

УДК 550.83.016

© А.А. Никитин, Е.Н. Черемисина, С.С. Малинина

А.А. Никитин, Е.Н. Черемисина, С.С. Малинина

НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО КОМПЛЕКСУ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Моделирование геообъектов и геопроцессов

Введение

Нейросетевое моделирование является эффективным средством распознавания образов с использованием эталонных объектов. В качестве эталонных объектов моделирования глубины залегания контактной поверхности используются результаты сейсморазведки МОВ-ОГТ. Нейросеть образуется путем решения прямых задач гравиразведки, магниторазведки и электроразведки при разных значениях глубины залегания контактной поверхности. Наибольшее применение нейросетевое моделирование нашло при интерпретации комплекса методов при геофизических исследованиях скважин [1], при этом используются как регрессионные, так и вероятностные нейросети. В статье предлагается подход нейросетевого моделирования, ориентированный на использование суммы сверток полей с весовыми коэффициентами, определяемыми на интервалах, где значения глубины контактной поверхности известны из данных сейсморазведки. Контактная поверхность обычно характеризуется избыточными значениями плотности, намагниченности и сопротивления, однако эти эффекты для разных физических свойств проявляются по-разному. Именно поэтому комплексирование геофизических полей позволяет на единой геометрии увеличить достоверность оценки глубины залегания контактной поверхности. Если при использовании регрессионной нейросети критерием принятия решения является достижение такого значения множественного коэффициента корреляции, при котором в дальнейшем не происходит его увеличение, то для вероятностной нейросети критерием служит такое значение апостериорной вероятности глубины залегания, которое обеспечивает максимум этой вероятности. При использовании подхода, связанного с представлением глубин залегания контактной поверхности в виде суммы сверток потенциальных геофизических полей с весовыми коэффициентами, оптимальное решение принима-

ется путем минимизации обобщенного расстояния. В целом, применение комплекса разных методов существенно повышает надежность результата по оценке глубины залегания контактной поверхности.

Основное содержание

Определение глубины залегания контактной поверхности, в частности глубины залегания кристаллического фундамента, является распространенной задачей картирования глубинного разреза. При изучении фундамента наряду с сейсморазведкой применяется гравиразведка, электроразведка, электроразведка, электроразведка и магниторазведка. При этом данные сейсморазведки МОВ-ОГТ служат в качестве эталонного материала при использовании гравимагнитных и электромагнитных наблюдений. На первом этапе для гравимагнитных полей осуществляется исключение региональной составляющей путем двумерной адаптивной энергетической фильтрации [2]. В связи с этими представлениями глубина залегания фундамента может быть выражена в виде суммы сверток исходных полей и их локальных составляющих с весовыми коэффициентами, определяемыми на интервалах разреза, на которых глубины залегания могут быть выражены следующим образом (на примере трех полей):

$$H_{\phi}(x) = \sum_i h_{1i} \Delta T_{j-i} + \sum_i h_{2i} \Delta g_{j-i} + \sum_i h_{3i} \rho_{j-k}, \quad (1)$$

где H_{ϕ} – глубина залегания контактной поверхности (в частности, фундамента), оценка которой проводится по данным сейсморазведки; h_1, h_2, h_3 – весовые коэффициенты геофизических полей; $\Delta T, \Delta g$ и ρ – данные магниторазведки, гравиразведки и электроразведки соответственно.

Для нахождения весовых коэффициентов следует умножить левую и правую часть уравнения (1) соответственно на $\Delta T, \Delta g$ и ρ . При этом в левой части уравнения (1) мы имеем взаимокорреляционные функции (B) глубины залегания с соответствующими

полями. В правой части образуются корреляционные матрицы, построенные по авто- (R) и взаимокорреляционным (B) функциям полей (2).

$$\begin{aligned} B_{H\phi,\Delta T}(m) &= \sum h_{1i} R_{\Delta T}(m-i) + \sum h_{2i} B_{\Delta T,\Delta g}(m-i) + \\ &\quad + \sum h_{3i} B_{\Delta T\rho}(m-i), \\ B_{H\phi,\Delta g}(m) &= \sum h_{1i} B_{\Delta T,\Delta g}(m-i) + \sum h_{2i} R_{\Delta g}(m-i) + \\ &\quad + \sum h_{3i} B_{\Delta g\rho}(m-i), \\ B_{H\phi,\rho}(m) &= \sum h_{1i} B_{\Delta T,\rho}(m-i) + \sum h_{2i} B_{\Delta g\rho}(m-i) + \\ &\quad + \sum h_{3i} R_{\rho}(m-i). \end{aligned} \quad (2)$$

Систему уравнений в виде сверток полей (2) можно дополнить путем использования данных других геофизических методов или различными составляющими потенциальных полей. Таким образом образуется нейронная сеть.

