

P022

Software IPPOLYGON for 2D Modeling IP Data Using Boundary Element Method

A.V. Tarasov* (Research&Production Center "SOLITON-NTT")

SUMMARY

IPPOLYGON software has been developed for 2D modeling IP data, that based on boundary element method (BEM). BEM proved to be fast but exact method for modeling and inversion of complex geoelectrical structures. Advantages of the method are demonstrated on syntetic and real geoelectrical data.

**Программа IPPOLYGON для 2D моделирования данных ВП
методом граничных элементов
(Software IPPOLYGON for 2D modeling IP data using boundary element method)**

Тарасов А.В., Каминский А.Е.

(ЗАО научно-производственный центр «СОЛИТОН-НТТ», Москва, Верхняя Радищевская 4. стр.3-4-5, 109240)

Геологическим объектам, изучаемым с помощью электроразведки, присуща чрезвычайная нерегулярность границ. Поэтому для формализации процедуры инверсии используются сеточные методы решения прямой задачи, основанные на мелком дроблении изучаемой области либо путем введение линейных сеток с неизвестными значениями переменных в узлах, как в конечно-разностном методе, либо путем разбиения на множество элементов простой структуры, как в методе конечных элементов (МКЭ) (Zienkiewicz, 1971). Последний достиг такой популярности и развития, что возникает сомнение, существует ли какой-либо другой подход, способный конкурировать с ним по возможностям и простоте реализации. Для успешного применения МКЭ полная геологическая область должна быть включена в модель. Это порождает систему линейных уравнений большой размерности, но результирующая матрица сильно разрежена. Благодаря эффективным алгоритмам работы с такими матрицами, 2D и 3D задачи становятся выполнимыми.

В настоящее время на основе МКЭ созданы и эффективно работают процедуры томографической инверсии для восстановления 2D или 3D распределений удельного электрического сопротивления (УЭС) и поляризуемости. Распределениям геоэлектрических параметров, получаемых в результате 2D и 3D инверсий присуща гладкость, поскольку это необходимое требование метода регуляризации. При этом степень гладкости увеличивается с глубиной. Между тем геологические объекты и имеют, как правило, достаточно резкие границы. Поэтому для адекватной геологической интерпретации гладкие распределения не подходят. Для этого необходим метод, оперирующий именно границами.

Метод граничных элементов (МГЭ) рассматривает только границы однородных областей, что позволяет легко задать сколь угодно сложную геоэлектрическую область с криволинейными границами. Границы областей разбиваются на конечное количество элементов. При этом для задания сложных моделей требуется относительно небольшое количество таких элементов, что существенно снижает размерность систем линейных уравнений.

Работа с границами областей позволяет легко вести поверхностную поляризацию и выполнить моделирование естественного поля, связанных с присутствием в разрезе электропроводящих областей (зоны графитизации, массивные сульфиды).

Между тем строгая постановка МЭГ мало применяется в геофизической практике из-за трудностей, связанных с его интегральной формулировкой. Матрица коэффициентов в системе линейных уравнений обычно несимметричная полная матрица решается интегральное уравнение на каждой границе среды. Если имеется множество границ, то возникают трудности с комбинированием уравнений, соответствующих каждой однородной области.

Мы реализовали МГЭ для решения прямой задачи метода вызванной поляризации (ВП) в рамках двухмерной геоэлектрической среды в коммерческой программе **IPPolygon**. При этом используется алгоритм, предложенный в работе (Xu, 2002). Данный алгоритм реализует прямой МГЭ (Brebbia, 1978), в котором в результате численного решения интегрального уравнения получают значения потенциала в заданных узлах.

Геоэлектрическая модель строится из полигональных областей с постоянными значениями удельного электрического сопротивления (УЭС) и поляризуемости внутри каждой области. Изменение потенциала в пределах граничного элемента происходит по линейному закону.

