

УДК 528.225, 551.24

## АНАЛІЗ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ КОРИ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЄВРОПИ, ВИЗНАЧЕНИХ ЗА ГНСС-ВИМІРАМИ

**А. Вовк**

Національний університет “Львівська політехніка”

**Ключові слова:** горизонтальні рухи, ГНСС, земна кора, Європа.

### Вступ

Особливий інтерес у плані геодинамічних досліджень становить гірська система Центральної Європи, зокрема Карпато-Балканський регіон та його взаємодія з прилеглими територіями.

Інструментальні дослідження з вивчення сучасної геодинаміки Карпат розпочато у 1960-ті роки за двома напрямками: регіональні роботи, метою яких було вивчення вертикальних та горизонтальних рухів земної поверхні, їх впливу на геофізичні поля та глибинну будову Карпатського регіону та локальні роботи на території сейсмоактивного Закарпатського прогину.

У наш час інформація про сучасну кінематику земної кори цього регіону суттєво доповнюється завдяки ГНСС-дослідженням.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Зазначимо, що з часу реалізації ГНСС-технологій дослідженнями літосфери Центральної Європи займалися повсякчас. Найзначущішими є праці (Csontos et al., 1992, Fodor et al., 1999, Cloetingh et al., 2003, Nemčok et al., 2006 та ін.), котрі спиралися на комплексний аналіз геофізичних, геологічних, геодезичних досліджень, проведених на територіях Альп, Карпат та Паннонського басейну.

У дослідженні Карпато-Балканського регіону (Novotny, Kostecky, 2007) використано дані спостережень на ГНСС-станціях цієї території за період 1996–2006 рр. Регіон поділено на мережу трикутників з вершинами у ГНСС-станціях. Для цих станцій визначалися вектори швидкостей горизонтальних рухів (рис. 1).

У результаті такого дослідження отримано значення векторів швидкостей горизонтальних рухів цього регіону, які узгоджувались з раніше отриманими значеннями для мереж EPN, а також продемонстровано доцільність застосування мереж трикутників для таких досліджень.

Інше дослідження (Pospíšil et al., 2012), проведене для території Словаччини, на основі даних 55 перманентних ГНСС-станцій регіону на епоху ITRF 2005, показало, що орієнтація і значення вектора швидкості горизонтальних рухів на регіональному рівні неоднорідні, а їх величина варіює від 1 до 3  $\text{мм}/\text{рік}$ , точність визначення від 0,2 до 1,1  $\text{мм}/\text{рік}$  (рис. 2).

Дослідження (Schenk et al., 2009) території Богемського масиву, з використанням результатів спостережень на ГНСС-станціях мережі GEONAS у

1997–2001 рр., виявило аналогічні горизонтальні рухи досліджуваного регіону (рис. 3).

Величина векторів коливається в межах 1–3  $\text{мм}/\text{рік}$ , а стандартне відхилення визначення горизонтальних рухів менше за 1  $\text{мм}/\text{рік}$ .

Геодинамічна модель Богемського масиву і його окремих структурних підрозділів відображає рухи, пов'язані з геологічними структурами цього регіону.

Дослідження Адріатичної плити (Caporaliet al., 2013) ґрунтується на опрацюванні результатів спостережень на 70 ГНСС-станціях Австрії та Італії, розміщених у районі Південних та Східних Альп.

Величина абсолютних векторів швидкостей горизонтальних рухів, за результатами дослідження, становить 10–30  $\text{мм}/\text{рік}$ . Регіональні швидкості горизонтальних рухів (рис. 4), отриманих з результатів багаторічних спостережень, наведені на епоху ITRF 2005 і їх значення досягає 3  $\text{мм}/\text{рік}$ . Ці результати використано для моделювання глибинних рухів земної кори у цьому регіоні.

У дослідженні горизонтальних рухів Карпато-Балканського регіону (Третяк та ін., 2011) за основу взято мережу перманентних станцій з 70 ГНСС-станцій Європи класу “А” (точність яких у межах 1 см на всі епохи спостережень) в системі ITRF 2005.

