

## ОЦІНКА СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ МАНТІЇ ЗЕМЛІ В РАЙОНІ ОБСЕРВАТОРІЇ ПАНАГЮРИЩЕ ЗА МАГНІТОВАРІАЦІЙНИМИ ДАНИМИ

Метод регіонального магнітоваріаційного зондування ( $Z/H$  метод) використано для побудови моделі електропровідності мантиї Землі в районі Болгарської геомагнітної обсерваторії Панагюрище (PAG). На основі співвідношення спектрів вертикальної та горизонтальної компонент геомагнітного поля реєстрованих на поверхні Землі та априорно відомої структури джерела варіацій розраховується магнітоваріаційна передавальна функція середовища. Інверсії останньої дозволяють отримати одновимірну модель розподілу електропровідності.

**Ключові слова:** мантия Землі; електропровідність; геомагнітні варіації; магнітоваріаційне зондування.

**Вступ.** Будова та стан мантиї Землі а також процеси, що в ній протікають мають значний вплив на літосферу — тверду оболонку Землі. Вони є причиною вертикальних та горизонтальних тектонічних рухів блоків літосфери. Флюїди і магна, які проникають у земну кору беруть участь у формуванні покладів корисних копалин. Крім того, мантия відіграє важливу роль в ендегенних процесах у земній корі (магматизм, метаморфізм). Геоелектричні методи давно використовуються для визначення параметрів мантиї Землі. В останні 20-25 років дякуючи використанню багаторічних геомагнітних даних вдалось отримати криві магнітоваріаційного (МВ) зондування для районів розташування багатьох обсерваторій світу. [Schultz and Larsen, 1987; Semenov, 1998; Логвинов и Семенов, 2000; ]. Одновимірна інверсія МВ кривих дозволила виявити аномалії електро-провідності в перехідній зоні від верхньої до нижньої мантиї практично на всіх обсерваторіях, що вказує на велику ймовірність існування глобальної границі розділу на цих глибинах.

Вказані роботи на окремих геомагнітних обсерваторіях часто виконано з використанням малої кількості даних (3-5 років), що не дозволяло впевнено визначати геоелектричні параметри. Однією з таких є розташована в Болгарії геомагнітна обсерваторія Панагюрище (PAG), де на сьогодні є наявні часові ряди магнітоваріаційних даних з незначними перервами в реєстрації починаючи з 1988 року.

**Метод досліджень.** Метод регіонального МВ зондування, також відомий як  $Z/H$  метод, використано для розрахунку електромагнітної функції відгуку середовища. Джерелом електромагнітного поля для згаданого методу служить аперіодична  $Dst$  варіація, викликана збуреннями під час магнітних бур кільцевого струму в магнітосфері Землі на висотах 3 – 6 земних радіусів. Було показано [Banks, 1969], що зональна сферична гармоніка  $P_1^0$  досить точно описує варіації компонент магнітного поля на поверхні Землі в діапазоні періодів 4 – 200 днів, а відповідно кільцевий струм є домінуючим

джерелом у вказаному діапазоні періодів. Знаючи априорно структуру джерела поля можна розрахувати електромагнітну функцію відгуку (передавальну функцію) середовища  $C(\omega)$  на основі співвідношення спектрів вертикальної і горизонтальної складових магнітного поля:

$$C(\omega) = \frac{R \tan(\theta) B_z(\omega)}{2 B_h(\omega)}$$

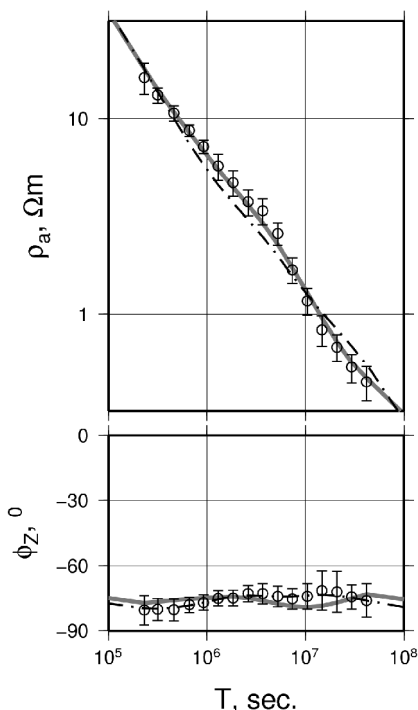
де  $R$  — радіус Землі,  $\theta$  — геомагнітна ко-широта обсерваторії,  $B_z$  і  $B_h$  — спектри вертикальної і горизонтальної складових магнітного поля відповідно,  $\omega$  — кутова частота. Функція відгуку  $C(\omega)$  легко трансформується в еквівалентний магніто-телуричний імпеданс, як наслідок, добре відомі алгоритми одновимірних магнітотелуричних інверсій можна використати для побудови моделей електропровідності середовища.

