer/ <i>Open</i>
Abrir en una ventana todos los modelos guardados en el búfer para la estación actual (más detalles).
<i>Window</i>
Window/ <i>Tile vertical</i>
Organización vertical de ventanas.
Window/ <i>Tile horizontal</i>
Organización horizontal de ventanas.



Window/ Zond “Standard”
Carga del estilo "Standard".
Window/ Zond “Profile”
Carga del estilo "Profile".
Window/ Zond “User”
Carga del estilo "User ".
Window/ Zond “Interpretation”
Carga del estilo "Interpretation.
Window/ Default
Establecer parámetros de ventanas por defecto para el estilo actual.
Help
Help/ About
Acerca del programa.
Help/ Context
Cargar archivo de ayuda.
Help/ Check for updates
Comprobar actualizaciones en el sitio www.zond-geo.com .
Help/ Error! Clear setting
Reiniciar el programa al producirse un error y limpiar todas las configuraciones.
Help/ Bing maps api_key
Si la carga automática del mapa desde internet no funciona, entonces el api-key actual del programa ha superado el límite permitido de solicitudes. Recomendamos crear un api-key propio en la cuenta de Bing e introducirlo en el campo de entrada de esta opción.
Help/ Show news
Mostrar anuncios de noticias de Zond Software.
Help/ Send message to us
Enviar mensaje a los desarrolladores. El mensaje debe estar escrito en transliteración.

Teclas de acceso rápido

[Space]	Llamar el procedimiento de ajuste automático del modelo para esta estación
[S]	Agregar capa. La capa seleccionada por el usuario se divide en dos con espesores iguales (en escala logarítmica).
[M]	Combinar dos capas en una con espesor igual al espesor total de ambas.



[D]	Eliminar la capa seleccionada.
->	Desplazarse a la siguiente estación
<-	Desplazarse a la estación anterior
[Escape]	Interrumpir el proceso de ajuste automático.

Ventana de propiedades del programa

La ventana permite configurar las opciones de guardado automático del proyecto, del modelo inicial, valores por defecto y parámetros de inversión; se invoca mediante el botón  de la barra de herramientas o su correspondiente elemento de menú (File/Program setup).

Pestaña Options

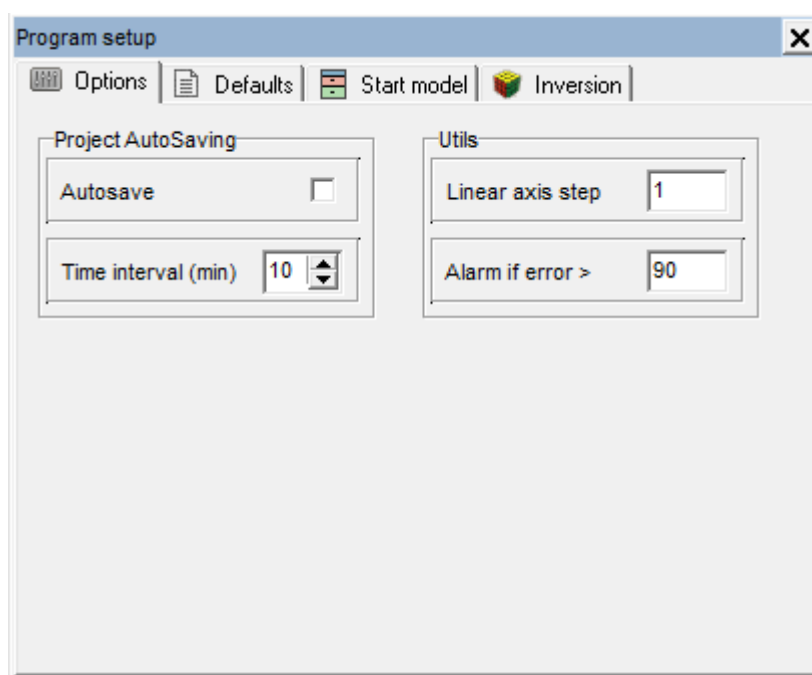


Fig. 7 Ventana Program Setup, pestaña Options

Área Project AutoSaving – establece el modo de guardado automático del proyecto abierto.

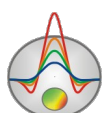
Opción Autosave – activa el modo de guardado automático del proyecto abierto en un intervalo de tiempo especificado.

Campo Time interval – establece el intervalo de tiempo en minutos tras el cual se produce el guardado automático del proyecto (los datos se guardan en un archivo cuyo nombre se compone del nombre del archivo abierto, añadiendo 'Temp').

Área Utils – configura parámetros adicionales.

Campo Linear axis step – establece el paso deseado para la división del eje lineal. Esta opción se utiliza para cambiar la escala de la imagen.

Campo Alarm if error > – invoca el cuadro de diálogo de confirmación de inversión de perfil si el error en la estación actual excede el valor especificado en el campo.



Pestaña Defaults

Esta pestaña está destinada a especificar diversos parámetros utilizados al trabajar con el modelo. Las filas corresponden al tipo de parámetros de las capas (propiedades y espesor), las columnas a las opciones (Fig. 8).

Primera columna [Value] – valor por defecto (utilizado al especificar el modelo inicial).

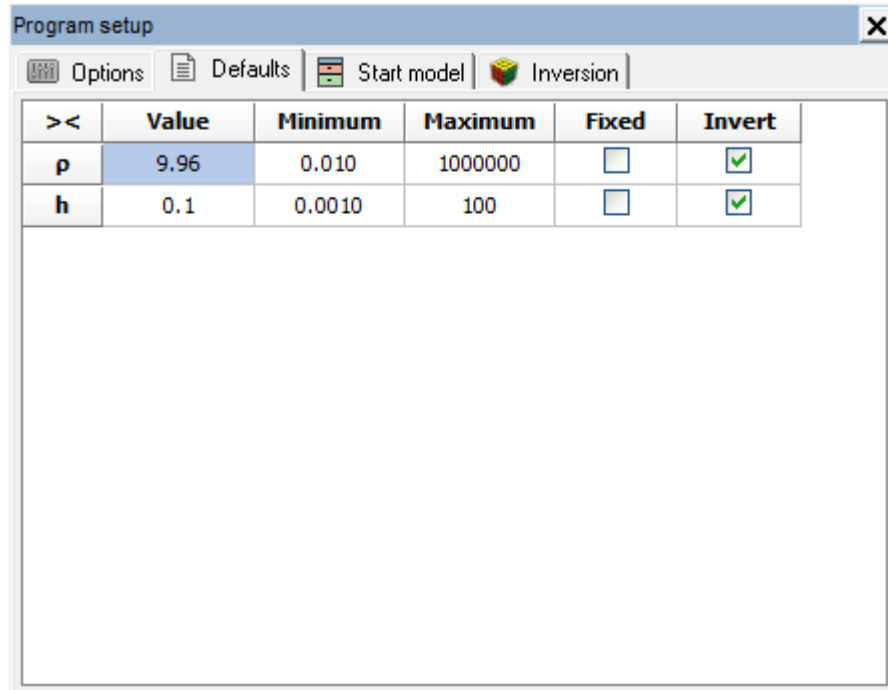


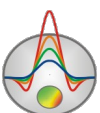
Fig. 8 Ventana Program Setup, pestaña Defaults

Segunda columna [Minimum] – valor del límite inferior de cambio del parámetro por defecto (utilizado al fijar parámetros). Se utiliza en Global search si no se han especificado límites individuales.

Tercera columna [Maximum] – valor del límite superior de cambio del parámetro por defecto (utilizado al fijar parámetros). Se utiliza en Global search si no se han especificado límites individuales.

Cuarta columna [Fixed] – determina si el parámetro de este tipo debe fijarse después de leer el archivo de datos de campo. La opción no tiene efecto al cargar un archivo de proyecto.

Quinta columna [Invert] – determina si el parámetro de este tipo debe corregirse durante el ajuste automático.



Pestaña Start model

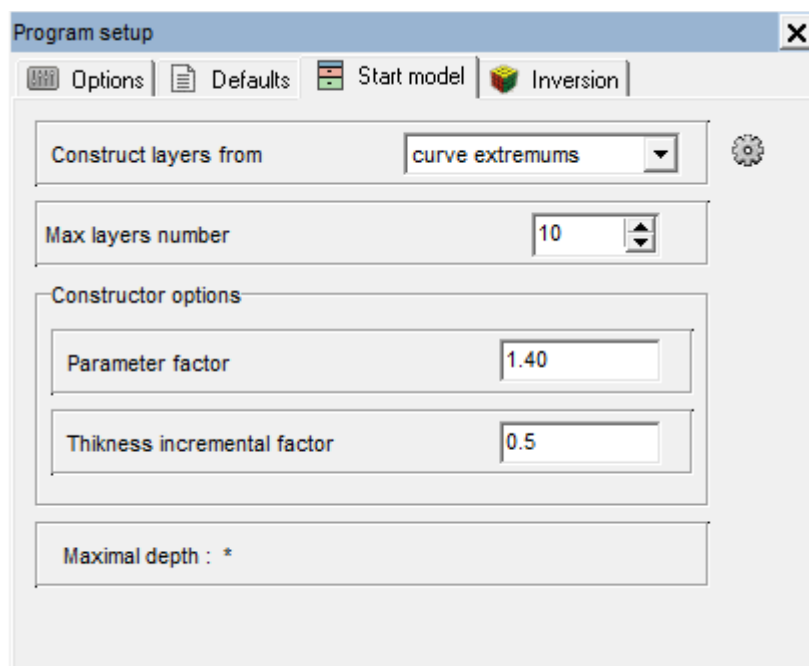


Fig. 9 Ventana Program Setup, pestaña Start model.

La pestaña sirve como constructor del modelo inicial para todas las estaciones del perfil.

Campo Construct layers from – establece el algoritmo por el cual se determinarán las posiciones de los límites de las capas.

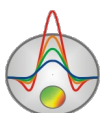
Valor curve extremums – las posiciones de los límites se determinan a partir de las curvas de campo (análisis de extremos). El número máximo de capas se especifica en el campo Layers number.

Valor incremental factor – al especificar los espesores de las capas se utilizan valores por defecto. El espesor de cada capa subsiguiente es igual al espesor de la anterior multiplicado por Thickness incremental factor. El número de capas se especifica en el campo layers number.

Área Constructor options - contiene opciones destinadas a especificar los parámetros iniciales del modelo.

Campo Parameter factor – establece el coeficiente por el cual se multiplicarán los máximos y se dividirán los mínimos de los parámetros del modelo (límites 1 - 4). El coeficiente aumenta el contraste del modelo inicial, lo cual es especialmente importante si las curvas no tienen asíntotas.

Campo Thickness incremental factor – establece el coeficiente por el cual se multiplicarán los espesores de las capas (límites 0.2 - 1) o el coeficiente de aumento del espesor de cada capa subsiguiente en el modo incremental factor (límites 1 – 4).



Valor Maximal depth – muestra la profundidad máxima para los parámetros actuales de división del constructor del modelo.

Después de establecer los parámetros del modelo inicial, se pueden aplicar al proyecto actual sin cerrar la ventana de configuración de parámetros del programa, presionando el botón .

Pestaña Inversion

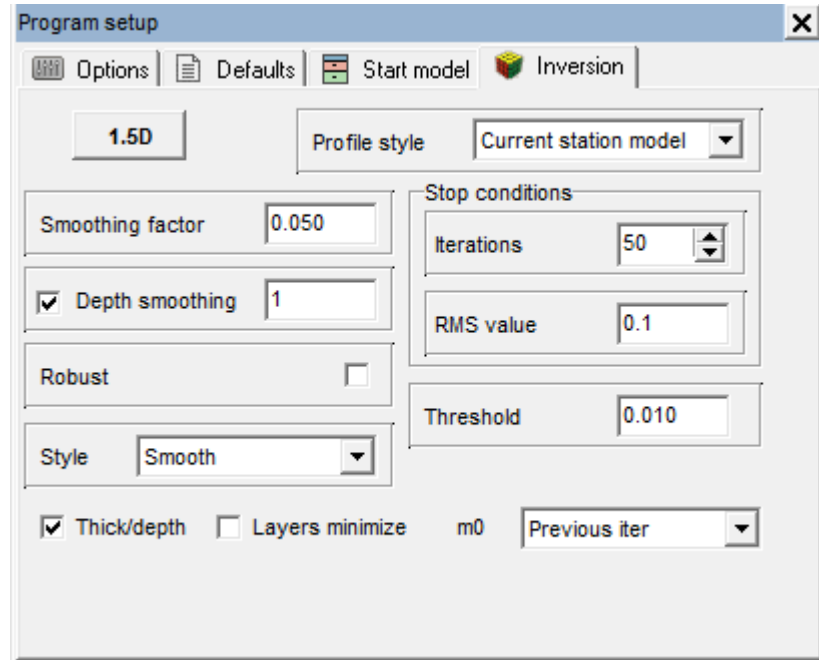


Fig. 10 Ventana Program Setup, pestaña Inversion.

Campo Profile style – determina el estilo de ajuste automático durante la interpretación de perfil.

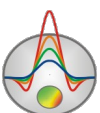
Valor Current station model – como modelo inicial durante el ajuste se utiliza el modelo en la estación actual.

Valor Start station model – como modelo inicial durante el ajuste se utiliza el modelo de la estación desde la cual comenzó la interpretación.

Valor Previous station model – como modelo inicial durante el ajuste se utiliza el modelo de la estación anterior.

Campo Smoothing factor: establece el valor inicial del parámetro de suavizado. El valor de este parámetro depende de muchos factores: el número de condición del jacobiano, la relación señal-ruido en los valores medidos, la cantidad de parámetros del modelo a determinar, y se elige empíricamente. Para datos con alto nivel de ruido o para obtener una distribución más suave se eligen valores relativamente grandes del parámetro de suavizado: 0.05 - 10; con alta calidad de mediciones se utilizan valores: 0.005 - 0.01.

A continuación (Fig. 11) se muestran los modelos obtenidos para tres valores del parámetro de suavizado (0.01 –azul, 0.1 – rojo, 1 - negro).



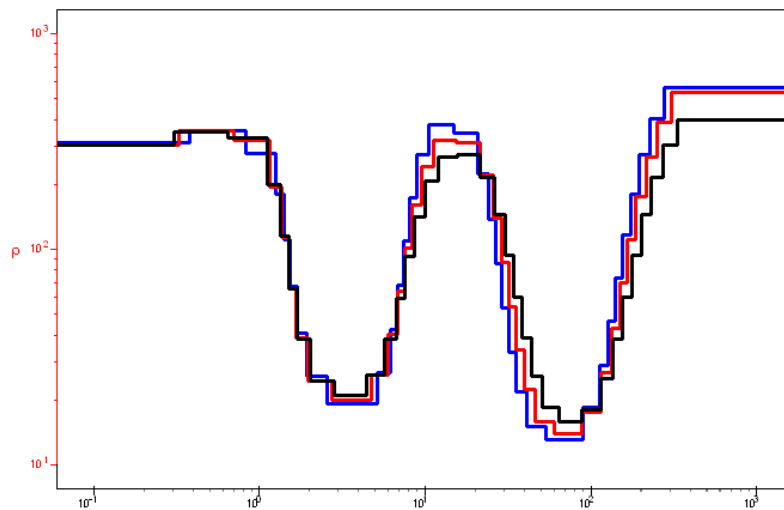


Fig. 11 Modelos para diferentes valores del parámetro de suavizado Smoothing factor (0.01 –azul, 0.05 – rojo, 0.1 - negro)

Área Stop conditions: contiene las condiciones de finalización del ajuste automático en la estación.

Campo de entrada Iterations: establece el número máximo de iteraciones, al alcanzar el cual se detiene el proceso de interpretación automática.

Campo RMS value: establece el error de ajuste mínimo, al alcanzar el cual se detiene el proceso de interpretación automática.

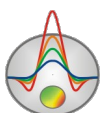
Opción Depth smoothing: determina el grado de suavizado del modelo con la profundidad (si la opción está activada). Cuanto mayor sea el valor del parámetro (1 - 10), más se promedian los parámetros de capas adyacentes de la parte profunda del modelo. Se utiliza si en la lista de tipo de inversión Style se ha seleccionado el valor Smooth o Focused ante fuerte oscilación del modelo con la profundidad.

Opción Robust: esta opción debe activarse si en los datos están presentes valores atípicos fuertes individuales, relacionados con errores sistemáticos de medición.

Opción Style: tipo de procedimiento de recuperación de parámetros de la sección.

Valor Standard: inversión por el método de mínimos cuadrados con regularización mediante parámetro de amortiguamiento. El algoritmo permite obtener un modelo del medio con límites abruptos. El uso descuidado de esta modificación de inversión, a veces puede llevar a obtener resultados inestables o a un aumento de la desviación cuadrática media. Es mejor aplicar este método como de refinamiento, después de realizar la inversión mediante el algoritmo Smooth.

Valor Smooth: inversión por el método de mínimos cuadrados con uso de operador de suavizado y minimización adicional del contraste. Como resultado de la aplicación de este algoritmo se obtiene la distribución más suave de parámetros. Se recomienda utilizar este tipo de inversión en las etapas iniciales de interpretación. Al mismo tiempo, el número de capas en el



modelo debe superar significativamente el número de capas del modelo real. Es deseable que el número de capas supere 10, y que sus espesores estén fijados.

Valor Focused: inversión por el método de mínimos cuadrados con uso de operador de suavizado y focalización adicional del contraste. Como resultado de la aplicación de este algoritmo se obtiene una distribución de parámetros suave por tramos, es decir, un modelo formado por capas que tienen resistividad constante. Se recomienda utilizar este tipo de inversión en las etapas iniciales de interpretación. Al mismo tiempo, el número de capas en el modelo debe superar significativamente el número de capas del modelo real. Es deseable que el número de capas supere 10, y que sus espesores estén fijados.

El uso descuidado de parámetros de inversión focalizadora puede llevar a la divergencia del algoritmo y a la obtención de modelos inestables.

En la Fig. 12 se muestran los modelos obtenidos mediante tres algoritmos de inversión (estándar – negro, focalizadora – azul, suave - rojo).

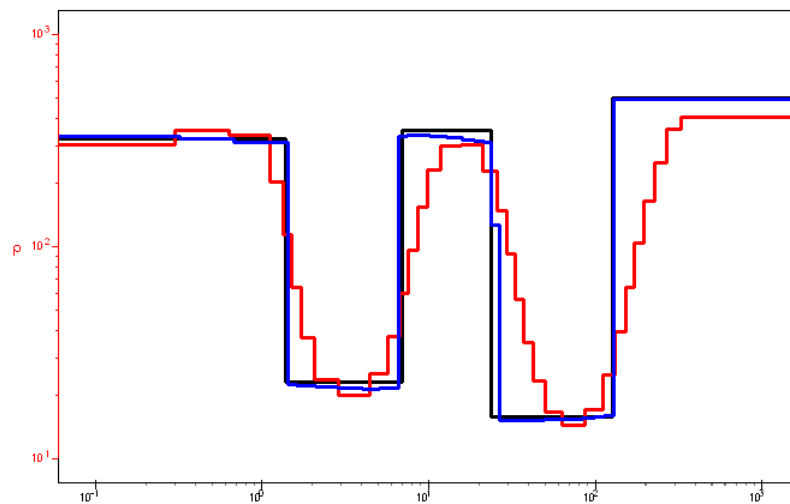
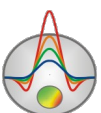


Fig. 12 Modelos obtenidos usando diferentes algoritmos de inversión (Standard – negro, Focused – azul, Smooth - rojo)

La opción Threshold – establece el valor máximo de contraste entre capas adyacentes, al alcanzarlo, los parámetros de estas capas no se promedian entre sí (es decir, se considera que existe un límite entre las capas). Los valores de este parámetro se eligen empíricamente (0.001-1). La elección de un valor muy pequeño del parámetro puede llevar a la divergencia del algoritmo (en tal caso se debe aumentar su valor). Valores demasiado grandes del parámetro conducen a obtener una distribución suave.

En la Fig. 13 se muestran los modelos obtenidos para dos valores del parámetro Threshold (0.01 – negro, 0.1 – rojo).



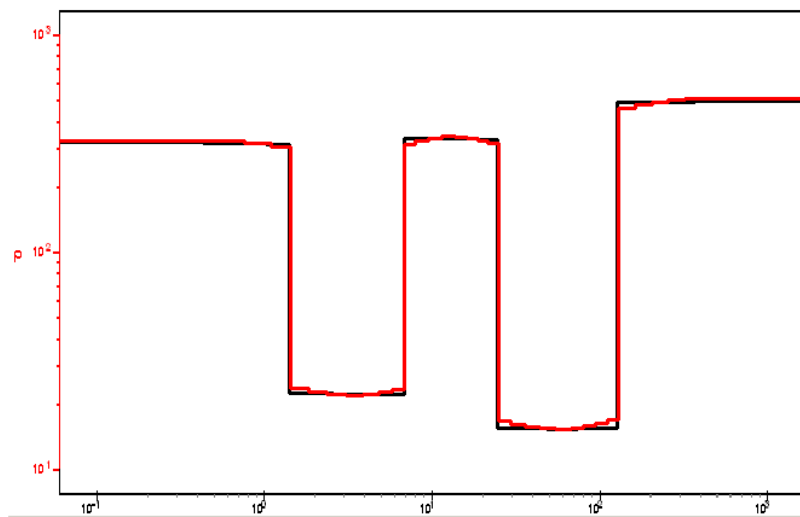


Fig. 13 Modelos obtenidos para dos valores del parámetro de contraste Threshold (0.01 –negro, 0.1 – rojo)

La opción Thick/depth activa el modo de ajuste de espesor (si esta opción está activa) o de profundidad (si está inactiva). El ajuste de profundidad es útil en el caso en que las profundidades de los límites sean conocidas y estén fijas. En la inversión de perfil de datos con ajuste por profundidad se recomienda establecer previamente los límites de profundidades "por defecto".

La opción Layers minimize activa el modo de minimización del número de capas. Se utiliza en combinación con una sección multicapa y la inversión focalizada. Algoritmo de minimización del número de capas. Se elige un modelo multicapa (10-15 capas) y la inversión focalizada (smoothing factor~0.1). Durante la inversión, las capas cercanas por parámetro se combinan y el proceso continúa, pero ya con menor cantidad de capas.

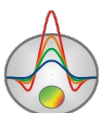
El campo m0 – esta opción tiene una influencia significativa en los resultados de la inversión y determina la variante de suavizado que se minimizará durante la inversión.

m0 define el modelo de referencia, y smoothing factor el grado de proximidad a él.

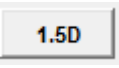
El valor Median model – m0=median model (modelo de referencia mediana del modelo actual) se utiliza para obtener el modelo de medio más suave, en la inversión multicapa. También esta variante debe utilizarse en la inversión focalizada o en presencia de límites a priori introducidos. El grado de suavizado se determina por el valor del campo smoothing factor.

El valor Start model – m0=start model (modelo de referencia - modelo en la primera iteración, inicial) se utiliza en presencia de un modelo geoelectrico a priori del perfil, si es necesario que la desviación del modelo final respecto al inicial no sea demasiado fuerte. Se utiliza frecuentemente en la inversión multinivel, cuando después de cada ciclo el modelo se suaviza (por ejemplo, horizontalmente) y se realiza un nuevo ciclo de refinamiento. El grado de proximidad al modelo inicial se determina por el valor del campo smoothing factor.

El valor Previous iter - m0=previous model (modelo de referencia - modelo en la iteración previa) se utiliza para obtener modelos con el mejor error de ajuste en la inversión multicapa. En



esta variante el suavizado no se minimiza, pero el operador contribuye a un proceso de convergencia más estable. La velocidad de convergencia se determina por el valor del campo smoothing factor.

El botón  invoca el diálogo de configuración del algoritmo especial de inversión de datos de perfil.

Al trabajar con este algoritmo, el modelo del medio se representa mediante una sección horizontal-estratificada o subhorizontal-estratificada (con límites que cambian suavemente) en la parte inferior. La parte superior de la sección puede variar significativamente de punto a punto (Fig. 14). Al resolver el problema inverso, se utilizan varios sondeos adyacentes que tienen una parte inferior común y una parte superior variable. El ajuste se realiza simultáneamente para todas las curvas en la ventana, otorgando mayor peso al punto central al calcular el error de ajuste (Fig. 15).

ρ_5	ρ_1	ρ_6
ρ_2		
ρ_3		
ρ_4		

Fig. 14 **Modelo del medio en la inversión 1.5D**

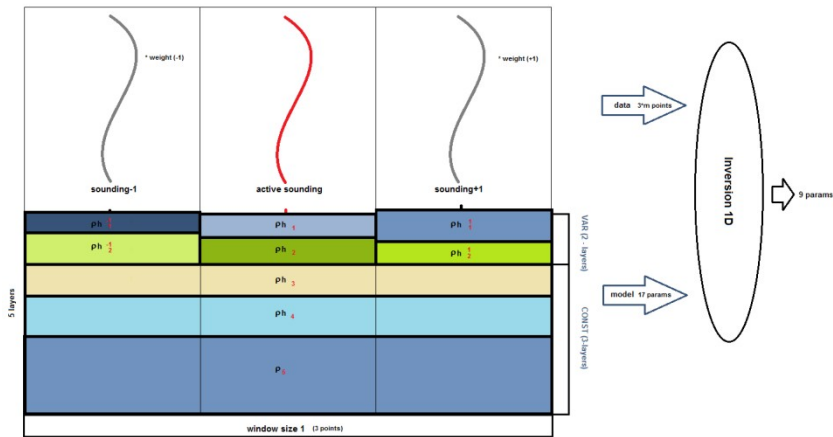
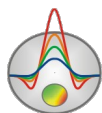


Fig. 15 **Esquema de la inversión 1.5D**



Para combatir el efecto-P, a cada curva de la ventana se le asigna un parámetro adicional: el desplazamiento. Este parámetro se minimiza para todas las curvas durante el ajuste, reduciendo así significativamente la influencia del efecto-P.

El algoritmo propuesto se diferencia de la inversión estándar por parámetros adicionales y la construcción del operador de suavizado. Los parámetros que modelan el efecto-P tienen menor peso en comparación con los demás. Las características principales del algoritmo se presentan a continuación.

El ajuste se realiza simultáneamente para varias curvas adyacentes - "en ventana", otorgando mayor peso al punto central al calcular el error de ajuste.

El efecto-P de cada curva se ajusta durante el proceso de inversión.

A cada curva corresponde un modelo propio con parte inferior común y parte superior variable.

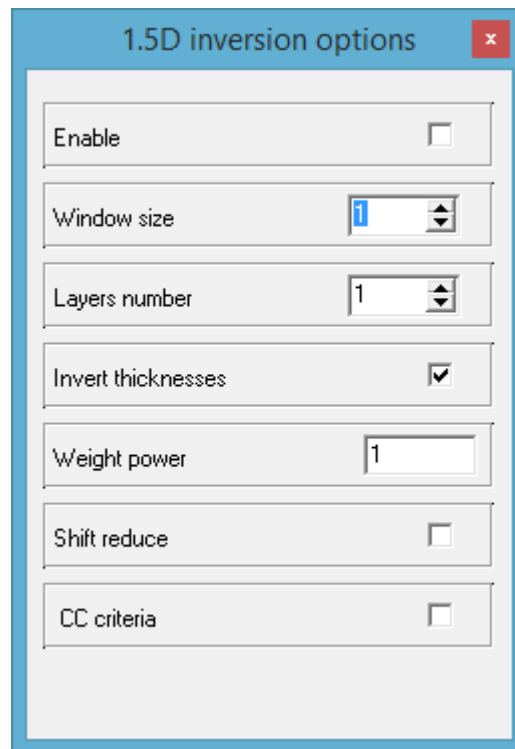


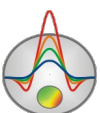
Fig. 16 Ventana de parámetros de la inversión 1.5D.

La opción Enable activa este algoritmo.

La opción Window size determina el tamaño de la ventana para la cual se aplica el algoritmo. El valor 1 significa 3 sondeos, 2 significa 5 sondeos en la ventana.

La opción Layers number establece el número de capas que modelan la parte superior (heterogénea) de la sección.

La opción Invert thicknesses indica si se ajustarán los espesores de las primeras capas que modelan la parte superior (heterogénea) de la sección.



La opción Weight power establece el coeficiente de reducción del peso de las curvas en función del grado de alejamiento de la curva central de la ventana (0 - todas las curvas de la ventana tienen el mismo peso).

La opción Shift reduce indica si se considerará el efecto-P durante la inversión.

La opción CC criteria - utiliza el criterio de correlación común de estaciones vecinas.

En la Fig. 17 se presentan los resultados del trabajo del algoritmo (A) en comparación con los resultados obtenidos mediante la metodología estándar (B).

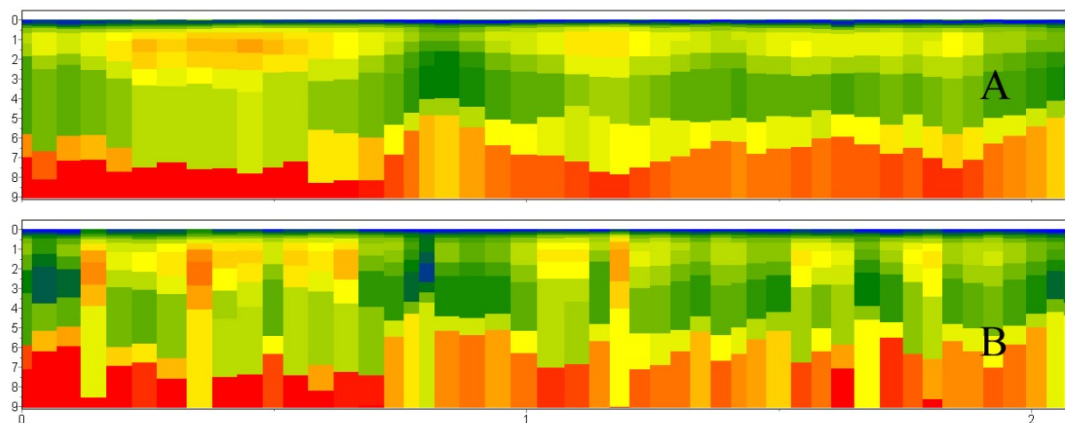


Fig. 17 Comparación de resultados de la inversión 1D estándar (B) y aplicación del algoritmo de inversión 1.5D (A).

Interpretación de datos de campo

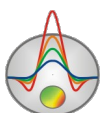
El programa ZondIP1D permite resolver los problemas directo e inverso unidimensionales de SEV. El programa realiza el ajuste automático de parámetros y espesores de capas. Existe la posibilidad de fijar parámetros y establecer límites a sus variaciones, así como determinar la significancia (pesos) de mediciones individuales.