Швидкості зміщення станцій обчислено за період: від початку їх роботи до епохи 2007,6 року. Результати дослідження показали неоднорідність значення векторів горизонтальних рухів у регіоні (рис. 5).

Значення абсолютних векторів швидкості горизонтальних зміщень перманентних станцій – у межах 11,7–24,0  $\text{мм}/\text{рік}$ . Значення проєкцій регіональних векторів швидкостей зміщень перманентних станцій у межах  $\pm 3 \text{ мм}/\text{рік}$ .

Окрім того, за результатами дослідження виділено певні блоки з їхніми кінематичними характеристиками (рис. 6).

Стрілки на схемі відображають напрямки, а довжини – усереднені значення горизонтальних рухів

Рухи блоків мають різноспрямовані вектори. Зокрема: рух I блока у північно-західному напрямку і рух II та IV блоків у південно-східному напрямку зумовлені просуванням на південний захід Панноно-Волинського фундаменту. Рух Адріатичного блока (III) на північний схід зумовлений тиском з боку Африканської плити.

Наявність такої схеми дає можливість виділити ротаційні рухи земної кори, які у межах Карпато-Балканського регіону пов'язані з формуванням насувів і контролюються розломною тектонікою.

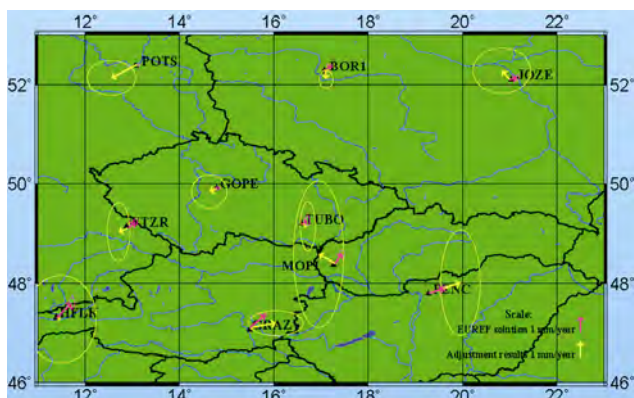


Рис. 1. Річні горизонтальні швидкості ГНСС-станцій (Novotny, Kosteletzky, 2007)

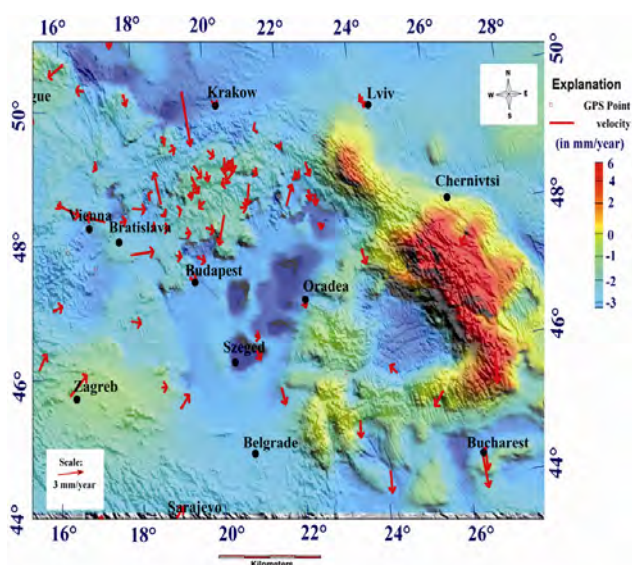


Рис. 2. Вектори горизонтальних швидкостей (Nefty, 2007, Pospíšil et al., 2012) і карта вертикальних рухів цього регіону (Job in Pospíšil et al., 2006)

