

УДК 550.834

<https://doi.org/10.30836/gbhgd.2024.53>

**БУДОВА ФУНДАМЕНТУ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА ЗА  
КІНЕМАТИЧНИМИ ТА ДИНАМІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
ХВИЛЬОВОГО ПОЛЯ ВЗДОВЖ СЕЙСМІЧНОГО ПРОФІЛЮ  
EUROBRIDGE'97**

***Коломієць К.В., Верпаховська О.О., Чорна О.А., Лисинчук Д.В.***

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна, [katrko@gmail.com](mailto:katrko@gmail.com);  
[alversim@gmail.com](mailto:alversim@gmail.com); [oksana.chornaya@gmail.com](mailto:oksana.chornaya@gmail.com); [dlysyn@gmail.com](mailto:dlysyn@gmail.com)

**STRUCTURE OF THE UKRAINIAN SHIELD BASEMENT OF  
ACCORDING TO THE KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS  
OF THE WAVE FIELD ALONG THE EUROBRIDGE'97 SEISMIC PROFILE**

***Kolomiyets K., Verpakhovska, O., Chorna, O., Lysynchuk D.***

Subbotin Institute of Geophysics NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine, [katrko@gmail.com](mailto:katrko@gmail.com);  
[alversim@gmail.com](mailto:alversim@gmail.com); [oksana.chornaya@gmail.com](mailto:oksana.chornaya@gmail.com); [dlysyn@gmail.com](mailto:dlysyn@gmail.com)

The research paper presents an innovative approach that combines both kinematic and dynamic processing of wave fields obtained by DSS seismic method. This interpretation approach allows to obtain more information about the deep structure of the lithosphere. To illustrate this, the study focuses on analyzing the crystalline basement of the Ukrainian Shield. The ray modeling method was used for kinematic processing of seismic data to obtain a velocity model. Additionally, dynamic processing allowed for the first time to form a migration image, revealing the deep structure of the Ukrainian Shield's crystalline basement along the EUROBRIDGE'97 profile.

### **Вступ**

Протягом кількох десятків років в Інституті геофізики ім.С.І.Субботіна НАН України виконуються сейсмічні спостереження методом глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) в різних районах України з метою вивчення їх глибинної будови. Одним з таких профілів є EUROBRIDGE'97, частина якого проходить через Український щит і дає змогу дослідити будову його кристалічного фундаменту [1,2].

За властивостями спостереженого хвильового поля, що використовуються при обробці сейсмічних даних розрізняють кінематичну та динамічну обробку.

Кінематична обробка сейсмічних даних, спостережених методом ГСЗ є традиційною і базується на використанні методу променевого моделювання. В результаті розраховується швидкісна модель середовища вздовж сейсмічного профілю [1,2,3].

Динамічна обробка базується на застосуванні процедури сейсмічної міграції та дозволяє отримати зображення глибинної будови розрізу вздовж профілю. При цьому для динамічної обробки хвильових полів, зареєстрованих методом ГСЗ в Інституті геофізики ім.С.І.Субботіна НАНУ розроблено кінцево-різницеву міграцію відбитих/рефрагованих хвиль, що враховує всі особливості спостережень і дає можливість отримати додаткові деталі, які можуть бути відсутні на швидкісній моделі, що була отримана променевим моделюванням [3,4].

Метою цієї роботи було показати, що поєднання при інтерпретації результатів кінематичної та динамічної обробки хвильових полів, спостережених методом ГСЗ, дозволяє отримати більше інформації про глибинну будову, що і продемонстровано на прикладі дослідження структури кристалічного фундаменту Українського щита вздовж сейсмічного профілю ГСЗ EUROBRIDGE'97.

### **Методи дослідження**

Для кінематичної обробки сейсмічних даних, спостережених методом ГСЗ використовується метод моделювання променями, який реалізовано в різних програмних пакетах, поміж яких є автоматизовані засоби вирішення оберненої задачі сейсміки на основі інверсії зафіксованих годографів і більш трудомісткі підходи, які базуються на ручному підборі швидкісної моделі шляхом узгодження часів пробігу виділених корисних сейсмічних хвиль з розрахунковими годографами, що характеризують результативну модель розрізу.