El problema directo se resuelve mediante el método de filtración lineal (para SEV con corriente alterna, DMV y MT - con solución del problema electromagnético completo). El problema inverso se resuelve mediante el método regularizado de Gauss-Newton con ajuste del parámetro de regularización en cada iteración (ver con más detalle la sección «Fundamentos físicos y algoritmos»).

El modo de interpretación se vuelve disponible después de leer los datos del(los) archivo(s).

Ajuste automático de parámetros del modelo

Se aplica para el ajuste rápido del modelo de uno o todos los puntos del perfil. El ajuste automático se realiza minimizando la desviación cuadrática media entre la curva calculada y de campo mediante el método de Newton. Haga clic con el botón derecho del ratón sobre el botón





en la barra de herramientas. Se mostrará un menú emergente en el que es necesario seleccionar para qué puntos se realizará la inversión: current – para el punto actual, to end – desde el punto actual hasta el final, to start – desde el punto actual hasta el inicio del perfil. Después de seleccionar la variante, presione el botón  con el botón izquierdo del ratón.

En la barra de estado se muestra información sobre el error de ajuste relativo actual entre la curva calculada y la curva de campo. El ajuste finaliza al alcanzar el error de ajuste relativo especificado entre la curva calculada y la curva de campo o al alcanzar el número especificado de iteraciones.

El ajuste automático proporciona una solución no única, ya que las curvas calculadas pueden ser idénticas para varios modelos. Por lo tanto, durante el ajuste automático al definir el modelo inicial, es necesario tener en cuenta la información a priori sobre la sección geoelectrica. Si existe información a priori confiable sobre la sección geoelectrica estudiada, es conveniente fijar los parámetros conocidos o limitar el rango de su variación en el modelo inicial.

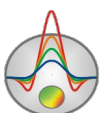
Objetos del programa

La interpretación interactiva se realiza en los objetos: Editor de modelo, Sección, Tabla de parámetros, visualización en los objetos: Pseudosección, Gráficos de perfilado, Gráfico de curvas teóricas y experimentales, que aparecen automáticamente después de cargar los datos.

Editor de modelo (Model editor)

Está destinado a la visualización de curvas de sondeo de campo y calculadas, así como la visualización y edición de la curva de parámetros del modelo calculado.

La Fig. 18 muestra la ventana del editor de modelo. Las curvas roja y azul con círculos rellenos son las curvas experimentales de resistividad aparente (eje izquierdo rojo) y cargabilidad (eje derecho azul) en función de la separación en metros (eje horizontal inferior). El modelo se muestra como una línea escalonada roja continua.



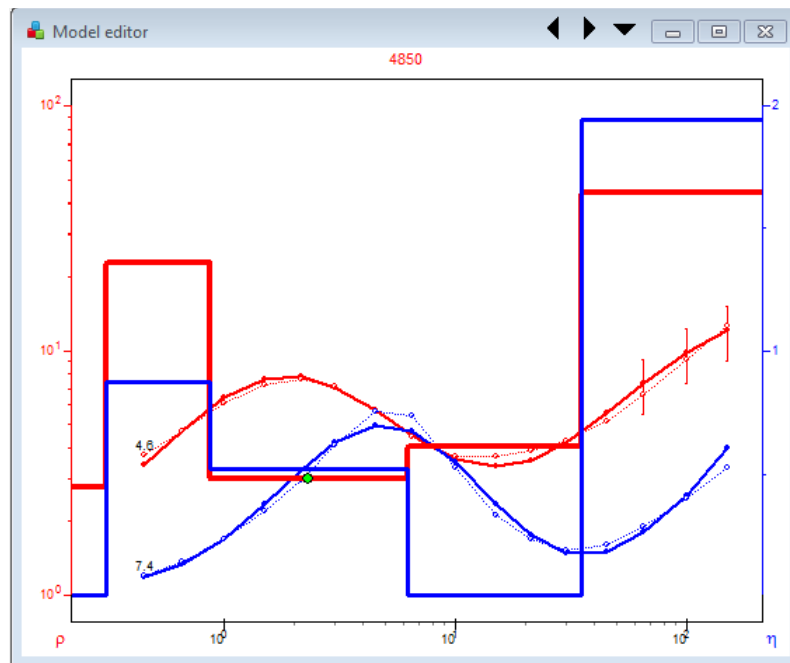


Fig. 18 **Ventana del editor de modelo**

Los parámetros gráficos de los gráficos observados, calculados y del modelo pueden establecerse en el diálogo de configuración del gráfico (clic derecho+[SHIFT] sobre el gráfico). Los parámetros del eje pueden establecerse en la configuración del eje (clic derecho+[SHIFT] sobre el eje).

La ventana puede contener uno, dos o tres gráficos similares, que permiten editar el modelo en tres estaciones adyacentes.

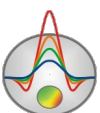
Los parámetros del modelo se editan con el ratón. Para cambiar los parámetros del modelo es necesario colocar el cursor sobre la curva del modelo (el cursor debe cambiar de forma a $\updownarrow\leftrightarrow$) y presionar el botón izquierdo del ratón, después de lo cual arrastrar el segmento seleccionado de la curva del modelo con el botón del ratón presionado. El círculo verde en la curva del modelo muestra la capa activada.

El cambio de posición de los segmentos verticales de las curvas corresponde al cambio en la geometría del modelo (es decir, espesores [botón derecho] y profundidades de los bordes superiores de las capas [botón izquierdo]).

El cambio de posición de los segmentos horizontales de las curvas del modelo corresponde al cambio en los parámetros de las capas del modelo.

Un clic con el botón derecho del ratón sobre los puntos de las curvas observadas invoca un menú contextual que permite asignar pesos a los datos observados:

Good point	Asignar peso 1 al punto seleccionado.
Bad point	Asignar peso 0.5 al punto seleccionado.
Very bad point	Asignar peso 0 al punto seleccionado.
Good points >>	Asignar peso 1 al punto seleccionado y a todos los puntos a su

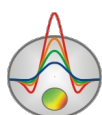


	derecha.
Bad points >>	Asignar peso 0.5 al punto seleccionado y a todos los puntos a su derecha.
Very bad points >>	Asignar peso 0 al punto seleccionado y a todos los puntos a su derecha.
Good points <<	Asignar peso 1 al punto seleccionado y a todos los puntos a su izquierda.
Bad points <<	Asignar peso 0.5 al punto seleccionado y a todos los puntos a su izquierda.
Very bad points <<	Asignar peso 0 al punto seleccionado y a todos los puntos a su izquierda.
Delete point	Eliminar punto.
Delete point>>	Eliminar punto y todos los puntos a su derecha.
Delete point<<	Eliminar punto y todos los puntos a su izquierda.

Un clic con el botón derecho del ratón en el área del objeto invoca un menú contextual con las siguientes opciones:

Print preview	Abrir el diálogo de impresión del gráfico.
Display legend	Mostrar u ocultar la leyenda de los gráficos.
Setup	Abrir el diálogo de configuración de parámetros del objeto.
Left axis Resistivity	Mostrar resistividad aparente para el eje izquierdo.
Left axis Polarizability	Mostrar cargabilidad aparente para el eje izquierdo.
Right axis Resistivity	Mostrar resistividad aparente para el eje derecho.
Right axis Polarizability	Mostrar cargabilidad aparente para el eje derecho.

La opción Setup abre el diálogo de configuración de parámetros de curvas (Fig. 19).



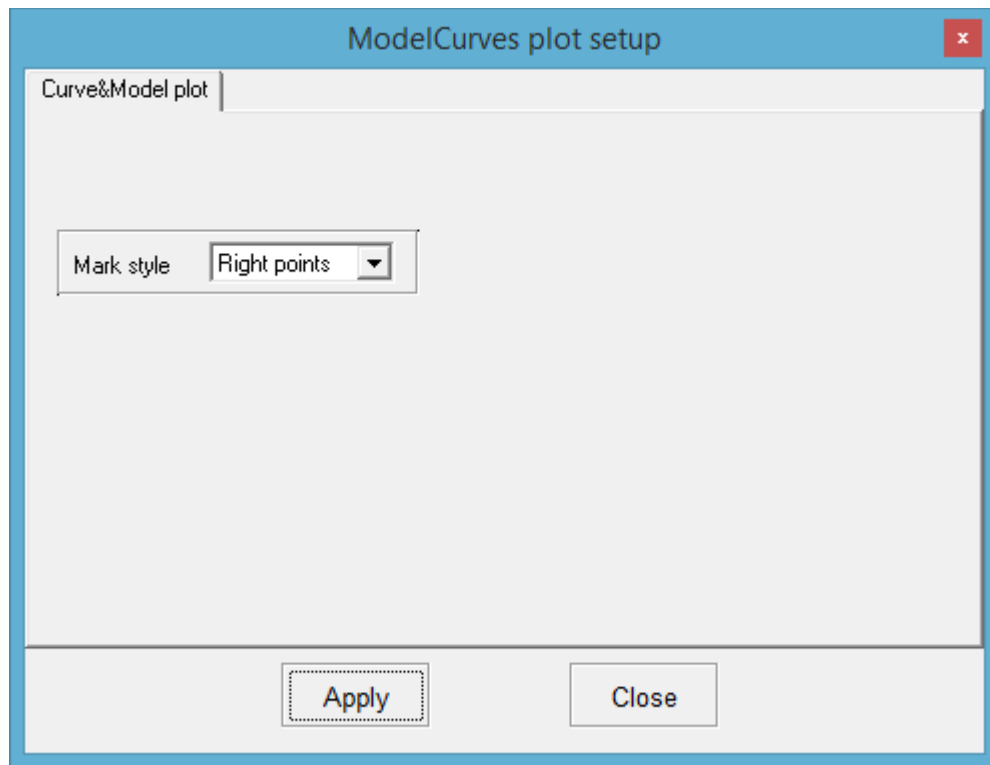


Fig. 19 **Diálogo de configuración de parámetros de curvas.**

El campo Mark Style – define cómo dibujar las etiquetas de los gráficos.

Valor Left points – a la izquierda de los gráficos.

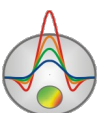
Valor All points – de punto a punto.

Valor Right points – a la derecha de los gráficos.

Valor None – no dibujar etiquetas en los gráficos.

Gráfico de curvas teóricas y experimentales (Data Editor)

Se muestra al seleccionar el estilo Interpretation (pestaña Window). La ventana puede contener uno, dos o tres bloques similares – gráficos. Por defecto, las curvas rojas usualmente corresponden al eje izquierdo, las azules – al derecho. Si el programa utiliza un solo tipo de mediciones, el eje derecho está ausente.



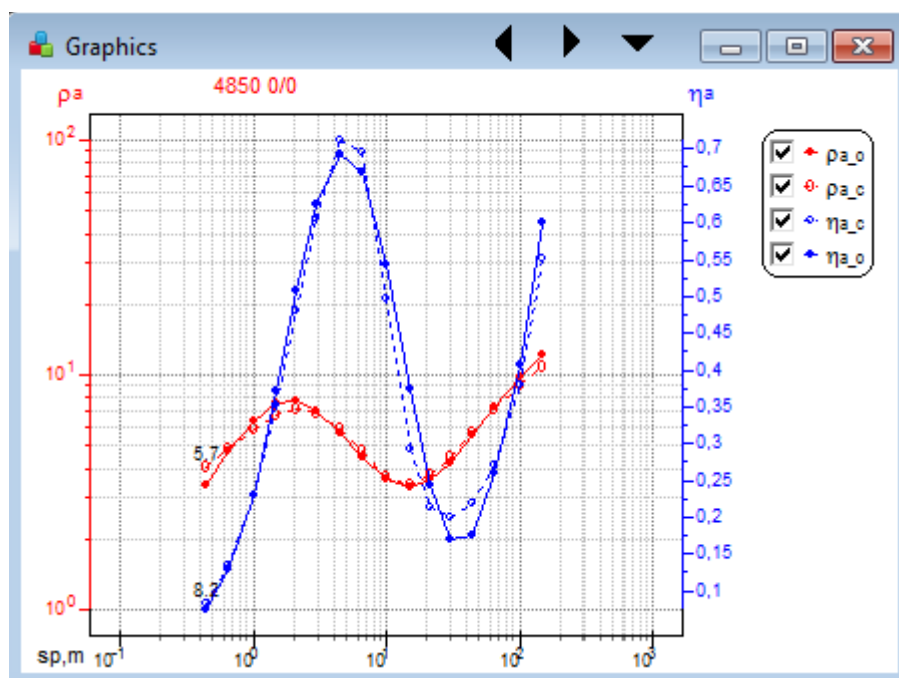
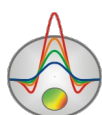


Fig. 20 Gráfico de curvas teóricas y experimentales.

Un doble clic del ratón en el área del objeto abre el menú contextual con las siguientes opciones:

Print preview	Abrir el diálogo de impresión del gráfico.
Display weights	Mostrar u ocultar los pesos de los puntos en los gráficos
Display legend	Mostrar u ocultar la leyenda de los gráficos.
Setup	Abrir el diálogo de configuración de parámetros del objeto.

La opción Setup abre el diálogo de configuración de parámetros de curvas (Fig. 21)



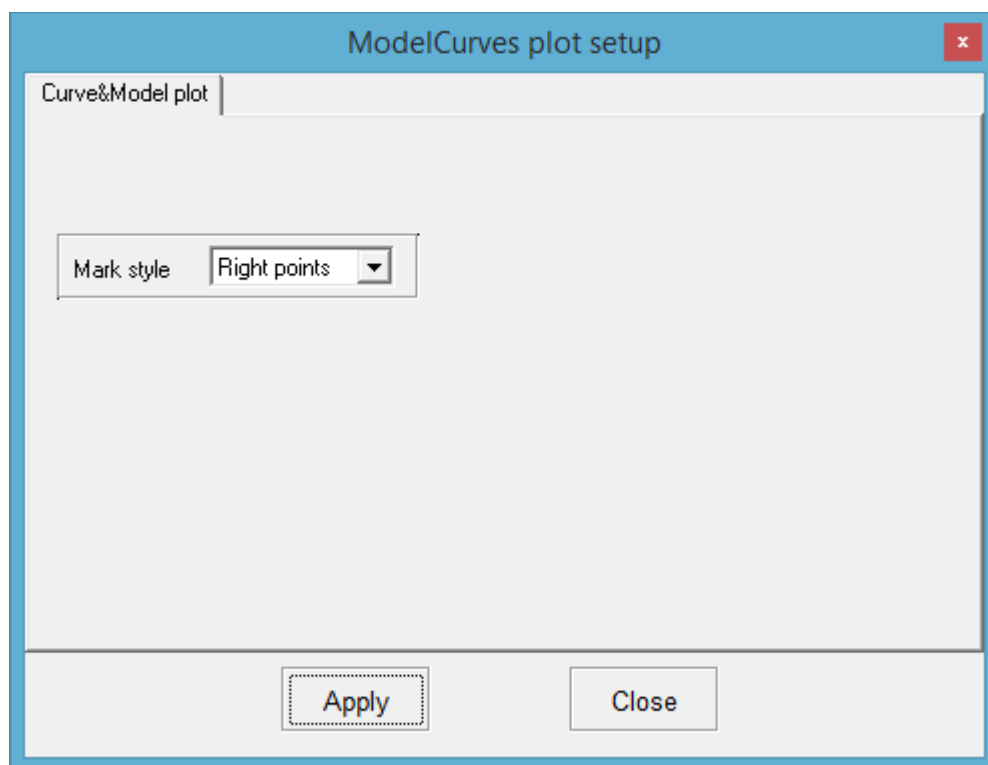


Fig. 21 **Diálogo de configuración de parámetros de curvas.**

El campo Mark Style – define cómo dibujar las etiquetas de los gráficos.

Valor Left points – a la izquierda de los gráficos.

Valor All points – de punto a punto.

Valor Right points – a la derecha de los gráficos.

Valor None – no dibujar etiquetas en los gráficos.

El menú contextual adicional se abre presionando el botón Options .

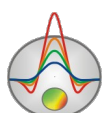
La opción Change orientation permite cambiar el orden de disposición de los gráficos de sondeo para estaciones vecinas: de arriba hacia abajo o de izquierda a derecha.

La opción MultiCurves Plot Setup (ver Fig. 21) abre el diálogo de configuración de parámetros de curvas descrito anteriormente.

La opción Set MultiCurves Plot number permite establecer la cantidad de estaciones de sondeo vecinas para las cuales se muestran curvas simultáneamente (de 1 a 3).

Un clic con el botón derecho del ratón sobre los puntos de las curvas observadas invoca un menú contextual que permite asignar pesos a los datos observados:

Good point	Asignar peso 1 al punto seleccionado.
Bad point	Asignar peso 0.5 al punto seleccionado.
Very bad point	Asignar peso 0 al punto seleccionado.
Good points >>	Asignar peso 1 al punto seleccionado y a todos los puntos a su derecha.
Bad points >>	Asignar peso 0.5 al punto seleccionado y a todos los puntos a su



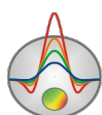
	derecha.
Very bad points >>	Asignar peso 0 al punto seleccionado y a todos los puntos a su derecha.
Good points <<	Asignar peso 1 al punto seleccionado y a todos los puntos a su izquierda.
Bad points <<	Asignar peso 0.5 al punto seleccionado y a todos los puntos a su izquierda.
Very bad points <<	Asignar peso 0 al punto seleccionado y a todos los puntos a su izquierda.
Delete point	Eliminar punto.
Delete point>>	Eliminar punto y todos los puntos a su derecha.
Delete point<<	Eliminar punto y todos los puntos a su izquierda.
Edit data	Editar curvas.

Para aumentar o disminuir los pesos de los puntos use los botones derecho e izquierdo del ratón con la tecla [ALT] presionada.

Para eliminar puntos use la rueda del ratón con la tecla [ALT] presionada. El tamaño del área de eliminación se ajusta con la rueda.

La asignación de pesos a los puntos juega un papel fundamental en el ajuste automático de parámetros del modelo. Los puntos con peso 0 no se tienen en cuenta en el ajuste automático. El peso del punto se determina de la siguiente manera: $= 1 - \text{dispersión} / (\text{valor medido})$. Los pesos de las mediciones pueden especificarse en el archivo de datos y se guardan en el archivo del proyecto.

La opción Edit data está destinada a la edición manual de curvas de sondeo. Después de seleccionar esta opción aparece la ventana de diálogo Edit data (Fig. 22).



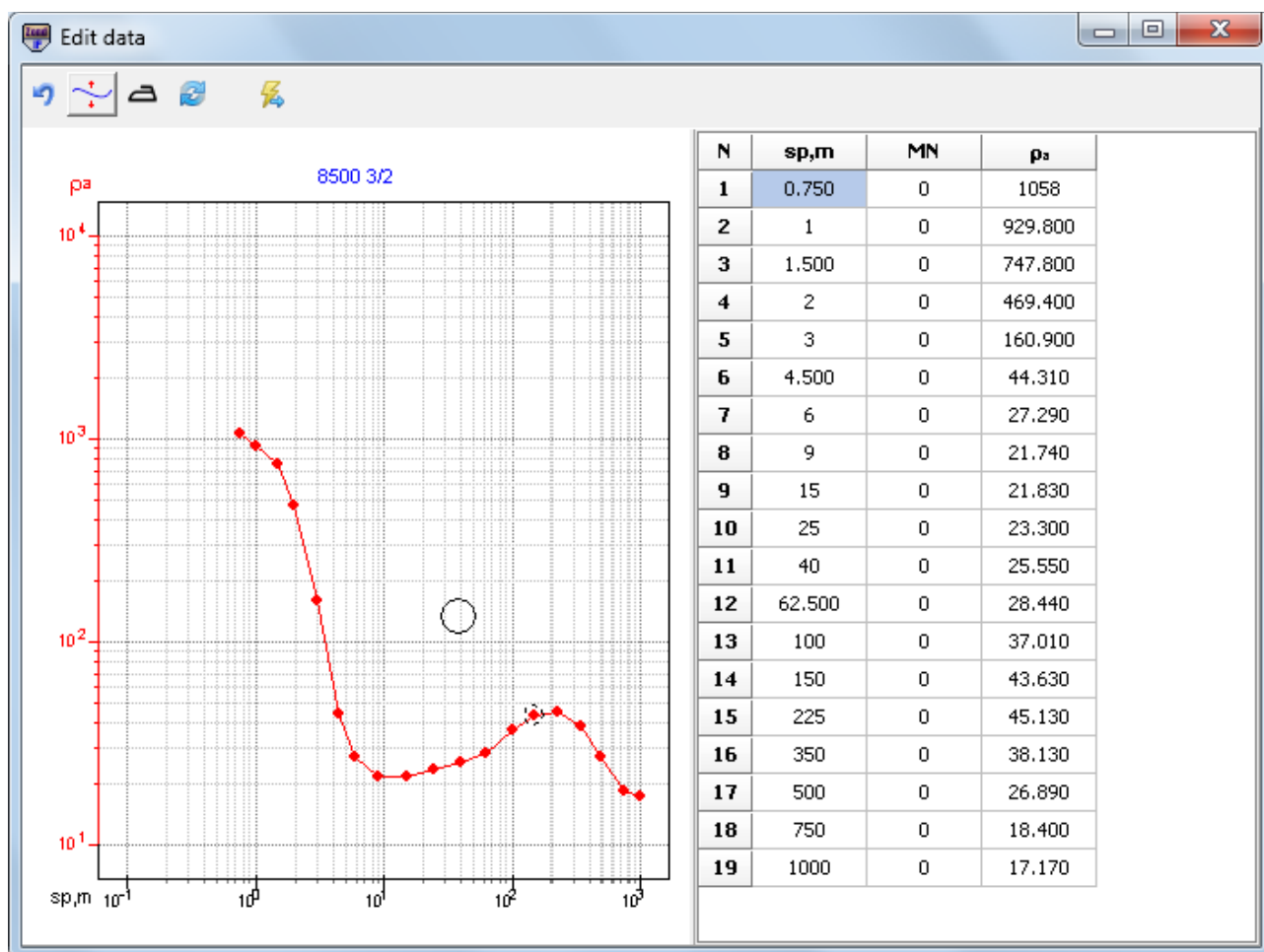


Fig. 22 Ventana de edición de curvas de sondeo Edit data.

La barra de herramientas de la ventana contiene los siguientes botones:

	Volver a la curva original.
	Seleccionar el modo de desplazamiento de toda la curva o su segmento.
	Suavizar la curva.
	Redibujar la curva en las demás ventanas.
	Salir del modo de edición guardando los cambios.

La ventana consta de dos áreas. A la izquierda se muestra la curva editada en forma gráfica. A la derecha se muestra una tabla con separaciones y valores del parámetro editado. Para eliminar un punto en la curva use el botón derecho del ratón. En este caso, en la tabla el punto eliminado se mostrará en color gris. Para restaurar el punto use el botón izquierdo del ratón. Para eliminar varios puntos use la rueda del ratón con la tecla [ALT] presionada. El tamaño del área de eliminación se ajusta girando la rueda. Después de terminar la edición, vaya a la inversión presionando el botón



en la barra de herramientas de la ventana.

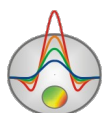


Tabla de parámetros

La ventana de edición tabular de parámetros del modelo está destinada a modificar los parámetros del modelo usando el teclado. La tabla contiene 3 o 4 columnas (dependiendo de la presencia de cargabilidad). Cada fila de la tabla contiene los parámetros de una capa.

La primera columna contiene los valores de resistividad de las capas, la segunda columna (si está presente) – los valores de cargabilidad, la tercera – el espesor y la última – la profundidad hasta el borde superior de las capas considerando la elevación de la estación de sondeo. En caso de que para el parámetro estén definidos límites de variación, el campo de salida se colorea con un color determinado (gris claro por defecto). Si el parámetro de la capa está fijado, el campo de salida también tiene su propio color, gris oscuro por defecto.

Menú contextual, se invoca presionando el botón derecho del ratón sobre las celdas de la tabla (Fig. 23). Si la presión se realiza sobre la primera fila (encabezado de la tabla), entonces la operación seleccionada en el menú se aplicará a dicho parámetro de todas las capas (cell en este caso se reemplaza por col). Si la presión se realiza sobre la primera columna, entonces la operación seleccionada en el menú se aplicará a todos los parámetros de dicha capa.

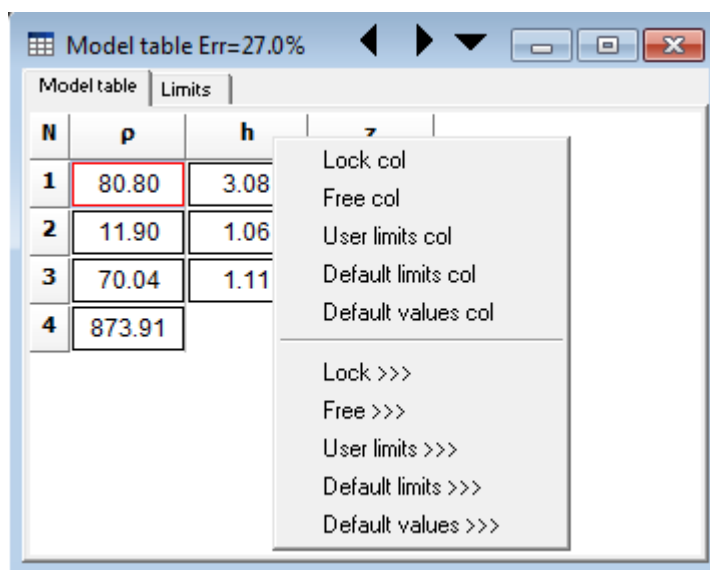
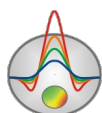


Fig. 23 Ventana Model table

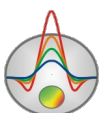
Lock col/cell/row	Fijar parámetro.
Free col/cell/row	Liberar fijación del parámetro.
User limits col/cell/row	Establecer rangos personalizados de variación del parámetro.
Default limits col/cell/row	Establecer rangos de variación del parámetro (definidos "por defecto").
Default values col/cell/row	Establecer el valor del parámetro igual al valor "por defecto".



Lock >>>	Fijar el parámetro en el modelo actual y en los modelos de todas las estaciones subsiguientes.
Free >>>	Liberar fijación del parámetro en el modelo actual y en los modelos de todas las estaciones subsiguientes.
User limits >>>	Establecer rangos personalizados de variación del parámetro en el modelo actual y en los modelos de todas las estaciones subsiguientes.
Default limits >>>	Establecer rangos de variación del parámetro (por defecto) en el modelo actual y en los modelos de todas las estaciones subsiguientes.
Default values >>>	Establecer el valor del parámetro igual al valor "por defecto" en el modelo actual y en los modelos de todas las estaciones subsiguientes.

Pestaña Limites

Esta pestaña se utiliza para definir los límites de variación de parámetros (Fig. 24). Los botones en la barra de herramientas permiten seleccionar el tipo de parámetro para el cual se definirán los límites de variación. El botón [Auto] asigna límites para todos los parámetros de dicho tipo automáticamente, de acuerdo con sus valores y el porcentaje de desviación especificado. En el gráfico se representa el modelo del tipo de parámetros seleccionado (negro), el límite inferior (rojo) y el límite superior (azul) de variación del parámetro.



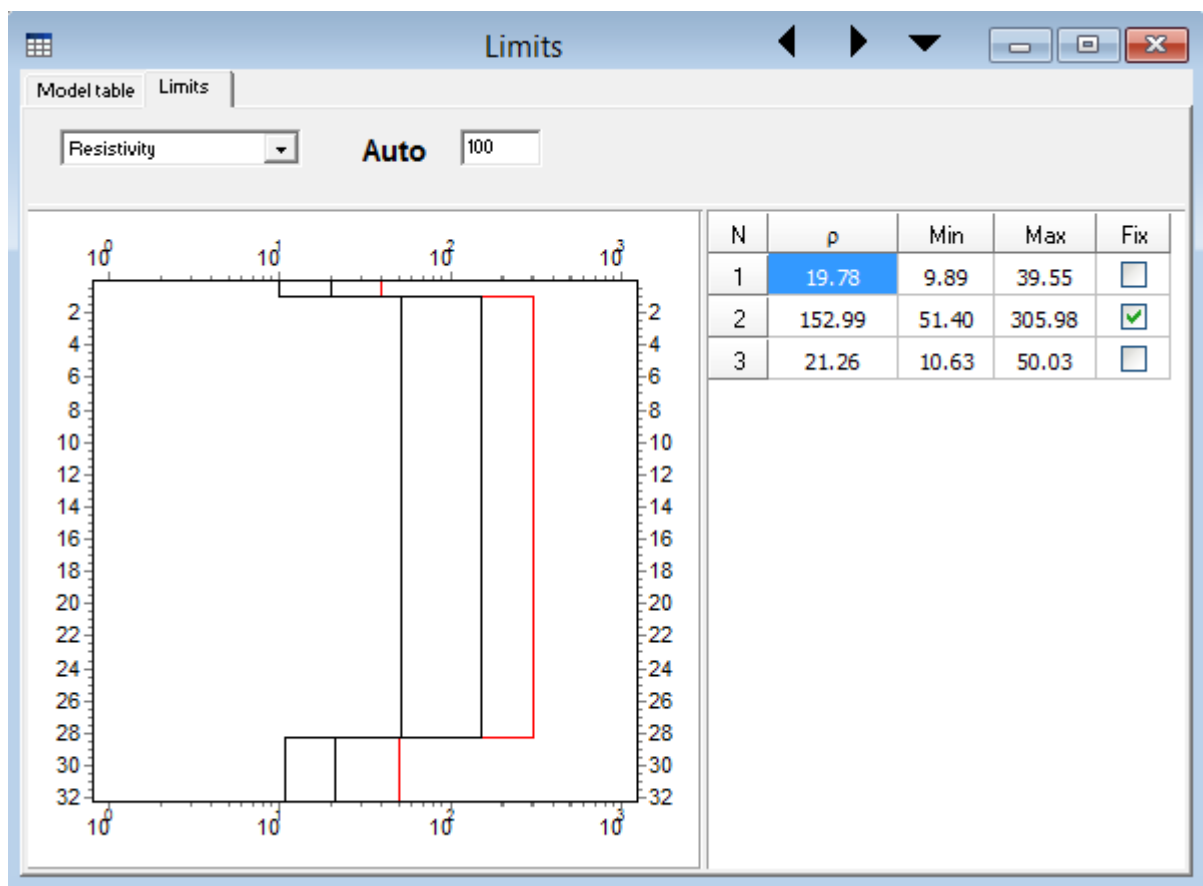


Fig. 24 Ventana Model table, pestaña Limites.

Los límites inferior y superior de los parámetros del modelo se editan con el ratón. Los límites de variación de los parámetros pueden editarse en la tabla ubicada a la derecha del gráfico.

Menú contextual adicional, se invoca presionando el icono  en la esquina superior derecha de la ventana (Fig. 25).