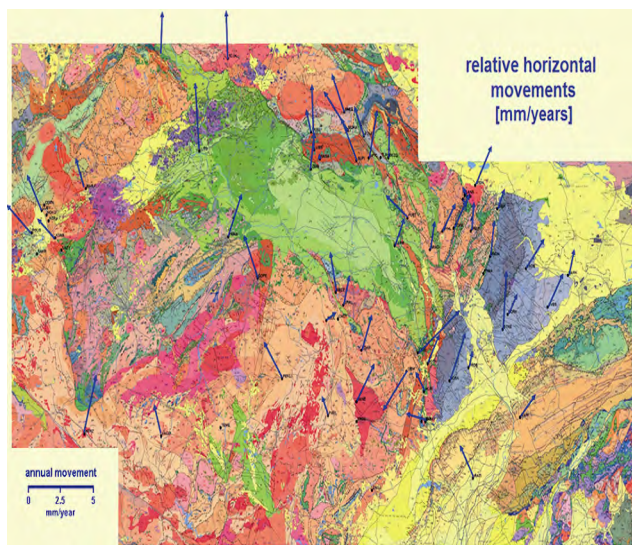


Рис. 3. Карта річних горизонтальних рухів Богемського масиву (Schenk et al., 2009)

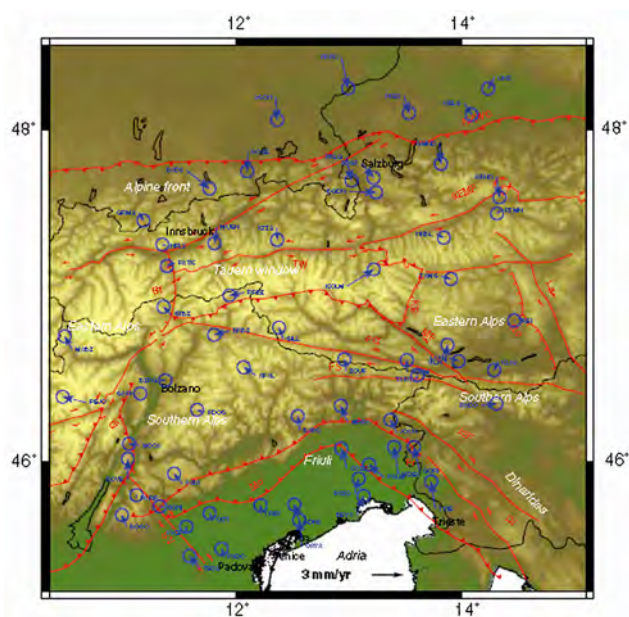


Рис. 4. Швидкості горизонтальних рухів Альпійського поясу (Caronnet et al, 2013)

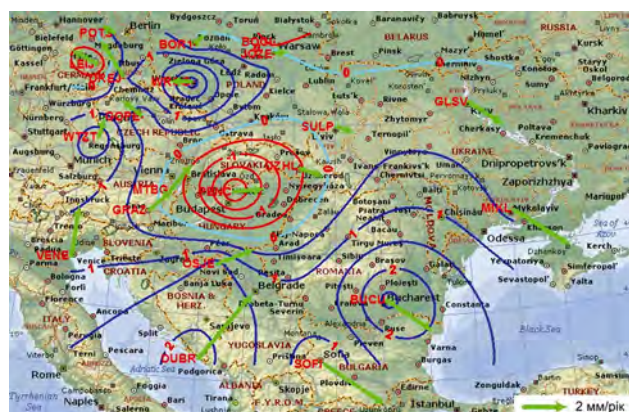


Рис. 5. Регіональні зміщення перманентних ГНСС-станцій європейського сегмента Євразійської плити (сині ізолінії – підняття, червоні ізолінії – опускання) (Третяк та ін., 2011)



Рис. 6. Геодинамічна схема сучасної тектонічної активності земної кори у Карпато-Балканському регіоні та на прилеглих територіях (Третяк та ін., 2011)

### Виклад основного матеріалу дослідження

Як бачимо, впровадження ГНСС-систем дещо спростило дослідження Карпато-Балканського регіону. Рівномірно розташовані ГНСС-станції Європи та постійний моніторинг за геодинамічною ситуацією в регіоні дають змогу науковцям, використовуючи різні підходи, отримувати результати, які узгоджуються між собою.

