

ЗАСТОСУВАННЯ ДЕКОНВОЛЮЦІЇ ЕЙЛЕРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЛИБИНИ ЗАЛЯГАННЯ ДЖЕРЕЛ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ В РЕГІОНІ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Розглянуто основне рівняння методу деконволюції Ейлера. На відміну від альтернативних методів розв'язку, метод найменших квадратів був використаний для рішення цього рівняння та отриманні глибини геологічних об'єктів різної конфігурації в регіоні Українських Карпат.

Ключові слова: деконволюція Ейлера; аномалії Буге; структурний індекс; ортогональні градієнти сили тяжіння.

Вступ

Деконволюція Ейлера в простій формі була вперше застосована до магнітних даних більш ніж сорок років тому. Вона була сформульована наприкінці вісімнадцятого сторіччя та базується на однорідності рівняння Ейлера. Історично [Hood, 1965] першим записав однорідність рівняння Ейлера для випадку магнітного поля, та отримав структурні індекси для точкової маси та диполя. У 1982 році Томпсон [Tompson, 1982] продовжив дослідження Худа та застосував метод деконволюції Ейлера (ДЕ) для модельованих та вимірених магнітних даних вздовж профілів. Рід та ін. [Reid et al., 1990, 1995] враховуючи висновки у роботі Томпсона, розробили альтернативний метод 3D деконволюції Ейлера, який працює з магнітними даними, що розташовані на рівномірній сітці. Окрім цього вони припустили, що даний метод також повинен працювати з аномаліями сили тяжіння та гравітаційними градієнтами. В представленій роботі метод ДЕ був застосований до рівномірної сітки аномалій Буге (рис. 1) [Марченко та ін., 2010] для обрахунку глибини залягання геологічних об'єктів в регіоні Українських Карпат.

Методика обчислень

Класичний метод ДЕ використовує три ортогональні градієнти потенціалу для визначення глибини та місцезнаходження тіла. Вираз (1) демонструє головне рівняння методу:

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = -NT \quad (1)$$

де x_0, y_0, z_0 – невідомі координати центра тіла,

x, y, z – координати точки з відомим значенням потенціалу T або його функціоналів, $\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z}$

– ортогональні градієнти (похідні потенціалу або його функціоналів по напрямках), N – структурний індекс (SI). Цей параметр вказує на форму геологічних тіл, що визначаються та складають рішення Ейлера. Математично, структурний індекс є оператором степеневого закону, що використовується для визначення характеристик розпаду джерела. Структурний індекс не може бути негативним. У таблиці 1 наведено деякі

значення структурного індексу для гравітаційних даних та відповідних геологічних структур.

Таблиця 1

Значення та типи структурних індексів SI

SI	Тип SI	Геологічна структура
0	лінія точкових мас	западина
1	точкова маса	вертикальна трубка
2	точковий диполь	сферичний об'єкт

Таким чином з виразу (1) маємо три невідомих. Для їх визначення було застосовано метод найменших квадратів. Для цього запишемо складові рівняння (1) у матричній формі. Вектор невідомих приймає вигляд:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} (x - x_0) \\ (y - y_0) \\ (z - z_0) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Вектор значень потенціалу або його функціоналів:

$$\mathbf{L} = -N \cdot \begin{pmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_n \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Матриця ортогональних градієнтів \mathbf{A} :

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} \frac{\partial T_1}{\partial x_1} & \frac{\partial T_1}{\partial y_1} & \frac{\partial T_1}{\partial z_1} \\ \frac{\partial T_2}{\partial x_2} & \frac{\partial T_2}{\partial y_2} & \frac{\partial T_2}{\partial z_2} \\ \frac{\partial T_n}{\partial x_n} & \frac{\partial T_n}{\partial y_n} & \frac{\partial T_n}{\partial z_n} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для визначення вектору \mathbf{X} запишемо наступне рівняння:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{L} + \mathbf{V}, \quad (5)$$

або

$$\mathbf{A}^T \mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{A}^T \mathbf{L} + \mathbf{A}^T \mathbf{V}. \quad (6)$$