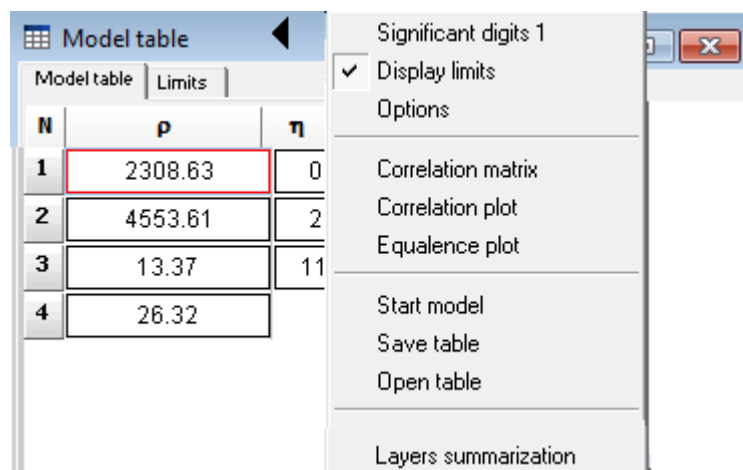
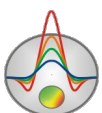


Fig. 25 Ventana Model table, configuración adicional.

Significant digits	Establecer la precisión con la que se representarán los parámetros.
--------------------	---



Display limits	Mostrar u ocultar los límites de variación del parámetro.
Options	Invoca el diálogo de configuración de parámetros gráficos de la tabla.
Correlation matrix	Mostrar la matriz de correlación e intervalos de confianza de los parámetros del modelo.
Correlation plot	Invocar la ventana de construcción del mapa de correlaciones para un par de parámetros.
Equivalence plot	Invocar la ventana de construcción de la nube de modelos equivalentes.
Start model	Regresar al modelo inicial.
Save table	Guardar el modelo actual en archivo (extensión MDL).
Open table	Cargar modelo desde archivo (extensión MDL).
Layers summarization	Invoca el diálogo de combinación de capas.

El diálogo de combinación de capas (Layers summarization) sirve para pasar de modelos multicapa, obtenidos como resultado de inversión tipo (Smooth o Focused), a modelos de pocas capas, que son más comprensibles desde el punto de vista geológico. Al inicio de la interpretación es conveniente utilizar un modelo multicapa, compuesto de 14-20.

A los resultados de tal inversión (Smooth, Focused), con mayor frecuencia se debe abordar como una aproximación inicial para una interpretación posterior más fundamentada. Proporcionan una comprensión de la estructura geoelectrica aproximada de la sección. Luego se pasa al modelo de pocas capas mediante el diálogo Layer summarization. El nuevo modelo se muestra sobre el antiguo con una línea negra.

El campo de entrada define el parámetro de contraste al alcanzar el cual dos capas se combinan en una.

Luego se fijan algunos parámetros y se realiza el ajuste manual o la inversión.

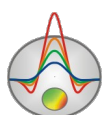
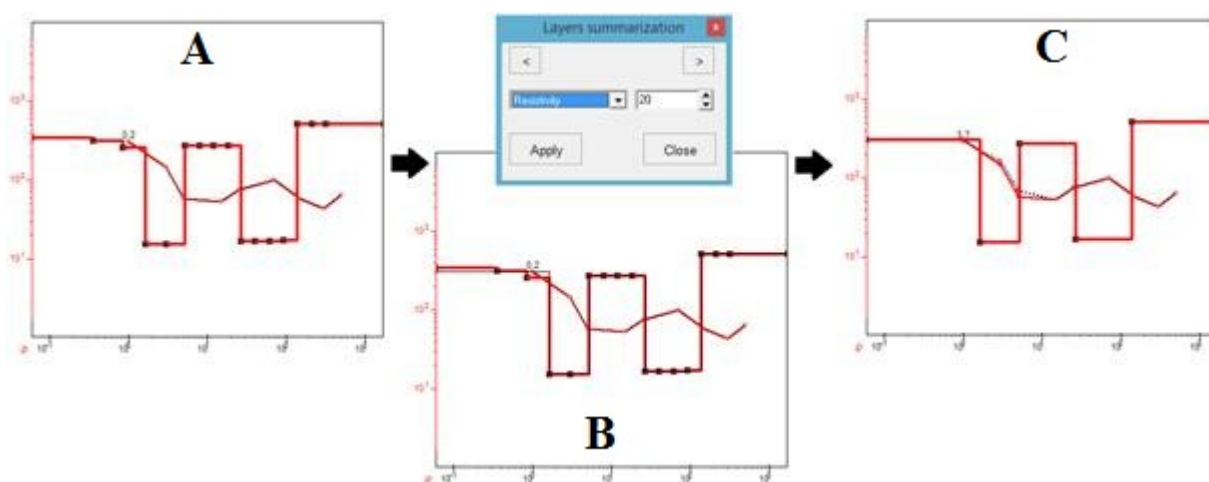


Fig. 26 Ejemplo de resultados de inversión después de aplicar la función Layers summarization. Donde A es un ejemplo de modelo multicapa, B es un ejemplo del diálogo Layers summarization (línea roja: modelo multicapa, línea negra: modelo combinado), C es un ejemplo de resultados de inversión después de aplicar la función Layers summarization.

Análisis de equivalencia. En prospección geoelectrica se ha demostrado el teorema de unicidad del problema inverso en el caso de mediciones continuas sin errores. En la práctica, las mediciones se realizan en un intervalo finito con cierta discretización, además de que contienen errores. La presencia de errores y la incompletitud de los datos convierten la unicidad teórica de la solución en no unicidad práctica de la solución, es decir, la equivalencia de diferentes soluciones del problema inverso. Dos secciones geoelectricas se denominan equivalentes si la discrepancia relativa de los datos para estas secciones no supera la precisión de las mediciones de campo o el error de ajuste. En la práctica, el principio de equivalencia significa que algunos parámetros de la sección no pueden determinarse durante la interpretación si se desconocen otros parámetros de la sección. La acción del principio de equivalencia dificulta considerablemente la interpretación de datos. La solución al problema es fijar parámetros individuales (basándose en información a priori).

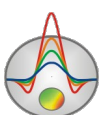
El análisis de la acción del principio de equivalencia se basa en dos enfoques: informático-estadístico para todos los parámetros del modelo mediante la construcción de una matriz de correlación de vínculos y el cálculo directo de las áreas de equivalencia para un par de parámetros de la sección con su visualización.

Otra variante del análisis de equivalencia es la construcción de una nube de modelos equivalentes, es decir, una familia de curvas modelo que proporcionan curvas teóricas muy similares.

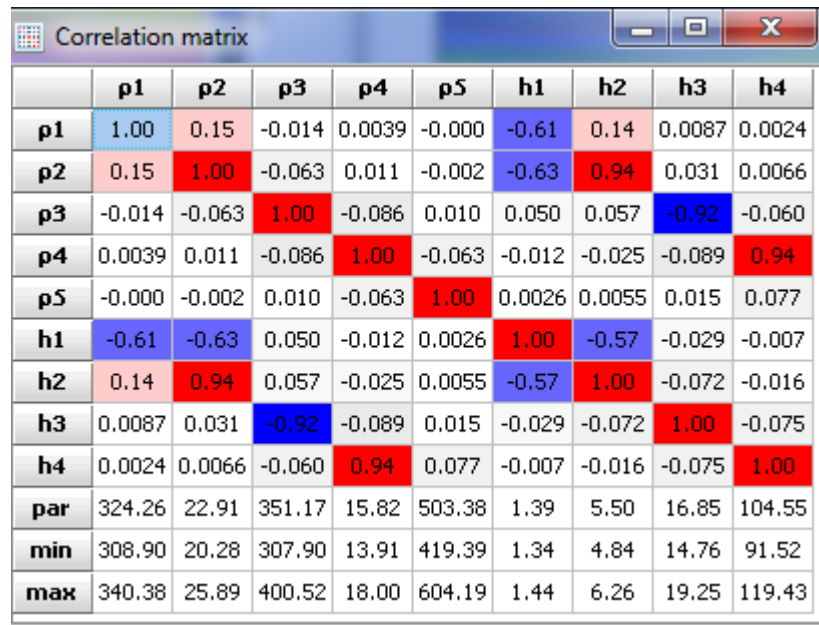
Usualmente, primero se realiza una evaluación estadística de la equivalencia de todos los parámetros, y luego el estudio de pares individuales de parámetros con altos coeficientes de correlación.

La matriz de correlación se invoca con la opción: Correlation matrix (Fig. 27). En la diagonal principal de la matriz de correlación se encuentran unidades (dos parámetros con el mismo valor, por ejemplo ρ_1 y ρ_1 siempre tienen un coeficiente de correlación igual a 1, y este parámetro no necesita análisis). Si el coeficiente de correlación es mucho menor que la unidad en módulo, entonces los parámetros de la sección para los cuales se calculó influyen de manera diferente en los datos y se determinan con poco error. De este modo, se hace posible su determinación separada.

Los parámetros para los cuales el coeficiente de correlación en módulo es cercano a 1 no son determinables conjuntamente. Para aumentar la precisión de la solución en este caso, se debe fijar uno de los parámetros equivalentes si es posible obtener información independiente sobre él. En



caso de fuerte correlación de parámetros de capas adyacentes, se debe fijar uno de los parámetros correlacionados o combinar estas dos capas en una, es decir, simplificar el modelo.



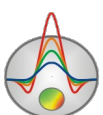
	p1	p2	p3	p4	p5	h1	h2	h3	h4
p1	1.00	0.15	-0.014	0.0039	-0.000	-0.61	0.14	0.0087	0.0024
p2	0.15	1.00	-0.063	0.011	-0.002	-0.63	0.94	0.031	0.0066
p3	-0.014	-0.063	1.00	-0.086	0.010	0.050	0.057	-0.92	-0.060
p4	0.0039	0.011	-0.086	1.00	-0.063	-0.012	-0.025	-0.089	0.94
p5	-0.000	-0.002	0.010	-0.063	1.00	0.0026	0.0055	0.015	0.077
h1	-0.61	-0.63	0.050	-0.012	0.0026	1.00	-0.57	-0.029	-0.007
h2	0.14	0.94	0.057	-0.025	0.0055	-0.57	1.00	-0.072	-0.016
h3	0.0087	0.031	-0.92	-0.089	0.015	-0.029	-0.072	1.00	-0.075
h4	0.0024	0.0066	-0.060	0.94	0.077	-0.007	-0.016	-0.075	1.00
par	324.26	22.91	351.17	15.82	503.38	1.39	5.50	16.85	104.55
min	308.90	20.28	307.90	13.91	419.39	1.34	4.84	14.76	91.52
max	340.38	25.89	400.52	18.00	604.19	1.44	6.26	19.25	119.43

Fig. 27 Ventana Correlation matrix.

Las dos últimas filas de la tabla muestran los intervalos de confianza para cada uno de los parámetros. Los intervalos de confianza son un criterio de fiabilidad de determinación de los parámetros y están relacionados con la sensibilidad total de los parámetros de la sección. En caso de un intervalo de confianza amplio se considera que el valor del parámetro está determinado de forma poco fiable. Al evaluar la amplitud del intervalo de confianza se deben tener en cuenta los valores absolutos de resistividad específica y espesor de las capas.

Un doble clic del ratón sobre una celda de la matriz de correlación abre el mapa de dependencia correlacional (Correlation plot) para el par de parámetros seleccionado (Fig. 28).

El mapa de dependencia correlacional de un par de parámetros representa un plano de isolíneas del error de ajuste entre los datos teóricos para el modelo actual y los datos teóricos para el modelo modificado. Suponiendo que los valores actuales de los parámetros son el centro del área de equivalencia, se calculan varias soluciones adicionales del problema directo para parámetros variados alrededor de dicho punto y se determina la magnitud del error máximo de desviación de los datos respecto al central. Para construir el mapa de relación correlacional entre dos parámetros, a cada valor de estos se le asigna un conjunto de valores en cierto rango, se calcula el error de ajuste con los datos para el modelo actual y se construye el mapa de isolíneas. Si el parámetro tiene distribución logarítmica, entonces todas las acciones indicadas se realizan con los logaritmos de los parámetros. En el mapa de equivalencia se construyen isolíneas de valores de errores máximos que muestran la configuración del área y los límites de acción del principio de equivalencia. Áreas de equivalencia isométricas indican ausencia de correlación en las estimaciones de los parámetros,



áreas fuertemente alargadas indican relaciones correlacionales de las estimaciones de los parámetros. El análisis de la dependencia correlacional contribuye a la identificación exitosa de la equivalencia de dos parámetros.

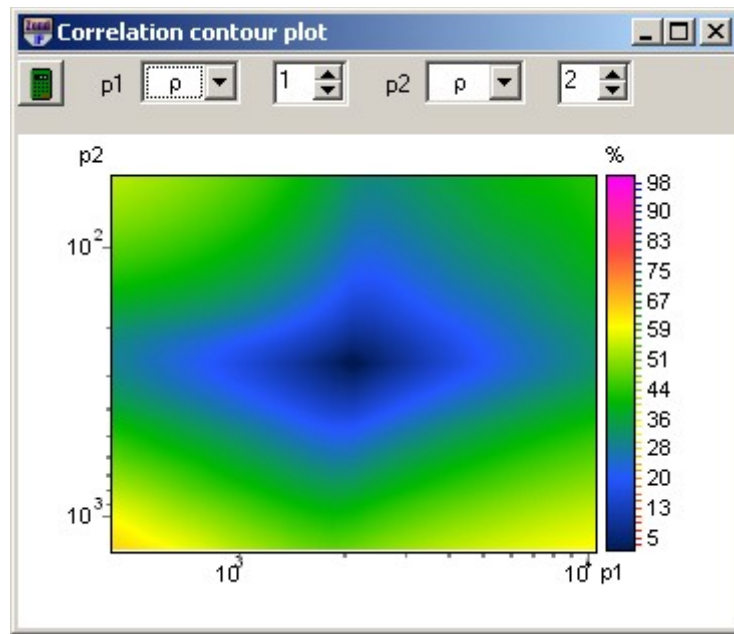


Fig. 28 Ventana Correlation contour plot.

La escala de color establece la relación entre el valor del error de ajuste y un determinado color.

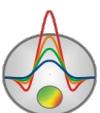
Campo p1 - establece el tipo del primer parámetro para el cual se realiza el análisis de dependencia correlacional.

Campo p2 - establece el tipo del segundo parámetro para el cual se realiza el análisis de dependencia correlacional.

Los siguientes campos de entrada especifican los índices de las capas (números) a los que pertenecen el primer y segundo parámetros.

 - construir el mapa de dependencia correlacional.

La ventana de construcción de la nube de modelos equivalentes se abre con la opción: Equivalence plot. Implementa un algoritmo bastante demandante en recursos de búsqueda de modelos equivalentes, dentro del error especificado, mediante método de enumeración (Fig. 29).



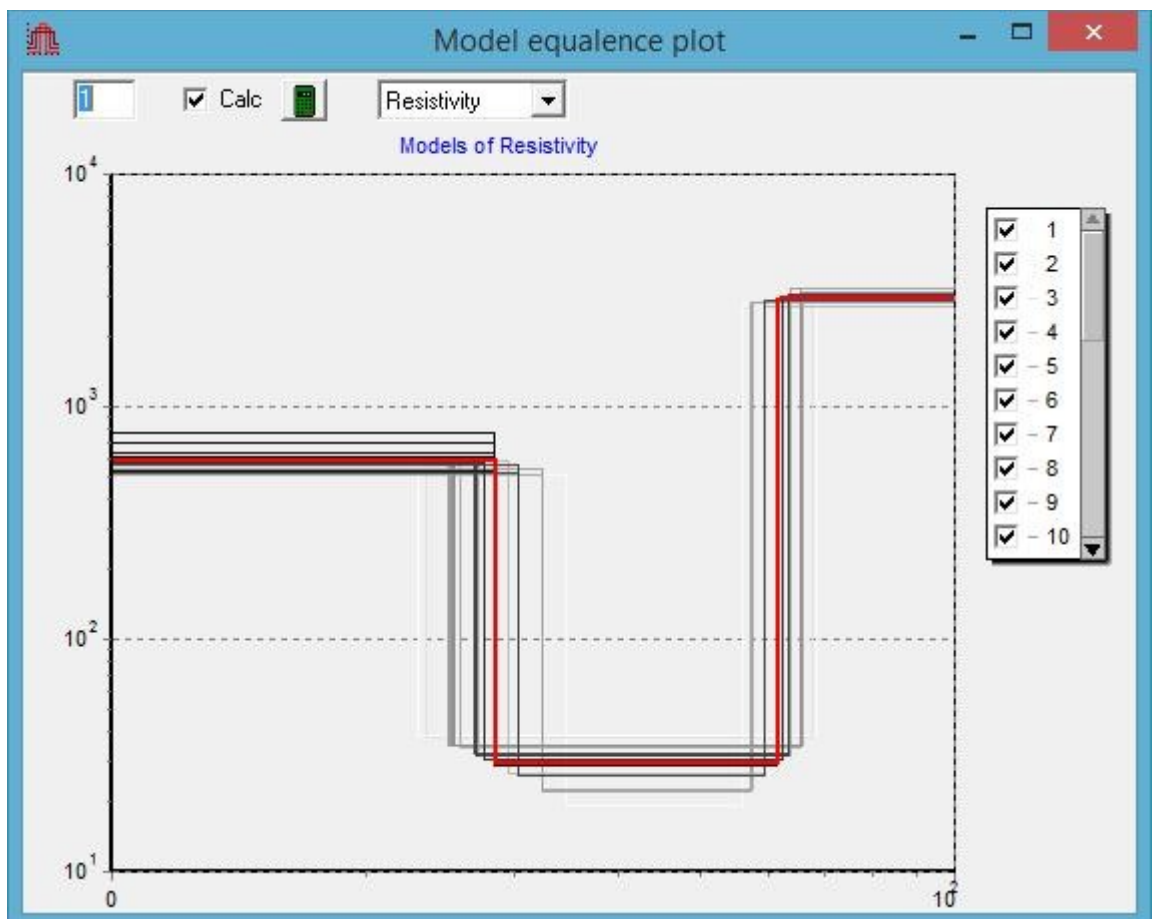
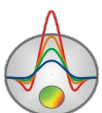


Fig. 29 **Ventana Equalence plot.**

Se debe especificar el nivel mínimo de error al alcanzar el cual el modelo se considerará equivalente al actual (campo de entrada). Si la opción Calc no está activada, entonces los modelos equivalentes se calcularán para el valor del error de ajuste del modelo. Usualmente este nivel se elige ligeramente mayor que el error de ajuste actual. A continuación se debe seleccionar el parámetro para el cual se realizará el cálculo (Resistivity). Y luego iniciar el procedimiento de búsqueda . El resultado del algoritmo es un conjunto de curvas del modelo. Desactivar unas u otras curvas se puede desde la leyenda a la derecha de la imagen. Para pasar de un gráfico a otro utilice el desplazamiento.

El diálogo de configuración de parámetros gráficos de la tabla se abre con el elemento Options.



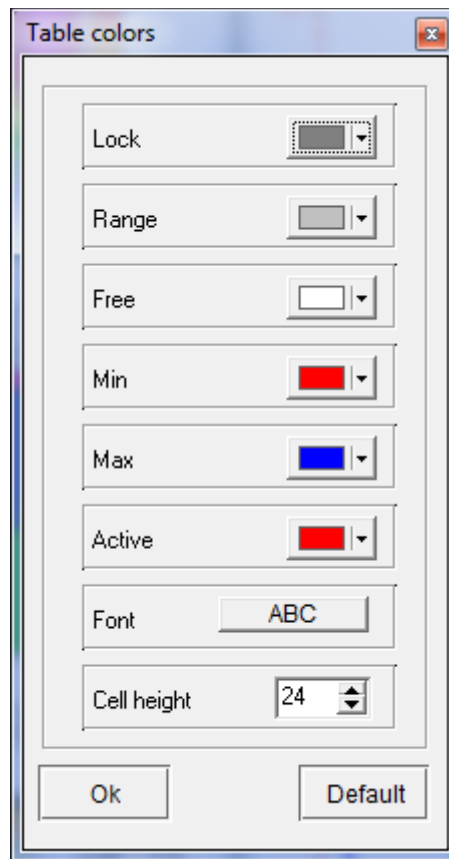


Fig. 30 **Diálogo de configuración de parámetros gráficos de la tabla (Options).**

Opción Lock – establece el color de la celda cuyo parámetro está fijado.

Opción Range – establece el color de la celda para el parámetro del cual se han especificado límites.

Opción Free – establece el color de la celda para el parámetro del cual no se han definido límites.

Opción Min – establece el color del límite mínimo de variación del parámetro.

Opción Max – establece el color del límite máximo de variación del parámetro.

Opción Active – establece el color del marco de la celda activa.

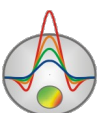
Opción Font – establece la fuente de la celda.

Opción Cell height – establece el espesor de la celda.

Sección (Section)

Este objeto sirve para mostrar el cambio de la sección geoelectrica a lo largo del perfil. La construcción se realiza en los ejes: coordenada a lo largo del perfil, profundidad. La escala de color establece la relación entre el valor representado y el color (Fig. 31).

Cuando el cursor se encuentra dentro de los límites de la sección geoelectrica, se resalta con un control deslizante la capa sobre la cual se encuentra. Al acercar el cursor al límite entre capas, su forma cambia y aparece la posibilidad de editar su posición. Para ello, se debe arrastrar el límite



seleccionado a la posición deseada con el botón del ratón presionado (izquierdo). Con el botón derecho presionado, junto con el límite seleccionado se desplazarán los límites subyacentes. Un doble clic en la capa invoca el diálogo para establecer su parámetro.

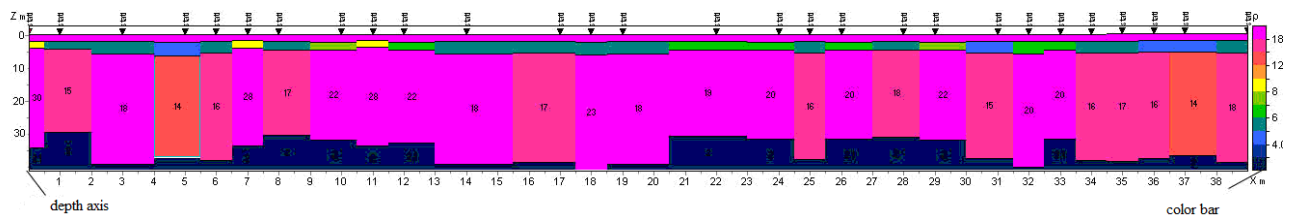
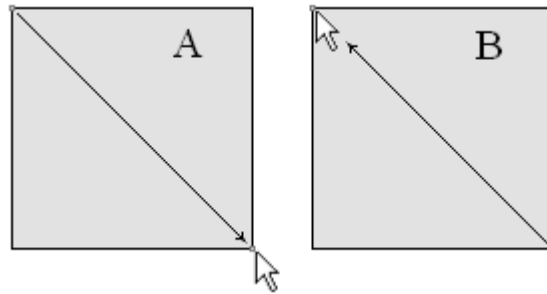
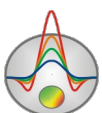


Fig. 31 Ventana de la sección geoelectrica

El aumento de un sector individual o su desplazamiento se realiza en el modo con botón presionado (herramienta – "rectángulo elástico"). Para seleccionar el sector que se necesita ampliar, el cursor del ratón se mueve hacia abajo y a la derecha, con el botón izquierdo presionado (A). Para volver a la escala inicial, se realizan las mismas acciones, pero el ratón se mueve hacia arriba y a la izquierda (B).

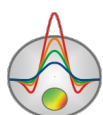


Un doble clic del ratón en el área del objeto abre el menú contextual con las siguientes opciones:



Log data scale	Usar escala logarítmica para la escala de color.
Display labels	Mostrar etiquetas (valores de parámetros) en las capas.
Display ColorBar	Mostrar escala de color.
Setup	Invocar el diálogo de configuración del objeto.
Print preview	Imprimir sección.
Refresh section	Redibujar sección.
Save picture	Guardar sección en archivo gráfico.
Output settings	Invocar el diálogo de configuración de parámetros de escala de imágenes gráficas exportadas.
Layered section	Mostrar sección como capas.
Layered section [topo]	Mostrar sección como capas tomando en cuenta los datos de topografía.
Contour section	Mostrar sección como isolíneas.
Smooth section	Mostrar sección como sección suavizada.
Add background	Agregar imagen de fondo.
Remove background	Eliminar imagen de fondo.
Set bottom	Establecer el valor máximo del eje vertical manualmente.
Model interpolation	Interpolación de todos los modelos entre dos estaciones de sondeo dadas.
Bad data interpolation	Interpolación de modelos (con error de ajuste superior al nivel dado) entre dos estaciones de sondeo dadas.
Column percent	Establecer el ancho de las columnas del modelo.
Resistivity display	Mostrar sección de resistividades específicas
Polarizability display	Mostrar sección de cargabilidad

En la Fig. 32 se muestran cuatro variantes de representación de la sección geoelectrica.



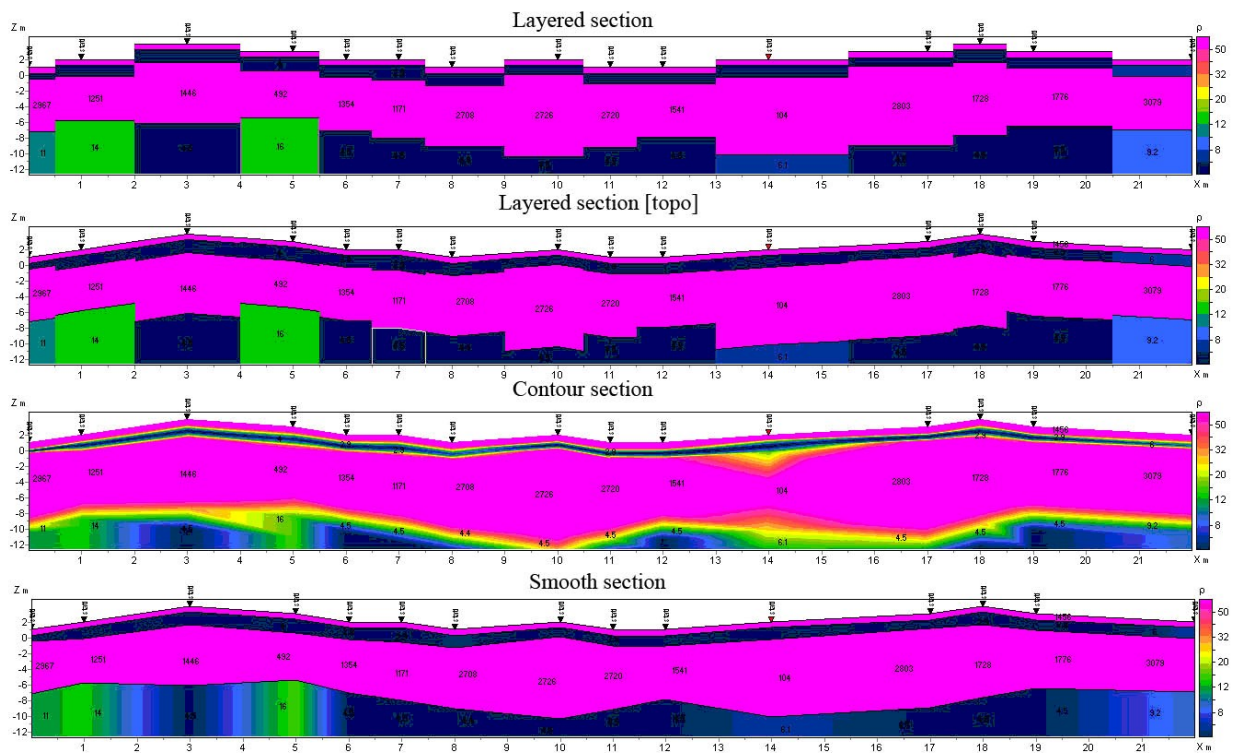


Fig. 32 Variantes de representación de la sección geoelectrica.

La opción Setup invoca el diálogo de configuración de parámetros de la sección (Fig. 33).

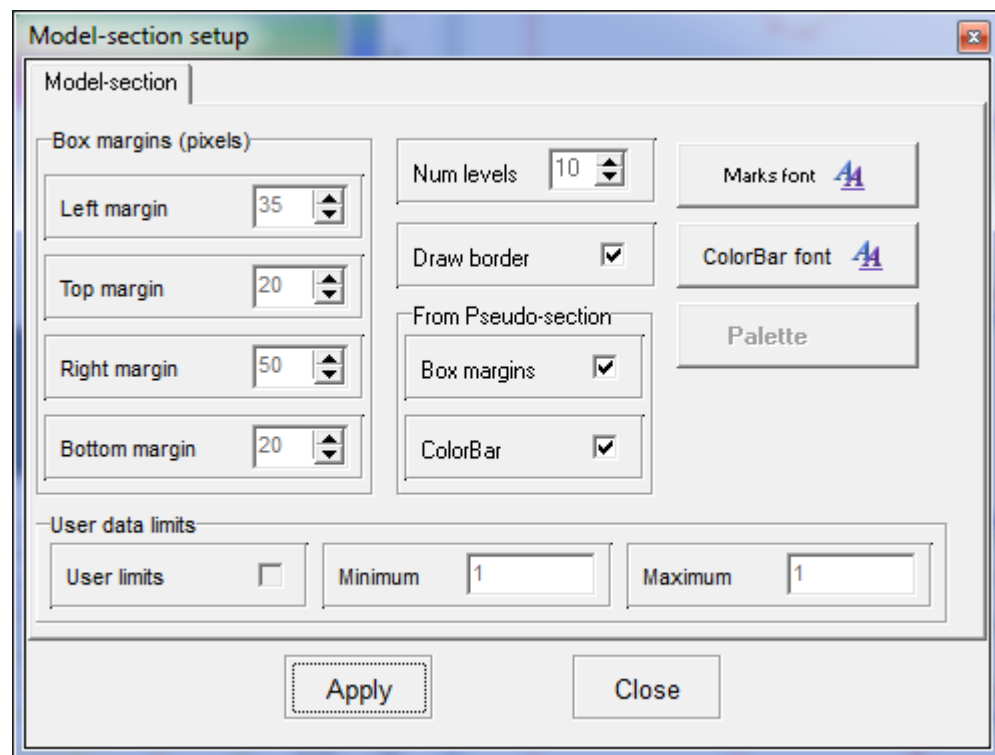
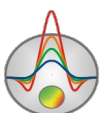


Fig. 33 Ventana de configuración de parámetros de la sección geoelectrica.

Área Box margins

Campo Left margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde izquierdo de la ventana.



Campo Right margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde derecho de la ventana.

Campo Top margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde superior de la ventana.

Campo Bottom margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde inferior de la ventana.