При інтерпретації даних EUROBRIDGE'97 використовувались два різні підходи, які засновані на томографічній інверсії [5,6]. Обидві швидкісні моделі мають схожу загальну структуру, а часткові відмінності за розміром наближаються до роздільної здатності методу. Перевагою інверсії є відносна простота введення вихідних даних і швидкість побудови результативної моделі, яка вдосконалювалася в подальшому на основі програми SEIS83 [7], в якій реалізовано алгоритм променевого трасування. Вхідні дані кінематичного моделювання склалися з системи ув'язаних годографів різних типів сейсмічних хвиль для кожного з 18 відпрацьованих пунктів вибуху, і початкової швидкісної моделі, що була побудована за результатами інверсії.

Такий підхід в інтерпретації даних ГСЗ довів свою ефективність при обробці матеріалів сейсмічних експериментів, які були відпрацьовані на території України протягом останніх років [1,4,8].

Динамічна обробка оперує амплітудно-частотними і фазовими характеристиками хвильового поля і передбачає побудову зображення глибинного розрізу з наявними в ньому границями розділу та тектонічними особливостями будови району досліджень за допомогою трансформації спостереженого хвильового поля. Для динамічної обробки застосовується метод кінцево-різницевої міграції поля відбитих/рефрагованих хвиль, який є оригінальною авторською розробкою [3,4,9].

Метод кінцево-різницевої міграції поля відбитих/рефрагованих хвиль розрахований на виділення закритично відбитих та рефрагованих хвиль, що зареєстровані від товщі фундаменту у віддаленій зоні джерела. При цьому враховується повна траєкторія проходження сейсмічними хвилями двошарового середовища, на межі якої відбувається значний стрибок швидкості [3,9].

Для виконання сейсмічної міграції необхідно, щоб загальні швидкісні параметри середовища були відомі, а отже результат кінематичної обробки, а саме розрахована швидкісна модель середовища, використовується у якості вихідних параметрів для динамічної обробки. Наведені докази коректності продовжень часового та хвильового полів [9], які виконуються шляхом кінцево-

різницевого розв'язання диференціальних рівнянь – ейконалу та хвильового рівняння дозволяють говорити про точність розрахунків при виконанні кінцево-різницевої міграції поля відбитих та рефрагованих хвиль. Таким чином, міграція поля відбитих/рефрагованих хвиль дозволяє отримати коректне зображення будови товщі кристалічного фундаменту.

### Результати та їх обговорення

Сейсмічний профіль ГСЗ EUROBRIDGE'97 має протяжність 530 км і проходить із півночі на південь через Прип'ятський грабен, а потім через Коростенський плутон та Волинський блок до Подільського блоку північно-західної частини Українського щита [1,2]. На рис.1 наведено карту з розташуванням профілю EUROBRIDGE'97 з виділеною червоним кольором частиною, яка відноситься до Українського щита.