Интерактивный графический интерфейс программы позволяет легко задать и изменять модели, добиваться с помощью ручного и полуавтоматического подбора совпадения с наблюдаемыми данными, и получать геологически реализуемые модели. Точная формулировка задачи позволяет задавать любой контраст по УЭС и поляризуемости. Программа позволяет вычислить ВП отклик, как от объемно, так и от поверхностно поляризованных тел. Учитывается двухмерный рельеф, и удаляются искажения кривых кажущегося удельного сопротивления,

связанные с рельефом. Полигональные области могут непосредственно примыкать друг к другу и к линии рельефа.

На Рис.1 приведено сравнение результатов расчета по точным аналитическим формулам, с численным решением МГЭ, полученным с помощью программы **IPPOLYGON**. Модель представлена вертикальной бесконечной дайкой мощностью 200 м с УЭС 10000 Ом м в полупространстве с УЭС 100 Ом. Рассчитывался отклик среды в присутствии точечного источника, расположенного в начале координат. Расстояние между приемными электродами MN 20 м. Перемещение приемных электродов вдоль профиля составило 20 м. Для описания заданной модели потребовалось 170 узлов. Средний шаг между узлами составил 20 м. Точное решение было получено методом отражений (Бурсиан, 1972).

Так видно из этого рисунка, расхождение численного решения с точным не превышает 0.5 %.