Для того чтобы выделить оптимальную совокупность сети, можно ориентироваться на величину множественного коэффициента корреляции. В этом случае, когда его величина перестает расти при расширении сети, данная совокупность будет являться ограничением сети. Так обычно поступают при построении регрессионных нейросетей.

При использовании вероятностных нейросетей оптимальная совокупность ориентируется на величину заданной апостериорной вероятности по формуле Байеса. После определения оптимальной совокупности нейросети следует перейти к оценке адекватности полученной модели глубины залегания контактной поверхности реальной глубине. При этом рассчитывается обобщенное расстояние μ :

$$\mu = \sum_l \sum_i^n h_l [f_{li}^M(\bar{\Theta}_K) - f_{li}^H]^2, \quad (3)$$

где f_{li}^H – наблюдаемое значение l -го поля в i -й точке; $f_{li}^M(\bar{\Theta}_K)$ – теоретически рассчитанное (модельное) значение l -го поля в i -й точке для вектора параметров объекта (среды) $\bar{\Theta}_K$, под которыми понимаются как петрофизические, так и геометрические параметры; h_l – весовые множители для l -го поля.

Весовые множители определяются координатами собственного вектора корреляционной матрицы, построенной по коэффициентам корреляции отклонений $(f_{li}^M - f_{li}^H)$ данных для любой пары модельного и наблюдаемого полей.

Координаты этого собственного вектора рассчитываются для максимального собственного значения λ_{max} корреляционной матрицы. Именно процедура нахождения весовых коэффициентов только для λ_{max} обеспечивает подбор модели, хотя и грубо, но согласующейся с наблюдениями по всем методам.

С помощью обобщенного расстояния μ оценивается адекватность глубины залегания контактной поверхности реальной глубине залегания объекта. За адекватную модель принимается модель, для которой величина обобщенного расстояния будет наименьшей.

Минимизация обобщенного расстояния обеспечивает построение адекватной модели глубины залегания контактной поверхности реальному ее положению [3, 4]. Кроме того, такой подход позволяет сравнивать между собой различные модели глубины залегания, построенные разными исследователями и при разных геологических представлениях о строении среды.

Заключение

Процедура нейросетевого моделирования глубины залегания контактной поверхности включает:

- 1) выбор интервалов глубинного разреза с известной контактной поверхностью, определяемых по данным сейсморазведки МОВ-ОГТ;
- 2) составление системы линейных уравнений в виде суммы сверток геофизических полей с весовыми коэффициентами, определяемыми на интервалах глубинного разреза, на которых глубина контактной поверхности оценивается по данным сейсморазведки;
- 3) решение прямых задач для совокупности геофизических методов по результатам которых формируется нейросеть;
- 4) выбор оптимальной совокупности нейросети, ориентируясь, например, на величину множественного коэффициента корреляции;
- 5) оценку адекватности построенной модели глубины залегания контактной поверхности путем минимизации обобщенного расстояния.

Ключевые слова: нейронная сеть, сумма сверток, прямые задачи обобщенное расстояние.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методические рекомендации по использованию сейсморазведки для подсчета запасов УВ в условиях карбонатных коллекторов трещинно-кавернозного типа / В.В. Левянт и др. – ЦГЭ, 2010. – 250 с.
2. Никитин А.А. Энергетическая фильтрация геофизических полей // Геофизика. – № 3. – 2013. – С. 3-13.
3. Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Критериальный подход к оценке адекватности ФГМ реальным объектам // Геоинформатика. – № 1. – 2017. – С. 40-43.
4. Черемисина Б.Н., Никитин А.А. Геоинформационные системы. – М. : ВНИИГеосистем, 2011. – 376 с.