

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ 3D МОДЕЛЕЙ ПО ДАННЫМ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Представлена новая программа (TAR3D) трехмерной визуализации данных, созданная в среде MATLAB. На примере результатов двумерного моделирования данных магнитотеллурических зондирований Кировоградского рудного района показаны возможности программы. Проведено сопоставление с известными в мире подобными программами.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии; магнитотеллурические зондирования; Кировоградский рудный район.

### Введение

В настоящее время практически ни одна геолого-геофизическая задача не решается без использования географических информационных систем (ГИС). Единой универсальной ГИС структуры не существует, поэтому чаще всего она определяется заказчиками или, в зависимости от поставленной цели, формируется в свободной форме непосредственно исполнителями.

Сотрудниками отдела тектоносферы ИГФ НАН Украины создана собственная автоматизированная геоинформационная система (ГИС ТАРИГ), применяемая не только к геоэлектрическим, но и другим геофизическим данным. В основу построения ГИС ТАРИГ положены следующие требования:

а) использование в качестве входной информации растровых и векторных изображений карт, результатов наблюдений геофизических полей и фактографических данных разного типа, привязанных к пространственным объектам;

б) совместная обработка разных начальных материалов независимо от технологии их введения;

в) интеграция пространственных и фактографических данных в одной геоинформационной оболочке;

г) объединение и интеграция данных, полученных разными способами и их отображение в различных картографических проекциях.

### Постановка задачи создания программы TAR3D

В последние годы в различных областях знаний набирают популярность построение 3D моделей, которые обычно не выходят за рамки формальной 3D визуализации результатов одно- и двумерного моделирования. Это связано с недостаточным и неравномерным покрытием измерениями изучаемой территории, для которой 3D моделирование пока еще преждевременно.

На территории Украины 3D моделирование в ИГФ НАН Украины выполняется в постановке решения прямой задачи более 15 лет Т.К. Бурахович и С.Н. Куликом, а с использованием инверсии магнитовариационных данных в постановке тонкого слоя И.М. Логвиновым, В.Н. Тарасовым и С. Ковачиковой [Гордиенко, 2005].

В работах [Бурахович, 1999] и др., использующих тот же подход, реальная среда аппрок-

симируется нагромождением несуществующих в природе крупных прямоугольных блоков, с той или иной проводимостью. О точности построения результативных моделей речь не идет, поскольку используется элемент формализованного подхода. Подобрать адекватную модельную среду для трехмерных структур достаточно сложно и едва ли возможно. Любое упрощение приводит к неограниченному числу субъективных решений (неоднозначность обратной задачи). В результате модели по одному и тому же региону у разных авторов отличаются. Геоэлектрические методы направлены на выявление аномалий электропроводности. С этой частью задачи рассмотренный вид моделирования справляется, но их пространственное распределение остается до конца не изученным. В подобные модели закладываются известные аномалии проводимости, над блоками модели часто не существует экспериментальных данных. Сгущение сети наблюдений в сочетании с решением 3D обратных задач позволит в будущем несколько исправить указанные недостатки, но окончательно не разрешит проблемы.

В настоящее время средства 3D визуализации значительно опережают, как измерительные, так и вычислительные подходы в геоэлектрике, основными недостатками которых будут всегда оставаться: 1 – густота сети наблюдений, 2 – избыток промышленных помех и т.д.

Лидером в сфере ГИС технологий является программный пакет ARCGIS ([www.esri.com](http://www.esri.com)), ориентированный, прежде всего, на работу с картографическими данными и оптимизированный, скорее, для географического применения. Для геофизических задач необходимы такие дополнения как Entervol, EVS, MVS компании C-Tech.

Альтернативным выходом может быть применение небольших по объему программ с ограниченным, но достаточным набором функций (SURFER, VOXLER, MapInfo и пр.). Сходные результаты можно получать и в среде MATLAB, который, в данном случае, выступает связующим звеном между этапами применения ГИС систем: моделирования, визуализации, применения статистического анализа и прочих вычислений.

Создание программы трехмерной визуализации данных исследований должно было решить следующие задачи: выявить на площади перспективные для дальнейших исследований участки,

мгновенно получить горизонтальные и вертикальные координаты характерных точек на интересующем объекте и, с учетом вышесказанного, более обоснованно заложить новые пункты измерений. Такая программа (и интерфейс) была создана в отделе тектоносферы ИГФ НАН Украины (TAR3D) в среде MATLAB.