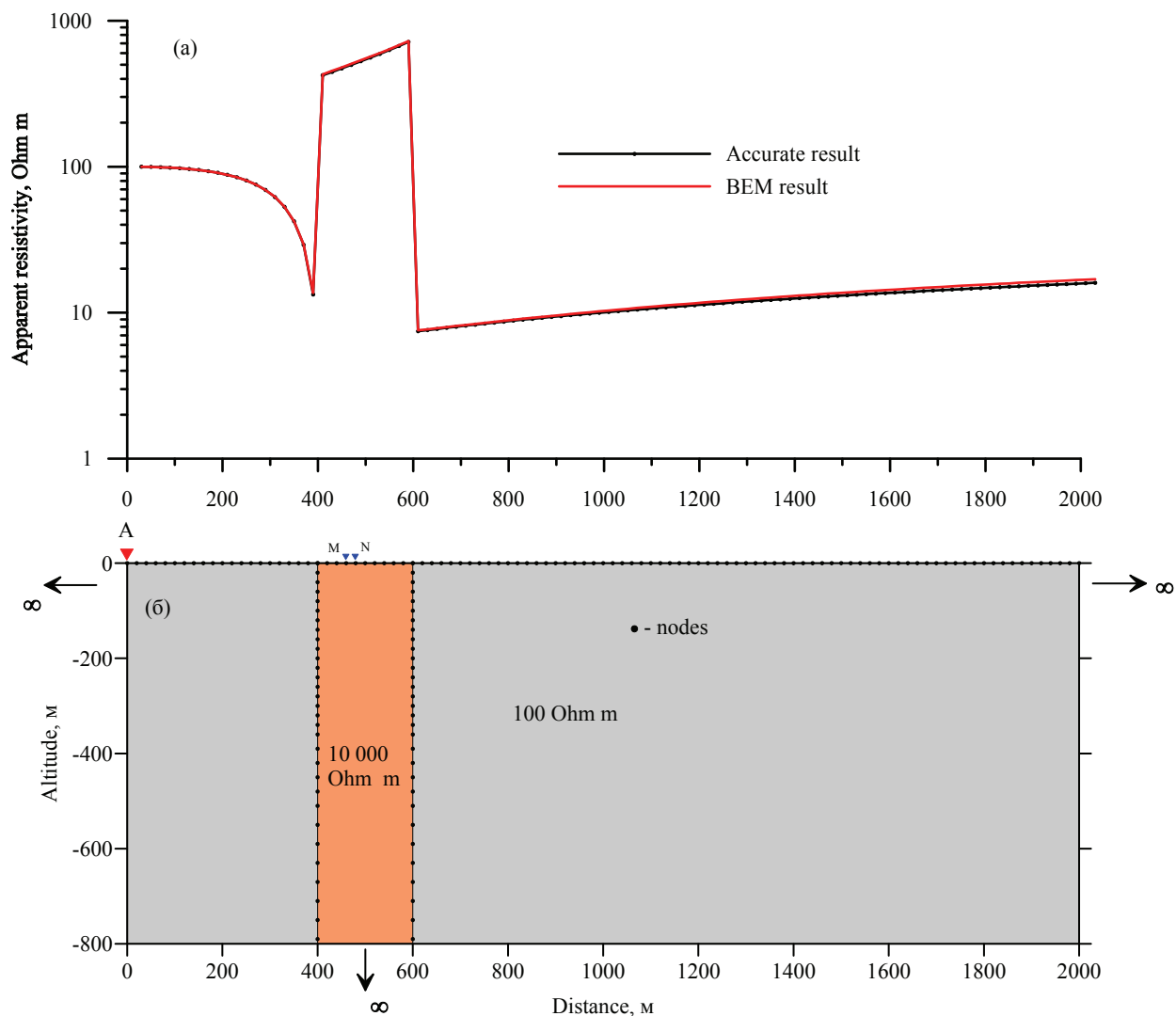


Рис.1. Сравнение численного решения МГЭ (**IPPOLYGON**) с точным решением, полученным методом отражений. (а) – кажущееся удельное электрическое сопротивление, (б) – 2D геоэлектрическая модель вертикальной бесконечной дайки.

На Рис. 2. приведено сравнение двух численных решений МГЭ (**IPPOLYGON**) и МГЭ (**ZONDRES2D**). Среда представлена трапециевидным блоком с УЭС 1000 Ом м и объемной поляризуемостью 5 % . Блок выступает над поверхностью полупространства на 5 м. Полупространство с УЭС 100 Ом м практически не поляризуется (поляризуемость 0.01 %).

Отклик среды рассчитывался для установки Веннера (AM=MN=BN=5 м). Для описания модели потребовалось 160 узлов. Шаг между узлами составил 1 м. Для описания модели МКЭ

потребовалось 1850 элементов. Кажущееся сопротивление рассчитывалось только с учетом горизонтального расстояния между электродами.

Относительное расхождение между решениями МГЭ и МКЭ для кажущегося сопротивления не превышает 10 %, а для кажущейся поляризуемости 4%. Максимальное расхождение наблюдается при нахождении установки внутри аномального блока.