**Результати досліджень.** Як вхідні дані для аналізу використано часові ряди усереднених добових значень трьох компонент геомагнітного поля  $B_x$ ,  $B_y$  і  $B_z$  Болгарської геомагнітної обсерваторії Панагюрище (міжнародний код PAG). Для розрахунку геомагнітної ко-широти  $\theta$ , а також для отримання більш надійних оцінок функції відгуку  $C(\omega)$  використовуються синхронні дані однієї або декількох віддалених обсерваторій. У якості таких використано записи польської обсерваторії Бельськ (BEL) і російської Новосибірськ (NVS). Загальна тривалість часових рядів склала 20 років, починаючи з 1988 р. по 2008 р. Дані обсерваторій отримано з Світового Центру Даних (WDC for Geomagnetism, Edinburgh, <http://www.wdc.bgs.ac.uk/>).

Для визначення передавальної функції  $C(\omega)$  попередньо необхідно провести деякі додаткові розрахунки. Перш за все, для кожної обсерваторії необхідно розрахувати азимут на полюс кільцевого струму. Цей азимут співпадає з напрямком горизонтальної компоненти поля  $B_h$ , який визначається за азимутом мінімальних

величин когерентностей між спектрами спостережуваних ортогональних компонент горизонтального магнітного поля Землі. Цей азимут використовується для перерахунку спостережуваних ортогональних горизонтальних компонент поля у значення повного горизонтального поля  $B_h$ . За азимутами для двох обсерваторій, використовуючи формули тригонометрії на сфері, розраховуються координати самого полюса кільцевого струму. Очевидно, що розрахунки більш надійні, якщо використати обсерваторії рознесені по довготі на значну відстань. Знаючи розташування полюса розраховується геомагнітна ко-широта обсерваторії  $\theta$ . Додатково за співвідношенням спектрів горизонтальних компонент  $B_h$  різних обсерваторій можна виконати експериментальну перевірку на відповідність структури поля джерела зональній сферичній гармоніці  $P_1^0$ .

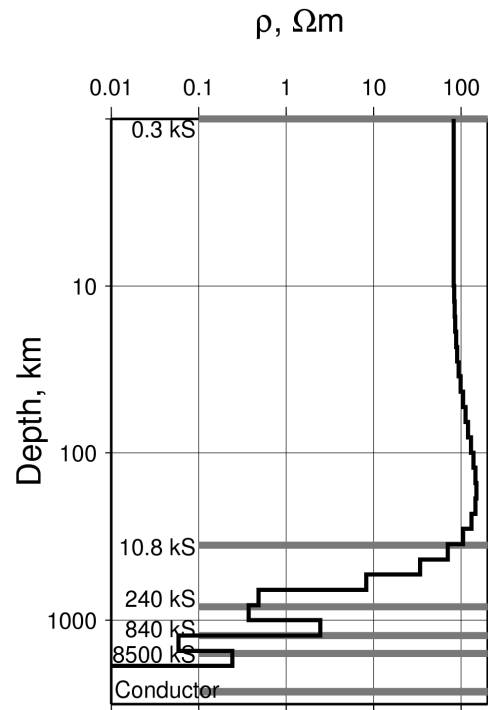
Метод головних компонент [Fujii & Schultz, 2002] було використано для виділення частотно-просторової когерентної структури геомагнітного поля з частково не когерентних спектрів геомагнітних варіацій. Виділені таким чином спектри використовувались при розрахунку функції відгуку  $C(\omega)$ . Отриманий результат у вигляді кривих позірнього опору та фази імпедансу представлено на рисунку 1.



**Рис. 1.** Глибинні магнітоваріаційні криві позірнього опору та фази імпедансу для обсерваторії PAG.

Чорні кружки — експериментальні дані, сіра суцільна лінія — відгук моделі D+, чорна штрихпунктирна лінія — відгук моделі Occam

Геоелектричну інтерпретацію отриманих залежностей виконано за допомогою відомих алгоритмів одновимірних інверсій D+ [Parker, 1980; Parker & Whaler 1981] і Occam [Constable *et al.*, 1987]. Порівняння експериментальних даних з відгуками моделей приведено там же на рисунку 1, а одновимірні моделі на рисунку 2.