Campo Num levels – determina la cantidad de colores. Las secciones se establecen con paso lineal o logarítmico uniforme, dependiendo del tipo de datos.

Función Draw border – indica al programa si es necesario dibujar el límite entre capas de diferente color.

Botón [Palette] – invoca el diálogo de configuración de colores de las capas de la sección (más detalles).

Botón [ColorBar font] – invoca el diálogo de configuración de fuente de la escala de color.

Botón [Marks font] – invoca el diálogo de configuración de fuente de las etiquetas de las capas.

Área User data limits

La opción User limits indica al programa si debe utilizar los valores mínimo y máximo de los datos o los valores de los campos [Minimum] y [Maximum] al definir la escala de colores.

El campo Minimum establece el valor mínimo al definir la escala de colores.

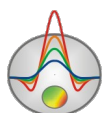
El campo Maximum establece el valor máximo al definir la escala de colores.

Área From Pseudo-section.

La opción Box margins indica al programa que utilice los valores de los campos del área Box margins correspondientes a la pseudosección.

La opción ColorBar indica al programa que utilice la escala de colores correspondiente a la pseudosección.

El diálogo Output settings con la opción Automatic desactivada permite ajustar la escala vertical Vertical scale, la escala horizontal Horizontal scale, la resolución de la imagen exportada Print resolution en dpi y el tamaño de fuente Font size (Fig. 34).



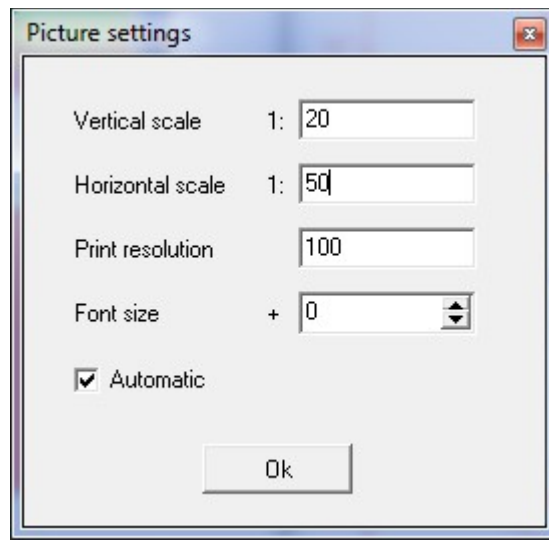


Fig. 34 Ventana de configuración de parámetros de la imagen exportada

La opción Add background está destinada a insertar una imagen de fondo en el área del modelo. Esta función es útil cuando se dispone de información a priori (sección geológica del perfil), datos de otros métodos o para comparar resultados de inversión en diferentes etapas. El archivo de fondo debe estar en formato bmp. Después de seleccionar esta opción, aparecerá una ventana en la que se debe establecer la ubicación del archivo a exportar. El fondo se mostrará superpuesto sobre el modelo, siendo la capa de fondo transparente (Fig. 35, 36).

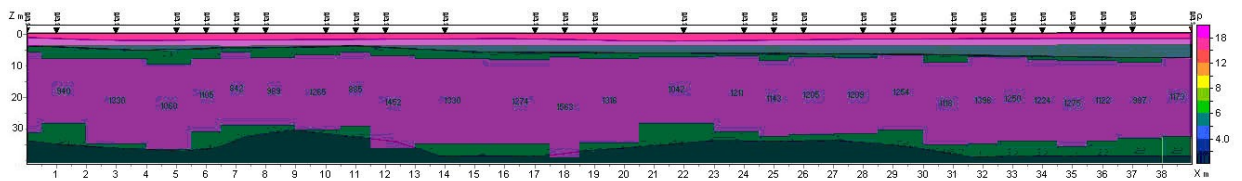


Fig. 35 Ejemplo de fondo de sección geológica.

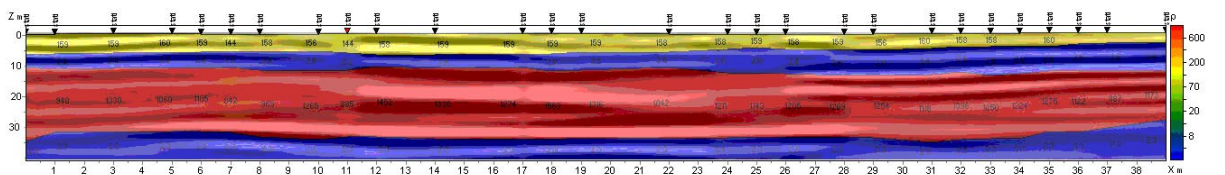


Fig. 36 Ejemplo de fondo de sección sísmica.

Pseudosección (Pseudosection)

Este objeto sirve para mostrar la variación de los valores observados a lo largo del perfil, en forma de isolíneas (Fig. 37).

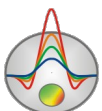
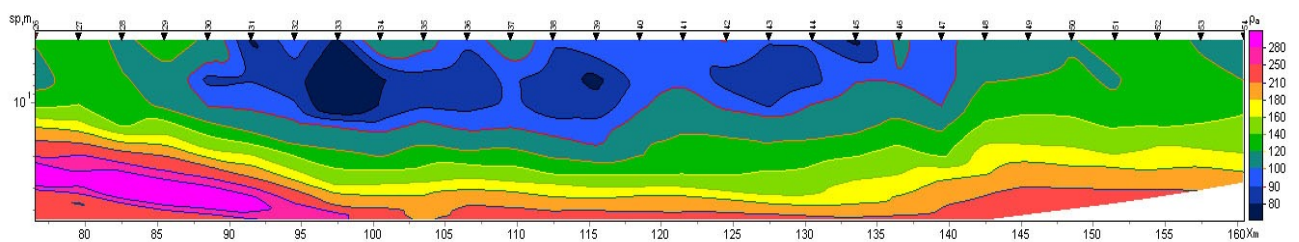
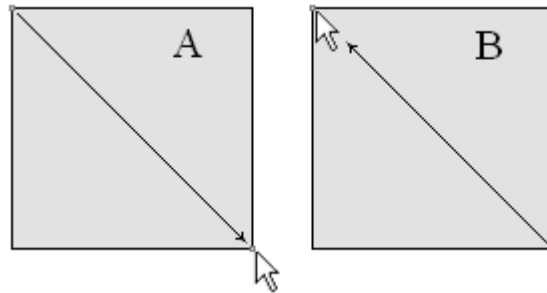


Fig. 37 Ejemplo de pseudosección de resistividad aparente.

La construcción se realiza en los ejes: coordenada a lo largo del perfil, separación. La escala de color establece la relación entre el valor representado y el color.

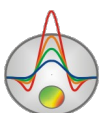
La ampliación de una sección particular o su desplazamiento se realiza en el modo con el botón presionado (herramienta – "rectángulo elástico"). Para seleccionar la sección que se desea ampliar, el cursor del ratón se mueve hacia abajo y a la derecha, con el botón izquierdo presionado (A). Para volver a la escala inicial, se realizan las mismas acciones, pero el ratón se mueve hacia arriba y a la izquierda (B).



Al hacer clic con el botón derecho del ratón en el área de los ejes se despliega el menú contextual con las siguientes opciones:

Setup	Abrir el diálogo de configuración de parámetros del objeto.
Print preview	Diálogo de vista previa de impresión (más detalles).
Log data scale	Usar escala logarítmica para la escala de color.
Smooth image	Activa el modo de relleno continuo con gradiente en lugar de contornos.
Display grid	Mostrar las marcas de los puntos de medición.
Display ColorBar	Mostrar escala de color.
Save XYZ file	Guardar la pseudosección en formato del programa Surfer.
Save picture	Guardar la pseudosección en archivo gráfico.
Apparent resistivity display	Mostrar la pseudosección de resistividad aparente.
Apparent polarizability display	Mostrar la pseudosección de cargabilidad aparente.

La opción Setup está destinada a abrir la ventana de configuración de parámetros de la pseudosección (Fig. 38).



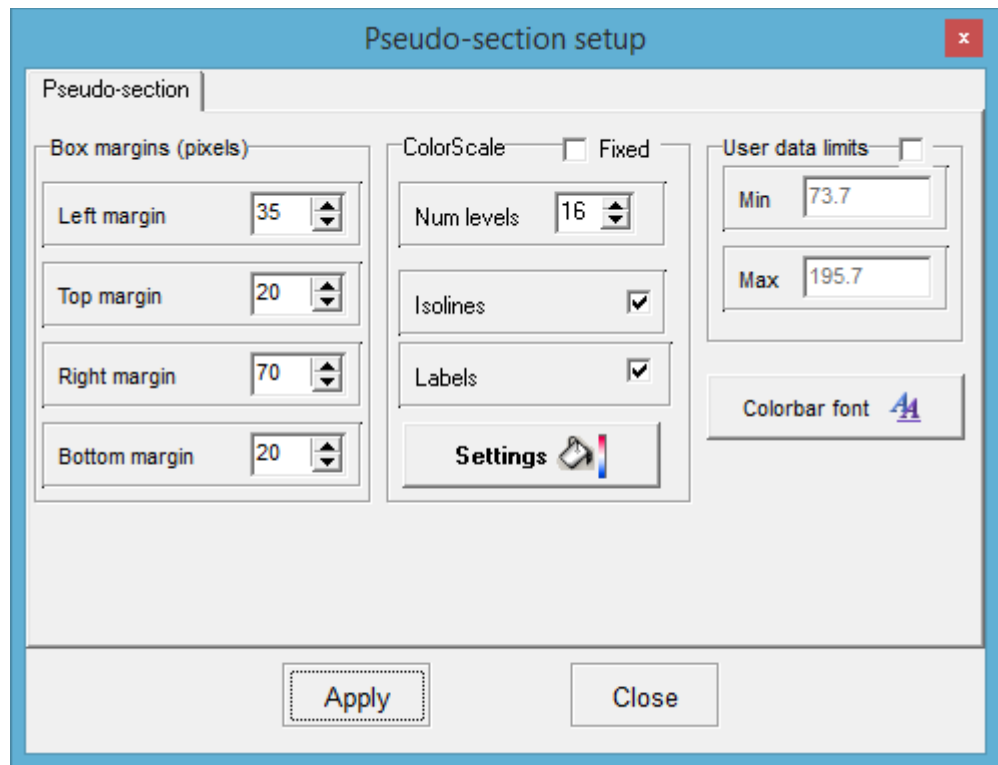


Fig. 38 Ventana de configuración de parámetros de la pseudosección.

Área Box margins:

Campo Left margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde izquierdo de la ventana.

Campo Right margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde derecho de la ventana.

Campo Top margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde superior de la ventana.

Campo Bottom margin – establece el margen (en píxeles) de la imagen desde el borde inferior de la ventana.

Área ColorScale:

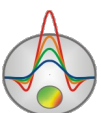
La opción Fixed fija la escala de colores actual con todas sus configuraciones.

El campo Num levels determina el número de niveles de isolíneas. Los niveles de isolíneas se definen con paso lineal o logarítmico uniforme, según el tipo de datos.

La opción Isolines indica al programa si debe dibujar las isolíneas.

La opción Labels indica al programa si debe dibujar las etiquetas de las isolíneas.

El botón [Settings] establece la paleta de colores (Fig. 39)



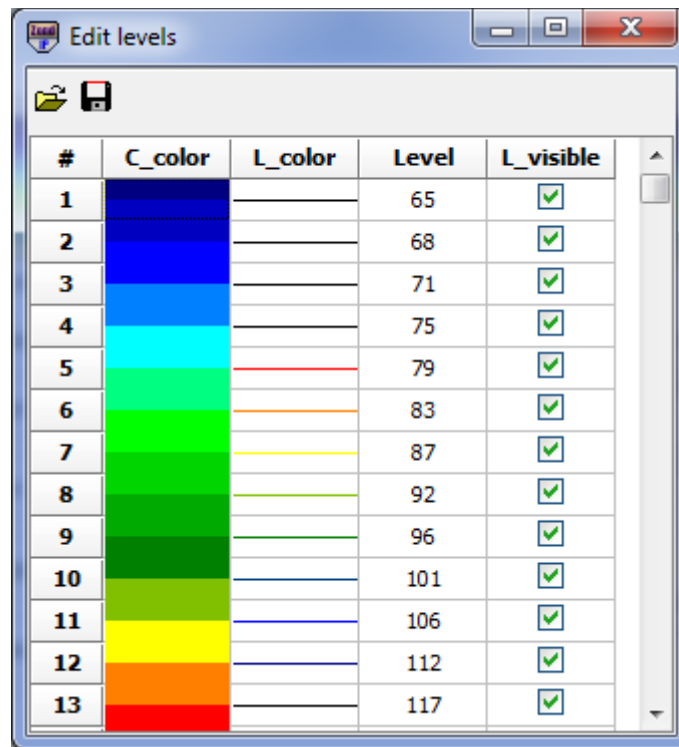


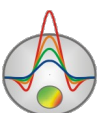
Fig. 39 Diálogo de configuración de paleta de colores.

El botón [Colorbar font] abre el diálogo de configuración de fuente de la escala de colores.

La opción User data limits indica al programa si debe utilizar los valores mínimo y máximo de los datos o los valores de los campos Minimum y Maximum al definir los niveles de isolíneas.

Campo Minimum – establece el valor mínimo al especificar los niveles de isolíneas.

Campo Maximum – establece el valor máximo al especificar los niveles de isolíneas.



Gráficos de perfilado (Profile)

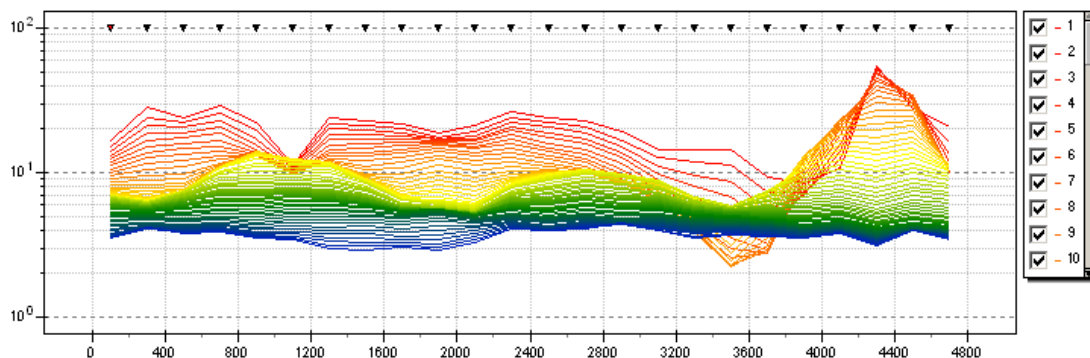
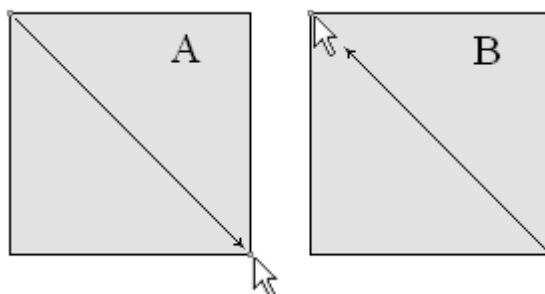


Fig. 40 Ventana de gráficos de perfilado.

Este objeto sirve para mostrar gráficos de perfilado (teóricos y experimentales) a diferentes separaciones. El color de la curva corresponde a una separación determinada. Disponible para los estilos Profile e Interpretation.

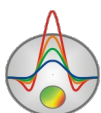
El aumento de un sector individual o su desplazamiento se realiza en el modo con el botón presionado (herramienta – "rectángulo elástico"). Para seleccionar el sector que se desea ampliar, el cursor del ratón se mueve hacia abajo y a la derecha, con el botón izquierdo presionado(A). Para volver a la escala original, se realizan las mismas acciones, pero el ratón se mueve hacia arriba y a la izquierda (B).



El movimiento del ratón con el botón derecho presionado permite desplazar los gráficos verticalmente.

Las marcas en las curvas experimentales indican los números de separación para las cuales se construyeron. Al presionar el botón izquierdo del ratón sobre una curva, las curvas para otras separaciones desaparecen y aparecen nuevamente al soltar el botón. Para mostrar solo un gráfico, haga clic con el botón izquierdo del ratón con la tecla [SHIFT] presionada sobre la lista de curvas. Utilice el desplazamiento para pasar a los gráficos vecinos. Para mostrar todos los gráficos nuevamente, presione [SHIFT] + botón izquierdo del ratón sobre la lista de gráficos.

Para aumentar o disminuir los pesos de los puntos use los botones derecho e izquierdo del ratón con la tecla [ALT] presionada.



Para eliminar puntos use la rueda del ratón con la tecla [ALT] presionada. El tamaño del área de eliminación se ajusta con la rueda.

Al presionar el botón derecho del ratón en el área del objeto se invoca el menú contextual con las siguientes opciones:

Setup	Abrir el diálogo de configuración de parámetros del objeto.
Print preview	Imprimir el plano de gráficos.
Display calculated	Mostrar curvas teóricas.
Delete invisible	Eliminar gráficos ocultos.
Apparent resistivity display	Mostrar gráficos de resistividad aparente.
Apparent polarizability display	Mostrar gráficos de cargabilidad aparente.

Al presionar el botón derecho del ratón directamente sobre los gráficos se invoca un menú emergente que permite establecer pesos a los puntos de los gráficos o eliminar gráficos individuales.

La opción Setup sirve para configurar los parámetros de los gráficos (Fig. 41).

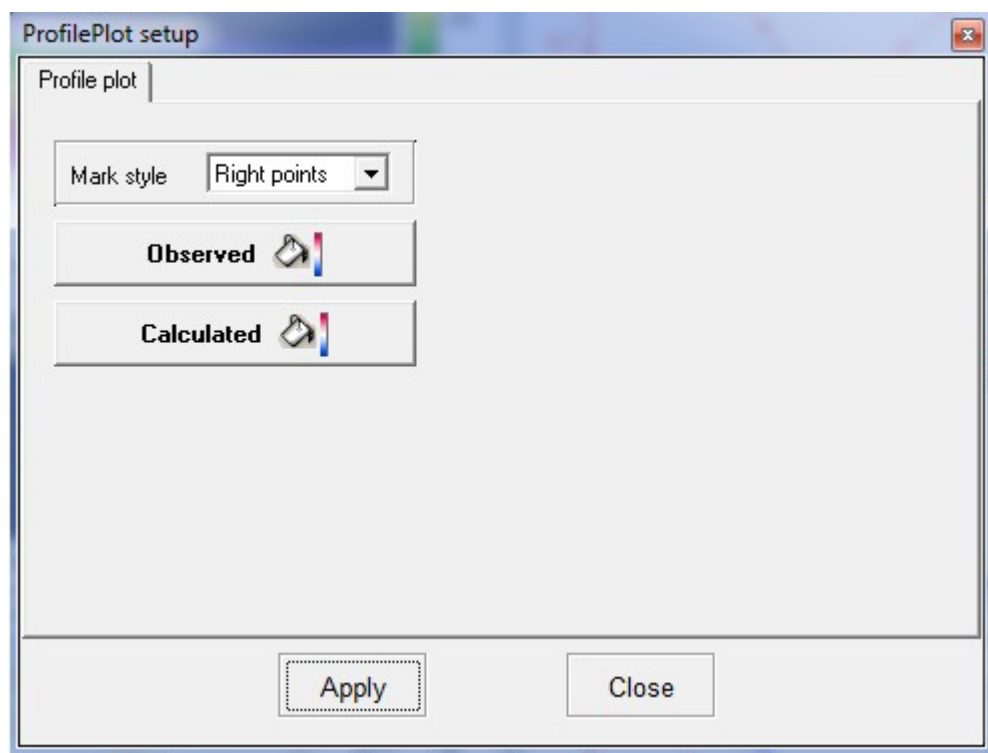


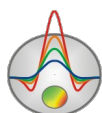
Fig. 41 Ventana de configuración de parámetros de gráficos de perfilado.

Opción Mark style – determina de qué manera dibujar las etiquetas de los gráficos.

Valor Left points – a la izquierda de los gráficos.

Valor All points – de punto a punto.

Valor Right points – a la derecha de los gráficos.



Botones [Observed] y [Calculated] – invocan el diálogo de configuración de parámetros gráficos (más detalles) para las curvas observadas y calculadas.

Los parámetros de los ejes pueden establecerse en el editor de ejes (clic derecho+SHIFT sobre el eje) (más detalles).

Trabajo con datos areales y visualización 3D

Opción Line settings coordinates

Para establecer varias líneas de perfiles en el menú principal del programa, seleccione Options/Set lines/coordinates. Después de lo cual aparecerá la ventana de diálogo Line settings (Fig. 42), en la que se muestra la posición de las estaciones de sondeo en el área.

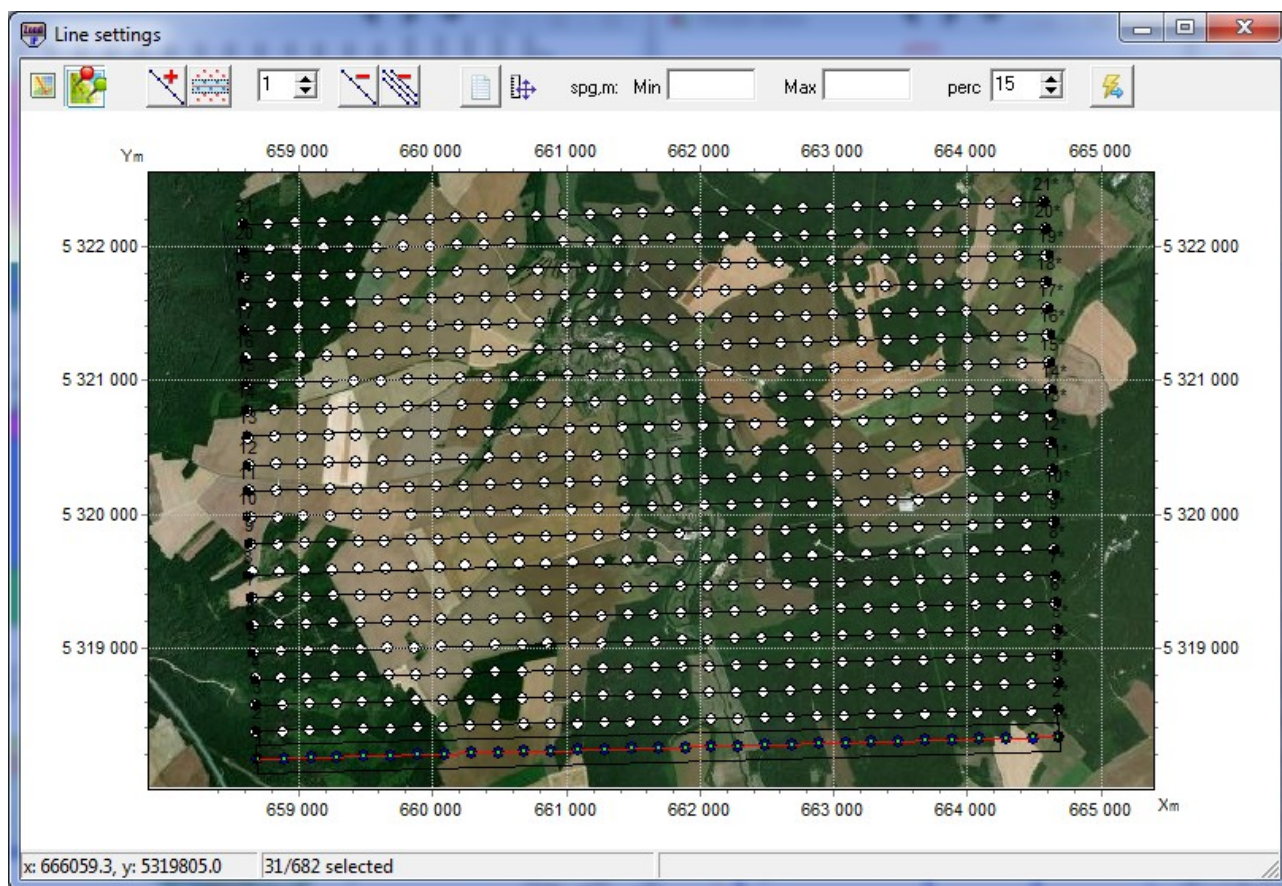
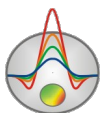
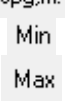


Fig. 42 **Ventana de diálogo Line settings para trabajar con datos areales con isolíneas de topografía.**

El panel principal de la ventana contiene las siguientes funciones:

	Cargar archivo ráster de mapa (Load map) o construir isolíneas de relieve (Draw topography).
	Carga el mapa del área desde internet. Las coordenadas de las estaciones deben estar especificadas en coordenadas UTM. En caso de problemas con la carga, introduzca una



	clave actualizada en el campo Bing maps api_key.
	Agregar línea de perfil. Con el botón izquierdo del ratón se especifican los puntos de la línea de perfil, con el botón derecho se especifica el último punto. El clic derecho del ratón invoca un menú adicional. Al presionar el botón derecho del ratón aparece un menú contextual que permite especificar las coordenadas de la línea, mantener el cursor cerca de los puntos, invertir la línea y trazar líneas automáticamente.
	Incluir estaciones de sondeo en el perfil automáticamente. Aquellas estaciones que caen dentro del área rectangular alrededor de la línea especificada.
	Establecer el número del perfil activo.
	Eliminar el perfil actual.
	Eliminar todos los perfiles.
	Abrir y editar la tabla de coordenadas (diálogo Stations locations).
	Seleccionar escala de imagen equiaxial o con llenado máximo del área de la ventana.
	Establecer respectivamente las separaciones mínima y máxima. Las mediciones fuera del rango seleccionado no se cargarán en el programa (al cargar nuevos datos).
	Establecer el tamaño del área de selección automática de estaciones de sondeo en el perfil.
	Pasar al modo de inversión de datos para el sistema de perfiles seleccionado.

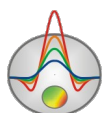
El programa permite establecer varias líneas de perfiles. Después de establecer el perfil y seleccionar las estaciones a lo largo de él, todas las estaciones incluidas en el perfil se mostrarán en color azul. También es posible excluir/incluir una estación en el perfil haciendo clic con el botón izquierdo del ratón. Si la línea del perfil no pasa directamente por las estaciones, la posición de la proyección de la estación de sondeo sobre el perfil se mostrará en color verde.

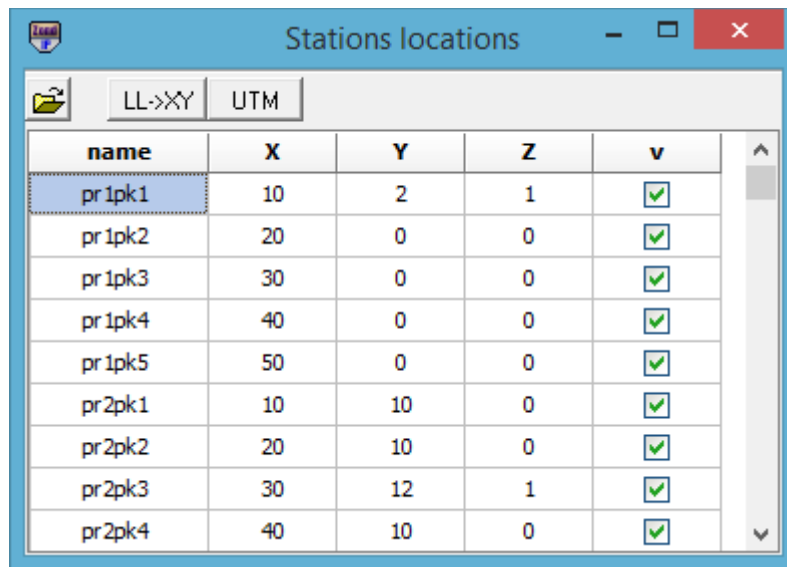
Para ver y editar las coordenadas de las estaciones utilice el diálogo Stations locations (Fig. 43), en el cual el usuario puede introducir las coordenadas de las estaciones manualmente, copiarlas desde Excel o cargar un archivo de texto con coordenadas utilizando el botón .

Los botones en la barra de herramientas permiten realizar las siguientes transformaciones de coordenadas:

 - convertir coordenadas geográficas a rectangulares

 - conversión de coordenadas geográficas al sistema UTM





name	X	Y	Z	v
pr1pk1	10	2	1	☒
pr1pk2	20	0	0	☒
pr1pk3	30	0	0	☒
pr1pk4	40	0	0	☒
pr1pk5	50	0	0	☒
pr2pk1	10	10	0	☒
pr2pk2	20	10	0	☒
pr2pk3	30	12	1	☒
pr2pk4	40	10	0	☒

Fig. 43 **Ventana Stations locations. Establecimiento de coordenadas.**

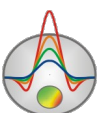
La tabla de estaciones de sondeo contiene las siguientes columnas: [Name] – nombre del archivo original, [X], [Y], [Z] – coordenadas y altura de la estación, [v] – incluir o excluir estación.

Para ver y editar las coordenadas de las estaciones de sondeo, haga clic con el botón derecho del ratón sobre la estación de interés. En la ventana que aparece se mostrarán las coordenadas, que pueden editarse.

Después de establecer el perfil es necesario hacer clic en el botón de transición al modo de interpretación de datos , tras lo cual aparecerá la ventana principal del programa. Para cambiar entre perfiles utilice la ventana  en la barra de herramientas de la ventana principal del programa.

Opción Plane data

La opción Plane data (Options/ Plane data) permite construir planos de distribución del parámetro seleccionado (resistividad, resistividad aparente, alturas, etc.) en función de la profundidad o el tiempo en el área. La Fig. 44 muestra un ejemplo de construcción de distribución de resistividad en el área.