У підході до дослідження горизонтальних рухів земної кори Європи (Третяк, Вовк, 2012) використано результати опрацювання часових серій для ГНСС-станцій території Європи в системі координат ITRF 2005, загальною кількістю близько 170 станцій.

В результаті отримано річні вектори абсолютних та регіональних швидкостей горизонтального руху за епоху 2000–2010 рр.

За цими даними побудовано карти-схеми як абсолютних, так і регіональних векторів швидкостей горизонтального зміщення перманентних ГНСС станцій на кожен рік періоду спостереження, зокрема і для Карпато-Балканського регіону (рис. 7).

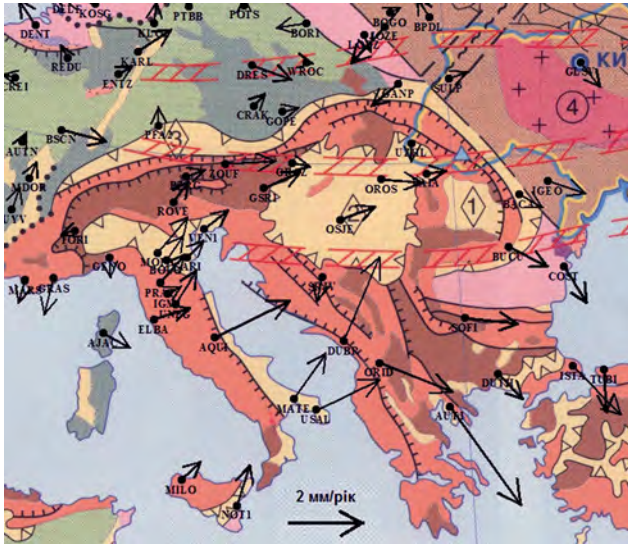


Рис. 7. Фрагмент карти векторів регіональних швидкостей горизонтального руху земної кори у Карпато-Балканському регіоні (Третяк, Вовк, 2012)

Як бачимо, величина векторів коливається в межах 1–5  $\text{mm}/\text{рік}$ , а їхня точність  $\pm 1,5 \text{ mm}/\text{рік}$ . Отримані результати узгоджуються з іншими дослідженнями.

Окрім цього, на основі аналізу побудованих карт регіональних швидкостей горизонтального руху земної кори виділено шість умовних блоків земної кори зі сталими кінематичними характеристиками у їхніх межах (Третяк, Вовк, 2012).

Для продовження роботи проведено дослідження деформації земної кори території Європи на основі регіональних векторів горизонтального зміщення з використанням мереж трикутників з вершинами у ГНСС-станціях (Третяк, Вовк 2014).

Для перевірки отриманих у ході дослідження результатів запропоновано методику диференціації тектонічної плити за ротаційними параметрами відносно полюса Ейлера та розроблено математичний апарат для її реалізації.

Результатом диференціації тектонічної плити Європи став поділ території на два блоки, обмежені своїми сукупностями ГНСС-станцій.

Також за визначеними ротаційними параметрами I та II блоків для усіх перманентних ГНСС-станцій обчислено модельні складові швидкості горизонтального зміщення у широтному та довготному напрямках (рис. 8), а також визначено величини відхилень модельних значень від вимірених та проведено оцінку їх точності.