### *Апробация программы TAR3D*

Объем данных МТ исследований в Украине уже сейчас позволяет использовать результаты 1D- и 2D-моделирований для получения наглядного представления геоэлектрических параметров в 3D пространстве. Этот прием не заменяет более сложный вариант собственно 3D моделирования. Тем не менее, объемная модель позволяет оперативно с различных сторон оценить как полученные в результате обработки интерпретационные параметры МТ поля, так и оценки геоэлектрического строения по результатам 1D- и 2D-моделирований.

Для построения 3D геоэлектрической модели Кировоградского рудного района (КРР) Украинского щита нами использованы программы TAR3D и VOXLER ([www.goldensoftware.com](http://www.goldensoftware.com)).

По результатам цифровой обработки данных МТ исследований, позволившим получить магнитотеллурические и магнитовариационные интерпретационные параметры в широком диапазоне периодов от 1 с до 10000 с., было выполнено 2D моделирование с применением решений обратной задачи на основе алгоритма REBOCC [Siripunvaratong, 2000]. Профили моделирования были ориентированы в меридиональном и широтном направлениях (общим числом 8), довольно равномерно покрывая исследуемую площадь.

3D модель КРР получена для изоповерхностей 10 и 40 Ом·м. С помощью графического пользовательского интерфейса (GUI) приложения MATLAB, были написаны две программы, одна из которых считывает результативные модельные данные по всем профилям, затем визуализирует их в изолиниях вместе с пунктами наблюдений и окончательно формирует mat-файл в трехмерном формате (переменные: X – долгота, Y – широта, Z – глубина, Ro – сопротивление). Одновременно создается txt-файл с 4 колонками данных (X, Y, Z, Ro) для дальнейшего использования в программе VOXLER или др. Трехмерная матрица Ro формируется двумя способами (далее **жирным** шрифтом – используемые функции MATLAB):

1 – путем многократной послойной интерполяции:  $[X, Y] = \text{meshgrid}(\dots)$ ,  $Ro = \text{griddata}(\dots)$  с заменой в плоскости ( $Z_i$ ) трехмерной NaN (нечисловой) матрицы;

2 – применяется однократная интерполяция по всем слоям ( $Z_{all}$ ):  $[X, Y, Z] = \text{meshgrid}(\dots)$ ,  $Ro = \text{griddata3}(\dots)$ .

Первый способ дает визуально более естественную гладкую изоповерхность.

Вторая программа в MATLAB предназначена для объемных построений в виде изоповерх-

ностей, срезов, блоков, каркасных изображений, комбинированных вариантов в метрической и градусных единицах. Для перекрывающихся объектов применяется прозрачность. При построении блоков используются функции MATLAB `slice(\dots)` и `contourslice(\dots)`. Одновременно строятся 6 плоских объектов (залитые цветом контурные графики, по желанию, с изолиниями), заданные интервалами для координат XYZ. Нет необходимости выводить по одному контурному графику на плоскость, что существенно замедляет ход построений. Изменение значений координат при включенной функции **hold on** приводит к построению следующего блока и т.д. Предусмотрено удаление неудачно подобранных блоков. Таким образом достаточно быстро конструируется модель любой сложности. Интерактивно отключаются ненужные плоскости. По заданным вышеупомянутым интервалам координат изоповерхности строятся с помощью функций `patch(isosurface(\dots))`. В плоскостях сечений, образуемых интервалами координат XYZ, с помощью функций `patch(isocaps(\dots))` изоповерхность замыкается.

### *Сравнение программ трехмерной визуализации*

Сравнение моделей, построенных с помощью MATLAB и VOXLER несмотря на наличие сходных участков выявило и некоторые различия. В среде MATLAB модель изобилует присутствием мелких и средних объектов, программа VOXLER их попросту удаляет или дробит на части. Имеющиеся различия возникли из-за более дробной интерполяции в VOXLER. Тем не менее, крупные объекты присутствуют как в MATLAB, так и в VOXLER. “Обтесывание” объектов в VOXLER за счет упрощенного метода интерполяции, используемого по умолчанию, может быть как полезным, так и нет, поскольку можно утратить и ценную информацию.