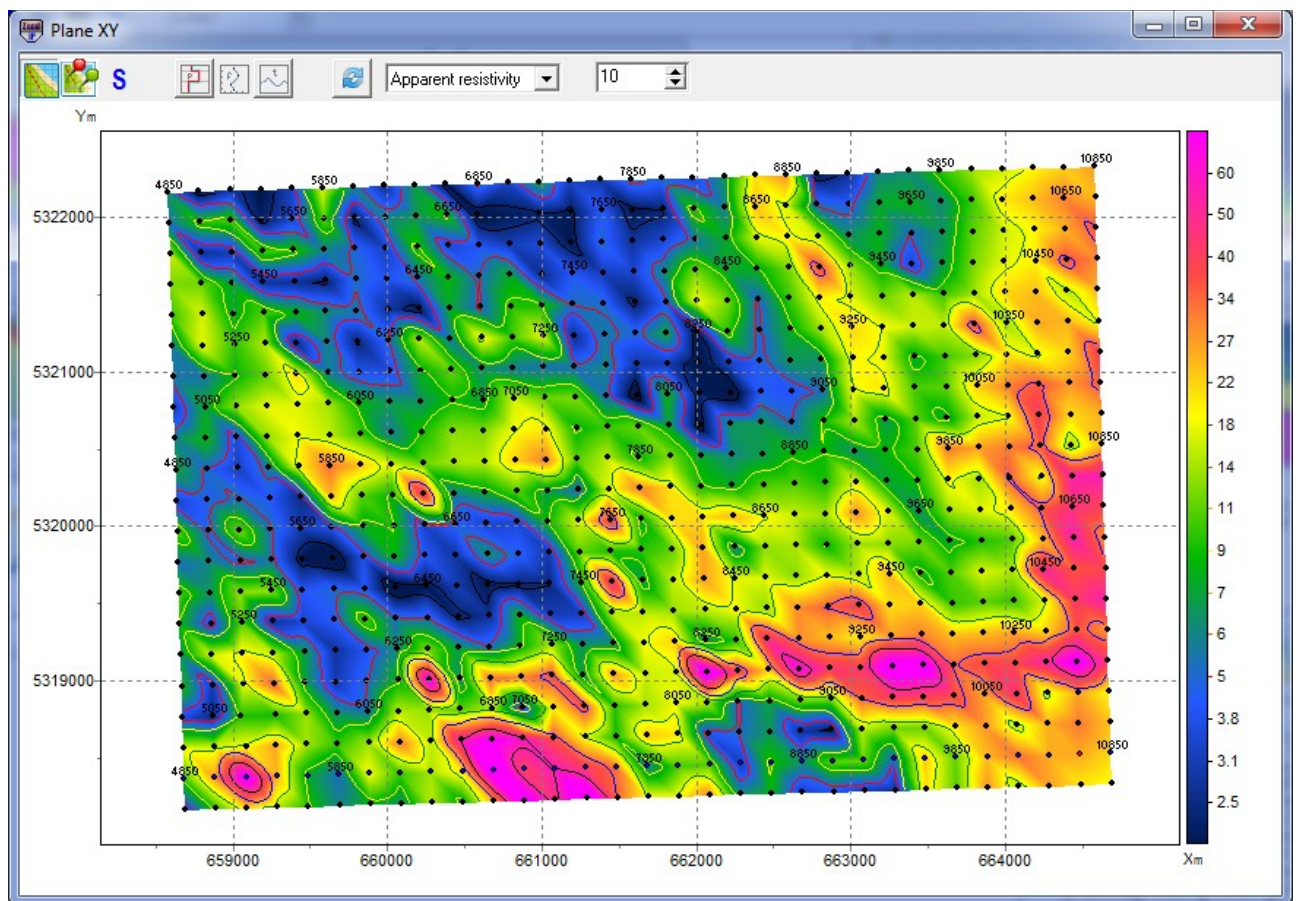
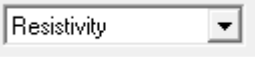
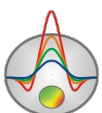
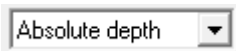


Fig. 44 **Ventana PlaneXY. Plano de isolíneas de resistividad.**

La barra de herramientas de la ventana contiene los siguientes botones:

	Cargar archivo ráster de mapa como fondo.
	Carga el mapa del área desde internet. Las coordenadas de las estaciones deben estar especificadas en coordenadas UTM. En caso de problemas con la carga, introduzca una clave actualizada en el campo Bing maps api_key.
	Exportar esquema de distribución del parámetro en área a Golden Software Surfer e iniciar la aplicación.
	Construir isolíneas para parámetros del modelo (resistividad, conductividad o espesor).
	Construir isolíneas para parámetros medidos (resistividad aparente o cargabilidad).
	Construir isolíneas para valores de alturas.
	Actualizar el plano actual.
	Parámetro que se mostrará en el corte de área. Puede ser un parámetro del modelo para la profundidad seleccionada o valores medidos.
	Establece la profundidad para la cual se construirá el corte de área del



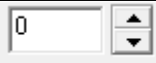
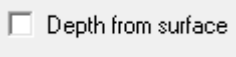
	modelo. Dependiendo del modo, los valores se toman de la profundidad absoluta especificada (altura) o de la profundidad desde la superficie (depth from surface). Si se establece el modo de construcción de datos, establece el número del nivel de datos para mostrar.
	Modo de construcción del corte: absolute depth - se seleccionan valores de parámetros para una profundidad absoluta determinada (altura), depth from surface se seleccionan valores de parámetros para una profundidad determinada desde la superficie, layer index – número de capa.

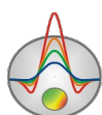
Al construir los parámetros del modelo en la barra de herramientas hay dos ventanas que permiten seleccionar uno de los parámetros y especificar la profundidad a la cual se mostrará. En la ventana derecha es necesario establecer el modo de referencia de profundidades: Depth from topo – los valores de profundidad se miden desde la superficie, Absolute depth – se utilizan valores absolutos de profundidad, Layer index – el mapa de isolíneas se construye para la capa especificada.

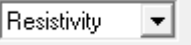
Al construir isolíneas de parámetros medidos, el número de capa corresponde a la malla de separaciones de los datos iniciales.

Opción 3D fence diagram (Options/ 3D fence diagram)

Esta opción está destinada a la visualización tridimensional de los resultados de interpretación por perfiles. Después de seleccionar esta opción aparece la ventana 3D sections viewer. La barra de herramientas de la ventana contiene los siguientes botones:

	Vista previa de impresión.
	Rotar el modelo 3D.
	Carga el mapa del área desde internet. Las coordenadas de las estaciones deben estar especificadas en coordenadas UTM. En caso de problemas con la carga, introduzca una clave actualizada en el campo Bing maps api_key.
	Construir un conjunto de cortes horizontales en el programa surfer.
	Mostrar mapa horizontal. La profundidad del mapa desde la superficie se establece en kilómetros en la ventana de la derecha.
	Establece la profundidad del corte del conjunto de perfiles.
	Modo de construcción del corte. Si la opción está activada, el corte se construye para una profundidad dada desde la superficie, de lo contrario para una cota absoluta dada (corte plano).



	Al presionar este botón se establecen escalas iguales para todos los ejes. Al mismo tiempo, a la derecha aparece una ventana que permite especificar la relación de escalas para cada eje.
	Ajuste del eje vertical Z.
	Indica qué modelo de parámetro se construirá.

La ventana 3D section viewer contiene tres pestañas:

La pestaña Lines (Fig. 45) está destinada a editar las coordenadas de inicio y fin de los perfiles, así como a establecer los perfiles que se mostrarán en el modelo 3D. A la izquierda en la ventana se encuentra una tabla que contiene los nombres de los perfiles, coordenadas de inicio y fin. Para mostrar el perfil en el modelo 3D es necesario marcar la casilla en la última columna de la tabla ([V] – visible). A la derecha se muestra el mapa de perfiles. El perfil activo se muestra en color rojo. Existe la posibilidad de editar las propiedades de los ejes, el editor se invoca con el botón derecho del ratón manteniendo presionada la tecla [SHIFT]. Más detalles sobre la configuración de parámetros de ejes en la sección Editor de ejes.

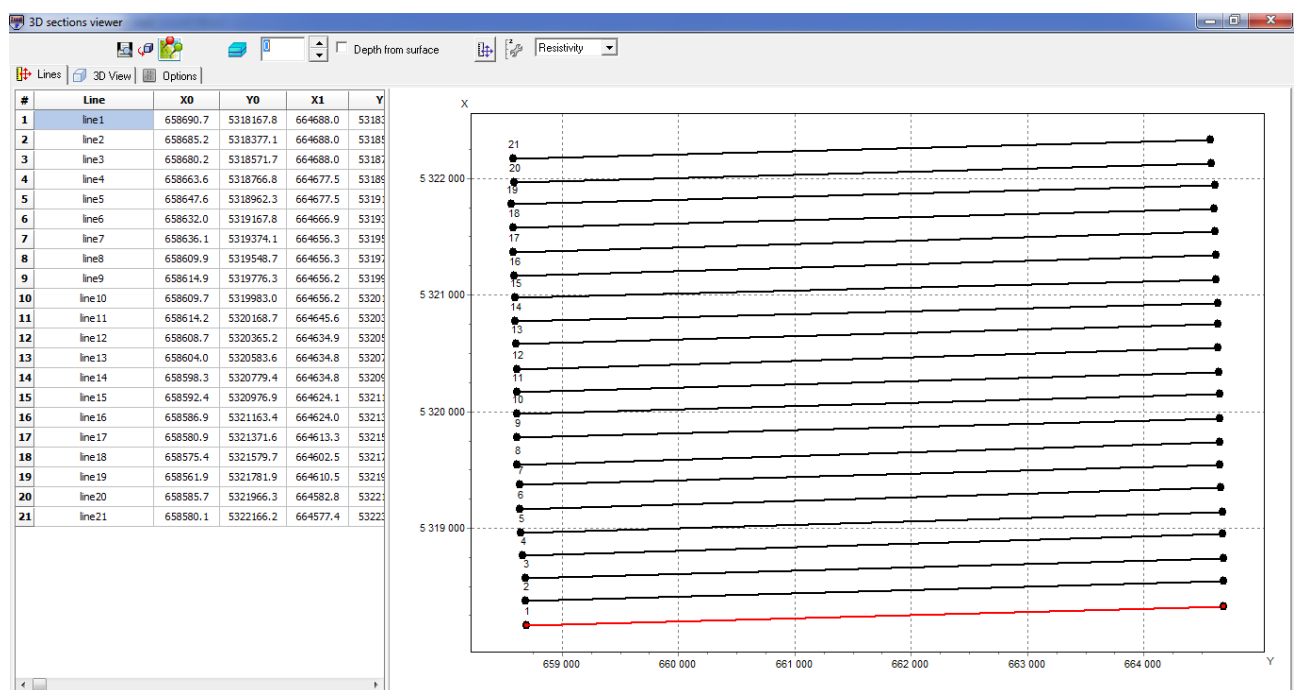
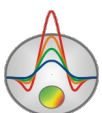


Fig. 45 Ventana 3D section viewer, pestaña Lines.

La pestaña 3D view (Fig. 46) está destinada a visualizar el modelo 3D.



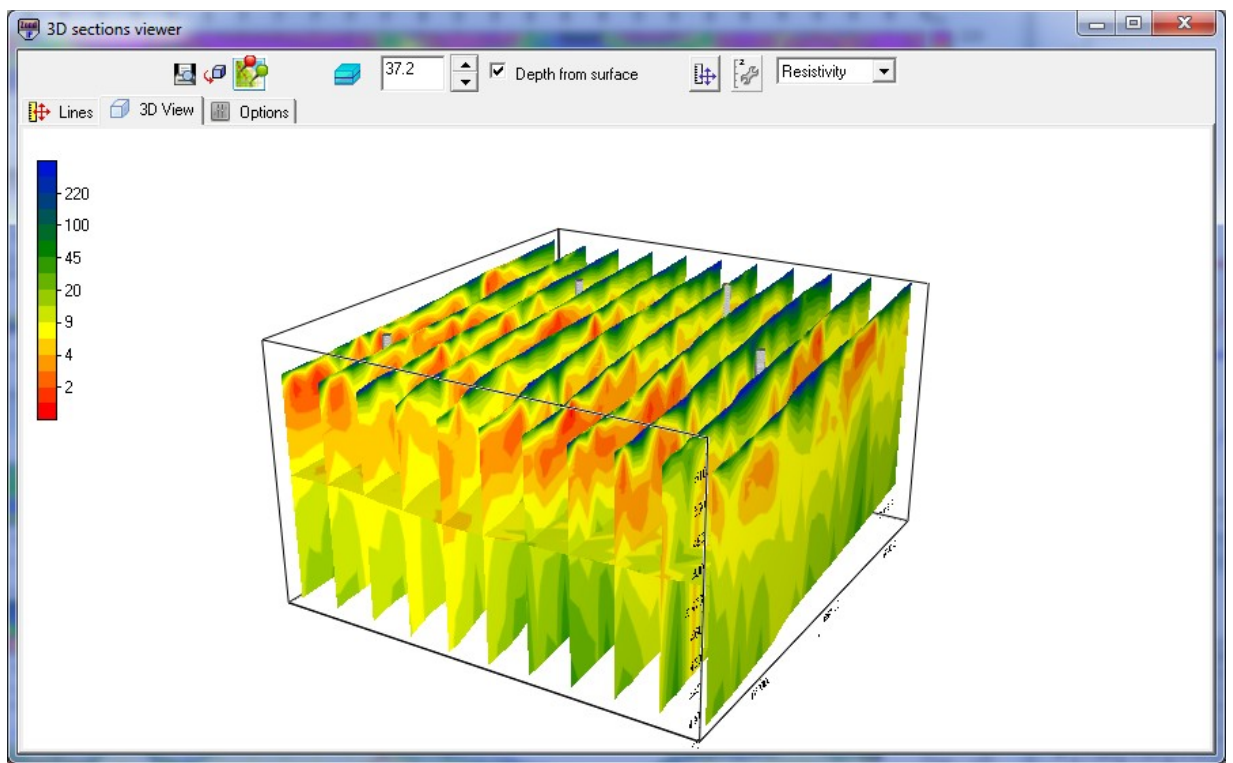
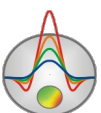


Fig. 46 Ventana 3D section viewer, pestaña 3D view.

La pestaña Options (Fig. 47) está destinada a configurar los parámetros de imagen.

El área Color scale permite configurar los parámetros de relleno. El botón [Palette] invoca la ventana de diálogo de configuración de relleno (más detalles). El área Color scale limits permite establecer el mínimo y máximo para la escala de color manualmente o elegir el modo automático de determinación de límites, marcando la casilla correspondiente.

Opción Continuous, si la opción está activada, la sección se construirá utilizando una paleta de colores continua, de lo contrario un conjunto de contornos.



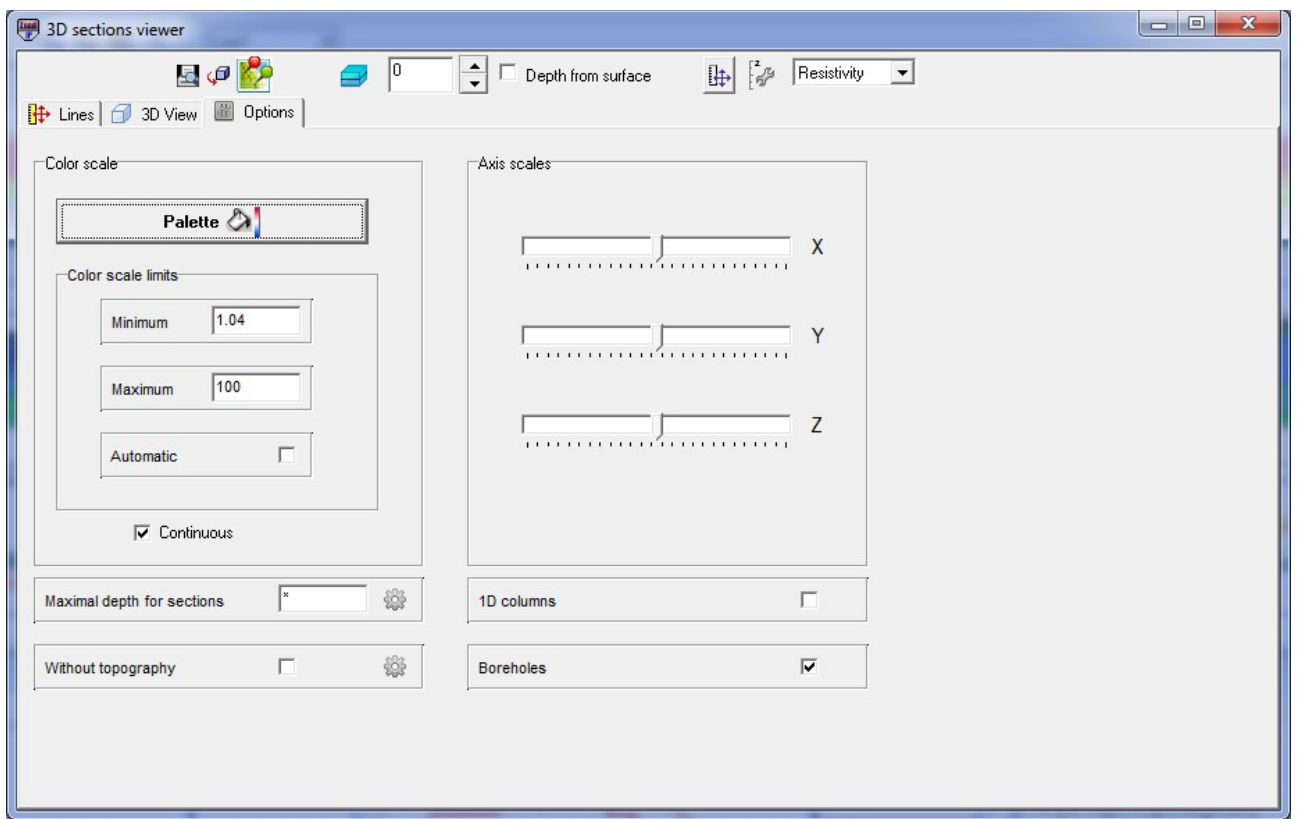


Fig. 47 Ventana 3D section viewer, pestaña Options.

El área Axis scales está destinada a establecer las escalas de los ejes. Las escalas se establecen solo cuando el botón  en la barra de herramientas de la ventana.

El campo Maximal depth for sections establece la profundidad límite por debajo de la cual las secciones serán recortadas.

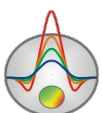
La opción Without topography permite construir secciones sin tener en cuenta las elevaciones topográficas de los sondeos. Esto es útil si es necesario construir un modelo con eje vertical logarítmico.

Opción 1D Columns - permite mostrar los modelos 1D en forma de pseudopozos. Los colores de las capas se eligen de acuerdo con la escala de color.

La opción Boreholes - permite mostrar los datos de pozos en imagen tridimensional. Con una gran cantidad de pozos en el proyecto, su visualización puede tardar un tiempo considerable.

Introducción de información a priori

La presencia de información a priori (datos de pozos) permite aumentar significativamente la fiabilidad de las secciones geoelectricas obtenidas. El programa ZondIP1D tiene un módulo incorporado que permite mostrar datos a priori en forma gráfica en las secciones.



Creación y adición de archivo de litología y registro

Para crear o editar la información de pozos, en el menú principal del programa es necesario seleccionar Options/Boreholes/Create/edit borehole data. Aparecerá la ventana de diálogo del módulo Add borehole data (Fig. 48).

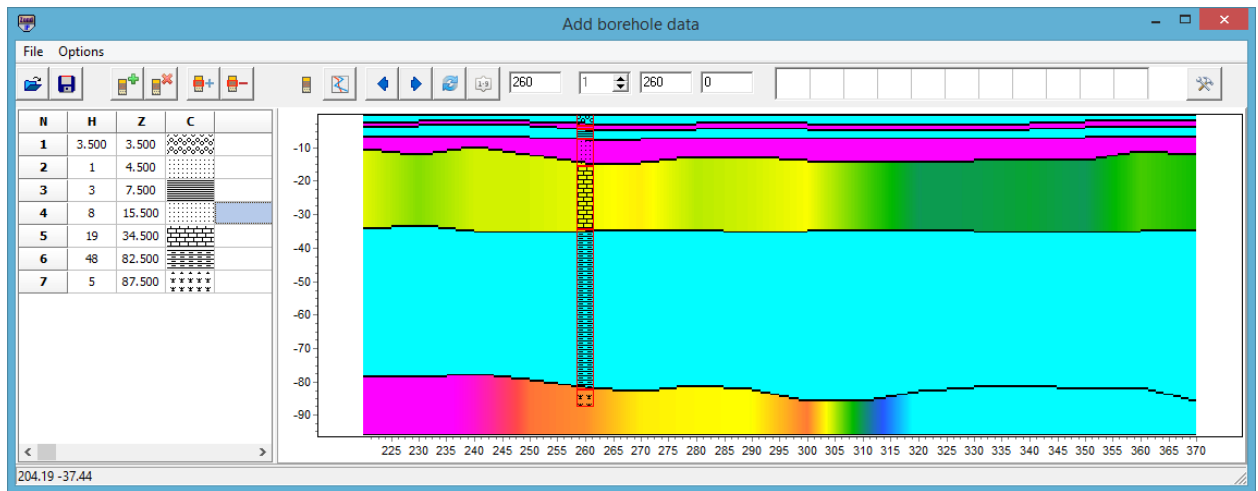
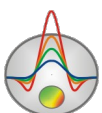


Fig. 48 Ventana de diálogo de creación de archivo de litología Add borehole data

La barra de herramientas de la ventana de diálogo contiene los siguientes botones:

	Abrir archivo de litología.
	Guardar archivo de litología.
	Crear nuevo pozo.
	Eliminar pozo.
	Agregar capa en el pozo.
	Eliminar capa en el pozo.
	Establece el tipo de datos de pozo: columna litológica. De lo contrario, datos de registro (gráfico).
	Cargar datos de registro.
	Ir al pozo anterior.
	Ir al pozo siguiente.
	Actualizar ventana de dibujo de datos.
	Ordenar pozos por coordenada.
	Establece la coordenada horizontal (a lo largo del perfil) y el número de perfil, si el proyecto consta de varias líneas.



	Etiqueta del pozo (no más de 5 símbolos) y ángulo de su inclinación en el plano XZ.
	Opciones adicionales.

El módulo contiene dos ventanas principales. A la izquierda se encuentra la Ventana de datos, que contiene una tabla con las siguientes columnas: [N] – número de orden de la capa, [H] – espesor de la capa en metros, [Z] – profundidad de la base de la capa en metros, [C] – tipo de relleno. En la ventana derecha los datos de pozos se muestran en forma gráfica.

Para crear nuevos datos de pozos es necesario presionar el botón  en la barra de herramientas. Después de esto aparecerá una nueva tabla en la Ventana de datos. Mediante el botón  es necesario establecer el número de capas necesario. Luego es necesario editar la tabla, estableciendo los valores de espesor o profundidad de la base de cada una de las capas, así como elegir el tipo de relleno de acuerdo con la litología. El diálogo de configuración de relleno Pattern Color Editor se invoca con doble clic del botón izquierdo del ratón en la columna [C] de la ventana de datos (Fig. 49). El programa ofrece una amplia selección de rellenos litológicos. En la opción Color se puede elegir el color del relleno.

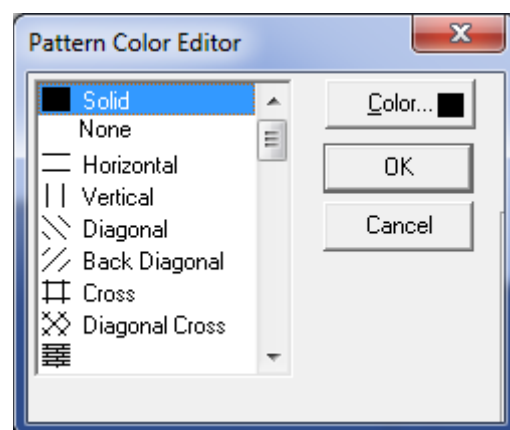
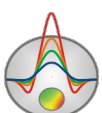


Fig. 49 Ventana del editor de relleno

Después de terminar la entrada de datos del pozo es necesario presionar el botón  y el pozo aparecerá en la ventana gráfica. Después de esto es necesario establecer las coordenadas horizontal y vertical del pozo en la barra de herramientas en kilómetros, después de lo cual el pozo se mostrará de acuerdo con sus coordenadas. En la ventana gráfica el pozo activo se muestra en color rojo.

Para facilitar el trabajo con gran cantidad de pozos el programa tiene la posibilidad de crear una paleta. Para crear la paleta seleccione el relleno necesario en la columna de rellenos de la Ventana de datos, después de lo cual haga clic con el botón derecho del ratón en el área de rellenos del



panel principal del programa. De esta forma puede crearse un conjunto de rellenos, que luego puede guardarse. Para esto presione el botón  y seleccione Save default palette. El conjunto guardado de rellenos puede utilizarse al crear un nuevo archivo de datos de litología y registro ( - *Load default palette*).

La función Set percent, disponible al presionar el botón  está destinada a cambiar la escala de visualización de los datos de pozos en forma gráfica.

Después de guardar el archivo de datos se crearán varios archivos: *.crt – proyecto del módulo, que puede ser cargado en el programa ZondIP1D y *.txt – archivo para cada pozo, los nombres corresponden a la coordenada horizontal y vertical. Para más detalles sobre el formato del archivo de litología véase el Apéndice 1.

Para añadir datos de pozos desde un archivo utilice el comando Options/Boreholes/Load borehole data. Los datos de pozos se mostrarán tanto en la sección geoelectrica como en el área del editor de modelo (Fig. 50).

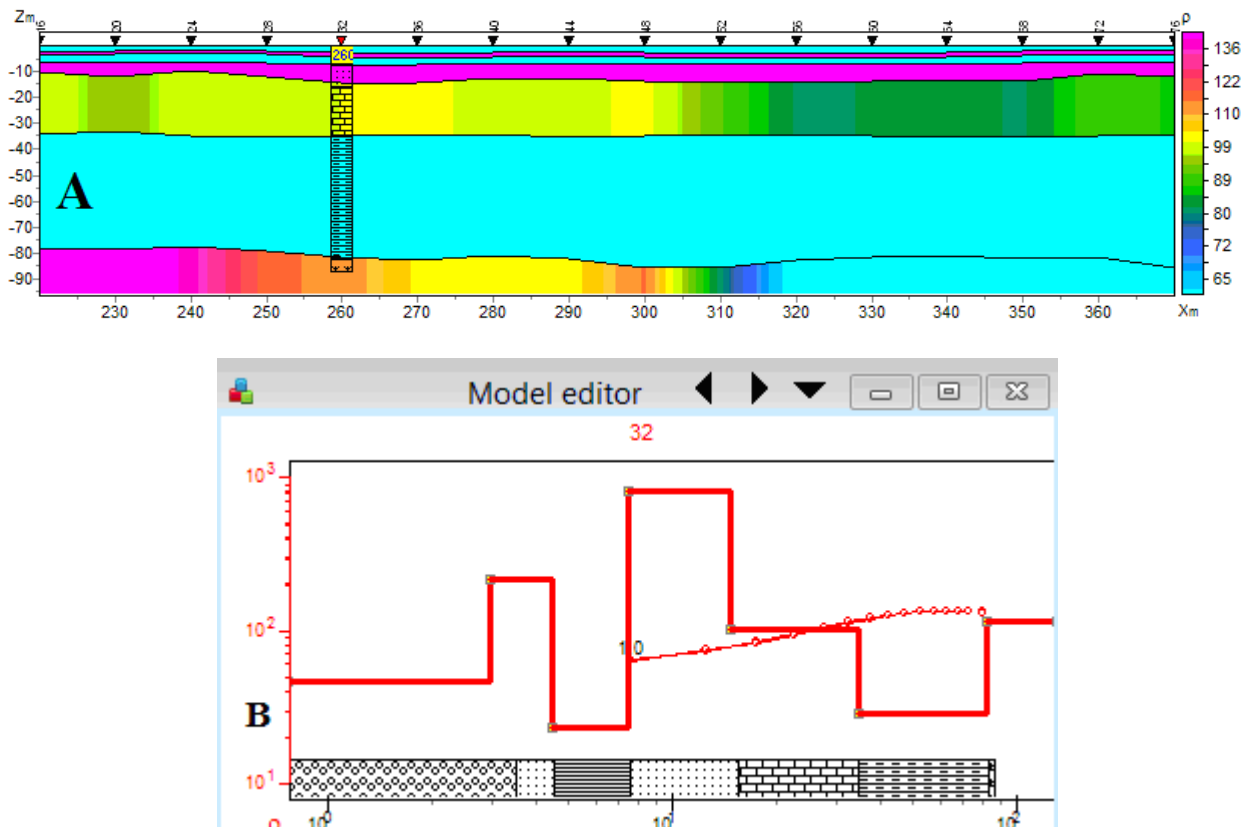
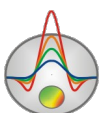


Fig. 50 Visualización de datos de litología en la sección geoelectrica (A) y editor de modelo (B).



También pueden añadirse datos de registro. Para ello en la ventana Add borehole data presione el botón  y seleccione el *.crt correspondiente. Los datos de registro pueden añadirse a una columna litológica ya existente.

Introducción de límites geológicos (Diálogo Set boundaries)

El diálogo de establecimiento de límites Set boundaries está disponible en el menú Options/Invert&Apriori/Set boundaries y permite considerar información geológica a priori durante la inversión. Después de seleccionar esta pestaña aparece un menú que contiene los siguientes botones:

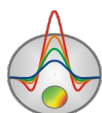
	Enable/Disable editing boundaries mode.	Activar/Desactivar modo de edición de límites.
	Add new boundary.	Añadir nuevo límite.
	Delete boundary.	Eliminar todos los límites.
	Save boundaries to file.	Guardar límites en archivo.
	Load boundaries from file.	Cargar límites desde archivo.

La implementación de límites geológicos a priori en el problema inverso es un procedimiento fundamental para mejorar la calidad de la interpretación. Por un lado, aumenta la estabilidad del problema, y por otro, reduce el área de equivalencia y permite obtener una estructura más consistente. En aquellas áreas del modelo donde los parámetros son poco sensibles, esta es prácticamente la única forma de obtener un resultado aceptable.

Antes de establecer límites se recomienda ejecutar la inversión seleccionando en la pestaña Inversion de la ventana de propiedades del programa el tipo de inversión (Style) – Smooth y activar el ajuste por profundidades (desmarcando la casilla en el campo Thick/depth). Para más detalles sobre la configuración de los parámetros de inversión en la sección Ventana de propiedades del programa.

En la sección geoelectrica obtenida se deben trazar los límites teniendo en cuenta los datos de pozos, o basándose en las representaciones a priori sobre la estructura del área estudiada. La adición de límites se realiza mediante el botón izquierdo del ratón con el modo  activado. El cierre del límite se realiza con el botón derecho del ratón. Al trazar límites no se deben utilizar muchos nodos. Es deseable que los límites sean lo más suaves posible.

Después de trazar los límites se debe ejecutar nuevamente la inversión, que se realizará teniendo en cuenta los límites especificados (Fig. 51).