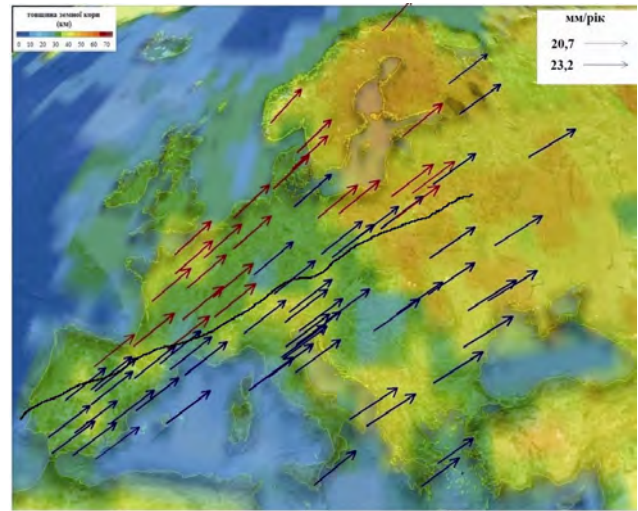


Рис. 8. Схема абсолютних векторів модельних значень горизонтального зміщення для I та II блоків та їх лінія розмежування

Вектори I блока зосереджені у північній частині Європейської плити на території верхньопалеозойської складчастості, що виступає на поверхню, та в її областях, прикритих платформою. Вектори II блока розташовані у південній частині Європейської плити на території Альп (альпійської складчастості, на її головних підняттях, у внутрішніх міжгірських масивах, крайових прогинах та неогенових западинах) і Карпато-Балканського регіону.

Наявність такого поділу дає підстави зробити припущення про те, що між I та II блоками проходить межа, вздовж якої відбувається зміщення блоків одного відносно іншого.

Умовно продовживши нашу лінію розмежування I та II блоків, можемо побачити її відображення у даних досліджень тектонічних кордонів у західній частині Європейського континенту (Olaiz et., all, 2008).

Отримані результати також узгоджуються з результатами досліджень Європейської тектонічної плити, де виділяють певні території, Variscan Orogen та Alpine Orogen, границі яких збігаються з межею I та II блоків (Plant et., all, 2003).

### Висновки

Провівши на основі ГНСС-спостережень дослідження горизонтальних рухів території Європи у різний час, різні науковці отримали узгоджені результати.

Дослідження території Карпато-Балканського регіону з використанням даних ГНСС-станцій, реалізованих у системі координат ITRF 2005, на різні періоди спостережень (1996–2006, 1997–2001, 2007, 2000–2010)

показують наявність абсолютних рухів земної кори зі швидкостями до  $30 \text{ мм/рік}$ , та регіональних – до  $3 \text{ мм/рік}$ .

Продемонстровано можливість застосування мереж трикутників з вершинами у ГНСС-станціях для дослідження горизонтальних рухів та деформацій земної кори Європи на регіональному та локальному рівнях.

У ході досліджень на Європейській плиті виділено певні блоки земної кори, які мають певні сталі кінематичні характеристики, а їхні межі збігаються з тектонічними структурами у цьому регіоні.