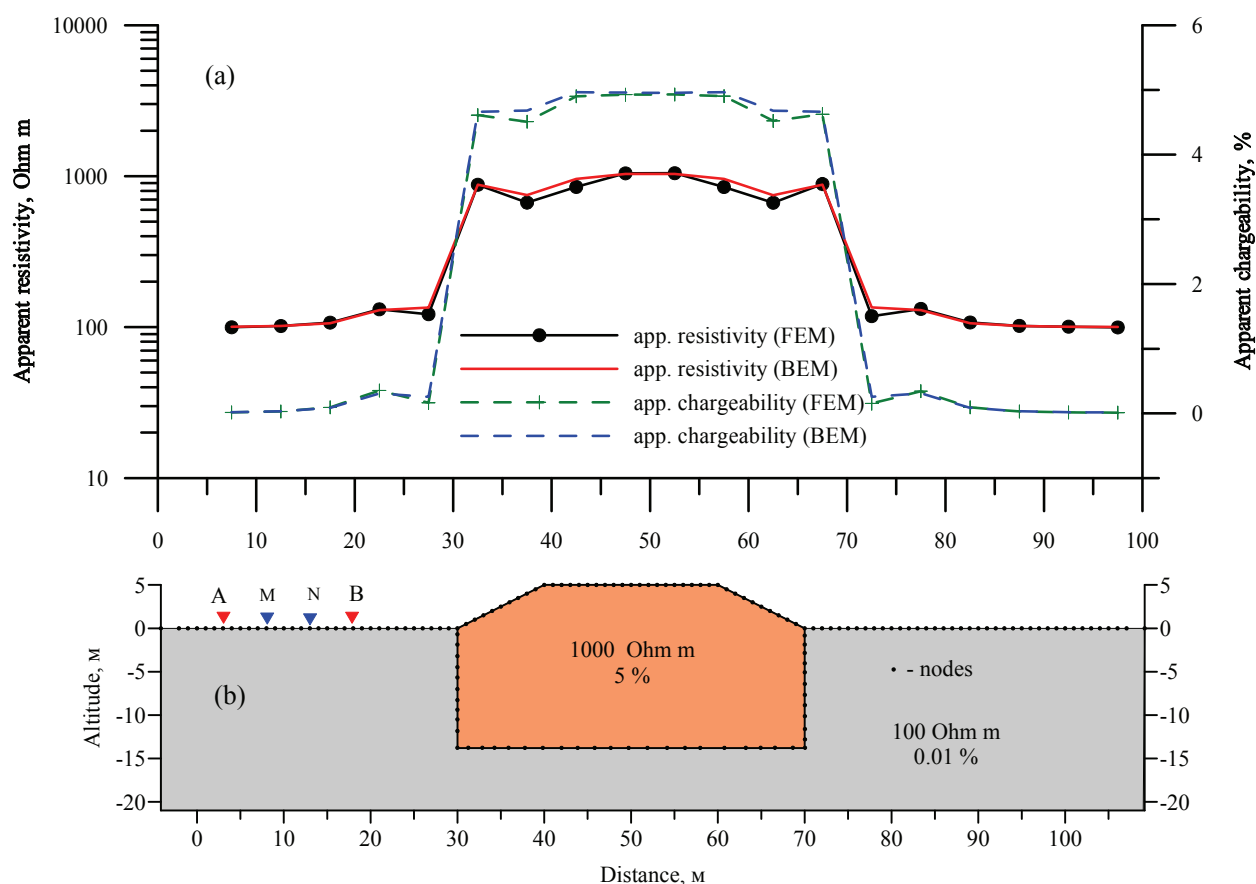


Рис.2. Сравнение численных решений МГЭ (**IPPOLYGON**) и МКЭ (**ZONDRES2D**) при моделировании двумерной среды.

(а) – графики кажущееся удельное сопротивление и кажущейся поляризуемости. (б) – 2D геоэлектрическая модель.

На Рис. 3 приведен пример использования (**IPPOLYGON**) для геологической интерпретации данных профилирования с установкой срединного градиента. Площадная съемка ВП проводилась с целью оконтуривания серебряного рудопроявления, связанного с дайками основного состава в толще мраморов (УЭС 20000 Ом м, поляризуемость 0.45 %).

Для геологической интерпретации был выбран профиль, пересекающий в крест линейную аномалию кажущейся поляризуемости. Наблюдаемые кривые кажущегося сопротивления и поляризуемости удалось удовлетворительно подобрать двумя аномальными объектами с УЭС 1000 Ом м и поляризуемость 8 %. На модельной кривой кажущегося сопротивления хорошо проявлены искажения связанные с рельефом.