В рівнянні (5) та (6) матриця \mathbf{V} є матрицею похибок, а \mathbf{A}^T – транспонована матриця \mathbf{A} . Згідно з лемою Гауса:

$$\mathbf{A}^T \mathbf{V} = 0 \quad (7)$$

Таким чином, приймаючи до уваги (7), запишемо остаточний вираз для визначення \mathbf{X} :

$$\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \mathbf{L} \quad (8)$$

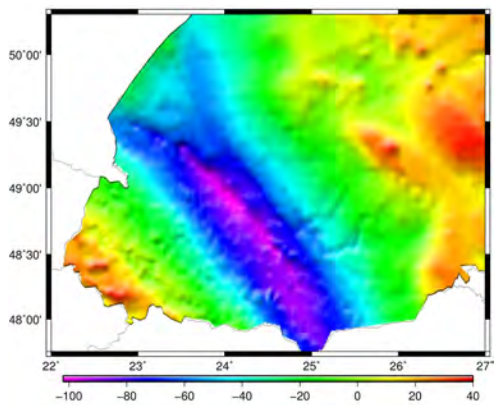


Рис. 1. Аномалії Буге в регіоні Українських Карпат (мГал)

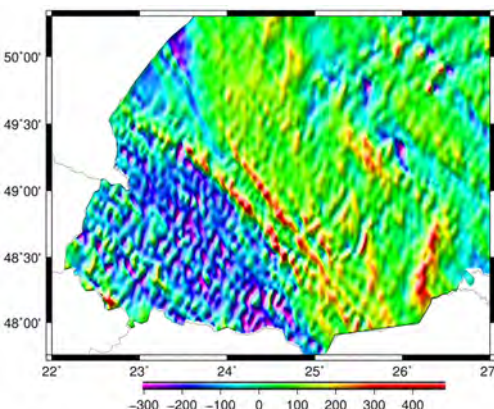


Рис. 2. Градієнт по напрямку X (мГал)

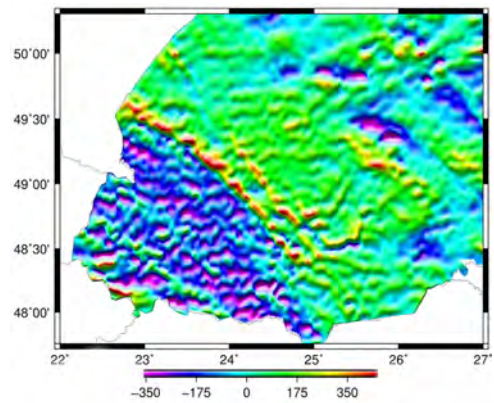


Рис. 3. Градієнт по напрямку Y (мГал)

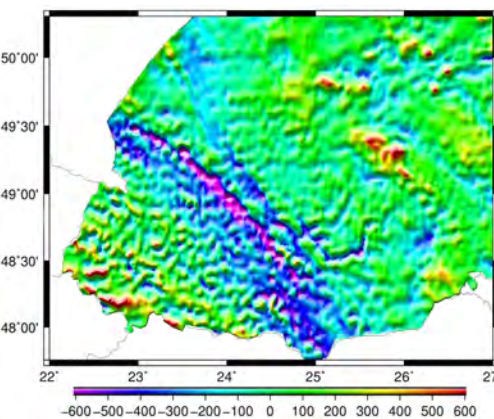


Рис. 4. Градієнт по напрямку Z (мГал)

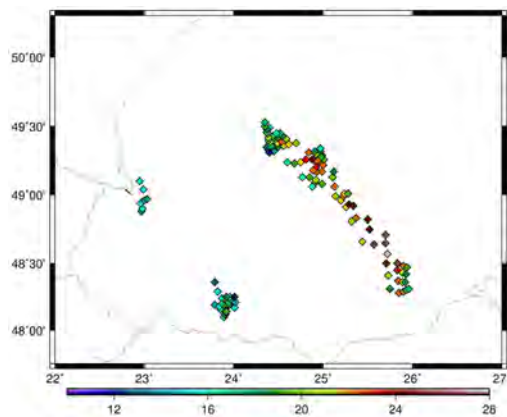


Рис. 5. Рішення ДЕ для SI=0 (км)

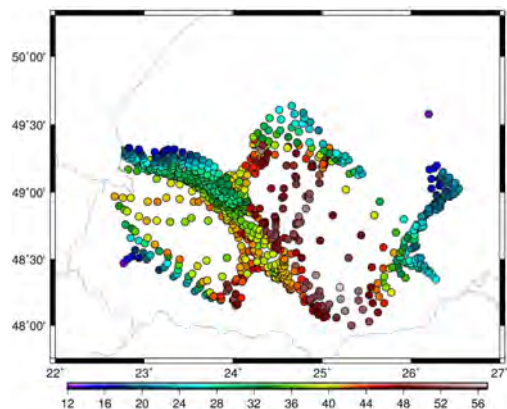


Рис. 6. Рішення ДЕ для SI=1 (км)