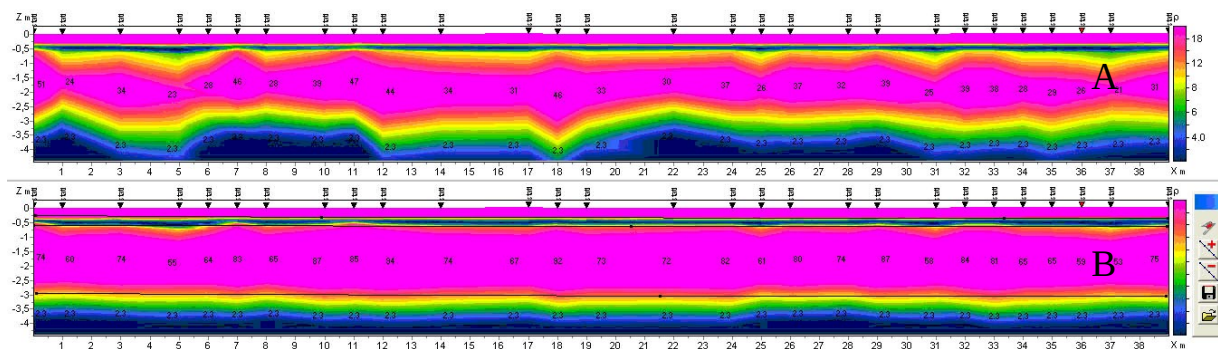


Fig. 51 Ejemplo de sección geoelectrica según resultados de inversión sin considerar (A) y considerando (B) límites geológicos.

Opciones de interpretación conjunta de datos de sondeos SEV y MT (AMT, RMT)

Esta funcionalidad está destinada a la interpretación conjunta de datos SEV y modificaciones de sondeos frecuenciales como MT, AMT, RMT, CSAMT, CSRMT. Todas estas modificaciones difieren en el rango de frecuencias estudiadas y, en consecuencia, en la profundidad de investigación. A continuación se utilizará únicamente la abreviatura del más profundo de todos los métodos – sondeos MT.

La funcionalidad está disponible en el menú principal del programa Options/MT Data. En el menú están disponibles las siguientes opciones:

Load MT data	Cargar datos MT en formato TXT (el formato del archivo se describe abajo).
Load MDF data	Cargar archivo de datos en formato MDF, creado por el programa ZondMT1D o ZondMT2D.
Remove MT data	Eliminar datos de sondeos MT.
Joint inversion	Inversión conjunta de datos SEV y sondeos MT.
Display MT plot	Mostrar ventana de gráficos de curvas MT.

El archivo de texto de datos MT debe contener los siguientes valores, registrados en líneas:

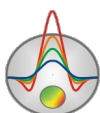
per – conjunto de períodos

app.res – valores correspondientes de resistividades aparentes

pha – valores correspondientes de fases de impedancia.

Cada línea del archivo de texto comienza con una palabra clave, seguida de valores separados por un espacio. El registro de las letras no es importante. Se utilizan las siguientes claves:

- pos – posición de la estación MT en el perfil en kilómetros (al leer se multiplica por 1000). La línea pos inicia la descripción de una nueva estación. Si el archivo contiene una estación sin línea pos, se asigna a la estación de sondeo más cercana.



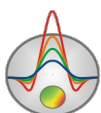
- per – períodos, s; en lugar de ellos se pueden especificar frecuencias en la línea frq (Hz), entonces los períodos se calculan como $1/f$.
- app.res (o ro_a) – resistividades aparentes, $\Omega \cdot m$.
- pha (o phi) – fases de la impedancia, grados.

Ejemplo de archivo con dos estaciones:

```
pos 0.10
per 0.001 0.01 0.1 1
app.res 55 80 120 150
pha 50 42 38 40
pos 0.30
per 0.001 0.01 0.1 1
app.res 60 85 115 140
pha 49 43 39 41
```

Después de la lectura se abre la ventana Stations positions (ver sección «Diálogos auxiliares»), donde se puede precisar la posición de las estaciones y desactivar las innecesarias. Cada estación MT se asigna a la estación de sondeo SEV más cercana. Los archivos MDF/M2D (programas ZondMT1D/ZondMT2D) contienen las posiciones de las estaciones en kilómetros. Para cada estación de sondeo SEV se selecciona la estación MDF más cercana, y si la fase está ausente en el archivo o el número de sus valores no coincide con el número de valores de resistividad, la fase no se carga. En la versión actual se han corregido errores de lectura MDF: pérdida de la última estación, transferencia de valores de la estación anterior a la siguiente y escritura en una estación aleatoria si no se encuentra una estación adecuada.

En la ventana de gráficos de curvas MT MT Plot se muestran los gráficos de resistividad aparente y fase de la impedancia (Fig. 52). Las curvas con círculos muestran los parámetros medidos, las líneas sólidas representan los ajustados como resultado de la inversión conjunta. Existe la posibilidad de editar las propiedades de los ejes, el editor se invoca con el botón derecho del ratón manteniendo presionada la tecla [SHIFT]. Más detalles sobre la configuración de parámetros de ejes en la sección Redactor de ejes.



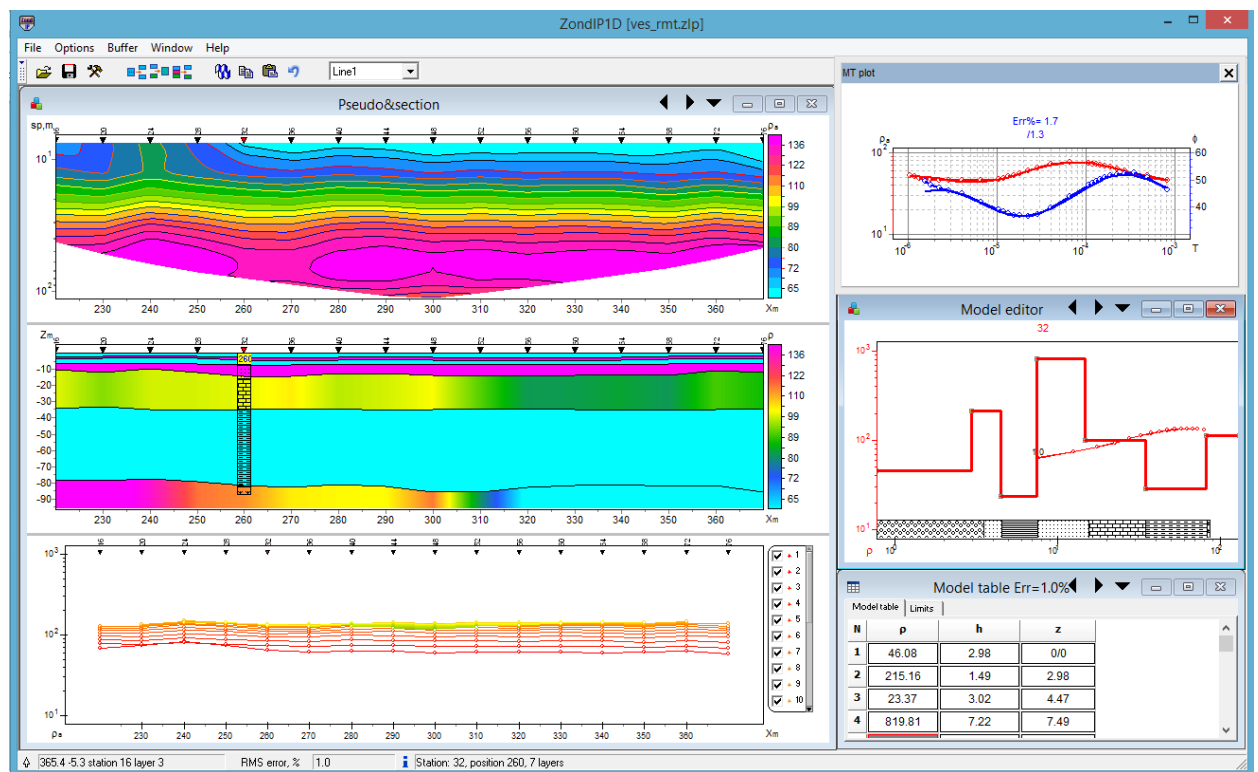


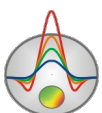
Fig. 52 Visualización de gráficos de curvas MT. Resultados de inversión conjunta de datos SEV y CSRMT

Menú Buffer para comparar resultados de inversión

El menú Buffer de la ventana principal del programa permite comparar resultados de inversión de datos obtenidos utilizando diferentes parámetros. Después de calcular el primer modelo, acceda al menú Buffer y seleccione Model 1. En el cuadro de diálogo que aparece se puede especificar un nombre para el modelo que refleje, por ejemplo, los parámetros utilizados en la inversión. De esta manera, se pueden guardar de 1 a 5 modelos.

Después de guardar el modelo aparece una marca de verificación junto al nombre. Al hacer clic en un modelo previamente guardado, aparece un cuadro de diálogo que permite cargar el modelo seleccionado como actual (botón From Buffer) o guardar el modelo actual como el seleccionado (botón To Buffer).

La opción Open en el menú Buffer abre todos los modelos guardados para la estación de sondeo actual en una ventana (Fig. 53).



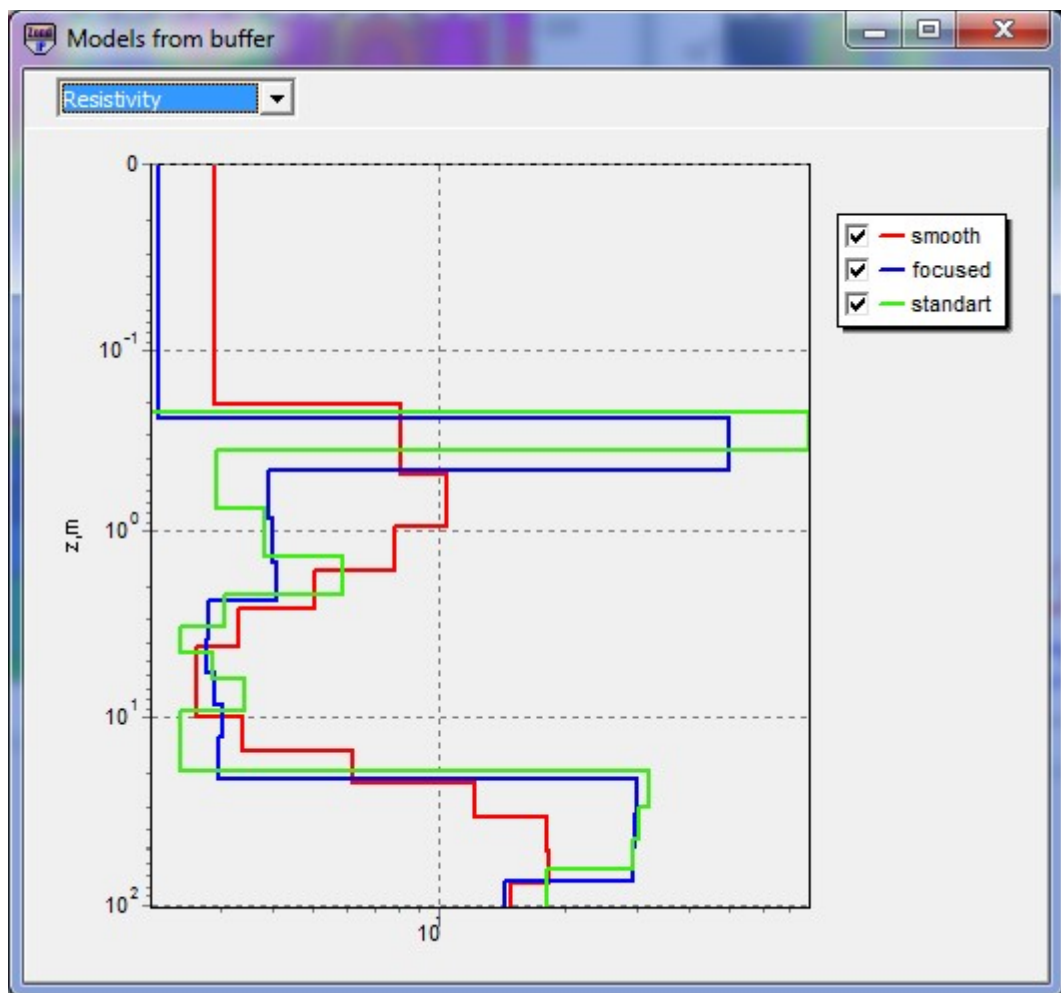
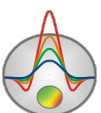


Fig. 53 Dos modelos para una estación de sondeo, abiertos en una ventana.

Configuración de objetos gráficos

Diálogo de configuración de paleta

El diálogo está destinado a configurar la paleta del objeto del programa y se invoca con el botón [Palette] (Fig. 54). El diálogo permite seleccionar una de las paletas predeterminadas (arcoíris directo e inverso, escala de grises, etc.) o crear una escala personalizada. Para agregar un control deslizante en la escala use el botón derecho del ratón con la tecla [CTRL] presionada. Para eliminar un control deslizante use la tecla [DELETE]. También se puede guardar una paleta personalizada usando el botón , o cargar una existente usando el botón .



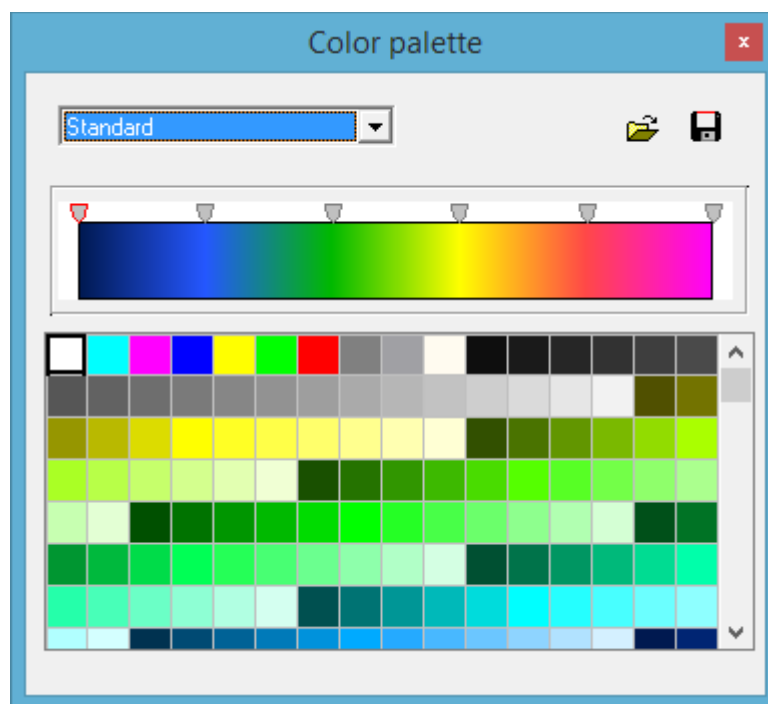


Fig. 54 Diálogo de configuración de parámetros de paleta.

Redactor de ejes

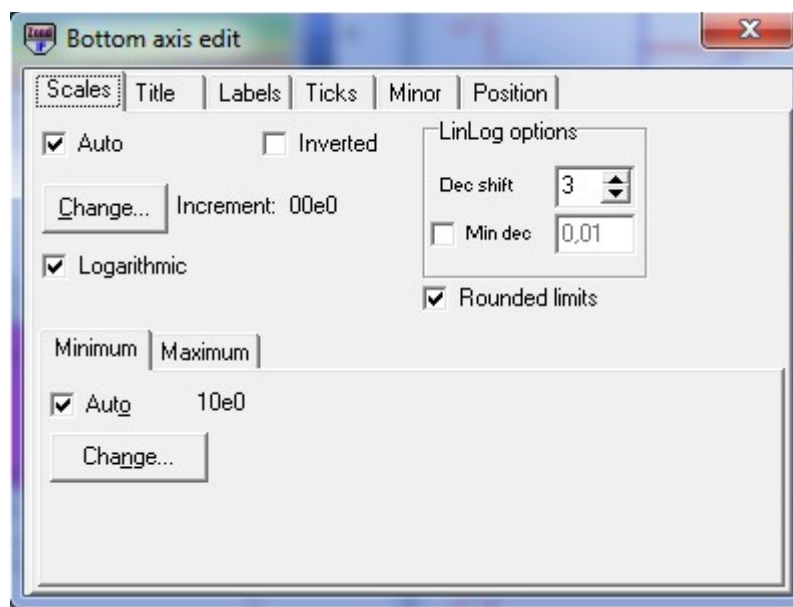
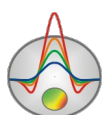


Fig. 55 Ventana del redactor de ejes.

El editor está destinado a configurar los parámetros gráficos y de escala de los ejes. Puede invocarse haciendo clic con el botón derecho del ratón con la tecla [SHIFT] presionada sobre el eje de interés. Aparecerá un menú emergente con tres opciones: Options, Default y Fix range. La primera invoca el diálogo «Editor de ejes», la segunda establece los valores iguales a los valores predeterminados, la tercera fija el eje en los límites actuales.

La primera pestaña del diálogo Scales contiene opciones relacionadas con la configuración de los parámetros de escala del eje.



La opción Auto indica al programa de qué manera se determina el mínimo y el máximo del eje. Si la opción está activada, los límites del eje se encuentran automáticamente, de lo contrario los establece el usuario en las áreas Minimum y Maximum.

La opción Inverted determina la orientación del eje.

El botón [Increment change] invoca el diálogo de especificación del paso de las marcas del eje.

La opción Logarithmic establece la escala del eje - logarítmica o lineal. En caso de un eje con cambio de signo se deben utilizar adicionalmente las opciones del área LinLog options.

El área LinLog options contiene opciones destinadas a configurar el eje lineal-logarítmico. La escala lineal-logarítmica permite representar datos con cambio de signo o que contienen cero en escala logarítmica.

La opción Dec Shift establece el desplazamiento (en décadas logarítmicas) respecto al límite de máximo módulo del eje hasta cero. La década mínima (precero) tiene escala lineal, las demás logarítmica.

La opción Min dec especifica y fija el valor de la década mínima (precero), si la opción está activada.

La opción Rounded limits indica al programa si es necesario redondear los valores de mínimo y máximo del eje.

Las áreas Minimum y Maximum contienen un conjunto de opciones para configurar los límites de los ejes.

La opción Auto determina de qué manera se determina el límite del eje - automáticamente o se especifica con el botón [Change].

La pestaña Title contiene opciones relacionadas con la configuración del título del eje.

Pestaña Style:

La opción Title determina el texto del título del eje.

La opción Angle determina el ángulo de rotación del texto del título del eje.

La opción Size determina el desplazamiento del texto del título del eje. Con 0 especificado, el desplazamiento se encuentra automáticamente.

La opción Visible permite mostrar/ocultar el título del eje.

Pestaña Text:

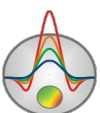
El botón [Font] invoca el diálogo de configuración de fuente para el título del eje.

El botón [Outline] invoca el diálogo de configuración de líneas de contorno de las letras del título del eje.

La pestaña Labels contiene opciones relacionadas con la configuración de las etiquetas del eje.

Pestaña Style:

La opción Visible permite mostrar/ocultar las etiquetas del eje.



La opción Offset establece el desplazamiento porcentual del límite del eje respecto a su valor real.

La opción Angle determina el ángulo de rotación del texto de las etiquetas del eje.

La opción Min separation % especifica la distancia porcentual mínima entre etiquetas.

Pestaña Text:

El botón [Font] invoca el diálogo de configuración de fuente para las etiquetas del eje.

El botón [Outline] invoca el diálogo de configuración de líneas de contorno de las letras de las etiquetas del eje.

La pestaña Ticks contiene opciones relacionadas con la configuración de las marcas principales del eje.

El botón [Axis] invoca el diálogo de configuración de la línea del eje.

El botón [Grid] invoca el diálogo de configuración de líneas de cuadrícula de las marcas principales del eje.

El botón [Ticks] invoca el diálogo de configuración de líneas de las marcas externas principales del eje. La opción Len establece su longitud.

El botón [Inner] invoca el diálogo de configuración de líneas de las marcas internas principales del eje. La opción Len establece su longitud.

La opción At labels only indica al programa dibujar las marcas principales solo en presencia de etiqueta en el eje.

La opción Axis behind establece el orden de dibujo de los ejes y gráficos.

La pestaña Minor contiene opciones relacionadas con la configuración de las marcas intermedias del eje.

El botón [Ticks] invoca el diálogo de configuración de líneas de las marcas externas intermedias del eje.

El botón [Grid] llama al diálogo de configuración de las líneas de cuadrícula de las marcas intermedias del eje.

La opción Length establece su longitud.

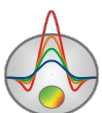
La opción Count establece la cantidad de marcas secundarias entre las principales.

La pestaña Position contiene opciones que definen el tamaño y la posición del eje.

La opción Position % establece el desplazamiento del eje en el gráfico respecto a la posición estándar (en porcentaje del tamaño del gráfico o en unidades de pantalla, dependiendo del valor seleccionado por la opción Units).

La opción Start % establece el desplazamiento del inicio del eje en el gráfico respecto a la posición estándar (en porcentaje del tamaño del gráfico).

La opción End % establece el desplazamiento del final del eje en el gráfico respecto a la posición estándar (en porcentaje del tamaño del gráfico).



La opción Other side permite dibujar el eje en el lado opuesto. Si la opción se aplica al eje inferior, el eje se dibujará arriba.

Editor de conjunto de gráficos

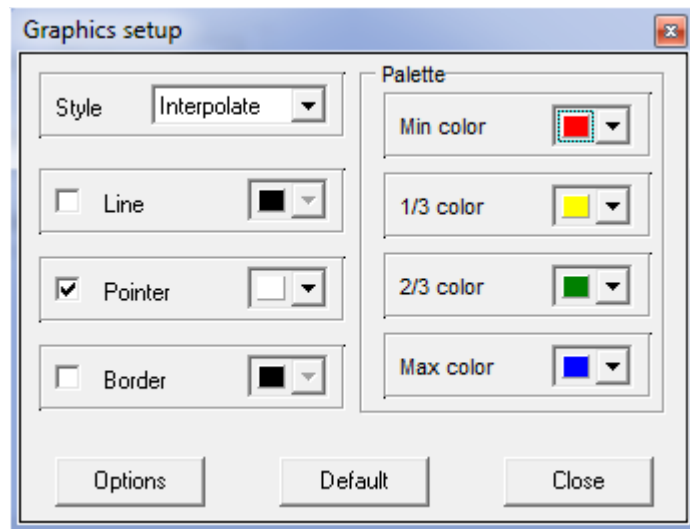


Fig. 56 Ventana del editor de conjunto de gráficos

El editor está diseñado para configurar la secuencia de colores del conjunto de gráficos.

La opción Style establece el algoritmo de asignación de la paleta de colores para los gráficos.

Al seleccionar el valor Interpolate se utiliza una paleta de interpolación, construida usando los colores definidos en las opciones: min color, 1/3 color, 2/3 color y max color. El valor Constant establece el mismo valor de color (opción color) para todos los gráficos. El valor Random asigna colores aleatorios a todos los gráficos.

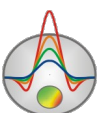
La opción Line permite asignar un color determinado a las líneas de conexión de los gráficos. Si la opción está desactivada se utiliza el color de la paleta, de lo contrario se utiliza el valor de color especificado en Line.

La opción Pointer permite asignar un color determinado al relleno de los marcadores de los gráficos. Si la opción está desactivada se utiliza el color de la paleta, de lo contrario se utiliza el valor de color especificado en Pointer.

La opción Border permite asignar un color determinado al contorno de los marcadores de los gráficos. Si la opción está desactivada se utiliza el color de la paleta, de lo contrario se utiliza el valor de color especificado en Border.

El botón [Options] llama al diálogo de configuración del gráfico.

El botón [Default] establece las configuraciones de los gráficos en los valores predeterminados.



Editor del gráfico

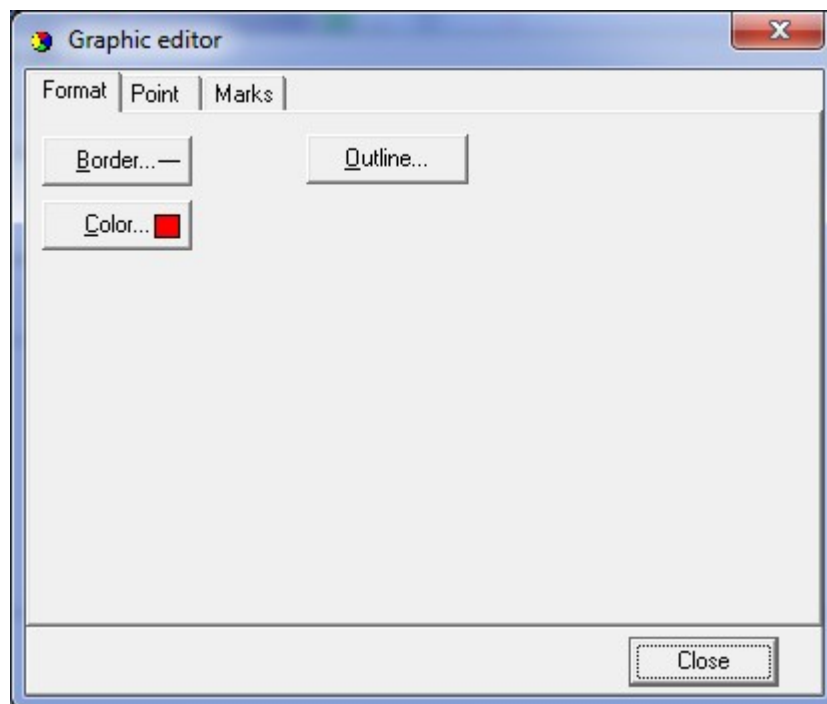


Fig. 57 Ventana del editor del gráfico

El editor está diseñado para configurar la apariencia del gráfico. Se puede llamar haciendo clic con el botón derecho del ratón con la tecla [SHIFT] presionada sobre el gráfico.

La pestaña Format contiene las configuraciones de las líneas de conexión del gráfico.

El botón [Border] llama al diálogo de configuración de los parámetros de las líneas de conexión del gráfico.

El botón [Color] llama al diálogo de selección del color del gráfico.

El botón [Outline] llama al diálogo de configuración de los parámetros del contorno de las líneas de conexión del gráfico.

La pestaña Point contiene las configuraciones de los marcadores del gráfico.

La opción Visible permite mostrar/ocultar los marcadores del gráfico.

La opción Style establece la forma del marcador.

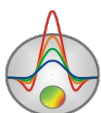
La opción Error gates permite mostrar los límites de confianza del punto de medición, si están definidos.

La opción Width define el ancho del marcador en unidades de pantalla.

La opción Height define la altura del marcador en unidades de pantalla.

El botón [Pattern] llama al diálogo de selección de los parámetros de relleno del marcador.

El botón [Border] llama al diálogo de configuración de los parámetros de la línea de contorno del marcador.



La pestaña Marks contiene las configuraciones de las etiquetas de los marcadores del gráfico.

La pestaña Style.

La opción Visible permite mostrar/ocultar las etiquetas de los marcadores del gráfico.

La opción Draw every permite dibujar cada segunda, tercera, etc. etiqueta dependiendo del valor seleccionado.

La opción Angle determina el ángulo de rotación del texto de las etiquetas de los marcadores.

La opción Clipped establece si se debe dibujar la etiqueta del marcador cuando sale fuera del área del gráfico.

La pestaña Arrows sirve para configurar la apariencia de la flecha que va desde la etiqueta hasta el marcador.

El botón [Border] abre el diálogo de configuración de los parámetros de línea de la flecha.

La opción Length define la longitud de la flecha.

La opción Distance define la distancia entre la punta de la flecha y el marcador del gráfico.

La pestaña Format contiene la configuración gráfica para el marco alrededor de la etiqueta del marcador.

El botón [Color] abre el diálogo de selección de color del fondo del marco.

El botón [Frame] abre el diálogo de configuración de la línea del marco.

La opción Round frame permite mostrar el marco con esquinas redondeadas.

La opción Transparent establece un fondo transparente para la etiqueta.

Pestaña Text:

El botón [Font] abre el diálogo de configuración de fuente para las etiquetas de los marcadores.

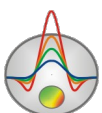
El botón [Outline] abre el diálogo de configuración de las líneas de contorno de las letras de las etiquetas

de los marcadores.

Diálogo de vista previa de impresión (Print preview)

El diálogo de vista previa de impresión puede invocarse desde el menú principal del programa File/Print preview. También está disponible haciendo doble clic con el ratón en el área de cualquier objeto del programa. Al acceder al diálogo desde el menú principal hay dos opciones disponibles:

La opción Station está destinada a la impresión de curvas de sondeo y modelo para la estación actual (fig.58). Los parámetros del modelo se muestran en forma de tabla que contiene el número, el valor de resistividad, el espesor y la profundidad del borde superior de la capa.



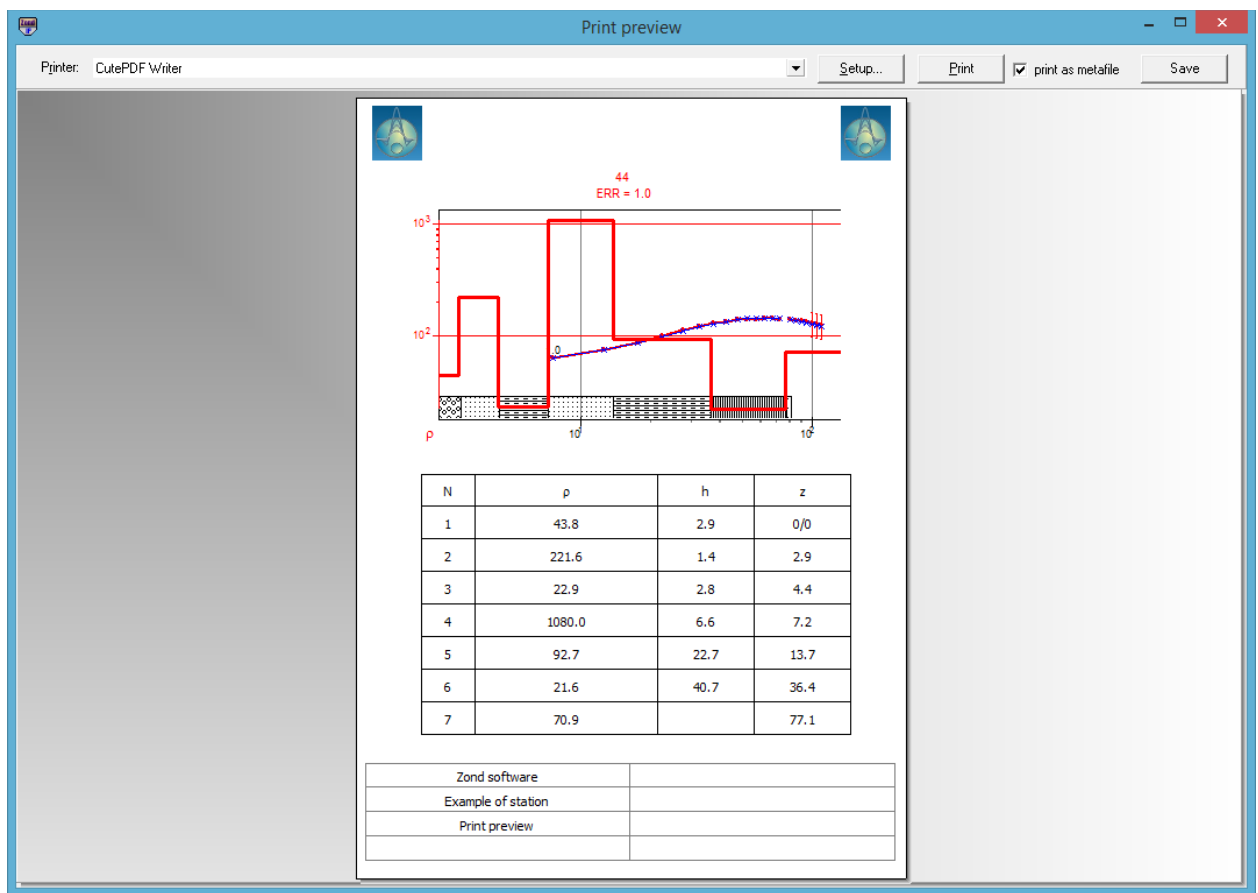


Fig. 58 Ventana Print preview/Station

La opción Section está destinada a la impresión de la sección geoelectrica (fig. 59).

