

М.И. ШИМЕЛЕВИЧ, Е.А. ОБОРНЕВ, С.А. ГАВРЮШОВ

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЕЗОВ

Предложен метод количественной оценки изменения во времени динамических параметров разреза на основе сильно разреженных сетей наблюдения магнитотеллурических данных с применением нейросетевых аппроксимационных конструкций. Алгоритмы апробированы для решения задачи мониторинга параметров геоэлектрического разреза в режиме реального времени на примере 2D модели.

Рассмотрим область Ω (верхняя граница области совпадает с земной поверхностью $z=0$), в которой определен оператор прямой задачи A , устанавливающий соответствие между вектором параметров георазреза $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_N)$ и вектором $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_M)$ характеризующим магнитотеллурическое (МТ) поле на поверхности $z=0$ области Ω :

$$A\gamma = \beta. \quad (1)$$

Классическая обратная МТ задача заключается в решении уравнения (1) относительно γ [4]. При этом необходимое условие единственности (по меньшей мере) — задание поля по всей границе области $z=0$. Аналогичные требования предъявляются и к конечномерным аппроксимациям полей, используемым в алгоритмах инверсии [2—3; 5].

В задачах мониторинга геоэлектрических разрезов необходимо отслеживать изменение во времени одного или нескольких характерных динамических параметров на основе измерения МТ полей в нескольких точках на поверхности Земли. Например, задача определения динамики электропроводности магматической камеры вулкана [2], мониторинг электропроводности активных зон в период подготовки землетрясений [1].

Задачи подобного типа выходят за рамки классических обратных задач электроразведки, но могут быть сформулированы в терминах теории распознавания образов, как проблема восстановления прообраза по частичной информации о нем.

Рассмотрим постановку задачи мониторинга параметров геоэлектрического разреза. Будем полагать, что георазрез в исследуемом регионе известен и характеризуется набором параметров $\gamma = (\gamma_1, \dots, \gamma_N)$, часть из которых фиксирована $\gamma^0 = (\gamma_1^0, \dots, \gamma_{NF}^0)$, а другая часть может меняться под влиянием геодинамических процессов $\gamma^D = (\gamma_1^D, \dots, \gamma_{ND}^D)$, $1 \leq ND < N$; $ND + NF = N$. Вектор исходных данных $\beta^D = (\beta_1^D, \dots, \beta_{MD}^D)$, $1 \leq MD$, представляет собой набор данных, измеренных в выбранных определенным образом точках верхней границы $z=0$ области Ω . Требуется определить вектор значений динамических параметров $\gamma_1^D, \dots, \gamma_{ND}^D$ в заданные моменты времени $t_i = t_0 + \Delta t_i$. (Нестационарными явлениями, связанными с изменениями георазреза будем пренебрегать, имея в виду достаточно большие промежутки времени Δt_i .)

В отличие от классической задачи инверсии (задачи интерпретации), в которой выявляются

все параметры георазреза на основе полного набора данных, заданных на всей границе $z=0$ области Ω , задача мониторинга основана на решении частичной инверсии по неполным данным.

Для решения строится выборка P пар $\{\gamma_p^D; \beta_p^D\}$, $p=1, \dots, P$ на основе соотношения

$$A(\gamma^0, \gamma_p^D) = \beta_p^D, \quad p=1, \dots, P, \quad (2)$$

где γ^0 — вектор фиксированных параметров разреза при всех $p=1, \dots, P$; γ_p^D — вектор динамических параметров, варьируемых при различных $p=1, \dots, P$ в заданных для каждого параметра диапазонах изменения; A — оператор краевой задачи (1). Далее методами, рассмотренными в [5—6], на основе полученного набора пар $\{\gamma_p^D; \beta_p^D\}$ строится нейросетевая аппроксимация оператора $\tilde{A}^{-1}: \beta^D \rightarrow \gamma^D$, устанавливающего связь между изменением полей в точках наблюдения $\beta_1^D, \dots, \beta_{MD}^D$ и динамикой параметров $\gamma_1^D, \dots, \gamma_{ND}^D$.

Таким образом, для данного разреза, сети наблюдения и набора динамических параметров с помощью построенной нейросетевой аппроксимацией может проводиться мониторинг динамических параметров в режиме реального времени по формуле:

$$\gamma^D(t_i) = \tilde{A}^{-1}\beta^D(t_i), \quad (3)$$

где $\beta^D(t_i)$ вектор наблюдаемых данных в t_i моменты времени. Ошибка определения динамических параметров в каждый момент t_i времени вычисляется на базе тестирующей выборки $P^t: \{\gamma_p^D; \beta_p^D\}$, $p=1, \dots, P$, являющейся частью общей выборки P [6].

Методология мониторинга параметров геоэлектрических разрезов сводится к следующему:

1. Проведение площадной комплексной геолого-геофизической съемки исследуемого региона с последующей интерпретацией и определением параметров геоэлектрического разреза.

2. Выбор динамических параметров разреза, точечной сети наблюдения для измерения данных геоэлектромониторинга и построение аппроксимации \tilde{A}^{-1} .

3. Проведение регулярных измерений по сети мониторинга и их инверсия в режиме реального времени по формуле (3).

Приведем пример решения задачи геоэлектромониторинга на модельных данных.