### Література

- Caporali A., Neubauer F., Ostini L., Stangl G., Zuliani D. Modeling surface GPS velocities in the Southern and Eastern Alps by finite dislocations at crustal depths. *Tectonophysics* 590 (2013) 136–150.
- Cloetingh S, Horváth F, Dinu C, Stephenson R A, Bertotti G, Bada G, Matenco L, Garcia-Castellanos D, 2003: Probing Tectonic Topography in the After of Continental Convergence in Central Europe. *Eos*, Vol. 84, No. 10, 11 March 2003.
- Csontos L, Nagymarosy A, Horvath F, Kovac M, 1992: Tertiary evolution of the Intra-Carpathian area: a model. In: P.A. Ziegler (Editor), *Geodynamics of Rifting, I. Case History Studies on Rifts: Europe and Asia*. *Tectonophysics*, 208: 221–241.
- Hefty J, 2007: Geo-Kinematics of Central and Southern-East Europe resulting from combination of various regional GPS velocity fields. *Acta Geodyn. Geomater.*, Vol. 4, No. 4 (148), 173–189.
- Lubomil Pospíšil, Jan Hefty and Otakar Švábenský Geodynamically active areas in Central Europe determined on the bases of GPS measurements: kinematic models *Acta Montanistica Slovaca Ročník* 19(2014), číslo 3, 126–140.
- Nemčok M, Pospíšil L, Hrušecký I, Zsíros T, 2006: Subduction in the remnant Carpathian Flysch Basin, in: Golonka J, Picha F J, (Eds.), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*. AAPG Memoir 84, p. 767–785.
- Olaiz, A. J., et al., 2009. European continuous active tectonic strain-stress map. *Tectonophysics*, doi:10.1016/j.tecto.2008.06.023.
- Plant JA, Whittaker A, Demetriades A, De Vivo B, Lexa J., 2003. The Geological and Tectonic Framework of Europe. In: Salminen R (ed) *Geochemical Atlas of Europe. Part 1: background information, methodology and maps*. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland. <http://www.gtk.fi/publ/foregsatlas/article.php?id=4>. Cited 28 May 2007.
- Pospíšil L, Ádám A, Bimka J, Bodlak P, Bodkera T, Dövényi P, Granser H, Hegedüs E, Joó I, Kendzera A, Lenkey L, Nemčok M, Posgay K, Pylpysyn B, Sedlák J, Stanley W D, Starodub G, Szalaiová V, Šály B, Sutora A, Varga G, Zsíros T, 2006: Crustal and lithospheric structure of the Carpathian–Pannonian region – A geophysical perspective: Regional geophysical data on the Carpathian–Pannonian lithosphere, in: Golonka J, Picha F J, (Eds.), *The Carpathians and their foreland: Geology and hydrocarbon resources*. AAPG Memoir 84, p. 651–697.
- Pospíšil L, Hefty J, Hipmanová L., 2012: Risk and Geodynamically areas of the Carpathian Lithosphere on the base of geodetical and geophysical data. *Acta Geod. Geoph. Hung.*, Vol. 47(3), pp. 287–309 (2012).
- Vladimír Schenk, Zdenka Schenková and Milada Grácová Recent geodynamic pattern of the eastern part of the Bohemian Massif. EGU General Assembly 2008, Vienna (Austria), April 14–19.
- Novotný Z. and Kosteček J. y The annual horizontal and vertical movement of European Permanent Network Station in Central Europe American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco Ca., USA 2007.
- Третяк К. Сучасні рухи земної кори в Карпато-Балканському регіоні за результатами опрацювання GPS-вимірів і геолого-геофізичних даних // К. Третяк, А. Кульчицький, А. Дульцев та ін. / Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології: зб. матер. XVI Міжнародного наук.-техн. симпозіуму. – Алушта (Крим), 2011. – С. 123–132.
- Третяк К. Р. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними GNSS-спостережень (2000–2010) / Третяк К. Р., Вовк А. І. // Геодинаміка. – Вип. 2(13), 2012. – С. 5–17.

### Аналіз горизонтальних рухів земної кори Центральної Європи, визначених за ГНСС-вимірами

А. Вовк

Дослідження горизонтальних рухів Центральної Європи і Карпато-Балкан на основі спостережень на ГНСС-станціях за різні періоди демонструють схожі величини як абсолютних, так і регіональних рухів земної кори. В ході досліджень на Європейській плиті виявлено певні блоки земної кори, межі яких збігаються з тектонічними структурами у цьому регіоні.

### Анализ горизонтальных движений земной коры Центральной Европы, определенных по ГНСС-измерениям

А. Вовк

Исследование горизонтальных движений Центральной Европы и Карпато-Балкан на основе ГНСС-наблюдений за различные периоды демонстрируют одинаковые величины как абсолютных, так и региональных движений земной коры. В ходе исследований на Европейской плите выявлены определенные блоки земной коры, границы которых совпадают с тектоническими структурами в этом регионе.

### Analysis of horizontal crustal movements in Central Europe defined by GNSS

A. Vovk

Research of the horizontal movements of Central Europe and the Carpathian-Balkan region based on observations on the GNSS-stations. For different periods the results show similar values absolute and regional crust movements. During all research on the European plate found some blocks of the crust, whose boundaries coincide with tectonic structures in this region.