**Рис. 2.** Одновимірні моделі глибинного геоелектричного розрізу в районі розташування Болгарської геомагнітної обсерваторії Панагюрище (PAG).

Сірі лінії — шари нульової товщини, скінченної провідності (провідність вказана цифрами зліва), алгоритм D+, чорна лінія — модель отримана за допомогою алгоритму Occam (максимально плоска модель)

**Висновки.** В результаті аналізу та обробки часових рядів трьох геомагнітних обсерваторій PAG, BEL та NVS тривалістю 20 років (1988 — 2008) отримано криві позірнього опору та фази імпедансу в діапазоні періодів 2,7 – 490 днів ( $2,3 \cdot 10^5$  –  $4,2 \cdot 10^7$  с). Методом численного моделювання отримано одновимірні моделі глибинного геоелектричного розрізу в районі розташування Болгарської геомагнітної обсерваторії Панагюрище (PAG). Отримані МВ криві позірнього опору та фази імпедансу для обсерваторії Панагюрище можуть служити глибинними реперами при інтерпретації магнітотелуричних даних на всій території Болгарії, що буде сприяти підвищенню їх якості.

**Література**

- Логвинов И.М., Семенов В.Ю. Оценка глубинных геоэлектрических параметров в районе обсерваторий Корец и Ястребовка (Украина) // Геофиз. Журн. – 2000. – 22, – № 3. – С. 90–95
- Banks R. Geomagnetic variations and the electrical conductivity of the upper mantle // *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*. – 1969. – 17. – P. 457-487
- Constable S.C., Parker R.L., Constable C.G. Occam's inversion: a practical algorithm for the inversion of electromagnetic data // *Geophysics*. – 1987. – 52. – P.289–300
- Fujii I., Schultz A. The 3D electromagnetic response of the Earth to ring current and auroral oval excitation // *Geophys. J. Int.* – 2002. – 151. – P. 689–709.
- Parker, R.L., The inverse problem of electromagnetic induction: existence and construction of solutions based on incomplete data. // *J. Geophys. Res.* – 1980. – 85. – P. 4421 – 4428.
- Parker R.L., Whaler K.A. Numerical method for establishing solution to the inverse problem of electromagnetic induction // *J. Geophys. Res.* – 1981. – 86. – P. 9574 – 9584
- Schultz A., Larsen J, C. On the electrical conductivity of the mid-mantle – I. Calculation of equivalent scalar magnetotelluric response functions // *Geophys. J. R. Astr. Soc.* – 1987. – 88, – P. 733–761
- Semenov V. Yu. Regional Conductivity Structures of the Earth's Mantle – Warszawa: Publications of the Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences C-65(302), – 1998. – 122 p.

**ОЦЕНКА СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МАНТИИ ЗЕМЛИ В РАЙОНЕ  
ОБСЕРВАТОРИИ ПАНАГЮРИЩЕ ПО МАГНИТОВАРИАЦИОННЫМ ДАННЫМ**

**Б.Т. Ладанивский**

Метод регионального магнитовариационного зондирования (Z/H метод) использовано для построения модели электропроводности мантии Земли в районе Болгарской геомагнитной обсерватории Панагюрище (PAG). На основе соотношения спектров вертикальной и горизонтальной компонент геомагнитного поля зарегистрированных на поверхности Земли и априорно известной структуры источника вариаций рассчитывается магнитовариационная передаточная функция среды. Инверсии последней позволяют получить одномерную модель распределения электропроводности.

**Ключевые слова:** мантия Земли; электропроводность; геомагнитные вариации; магнитовариационное зондирование.

**EARTH'S MANTLE CONDUCTIVITY STRUCTURE ESTIMATION AT PANAGURISHTE  
OBSERVATORY REGION BY MAGNETOVARIATIONAL DATA**

**B.T. Ladanivsky**

The regional magneto-variational sounding method (aka Z/H method) was used for estimation of the Earth's mantle conductivity model at the Panagurishte (PAG) observatory region. A magneto-variational transfer function is calculated on the base of the relationship of vertical to horizontal geomagnetic field spectra components recorded on the Earth surface and priori assumptions about a field source structure. Inversions of the transfer function allow to obtain the one dimensional conductivity model.

**Key words:** Earth's mantle; electrical conductivity; geomagnetic variation; magneto-variational sounding.

---

*Карпатське відділення Інституту геофізики НАН України, м. Львів*