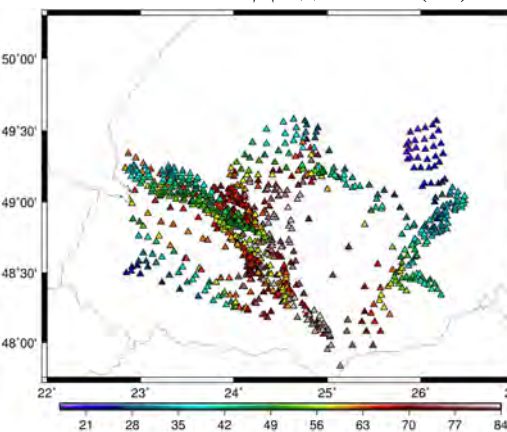


Рис. 7. Рішення ДЕ для SI=2 (км)

Результати

Першим кроком були обчислені ортогональні градієнти по рівномірній сітці аномалій Буге.

Сформувавши з отриманих градієнтів матрицю A та вектор величин аномалій Буге L, за виразом (8) були отримані рішення ДЕ для структурних індексів 0, 1 та 2 (рис. 5-7). Необхідно зазначити, що визначення об'єктів виконувалось з використанням вікна радіусом 15 мінут. Тобто, для центральної точки використовувались не всі значення сітки аномалій, а лише ті, що попадали в заданий радіус.

Таблиця 2

Статистики рішень ДЕ

SI	0	1	2
min	10.0	12.0	17.0
max	28.0	57.0	84.0
ср.	18.5	35.7	54.3

Висновки

Основні результати виконаних робіт:

1. Обчислені ортогональні градієнти аномалій Буге. Крім використання в методі деконволюції Ейлера ці рішення повинні бути досліджені з точки зору основних геологічних структур в регіоні Українських Карпат.
2. Отримані координати та глибини залягання геологічних об'єктів зі структурними індексами 0, 1 та 2 (западини, вертикальні трубки та сферичні об'єкти). В таблиці 2 наведені їх статистики.

Як видно з таблиці 2, глибина залягання об'єктів в загальному розподіляється від 10 до 84 км. Для подальших досліджень необхідно розділити вихідний набір аномалій Буге на довгохвильову та короткохвильову складові. Це дасть змогу відокремити сигнали об'єктів, що розташовані в осадовому шарі (в регіоні Карпат він складає близько 25 км) та джерел, які знаходяться значно глибше. Останні можуть бути використані як

альтернативна інформація для вивчення глибин Мохо в регіоні [Getachew, 2011].

Література

- Марченко Д., Максимчук В., Шимків Л. Побудова матриці аномалій Буге для території Карпатського регіону. – Львів: Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, – № 2, – 2010. – С. 57-61.
- Getachew E., M. van der Meijde, Nyblade A.A., F.D. van der Meer A crustal thickness map of Africa derived from a global gravity field model using Euler deconvolution, *Geophys. J. Int.* (2011) 187, – P. 1-9.
- Hood P., 1965, Gradient measurements in aeromagnetic surveying: *Geophysics*, 30, 891–802.
- Reid, A.B., Allsop J.M., Granser H., Millett A.J., and Somerton I.W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, 55, – P. 80-91.
- Reid, A. B., 1995, Euler deconvolution: past, present and future, areview: 65th Ann. Internat. Mtng., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, – P. 272-273.
- Thompson D. T., 1982, EULDPH – A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data: *Geophysics*, 47, – P. 31-37.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕКОНВОЛЮЦИИ ЭЙЛЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛУБИНЫ ЗАЛЕГАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ В РЕГИОНЕ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

Д.О. Марченко

Рассмотрено основное уравнение метода деконволюции Эйлера. В отличии от альтернативных методов решений, метод наименьших квадратов использовался для решения этого уравнения и получены глубины геологических объектов разной конфигурации в регионе Украинских Карпат.

Ключевые слова: деконволюция Эйлера, аномалии Буге, структурный индекс, ортогональные градиенты силы тяжести.

3D EULER DECONVOLUTION FOR THE DEPTH DETERMINATION OF THE GRAVITY FIELD SOURCES IN THE UKRAINIAN CARPATHIAN

D.O. Marchenko

Main equation of the method of Euler deconvolution is considered. In contrast to the other works, the least squares method is used here to solve the equation. Depths of the geological objects of different shapes in the region of the Ukrainian Carpathians have been calculated.

Key words: Euler deconvolution, Bouguer anomaly, structural index, orthogonal gradients, gravity field.

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, м. Львів, Україна Надійшла 01.08.2013