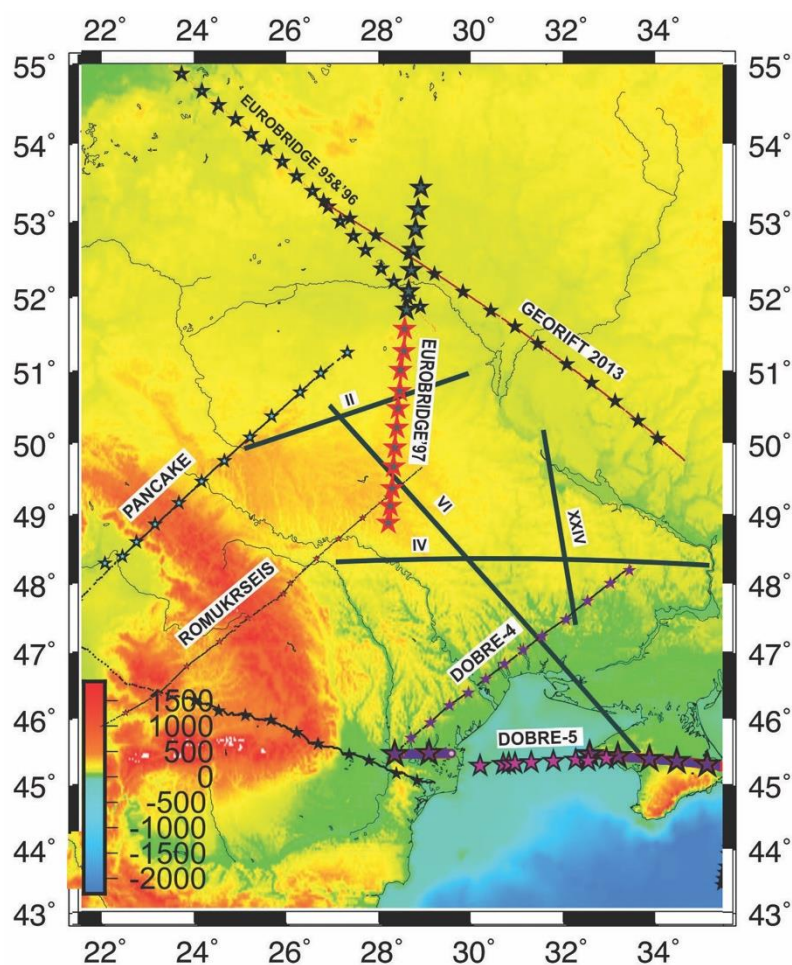


Рисунок 1. Розташування сейсмічних профілів ГСЗ та профілю EUROBRIDGE'97. Зірками позначено положення пунктів вибуху. Червоним виділено частину, яка проходить через структури Українського щита.

У рамках міжнародного проекту було реалізовано кінематичну обробку спостережених сейсмічних хвильових полів і в результаті побудовано два варіанти швидкісних моделей уздовж профілю, докладно описані в роботах [1, 2]. На рис.2(а) показано частину швидкісної моделі, розрахованої методами

кінематичної обробки за даними сейсмічного профілю EUROBRIDGE'97, що показує будову кристалічного фундаменту Українського щита.

Уздовж регіонального профілю EUROBRIDGE'97 було розташовано 18 пунктів вибуху з кроком приблизно 30 км. Прийом виконувався 120 мобільними трикомпонентними сейсмографами у двох установках за номінальної відстані між станціями 3–4 км [1].