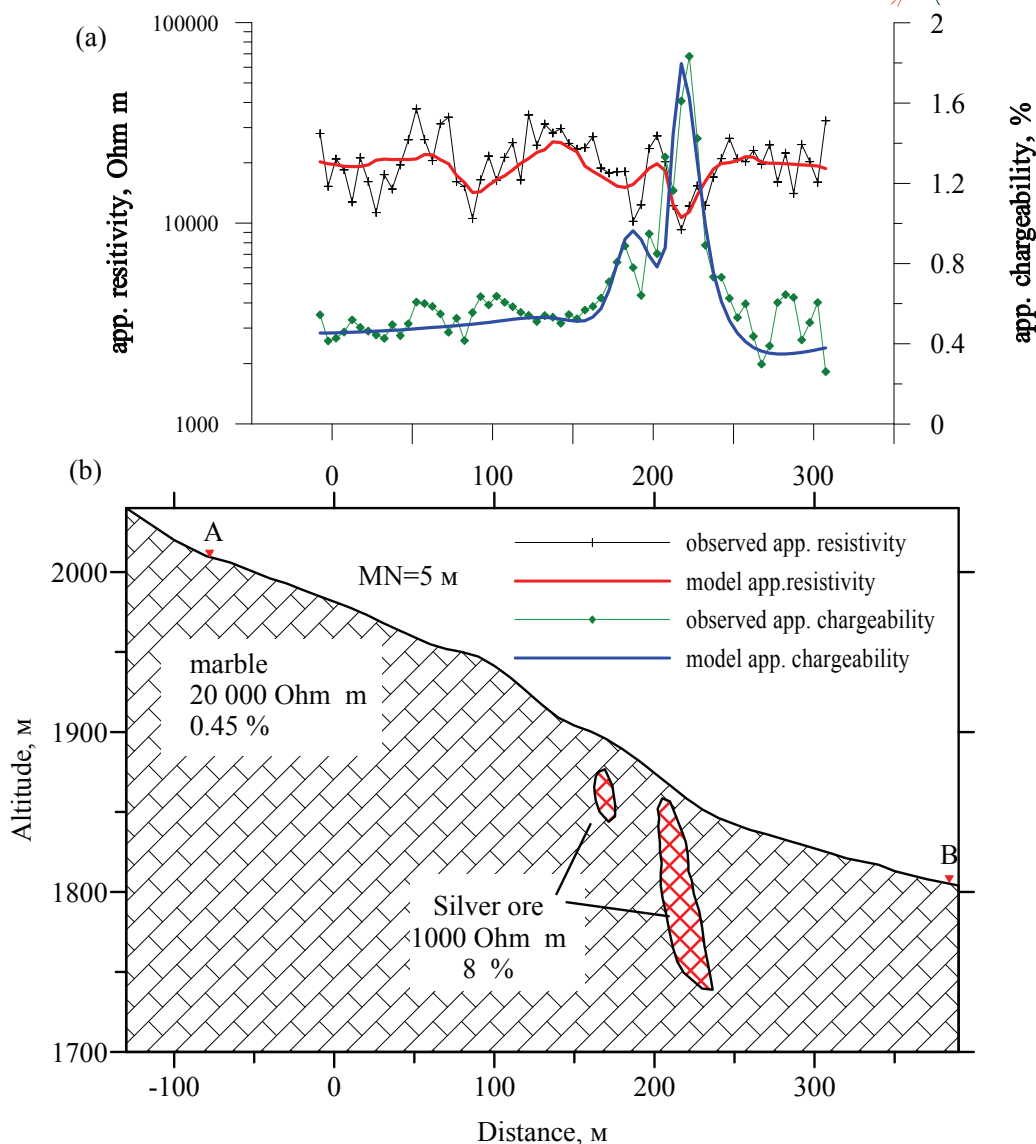


Рис. 3. Геоэлектрическая модель серебряного рудопроявления, полученная с помощью моделирования МГЭ (IPPOLYGON).
 (а) – наблюдаемые и модельные данные установки срединного градиента. (б) – 2D геоэлектрическая модель.

Из выше представленных примеров видно, что программа IPPOLYGON, реализующая МГЭ может быть эффективным инструментом при планировании работ методом ВП, и геологической интерпретации данных ВП особенно для профильных установок, когда формализованные алгоритмы 2D инверсии на основе МКЭ мало пригодны.

Эффективность программы во многом определяется удобным и развитым графическим интерфейсом, который позволяет быстро задать и изменить параметры модели и сравнить результаты расчета с наблюдаемыми данными.

Литература

- Бурсиан В. Р., 1972, Теория электромагнитных полей, применяемых в электроразведке, Л. Из-во «Недра».
- Brebbia C. A., 1978, The boundary element method for engineers, Pentech Press.
- Zienkiewicz O. C., 1971, The finite-element method in engineering science, London.
- Xu, Shi-zhe, 2002, The boundary element method in geophysics, (Geophysical monograph series; no. 9).