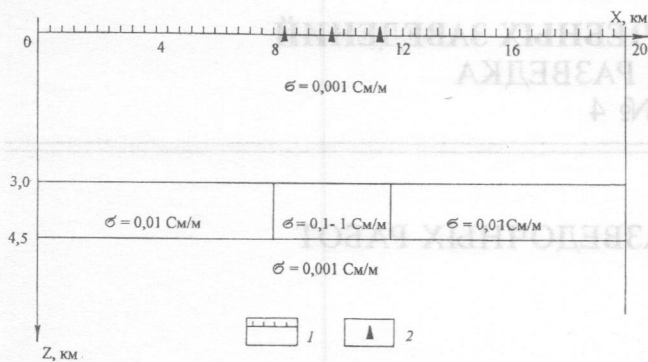


Рис. 1. Схематическая 2D модель геоэлектрического разреза, представленная горизонтально неоднородным слоем в полупространстве: 1 — пикеты полного профиля; 2 — точки редкой сети наблюдения

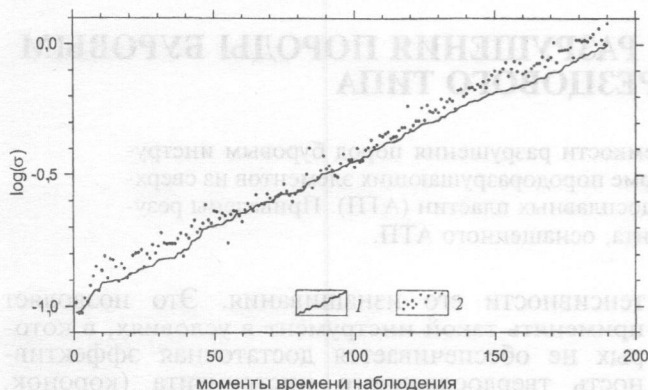


Рис. 2. График изменений удельной электропроводности активного блока в зависимости от момента времени наблюдения. Полная инверсия (51 одна точка наблюдения по профилю): 1 — тестовые данные; 2 — результаты нейросетевой инверсии

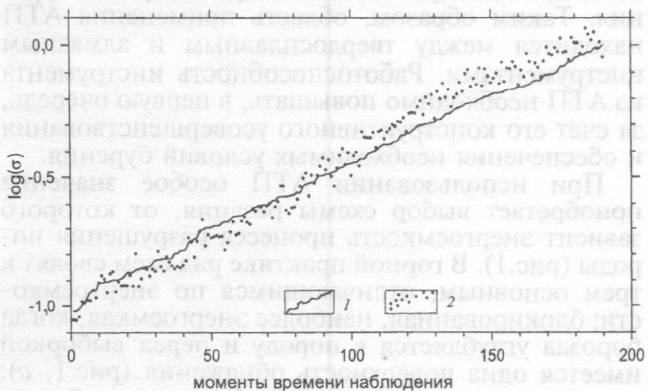


Рис. 3. График изменений удельной электропроводности активного блока в зависимости от момента времени наблюдения. Неполная инверсия данных (три точки наблюдения). Усл. обознач. см. рис. 2

Модель (рис.1) представляет собой горизонтально-неоднородный слой, расположенный на глубине $Z=3000$ м, мощностью $h=1500$ м и проводимостью $\sigma=0,01$ См/м. В центральной части слой включает неоднородную вставку (размер по горизонтали $l=4000$ м), электропроводность которой может варьировать от 0,1 до 1 См/м. Электропроводность вмещающего полупространства $\sigma=0,001$ См/м. Данная модель схематически имитирует некоторые возможные геодинамические процессы: изменения состояний расплава в магматической камере [2], кажущегося сопротивления в некоторых зонах сейсмоактивных областей [1].

Для первичной интерпретации разреза использовались измерения по профилю в 51 точке на сетке периодов: $T_1=0,1$; $T_2=0,5$; $T_3=2,5$ сек. На первом этапе решалась обратная задача определения электропроводности слоя и вставки. Затем строилась нейросетевая аппроксимация для полной сети наблюдения (51 пикет): средняя относительная ошибка которой для всех параметров составила 2,5%. Мониторинг электропроводности вставки проводился на основе измерения по всему профилю и по разряженной сети наблюдения (неполные данные). В основу моделирования процесса мониторинга был положен монотонный характер изменения электропроводности вставки.

На рис. 2 приведено сравнение теоретического изменения электропроводности в блоке с расчетными значениями, полученными на основе 51 точки наблюдения. Из рис. 2 видно, что тестовая кривая и кривая осредненных расчетных значений совпадают почти во всем диапазоне проводимых исследований с ошибкой в пределах 2,5–3%.

На рис. 3 представлен результат инверсии данных по разряженному профилю. Для инверсии выбраны 3 пикета (рис. 1), расположенные над вставкой с изменяемой (варьируемой) электропроводностью. Сравнение теоретической и расчетной кривой показало, что при сокращении числа точек наблюдения в 17 раз средняя ошибка определения проводимости вставки увеличивается лишь на 0,4%, что доказывает принципиальную возможность инверсии на основе разреженной сети наблюдения с использованием нейросетевой аппроксимации.

Таким образом, с помощью нейросетевых технологий можно с приемлемой точностью решать задачу мониторинга: определение изменения во времени отдельных динамических параметров геоэлектрического разреза на основе редкой сети наблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясения. М.: Наука, 1993. 313 с.
2. Спичак В.В. Магнитотеллурические поля в трехмерных моделях геоэлектрики. М.: Науч. мир, 1999. 203 с.
3. Страхов В.Н., Страхов А.В. Аппроксимационный подход к решению задач гравиметрии и магнитометрии // Российский журнал наук о Земле. 1999. Т. 1. № 4. С. 271–299.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1986. 286 с.
5. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А. Применение метода нейронных сетей для аппроксимации обратных операторов в задачах электромагнитных зондирований // Изв. вузов. Геология и разведка. 1999. № 2. С. 102–106.
6. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Гаврюшов С.А. Техника построения нейронных сетей для решения многопараметрических обратных задач магнито-теллурического зондирования // Изв. вузов. Геология и разведка. 2001. № 6. С. 129–137.

Московский геологоразведочный университет
Рецензент — А.В. Петров