В программе VOXLER легко создавать модели различной сложности, однако в ней нет специального инструмента, позволяющего интерактивно на объекте получать координаты X, Y, Z. Простое вращение не компенсирует указанный недостаток. Используемые по умолчанию сетка и метод интерполяции приводит к некорректному отображению объемной модели. Упомянутое приводит к нарушению общепринятых правил моделирования. Построение модели в виде многочисленных прямоугольных блоков с контурной графикой, подобно создаваемым в среде MATLAB, выявляет значительные временные затраты. В остальном же разработчиков программы VOXLER следует по достоинству оценить. Программа компактна, многовариантна, проста в обращении, полезна при создании презентаций.

### *Выводы*

Существенным преимуществом программы TAR3D является строгое соблюдение единой схемы построения трехмерной модели. Горизонтальный масштаб выбирается с учетом распо-

ложения пунктов наблюдений на исследуемой площади (шаг не менее 1/5 среднего расстояния между пунктами). Выбор вертикального масштаба должен учитывать те же требования. При несоблюдении этих правил, а также пропорций, объекты будут всегда иметь вид линейно вытянутых.

Вид, построенных в TAR3D и VOXLER трехмерных моделей отличается из-за расхождений в пространственном разрешении. Незначительные изменения в исходных данных даже по одному профилю могут резко менять вид объемных изображений.

1. В TAR3D, по сравнению с VOXLER, достигается лучшее построение 3D моделей. Однако, полученные результаты следует использовать с особой осторожностью, т.к. они характеризуют лишь предполагаемые изменения в пространстве. Поэтому к построению 3D моделей следует подходить комплексно. Желательно использование данных других методов с иной расстановкой пунктов наблюдений. В процессе детальных исследований это позволяет более обоснованно заложить новые пункты измерений.

2. При построении 3D моделей используются общие математические и программные решения, поэтому с помощью программного комплекса TAR3D авторам удалось решить поставленную

задачу, обозначенную в начале статьи. Коллективам, которые не используют в своей работе MATLAB, для создания полноценной ГИС, рекомендуется использование программного пакета ARCGIS, который функционально имеет максимально широкие возможности в плане используемых проекций, систем координат, применения спутниковых данных, комбинированных многомерных построений и пр. Правда, не следует ожидать улучшенного результата от ARCGIS при построении 3D моделей, который в не меньшей степени зависит от исходных данных и выбора сетки построений (разрешения).

#### Литература

- Бурахович Т.К. Квазитрехмерная геоэлектрическая модель Кировоградской аномалии электропроводности / Т.К. Бурахович, С.Н. Кулик // Геофиз. журн. – 1999. – **21**, № 2. – С. 120-125.
- Украинский щит (геофизика, глубинные процессы) / [В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко, О.В. Завгородняя и др.]. – К.: Корвін пресс, 2005. – 210 с.
- Siripunvaraporn W. An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data / W.Siripunvaraporn, G.Egbert // Geophysics. – 2000, 65, № 3. – P. 791-803.

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГРАФІЧНОГО ПРЕДСТАВЛЕННЯ 3D МОДЕЛЕЙ ЗА ДАНИМИ МАГНІТОТЕЛУРИЧНОГО ЗОНДУВАННЯ

**В.М. Тарасов, І.М. Логвінов, Д.О. Літвінов**

Представлена нова програма (TAR3D) тривимірної візуалізації даних, що створена в середовищі MATLAB. На прикладі результатів двовимірного моделювання даних магнітотелуричних зондувань Кіровоградського рудного району показано можливості програми. Проведено співставлення з відомими у світі подібними програмами.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології; магнітотелуричні зондування; Кіровоградський рудний район.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF GRAPHIC PRESENTATION OF 3D MODELS BASED ON THE MAGNETOTELLURIC SOUNDING DATA

**V.N. Tarasov, I.M. Logvinov, D.A. Litvinov**

A new three-dimensional data visualization program (TAR3D) was created by MATLAB environment. The features of the program have been shown on the example of two-dimensional magnetotelluric data modeling obtained in Kirovograd ore area. The comparison with the worldwide known world similar programs are carried out.

**Key words:** GIS technology; magnetotelluric sounding; Kirovograd ore district.

<sup>1</sup>Інститут геофізики ім. С.И. Субботина НАН України, Київ

<sup>2</sup>Інститут геологічних наук НАН України, Київ