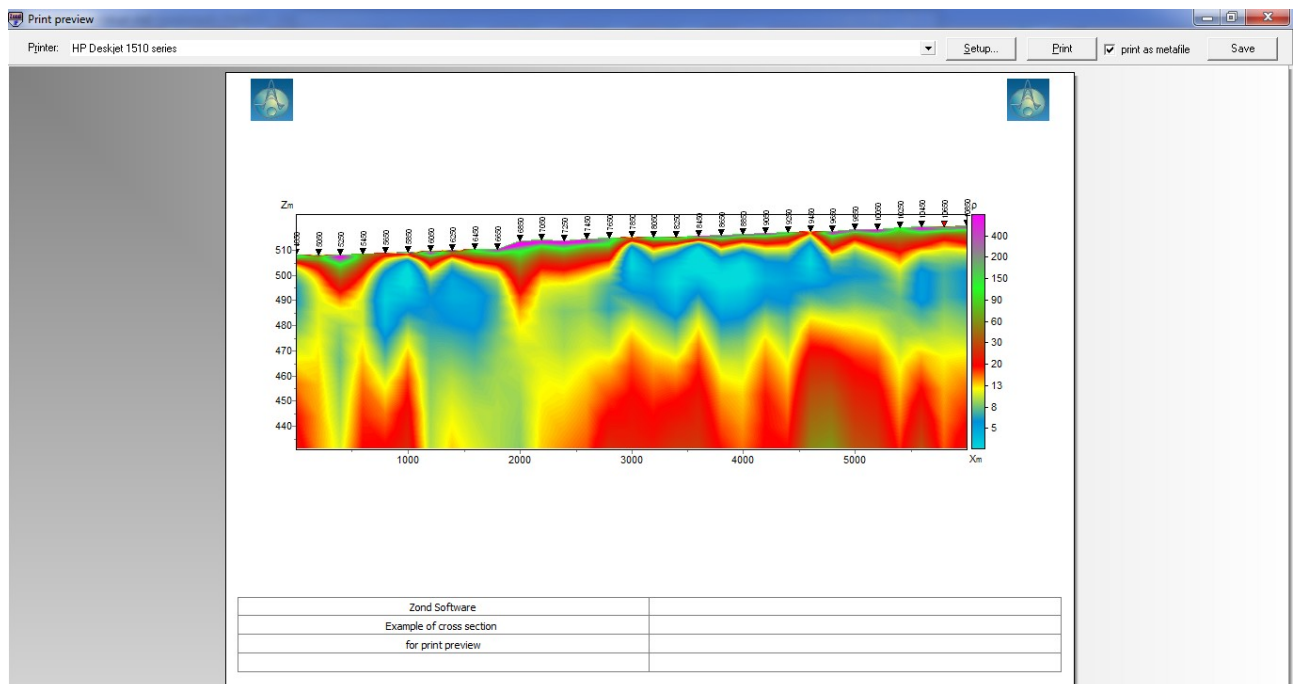
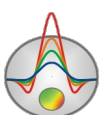


Fig. 59 Ventana Print preview/Section

Para mover el objeto de impresión por la hoja utilice el botón izquierdo del ratón.

En el menú principal de la ventana Print Preview se encuentran los siguientes botones



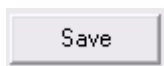
[Print]: selección de impresora para imprimir. En el menú desplegable se puede elegir una de las impresoras configuradas.



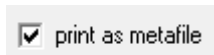
- botón de configuración de impresión. En la ventana que se abre se puede seleccionar el tamaño y orientación del papel, propiedades de impresión, cantidad de páginas por hoja y otros parámetros.



- con este botón, después de modificar los parámetros necesarios, se puede enviar el dibujo a imprimir.



- guardar en bitmap files.



- enviar a imprimir o guardar la imagen en formato vectorial.

Los cuadrados en la parte superior de la hoja están destinados a sellos, timbres o emblemas de la compañía. Haga clic con el botón derecho del ratón sobre el cuadrado y en la ventana que aparece seleccione la imagen raster que desea insertar. Las dimensiones del cuadrado pueden modificarse con el ratón.

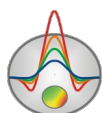
En la parte inferior de la hoja se encuentra una tabla editable. Para añadir texto pulse con el botón derecho del ratón en el área de la tabla y en la ventana que aparece escriba el texto necesario.

También se pueden guardar todos los comentarios en table files mediante el botón , o cargar las inscripciones ya guardadas pulsando el botón .

Editor geológico de secciones

Para la construcción del modelo geológico-geofísico (realización de interpretación geológica) sirve la ventana del editor de modelo geológico Geological editor, que se invoca mediante el menú Options / Geological editor. El editor permite crear en modo interactivo un modelo geológico basado en el modelo actual del proyecto, datos de pozos, datos de otros programas del paquete Zond e información raster a priori; imprimir las secciones obtenidas en la escala especificada, guardar y exportar los resultados.

Al invocar la ventana del editor de modelo geológico, en ella se muestra el modelo actual del proyecto (fig. 60).



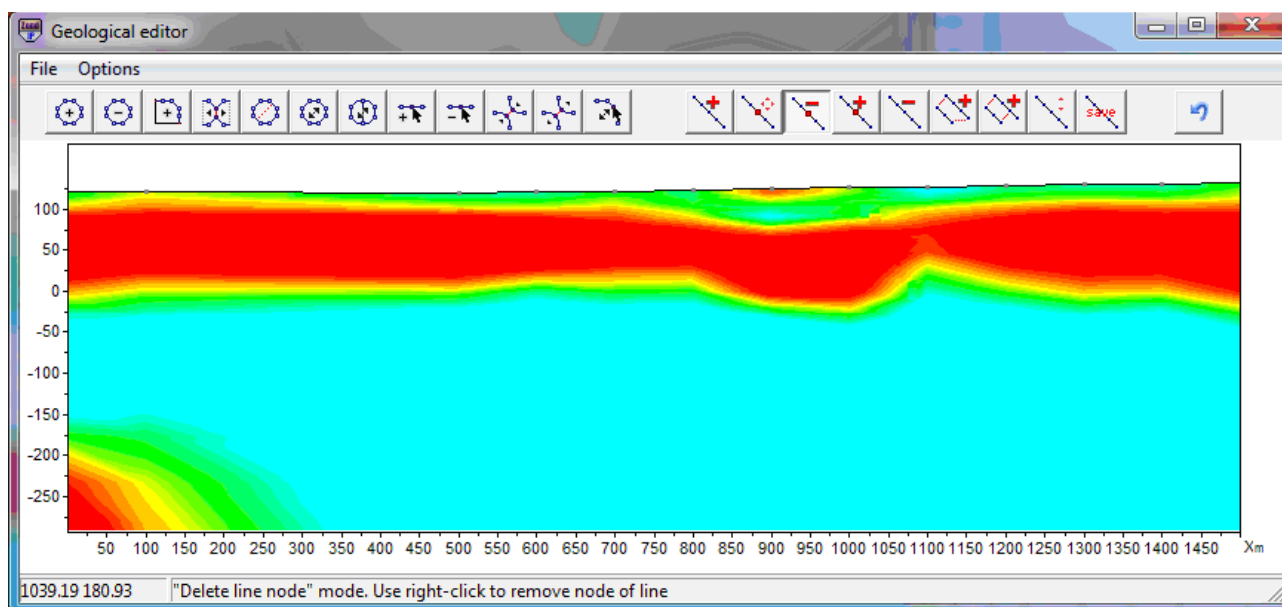


Fig. 60 Ventana del editor de modelo antes de comenzar el trabajo

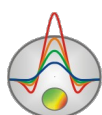
Para realizar la interpretación geológica, en el panel de herramientas se proporcionan dos conjuntos de botones: uno destinado a crear cuerpos poligonales (con posibilidad de editar tramas, rellenos, estilo de contornos, etc.), el otro para dibujar líneas individuales en la sección. Pueden utilizarse para denotar algunos elementos de la estructura geológica (por ejemplo, planos de fallas tectónicas) o en general aumentar la claridad de la sección interpretativa.

Herramientas para crear cuerpos poligonales:

	Agregar polígono.		Eliminar polígono.
	Crear polígono adjunto.		Desadjuntar polígono.
	Mover polígonos enlazados.		Agregar punto.
	Mover polígono.		Mover parte del polígono.
	Eliminar punto.		Desconectar puntos enlazados.
	Mover punto.		Unir puntos.

Herramientas para crear líneas:

	Crear línea.		Mover nodo.
	Eliminar línea.		Cerrar polilínea.
	Mover línea.		Cerrar polilínea.
	Agregar nodo.		Guardar cambio.



	Eliminar nodo.		Cancelar.
--	----------------	--	-----------

Un ejemplo de la sección geoelectrica geológica creada y del modelo geológico creado a partir de ella se presenta en la figura siguiente. La opción de menú File/Remove picture permite eliminar el fondo – la sección del parámetro sobre el cual se realiza la interpretación (Fig. 62).

Mediante la opción de menú File/Save section es posible guardar el resultado en formato *.sec para trabajar en otros programas del paquete Zond o como imagen rasterizada. La opción de menú Options/Model setup permite establecer la escala de imagen para exportación o impresión (File/Print preview).

Open section – permite cargar el archivo de fondo (imagen gráfica).

Save section – permite guardar el modelo geológico-geofísico actual en formato gráfico.

El menú Options de la ventana Geological editor contiene las siguientes funciones:

Automatic scaling – activar el modo de ajuste automático de escalas de imagen.

Model setup – invocar el diálogo de configuración del área de visualización del modelo.

Delete all poly – eliminar todos los elementos del modelo geológico.

Output settings – invocar el diálogo de configuración de parámetros de la imagen exportada.

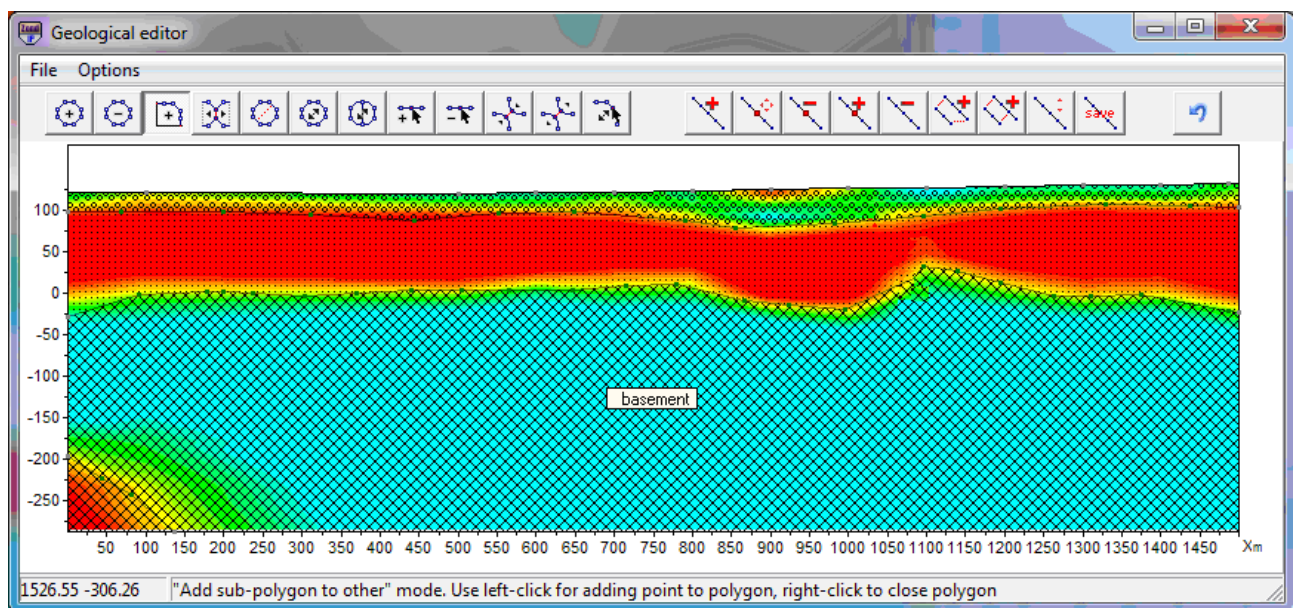
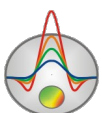


Fig. 61 Ventana del editor de modelo: sección de resistividad e interpretación geológica.



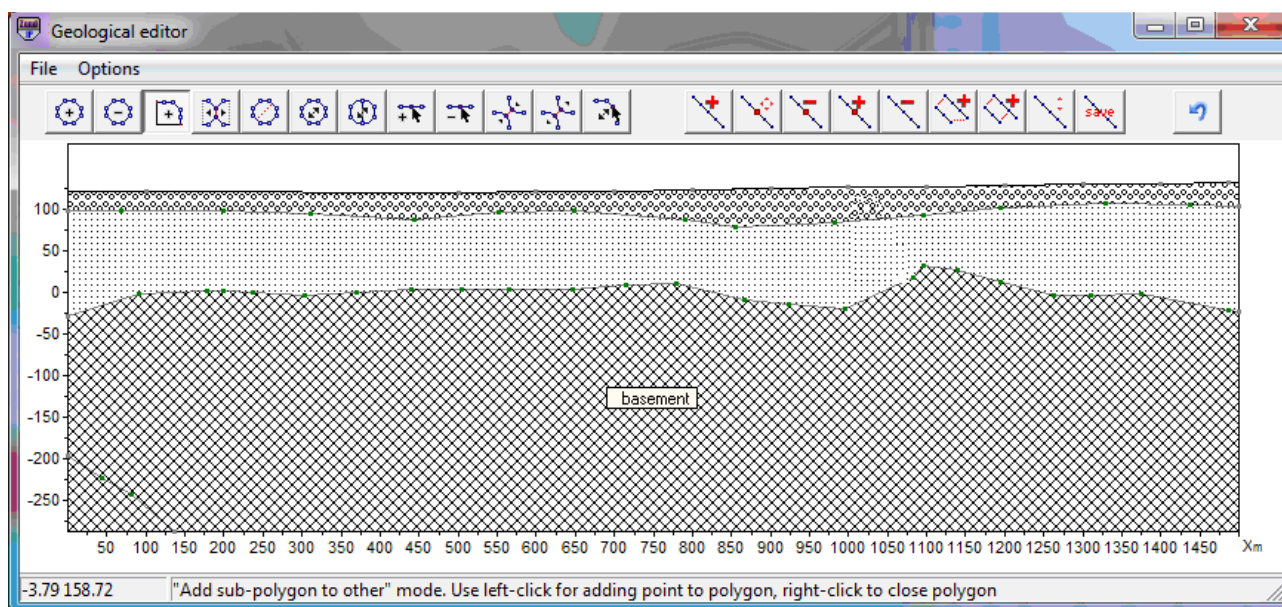


Fig. 62 Ventana del editor de modelo: sección geológico-geofísica según resultados de interpretación.

Diálogo de configuración de parámetros de polígono

Este diálogo se utiliza para configurar diversos parámetros de los polígonos, y se invoca con doble clic del ratón sobre el polígono de interés.

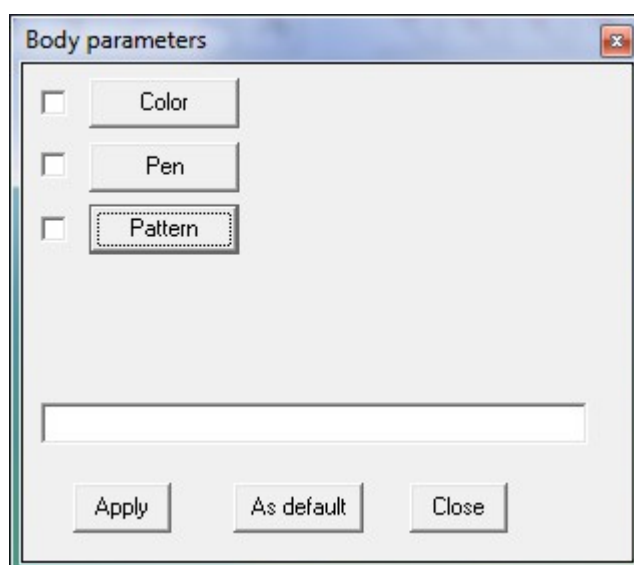
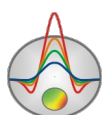


Fig. 63 Diálogo de configuración de parámetros de polígono

Botón [Color] – invoca el diálogo de selección de color de relleno del polígono. Si la opción está activada, el color seleccionado se utilizará en todos los polígonos del modelo.

Botón [Pen] – invoca el diálogo de configuración de parámetros del contorno del polígono. Si la opción está activada, los parámetros seleccionados se utilizarán en todos los polígonos del modelo.

Botón [Brush] – invoca el diálogo de configuración de parámetros del relleno del polígono. Si la opción está activada, los parámetros seleccionados se utilizarán en todos los polígonos del modelo.



Botón [Gradient] – invoca el diálogo de configuración de parámetros del relleno degradado del polígono.

Botón [Font] – establece los parámetros de fuente para la etiqueta.

Debajo se encuentra el campo cuya etiqueta se mostrará sobre el polígono.

Fundamentos físicos y algoritmos

En esta sección se describe qué calcula exactamente el programa en cada etapa del trabajo: qué modelos físicos se utilizan en los problemas directos, cómo está estructurada la inversión y cómo los parámetros de la ventana Program setup influyen en la solución. La sección ayuda a elegir configuraciones de manera consciente y evaluar correctamente los modelos obtenidos.

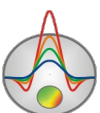
Modelo del medio

El medio se describe mediante una sección horizontalmente estratificada de N capas. Cada capa se define por su resistividad ρ_i ($\Omega \cdot m$), cargabilidad η_i (%), si se cargaron datos PI y espesor h_i (m). La última capa es un semiespacio. La profundidad del techo de la capa se mide desde la cota de la estación de sondeo teniendo en cuenta su altura. En mediciones de fondo (el primer registro de la primera línea del archivo es igual a 8), se añade arriba una capa de agua con resistividad de la línea Water; los electrodos están ubicados en el fondo.

Problema directo de SEV en corriente continua

El potencial de una fuente puntual de corriente I en la superficie de un semiespacio estratificado se expresa mediante la integral de Hankel: $U(r) = I\rho_1/(2\pi) \cdot \int T(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda$, donde $T(\lambda)$ es una función que se calcula mediante una fórmula recurrente de abajo hacia arriba por capas: $T_i = \rho_i \cdot (T_{i+1} + \rho_i \cdot th(\lambda h_i)) / (\rho_i + T_{i+1} \cdot th(\lambda h_i))$, y para el semiespacio $T_N = \rho_N$. La integral se calcula mediante el método de filtrado lineal, es decir, como suma de valores de T en una malla logarítmica λ con pesos precalculados.

La resistividad aparente se calcula como $\rho_a = K \cdot \Delta U / I$. El coeficiente de configuración K se determina por las posiciones de los electrodos A, B, M, N para el tipo de dispositivo dado. El



programa tiene en cuenta la longitud finita de la línea receptora MN: la diferencia de potencial se calcula entre las posiciones reales de los electrodos M y N, y no mediante la derivada del campo. Por lo tanto, las mediciones con MN grandes (especialmente a separaciones pequeñas) se interpretan sin correcciones. Para dispositivos universales y arbitrarios (tipos 3–5), las posiciones de los electrodos se especifican explícitamente en el archivo de datos.

Polarización inducida

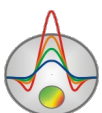
La cargabilidad se tiene en cuenta según el esquema de Seigel. A cada capa se le asigna una resistividad efectiva $\rho_i^* = \rho_i / (1 - \eta_i/100)$. El problema directo se resuelve dos veces: para resistividades ρ_i (resultado ρ_a) y para ρ_i^* (resultado ρ_a^*). La cargabilidad aparente se calcula mediante la fórmula $\eta_a = 100 \cdot (\rho_a^* - \rho_a) / \rho_a^*$, %. Las derivadas de η_a respecto a los parámetros del modelo se calculan analíticamente mediante estas mismas fórmulas. En la versión actual se han corregido el signo de la derivada respecto a la resistividad y el factor $1/(1 - \eta/100)^2$ en la derivada respecto a la cargabilidad (ver informe de cambios).

SEV en corriente alterna

Si en el primer registro de la primera línea del archivo *.zlf (o en el campo Frq del diálogo VES notepad) se especifica una frecuencia $f > 0$, entonces para los dispositivos Schlumberger, Wenner y dipolar (tipos 0, 1, 5) el programa resuelve el problema electromagnético completo para una línea aterrizada en la superficie de un medio estratificado. Se tienen en cuenta la inducción (modos TE y TM, número de onda de la capa $k_i^2 = -i\omega\mu_0/\rho_i$) y las corrientes de desplazamiento ($-\omega^2\mu_0\epsilon$). La resistividad aparente se calcula por el módulo del voltaje: $\rho_a = K \cdot |\Delta U|/I$. A bajas frecuencias el resultado coincide con el cálculo en corriente continua. A $f > 20$ Hz y separaciones de cientos de metros la diferencia se vuelve notable, por lo que para tales datos es necesario especificar la frecuencia. Si no se especifica la frecuencia, se utiliza el cálculo en corriente continua.

Sondeos de inducción DMV

El generador es un dipolo magnético vertical a una altura h sobre la superficie. El receptor mide las componentes vertical H_z y radial H_r a una separación r . El campo en el aire se expresa mediante integrales de Hankel con núcleos J_0 (para H_z) y J_1 (para H_r). Los núcleos contienen el coeficiente de reflexión del medio estratificado, y el coeficiente de reflexión se calcula mediante la impedancia (admitancia) por una fórmula recurrente con números de onda de las capas $u_i = \sqrt{(\lambda^2 + i\omega\mu_0/\rho_i)}$. Del campo se resta el campo primario del dipolo en el aire, y luego al resultado se añade analíticamente su valor exacto. Esto aumenta la precisión a separaciones pequeñas.



Las integrales se calculan mediante filtros digitales adaptativos: los pesos para J0 y J1 se calculan para el conjunto real de separaciones (180 nodos en λ desde 10^{-12} hasta $5 \cdot 10^4$). En la versión actual, los pesos se recalculan con cada cambio en el conjunto de separaciones. Anteriormente se calculaban una sola vez, y al cargar un segundo archivo con otras separaciones se utilizaban pesos incorrectos.

La relación $|Hz|/|Hr|$ se convierte en resistividad aparente mediante la fórmula $\rho_a = F(|Hz|/|Hr|) \cdot (r/1000)^2 \cdot f$. Aquí F es una aproximación polinómica a trozos de la dependencia para un semiespacio homogéneo (r en metros, f en hercios). Para un semiespacio homogéneo, el error de conversión no supera aproximadamente 1%. La mayor diferencia respecto a versiones anteriores es el último tramo ($|Hz|/|Hr| < 0.199$, rocas de alta resistividad y bajas frecuencias): allí la aproximación se corrigió a cuadrática. Antes se usaba una dependencia lineal, y la resistividad se sobreestimaba varias veces (para un semiespacio de $3 \Omega \cdot m$ se obtenía $16 \Omega \cdot m$). Dado que tanto las relaciones de campo como las calculadas se convierten con la misma fórmula, la aproximación no afecta el resultado de la inversión, sino solo la apariencia de las curvas ρ_a .

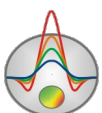
Sondeos magnetotelúricos

Para la interpretación conjunta con MT (AMT, RMT) se calcula la impedancia de un medio unidimensional mediante la fórmula recurrente: $Z_i = Z_{0i} \cdot (Z_{i+1} + Z_{0i} \cdot \tanh(k_i h_i)) / (Z_{0i} + Z_{i+1} \cdot \tanh(k_i h_i))$, donde $Z_{0i} = \sqrt{i\omega\mu_0\rho_i}$, $k_i = \sqrt{i\omega\mu_0/\rho_i}$. A partir de la impedancia en superficie se calculan la resistividad aparente $\rho_T = |Z|^2/(\omega\mu_0)$ y la fase $\phi = \arg Z$. En la inversión, tanto ρ_T como la fase se utilizan en escala logarítmica. Las derivadas respecto a las resistividades de las capas en la versión actual se calculan analíticamente a lo largo de toda la cadena de recursión. Anteriormente, para todas las capas excepto el basamento, las derivadas eran incorrectas, lo que ralentizaba la inversión conjunta.

Planteamiento del problema inverso

La inversión minimiza el funcional $\Phi(m) = \|W(d - F(m))\|^2 + \alpha \|C(m - m_0)\|^2$. Aquí d son los datos observados en escala logarítmica (ρ_a) o en escala lineal (η_a), F(m) son los datos calculados, W son los pesos de los puntos, m es el vector de parámetros, C es el operador de suavizado, m_0 es el modelo de referencia, α es el parámetro de regularización (Smoothing factor). El mínimo se busca mediante el método iterativo de Gauss-Newton. En cada iteración se resuelve el sistema $(J^T W J + \alpha C^T C) \Delta m = J^T W (d - F) - \alpha \cdot s \cdot C^T C (m - m_0)$, donde J es la matriz de derivadas parciales (jacobiano), s es el coeficiente Stabilizer.

Los parámetros sobre los que se imponen límites se convierten a forma adimensional: $m = \text{arth}(2(\ln p - \ln p_{\min})/(\ln p_{\max} - \ln p_{\min}) - 1)$ para cantidades logarítmicas y análogamente para



las lineales. Por lo tanto, el parámetro nunca sale de los límites establecidos en la tabla (Limits), y cerca del borde el paso se reduce automáticamente. Si el paso lleva el parámetro fuera de los límites, el coeficiente de escala para ese parámetro se reduce y el sistema se resuelve nuevamente.

El sistema se resuelve mediante el método de descomposición en valores singulares (SVD) descartando valores singulares pequeños. El umbral es 10^{-2} en la primera iteración, 10^{-3} en la segunda y tercera, y 10^{-5} en las siguientes. Por ello las primeras iteraciones se realizan con cautela, y las siguientes con mayor precisión. El parámetro α en cada iteración se ajusta mediante búsqueda unidimensional en $\ln \alpha$ (método de la sección áurea: 12 cálculos en la primera iteración y 8 en las siguientes). El intervalo de búsqueda se determina por la diagonal de la matriz $J^T W J$ y se reduce alrededor del valor encontrado. El valor de Smoothing factor establece el nivel inicial y los límites de esta búsqueda.

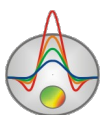
Las iteraciones se detienen si se cumple una de las condiciones: se alcanza el número especificado de iteraciones (Iterations), el error de ajuste se vuelve menor que RMS value, la reducción relativa del error de ajuste por iteración se vuelve menor que Reduction error, el usuario detiene el proceso.

Operador de suavizado y modelo de referencia

Cada fila del operador C corresponde a un parámetro de capa y contiene las diferencias de los valores normalizados de ese parámetro con las capas vecinas (arriba y abajo). El peso de la diferencia es $df = (1 + 2 \cdot Ds \cdot z_i / (z_i + z_N)) \cdot c$, donde z_i es la profundidad de la capa, z_N es la profundidad del techo del basamento, Ds es el valor de Depth smoothing (intensifica el suavizado con la profundidad), y c es el coeficiente de contraste (véase más abajo). Para las capas cuyo límite está vinculado a un límite a priori (Set boundaries), el peso de la diferencia se multiplica por el coeficiente de límite, por lo que se permite un salto de parámetro en él.

El tipo de norma de suavizado se selecciona en el menú Options/Invert&Apriori/Smoothness type:

- L1 – se añade el propio operador C al sistema, es decir, diferencias de primer orden.
- L2 – se añade el producto $C^T C$ al sistema: se minimiza la suma de los cuadrados de las diferencias, lo que da modelos más suaves.
- L0 (por defecto) – las diferencias con la capa superior y con la capa inferior se recopilan en dos operadores separados, y se añade $C1^T C1 + C2^T C2$ al sistema. El suavizado resulta más local.
- Stabilizer (0.01–1) – multiplicador s del término $\alpha \cdot C(m - m_0)$ en el lado derecho. Debilita la atracción al modelo de referencia sin cambiar el operador. Se utiliza para los estilos Smooth y Focused cuando la opción Robust para el modelo está desactivada.



El trabajo con el suavizado se ha corregido siguiendo el modelo del programa ZondTEM1D. La pequeña adición diagonal que asegura el condicionamiento del sistema ya no se introduce en las filas del operador C : antes entraba en el producto C^TC al cuadrado y se mezclaba con las diferencias de las capas vecinas, lo que distorsionaba la relación entre el suavizado y la proximidad a m_0 . Ahora la adición se introduce una sola vez, al final, en la diagonal de la matriz final (C o C^TC): 0.01 para el estilo Smooth y 0.001 para el estilo Focused, y solo para parámetros cuya diagonal no sea cero. Con la opción Robust activada para el modelo, no se introduce la adición. Los parámetros que no tienen vecinos (solitarios o completamente delimitados por límites) reciben una diagonal de 1, como antes. Para espesores y profundidades se conserva la adición +1.

El coeficiente de contraste c depende del estilo de inversión (Style):

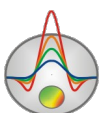
- Standard – $C = I$ (matriz identidad). Se minimiza la desviación de m_0 (amortiguamiento), no hay suavizado.
- Smooth – $c = \arctg(2|\Delta|)/(2|\Delta|)$, donde Δ es la diferencia de parámetros normalizados de capas vecinas (con $m_0 = \text{Median}$ y la opción Robust desactivada para el modelo). Los saltos grandes se suavizan más débilmente que con la norma cuadrática.
- Focused – $c = \max(0.001; 2e/(\Delta^2 + e))$, donde e es el valor de Threshold. Cuando $|\Delta| \gg \sqrt{e}$, el peso de la diferencia tiende a cero y el límite entre capas se «fija». Así se obtiene un modelo por tramos constante (focalizado). Cuanto menor es Threshold, más nítidos son los límites y mayor es el riesgo de inestabilidad.