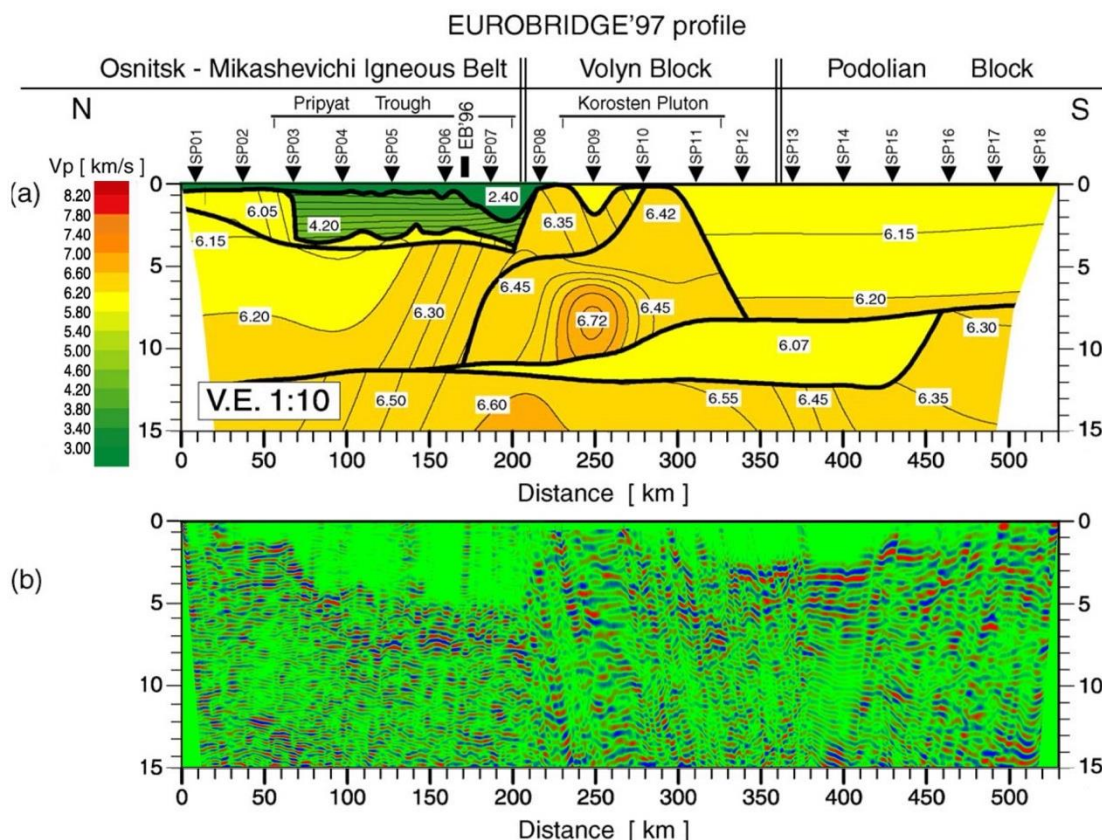


Рисунок 2. Результати кінематичної та динамічної обробки профілю EUROBRIDGE'97. (а) Швидкісна модель вздовж профіля до глибини 15 км [1]. (б) Результат використання кінцево-різницевої міграції поля відбитих/рефрагованих хвиль.

До хвильових полів, спостережених вздовж сейсмічного профілю EUROBRIDGE'97 було застосовано методику формування зображення кристалічного фундаменту з використанням кінцево-різницевої міграції поля відбитих/рефрагованих хвиль. Сформоване в результаті глибинне зображення будови фундаменту Українського щита наведено на рис. 2(б).

### Висновки

Вперше було сформовано міграційне зображення глибинної будови кристалічного фундаменту Українського щита вздовж профілю EUROBRIDGE'97 з використанням кінцево-різницевої міграції відбитих/рефрагованих хвиль та виконано її інтерпретацію.

За результатами поєднання результатів кінематичної та динамічної обробки вздовж сейсмічного профілю EUROBRIDGE'97 було отримано більш повну інформацію про будову кристалічного фундаменту Українського щита.



### Література

1. Thybo, H., Janik, T., Omelchenko, V.D., Grad, M., Garetzky, R.G., Belinsky, A.A., Karatayev, G.I., Zlotski, G., Knudsen, E., Sand, R., Yliniemi, J., Tiiro, T., Luosto, U., Komminaho, K., Giese, R., Guterch, A., Lund, C.E., Kharitonov, O.M., Ilchenko, T.V., Lysynchuk, D.V., Skobolev, V.M., Doody, J.J. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripjat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE'97 profile. // *Tectonophysics*, 2003. V. 371, № 1/4, P. 41—79. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(03\)00200-2](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00200-2)
2. Ильченко Т. В. Результаты исследований методом ГСЗ вдоль трансекта Евробридж-97. // *Геофиз. журн.*, 2002. Т. 24, № 3. С. 36—50.
3. Верпаховская А.О. Методика изображения кристаллического фундамента по данным ГСЗ. // *Геофиз. журн.*, 2021. Т. 43, № 5, С. 127—149. <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001307949>
4. Murovskaya, A., Verpakhovska, O., Hnylko, O., Chorna, O., & Yegorova, T. Transcarpathian Depression: Study of Low-Velocity Zones in the Earth's Crust Based on the Seismic Regional Profiles Data. // *Geofizicheskiy Zhurnal*, 2023. V. 45, № 2. P. 30—43. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i2.278310>
5. Hole, J.A., 1992. Nonlinear high resolution three-dimensional seismic travel time tomography, *J. Geophys. Res.* 97, 6553-6562.
6. Zelt C.A., and Smith R.B., 1992. Seismic travelttime inversion for 2D crustal velocity structure, *Geophys. J. Int.* 108, 1, 16-34.
7. Červený V. & Pšencík I. SEIS83 - Numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structures by the ray method // in: *Documentation of Earthquake Algorithms* Engdal, E.R. (Ed.). – World Data Cent. A for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colo. –1984.– Rep. SE-35. – P.36-40
8. V. Starostenko, T. Janik, W. Czuba, P. Środa, A. Murovskaya, T. Yegorova, A. Verpakhovska, K. Kolomiyets, D. Lysynchuk, D. Wójcik, V. Omelchenko, T. Amashukeli, O. Legostaeva, D. Gryn, S. Chulkov. The SHIELD'21 deep seismic experiment // *Geofizicheskiy Zhurnal*, 2023. V. 45, № 1. P. 3—10. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i1.275126>
9. Verpakhovska, O., & Chorna, O. The correctness of the finite-difference problems of the time- and wave fields continuation for the migration image of the basement boundary. // *Geofizicheskiy Zhurnal*, 2023. V. 45, № 6. P. 36—49. <https://doi.org/10.24028/gj.v45i6.293306>