La opción Robust para el modelo reemplaza la norma cuadrática de suavizado por una norma cercana a L1. Cada fila de C se multiplica por un peso proporcional a $1/(|C(m - m_0)|_1 + e)$ y normalizado por parámetros de un mismo tipo. Los pesos se recalculan en dos pasadas en cada iteración. En la versión actual se utiliza un arreglo separado para los pesos: antes las filas sin peso se multiplicaban por el propio valor $C(m - m_0)$, lo que distorsionaba el operador.

El modelo de referencia m_0 (campo m_0) se especifica así: Median – mediana del modelo actual, Start – modelo de la primera iteración, Previous iter – modelo de la iteración anterior (el suavizado en esta variante solo estabiliza el paso).

Pesos robustos de los datos

Cuando está activada la opción Robust para los datos, los pesos de los puntos se recalculan en cada iteración según la distribución de los errores de ajuste dentro de cada curva (por separado para p_k , q_k y MT). Los puntos con desviaciones anómalamente grandes reciben un peso reducido, por lo que valores atípicos individuales no distorsionan el modelo. Los pesos especificados por el usuario se multiplican por los robustos.



Espesores, profundidades y límites

Con la opción Thick/depth desactivada, se ajustan las profundidades del techo de las capas. En la inversión de perfil (Profile style), el modelo inicial de cada estación se toma de la estación actual, inicial o anterior. Los límites especificados con el botón Auto en la ventana Limits se establecen como porcentajes del valor actual.

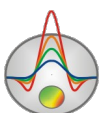
Inversión conjunta de SEV y MT

Si se han cargado curvas MT y está activada la opción Options/MT data/Joint inversion, entonces al vector de datos de la estación se añaden $\ln \rho T$ y $\ln \phi$ para todos los períodos, y al jacobiano sus derivadas respecto a las resistividades y espesores. La cargabilidad no afecta a los datos MT. El peso del punto MT es igual al peso especificado en la curva MT (por defecto 1). En la inversión 1.5D, el peso se reduce adicionalmente con la distancia de la estación desde la central. Con la opción Shift reduce activada, se ajusta un desplazamiento estático para cada curva ρT .

Búsqueda global y análisis de equivalencia

El comando Options/Invert&Apriori/Global search (Ctrl+G) realiza una búsqueda global del modelo de la estación actual mediante el método de recocido simulado muy rápido (VFSA). Se ajustan todos los parámetros no fijados dentro de los límites especificados en la tabla (o por defecto). Para los espesores, los límites por defecto van de 1/5 a 5 veces los valores actuales, y el espesor total de la sección se mantiene entre 0.5 y 2 veces el actual. Los nuevos modelos se generan mediante pasos aleatorios cuya amplitud disminuye con la reducción de la «temperatura». Un modelo con menor error de ajuste se acepta siempre, uno con mayor error se acepta si el criterio probabilístico $\exp(-\Delta\Phi/T)$ supera 0.1. El funcional incluye el error de ajuste ($\ln p_k$ y η_k con pesos de puntos) y, para los estilos Smooth y Focused, una penalización por falta de suavidad. Al final, el mejor modelo encontrado se convierte en el actual. La búsqueda global es útil cuando el ajuste desde un modelo inicial homogéneo converge a un mínimo local. Después de ella se recomienda realizar una inversión normal.

La matriz de correlación y los intervalos de confianza se calculan a partir de la matriz de sensibilidad (jacobiano) del modelo actual. El gráfico de correlación de un par de parámetros (Correlation plot) se construye mediante cálculo directo del error de ajuste sobre una malla de valores de dos parámetros. La nube de modelos equivalentes (Equivalence plot) se obtiene mediante exploración de modelos cuyo error de ajuste no excede un nivel especificado.



Cuadros de diálogo auxiliares

En esta sección se describen cuadros de diálogo que no se trataron en los capítulos anteriores. Las imágenes de las ventanas se construyeron a partir de descripciones de los formularios del programa y muestran la disposición de los elementos de control. Los colores y fuentes reales dependen de la configuración de Windows.

Configuración de objetos (Setup)

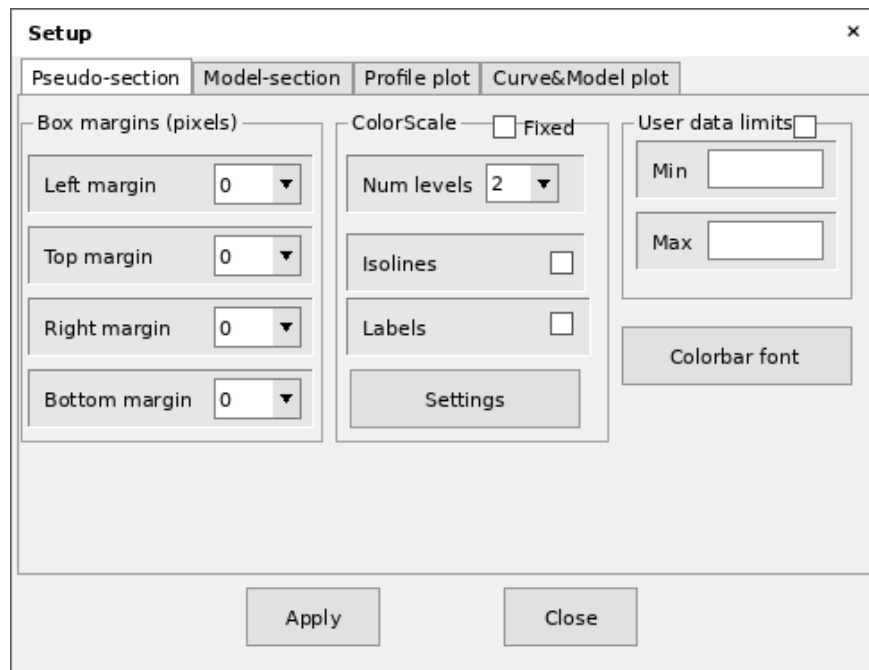
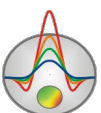


Fig. 64 Cuadro de diálogo de configuración de objetos, pestaña Pseudo-section.

El cuadro de diálogo se invoca con el comando Setup del menú contextual de la pseudosección, sección o gráficos. Contiene cuatro pestañas correspondientes a los objetos de la ventana principal. El botón Apply aplica los cambios sin cerrar la ventana, el botón Close cierra el cuadro de diálogo.

- Pseudo-section – márgenes del área de trazado (Box margins, en píxeles), número de niveles de la escala de colores (Num levels), trazado de isolíneas (Isolines) y sus etiquetas (Labels), botón Settings (paleta), límites personalizados de la escala (User data limits: Min, Max). La opción Fixed fija la escala actual, y al cambiar de estación o datos la escala no se recalcula.
- Model-section – los mismos márgenes y número de colores para la sección, opción Draw border (dibujar borde entre capas de diferente color), botones Palette, Marks font, ColorBar font. El grupo From Pseudo-section permite tomar para la sección la escala (ColorBar) y los márgenes (Box margins) de la pseudosección, de modo que las imágenes se alineen estrictamente una debajo de la otra.



- Profile plot – estilo de etiquetas de los gráficos de perfilado (Mark style) y botones Observed / Calculated para configurar las líneas de los gráficos observados y calculados.
- Curve&Model plot – tipo de representación de las curvas (Curve – curva normal, MinMax curve – curva con banda de valores mínimos y máximos), estilo de etiquetas y desplazamiento de curvas del mismo tipo en porcentaje (Curves shift), para que las curvas coincidentes no se superpongan.

Suavizado de datos (Smoothing settings)

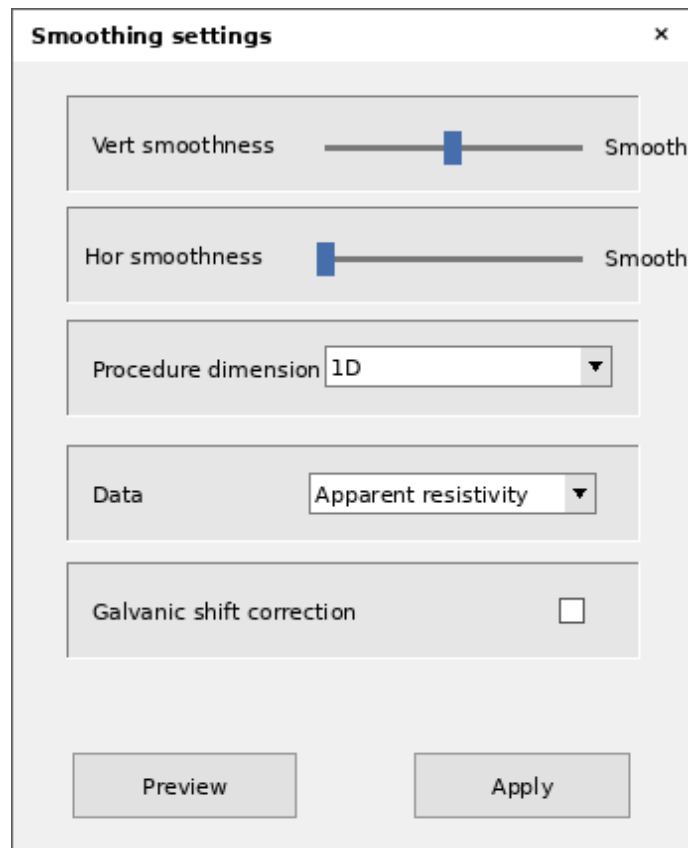
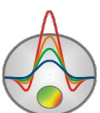


Fig. 65 Diálogo Smoothing settings.

El diálogo se invoca desde el menú Options/Data operations y suaviza las curvas observadas. El deslizador Vert smoothness establece el grado de suavizado a lo largo de la curva (por separaciones) en el rango de 0.01 a 1 en escala logarítmica. El deslizador Hor smoothness establece el grado de suavizado entre estaciones adyacentes (0 – desactivado, luego de 1 a 100).

El campo Procedure dimension establece la dimensionalidad del procedimiento: 1D – cada curva se procesa por separado, 2D – todas las curvas del perfil actual conjuntamente, 3D – todas las estaciones de todos los perfiles considerando las coordenadas X, Y. El campo Data selecciona la magnitud a procesar (resistividad aparente o cargabilidad). La opción Galvanic shift correction (solo para resistividad) elimina adicionalmente los desplazamientos de segmentos de la curva relacionados con el cambio de línea receptora MN.



El botón Preview realiza el suavizado y muestra el resultado, el botón Apply lo guarda. El progreso del procesamiento se muestra en la barra de estado. Los puntos con peso 0 participan en el suavizado con peso cero.

Agrupamiento (Clustering)

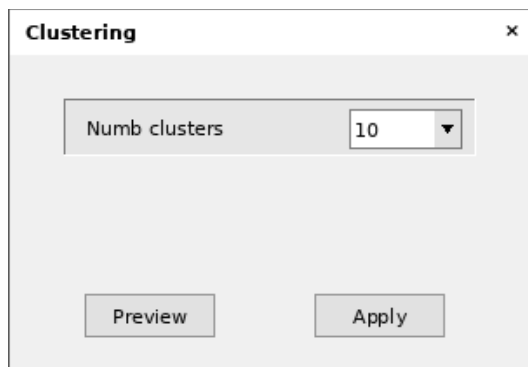


Fig. 66 **Diálogo Clustering.**

El diálogo se invoca desde el menú contextual de los límites (Clustering) y simplifica los modelos del perfil mediante el método de k-medias (k-means). Todas las capas de todas las estaciones se dividen en el número especificado de clases (Numb clusters) según los valores de los parámetros, y el parámetro de cada capa se reemplaza por el centro de su clase. Como resultado, la sección contiene no más del número especificado de valores de resistividad diferentes, lo cual es conveniente para la transición a la sección geológica.

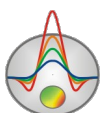
El botón Preview muestra el resultado, el botón Apply lo aplica. Si se cierra la ventana sin Apply, los modelos vuelven al estado inicial.

Modelo inicial (Set start model)



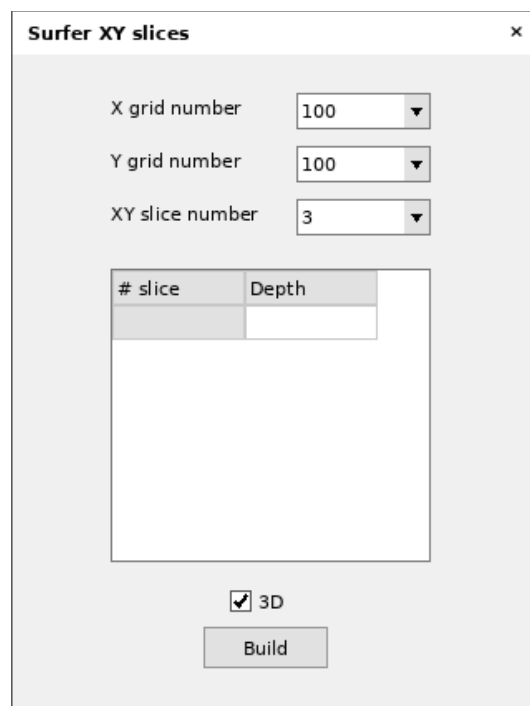
Fig. 67 **Ventana Set start model.**

La ventana se abre con el botón User model en la pestaña Start model del diálogo Program setup. En el gráfico se muestran los modelos de resistividad de todas las estaciones del perfil y el



modelo promedio. El modelo promedio se calcula en la grilla de capas del modelo inicial por defecto (el número de capas, el primer espesor y el coeficiente de su incremento se especifican en la misma pestaña). El valor en cada capa se promedia sobre los modelos de todas las estaciones con pesos proporcionales al espesor de superposición, en escala logarítmica. El botón Models and average alterna la visualización. El botón Copy average model to current (OK) reemplaza los modelos de todas las estaciones del perfil por el modelo inicial por defecto con las resistividades del modelo promedio. Esto es conveniente para la reinversión del perfil desde una aproximación inicial única.

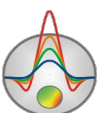
Cortes para Surfer



# slice	Depth
---------	-------

Fig. 68 **Diálogo de construcción de cortes horizontales en Surfer.**

El diálogo se abre desde la ventana 3D fence diagram al exportar cortes horizontales del modelo a Surfer. Los campos X grid number y Y grid number definen el tamaño de la malla, el campo XY slice number – el número de cortes. Las profundidades de los cortes se distribuyen inicialmente de manera uniforme dentro del modelo, luego se pueden modificar en la tabla (los valores fuera del modelo se omiten). La opción 3D construye los cortes en vista tridimensional. El botón Build transfiere los datos a Surfer (Surfer debe estar instalado).



Planos XY (Setup XY planes)

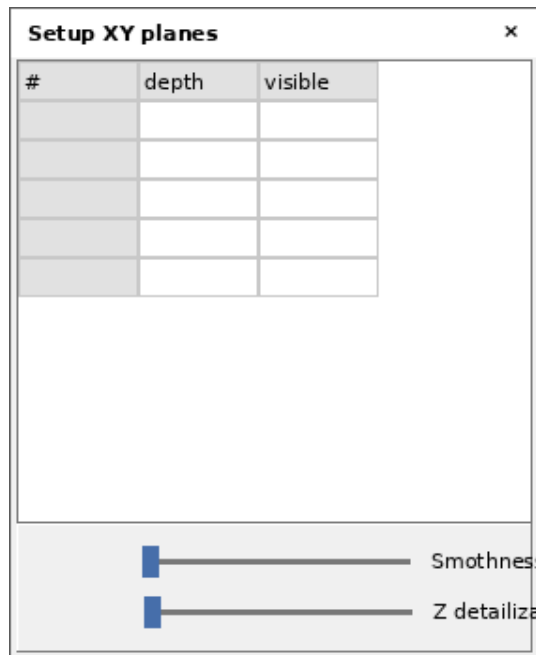


Fig. 69 Diálogo Setup XY planes.

El diálogo define las posiciones de los planos horizontales que se muestran en la ventana 3D fence diagram. En la tabla se editan la profundidad del plano y el atributo de su visualización. El control Smoothness establece el grado de suavizado de la interpolación en el plano, el control Z detailization – el nivel de detalle de la interpolación en profundidad.

Imagen para exportación (Picture settings)

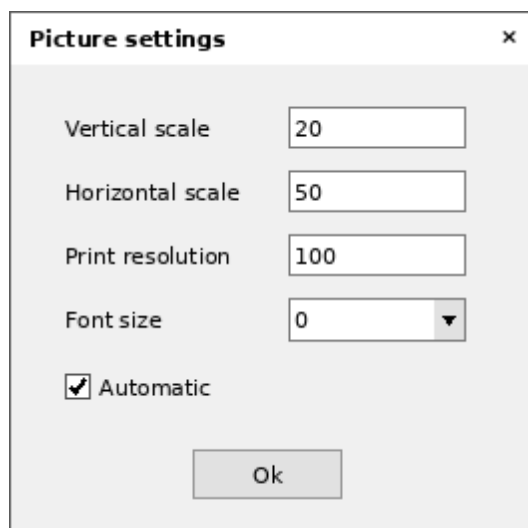
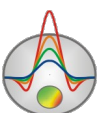


Fig. 70 Diálogo Picture settings.

El diálogo establece la escala de la imagen guardada por el comando Save picture. Si la opción Automatic está activada, la imagen se guarda con las dimensiones de la ventana. Si está desactivada, el ancho y la altura del área de construcción se calculan según las escalas: Vertical



scale y Horizontal scale – número de metros en 1 cm de imagen, Print resolution – resolución (dpi, se registra en el encabezado BMP). Font size – aumento del tamaño de todas las fuentes durante el guardado. Se admiten los formatos BMP y PNG. En la versión actual se corrigió un error que reducía el tamaño de la fuente del título del eje inferior después de cada exportación.

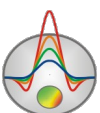
Escalas de exportación a CAD (Output scales)

Fig. 71 Diálogo Output scales.

El diálogo aparece al exportar una sección al formato DXF (File/Export to/CAD section). Los campos definen la relación de unidades: Horizontal scale y Vertical scale – cuántas unidades de dibujo CAD corresponden a una unidad del programa horizontal y verticalmente, Scale – escala general (unidades por metro). El grupo Labels incluye las etiquetas de parámetros de capas (Params) y profundidades (Z).

Exportación a SEG-Y (SegY export)

Fig. 72 Diálogo SegY export.



El diálogo guarda la sección en formato SEG-Y para combinarla con datos sísmicos. Cada estación se registra como una traza, la profundidad – como tiempo (el paso Depth step en metros se registra como paso de muestreo de modo que 1 m corresponde a 1 ms). Los valores del parámetro seleccionado (Parameter) se registran por capas. La opción Logarithms registra logaritmos. La opción XY coordinates registra en el encabezado de la traza las coordenadas X, Y, si está desactivada – la coordenada a lo largo del perfil.

Zona UTM (UTM zone)

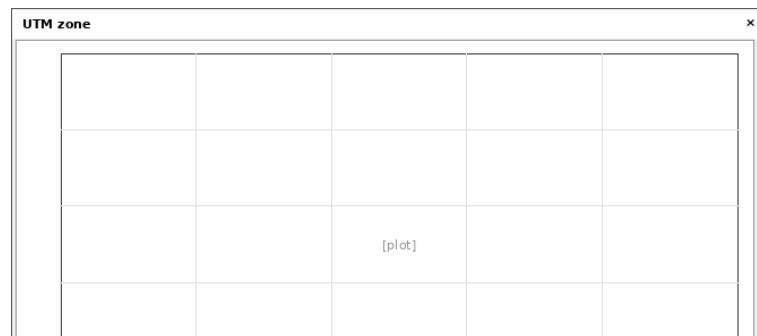


Fig. 73 Diálogo UTM zone.

El diálogo define la zona UTM para recalcular coordenadas al cargar mapas base. La zona se puede seleccionar de la lista de países (Find UTM zone by country), introducir por número o indicar con clic derecho en el mapa mundial (un número negativo corresponde al hemisferio sur). La opción km/m units significa que las coordenadas están dadas en kilómetros.

Paleta de isolíneas (Edit levels)

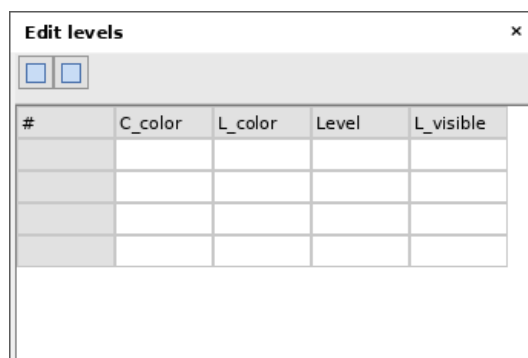
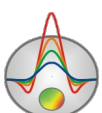


Fig. 74 Diálogo Edit levels.

El diálogo se abre desde la ventana de configuración de paleta de pseudosección y define los niveles de la escala manualmente. Columnas de la tabla: C_color – color de relleno del intervalo, L_color – color de la isolínea, Level – valor del nivel, L_visible – si mostrar o no la isolínea de este nivel. Los valores de los niveles se editan en las celdas, los colores se cambian con clic



derecho en la celda. Los botones de la barra de herramientas cargan niveles desde un archivo y los guardan en un archivo, de modo que la misma escala se puede usar para diferentes perfiles.

Herramientas de dibujo (Element's toolbox)



Fig. 75 Panel Element's toolbox.

El panel se activa con el comando Options/Elements toolbox y permite colocar elementos auxiliares en la sección: polígonos, líneas y texto. El botón Add new element agrega un elemento (clic derecho – seleccionar tipo: Polygon, Line, Text). Edit element's geometry activa la edición de nodos, No actions applied desactiva el modo de edición. Remove active element y Remove all elements eliminan elementos, Show or hide elements controla la visibilidad. En la lista se selecciona el elemento activo, el campo de entrada define el texto de la etiqueta. Los botones Line y Pattern establecen el estilo de línea y relleno.

Nodo y rectángulo (Node, Set rectangle)

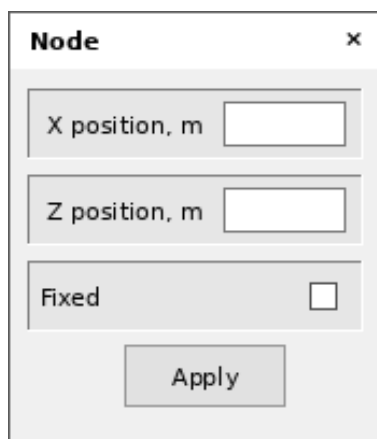
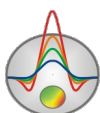


Fig. 76 Diálogo Node.

El diálogo Node se abre con doble clic sobre un nodo de frontera o polígono y establece sus coordenadas precisas X y Z (m). La casilla Fixed fija el nodo, y este no se desplaza durante el suavizado y cambios automáticos de fronteras. El diálogo Set rectangle define un rectángulo (Left, Top, Right, Bottom). La opción Insert topography inserta el relieve del perfil en el lado superior del rectángulo.



Selección de estaciones MT (Stations positions)

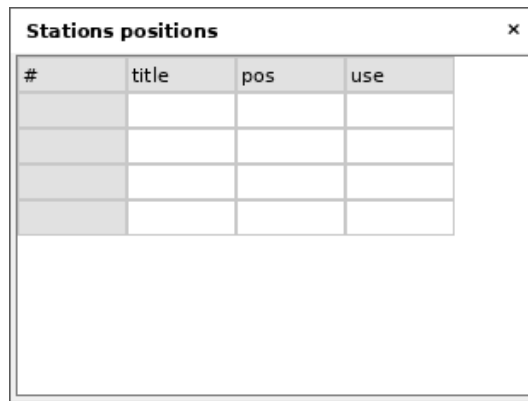


Fig. 77 Ventana Stations positions.

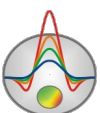
La ventana aparece al cargar curvas MT desde un archivo de texto (Options/MT data/Load MT). En la tabla se listan las estaciones MT del archivo: número (#), nombre (title), posición en el perfil (pos en metros, recalculada desde kilómetros del archivo) y casilla de uso (use). La posición puede corregirse, y las estaciones innecesarias pueden desactivarse desmarcando la casilla. Tras cerrar la ventana, cada estación marcada se asigna a la estación de sondeo más cercana, si la distancia a ella es menor que la distancia a estaciones vecinas. En la versión actual se corrigió la eliminación de estaciones no marcadas: antes, en lugar de la estación no marcada se eliminaba la siguiente.

Grabación de video (Record video)



Fig. 78 Panel Record video.

El panel se activa desde la ventana 3D fence diagram. El botón Start/Stop recording inicia y finaliza la grabación del área seleccionada de la pantalla en el archivo Movie.avi en la carpeta del programa (el códec XVID debe estar instalado). El botón Start/Stop rotation activa la rotación de la escena tridimensional. En la versión actual se corrigió la ruta del archivo temporal (antes la ruta a la carpeta del programa se duplicaba y la grabación no se creaba) y se eliminó la fuga de recursos gráficos al capturar cada cuadro.



Importación de datos de texto (Export text data)

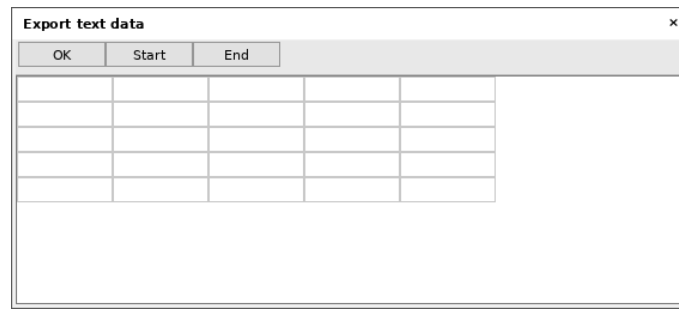
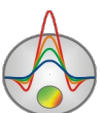


Fig. 79 Ventana de importación de datos tabulares.

La ventana se utiliza para leer archivos tabulares (por ejemplo, datos de registro de pozo). El archivo se muestra en la tabla. En la primera fila, para cada columna se selecciona su asignación (encabezado). Los botones Start y End marcan la primera y última filas de datos, el botón OK carga el rango seleccionado.



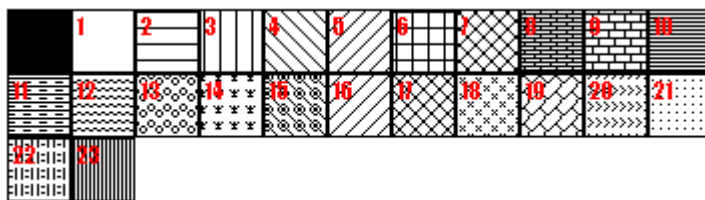
Apéndice 1. Formato del archivo de datos de litología

Las columnas litológicas se almacenan en archivos de formato definido. El primer tipo de archivos con extensión txt contiene propiamente los datos litológicos.

Al crear un archivo con información litológica se utiliza la siguiente estructura de archivo:

La primera columna contiene la profundidad (desde la superficie del terreno) del horizonte litológico. La segunda columna debe rellenarse con ceros. La tercera columna color de la capa en la columna litológica. La cuarta columna tipo de trama en la columna litológica.

A continuación se presenta la lista de las primeras 23 tramas que pueden utilizarse al crear la columna litológica.



A continuación se presenta un ejemplo de archivo de datos litológicos.

0 1 0 13 Techo de la capa 1

4 1 0 13 Base de la capa 1

4 1 0 19 Techo de la capa 2

11 1 0 19 Base de la capa 2

11 1 0 27 Techo de la capa 3

16 1 0 27 Base de la capa 3

El segundo tipo de archivos (extensión *.crt) – archivo de control, que indica el tipo de datos y el modo de visualización. A continuación sigue la descripción de la estructura del archivo CRT para visualizar datos litológicos para una cantidad arbitraria de pozos.

2280.txt Primera línea - nombre del archivo con datos de registro o litología

BH2280 Segunda línea - Etiqueta del pozo (se mostrará en el pozo)

18 2 2 1 0 1 0 0 Tercera línea contiene parámetros de control -

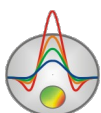
Registro 18 – coordenada del pozo en el perfil.

2 - ancho de la imagen (en porcentaje de la longitud del perfil, usualmente 1 - 20).

2 - tipo de visualización de datos 0 - 3.

0 - datos de registro (en forma de gráfico);

1 - datos de registro (columna de color de interpolación) para visualización de datos se utiliza la escala de color de la sección;



2 - columna litológica;

3 - datos de registro (columna de color) los colores de los datos mostrados corresponden a la escala del modelo, el color en la columna se selecciona de acuerdo con el valor de la escala de color del modelo;

1 - Parámetro de normalización de datos de diagramas de registro 0 - 2.

0,1 – para todos los datos se utiliza un mínimo y máximo común;

1,2 - restar de cada diagrama de registro su valor promedio;

0 - Índice del método de registro (si es necesario mostrar simultáneamente varios tipos de registro, se deben introducir índices para cada uno de los métodos) 0 – n-1, donde n – cantidad de métodos.

1 - Color del gráfico.

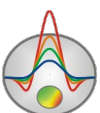
0 - Escala de datos logarítmica 0, lineal 1.

0 – Desplazamiento vertical del pozo respecto a la superficie terrestre.

3246.txt descripción del siguiente pozo en el perfil

BH3246

102 2 2 1 0 1 0 0



Materialles adicionales:

Videotutoriales en el canal youtube:

https://www.youtube.com/channel/UCGtprIIZkc9CsLfiuz4VvmQ?view_as=subscriber

Grupo de soporte en LinkedIn:

<https://www.linkedin.com/groups/6667336/>

Proyectos de demostración Zond:

<ftp://zond-geo.com/>

Username: download@zond-geo.com

Password: 12345

El programa no funciona con el dongle USB:

- El driver del dongle no está instalado o está instalado incorrectamente. En algunos sistemas el dongle se identifica correctamente como dispositivo HID y no es necesario instalar el driver, pero en otros no y es necesario instalarlo. Enlace para descargar el driver: http://senselock.ru/files/senselock_windows_3.1.0.0.zip. En el administrador de dispositivos el dongle debe aparecer como "Senselock Elite".
- Ha finalizado el período de actualizaciones gratuitas. En este caso es necesario utilizar la última versión que funciona o adquirir 2 años adicionales de actualizaciones.
- A veces al cambiar el dongle al modo HID, el sistema puede no reconocerlo como dispositivo HID. En este caso es necesario cambiarlo de nuevo al modo USB con ayuda de una pequeña aplicación que se puede descargar en el siguiente enlace : <http://www.zond-geo.com/zfiles/raznoe/SenseSwitch.zip> "senseswitch.exe" se ejecuta desde cmd con el comando: senseswitch.exe usb.

