

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЯ
ПЕРМАНЕНТНЫХ GPS-СТАНЦИЙ СО ВРЕМЕНЕМ**

С. Савчук, Н. Ревуцкая

В статье представлены результаты исследований относительных изменений положения украинских перманентных GPS-станций со временем. Количественные характеристики изменений положения станций представлены на графиках.

УДК 528.22

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ
ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЄВРОПИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ
ПЕРМАНЕНТНИХ СТАНЦІЙ**

О. Смірнова, К. Третяк, Т. Якобчук

Національний університет „Львівська політехніка”

Постановка проблеми.

Дослідженням просторових деформацій земної поверхні вже понад сторіччя займаються провідні вчені наук про Землю. Оскільки ці деформації є провісниками землетрусів, сейсмічної небезпеки та інших катастрофічних техногенних явищ, то вивчення деформаційних характеристик поверхні Європи має вагоме значення для дослідження та прогнозування сучасних тектонічних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Широкого розвитку проблема вивчення сучасних вертикальних рухів і деформацій земної поверхні набула у 70-х роках минулого сторіччя, коли були створені комплексні наукові програми вивчення геодинаміки Європи. У результаті проведення цих досліджень були розроблені карти вертикальних рухів на території Європи [1-15].

Використання результатів високоточного нівелювання дозволяло вивчати вертикальні рухи з достатньою точністю на локальних територіях. При опрацюванні глобальних мереж повторного нівелювання точність визначення вертикальних рухів суттєво зменшувалася. Крім цього, при опрацюванні різних мереж визначені вертикальні рухи були віднесені до різних поверхонь відносності та епох нівелювання. Перерахунок кінцевих результатів до спільних систем координат і епох нівелювання неминуче приводив до зменшення їх точності та достовірності. У результаті комплексного опрацювання даних високоточних нівелювань розроблялись карти вертикальних рухів, які відображали їх загальний віковий тренд.

З появою GPS-технологій почався новий етап у вивчення просторових деформацій земної поверхні, який значною мірою був позбавлений цих недоліків. У 1989р. розпочато побудову мережі перманентних GPS-станцій EUREF, які до 1997 року розповсюдились майже на всю Європу, окрім Албанії, Білорусії, Боснії, Сербії, Молдавії та Росії [1-35].

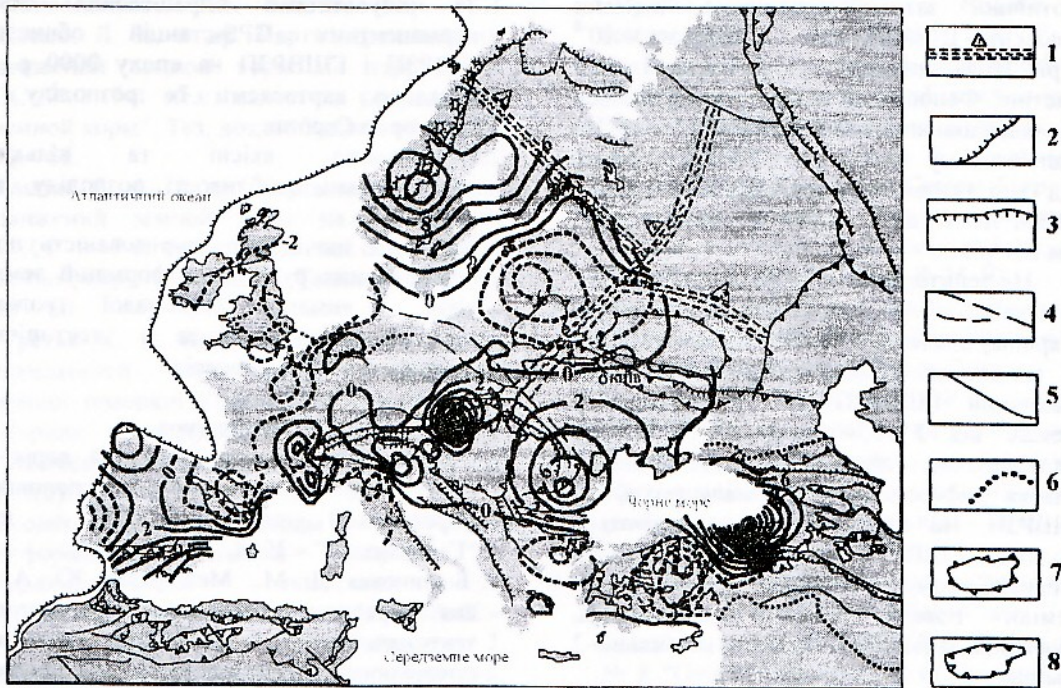
У результаті опрацювання даних перманентних GPS -станцій з'явилась можливість вивчати короткоперіодичну просторову компоненту зміни положення пунктів мережі, що підносить на якісно новий рівень знання про сучасні просторові деформації на території Європи.

Постановка завдання.

Основним завданням роботи є розробка карт швидкостей (ШВРЗП) та градієнтів швидкостей вертикальних рухів земної поверхні (ГШВРЗП) за результатами GPS-спостережень та їх інтерпретація.

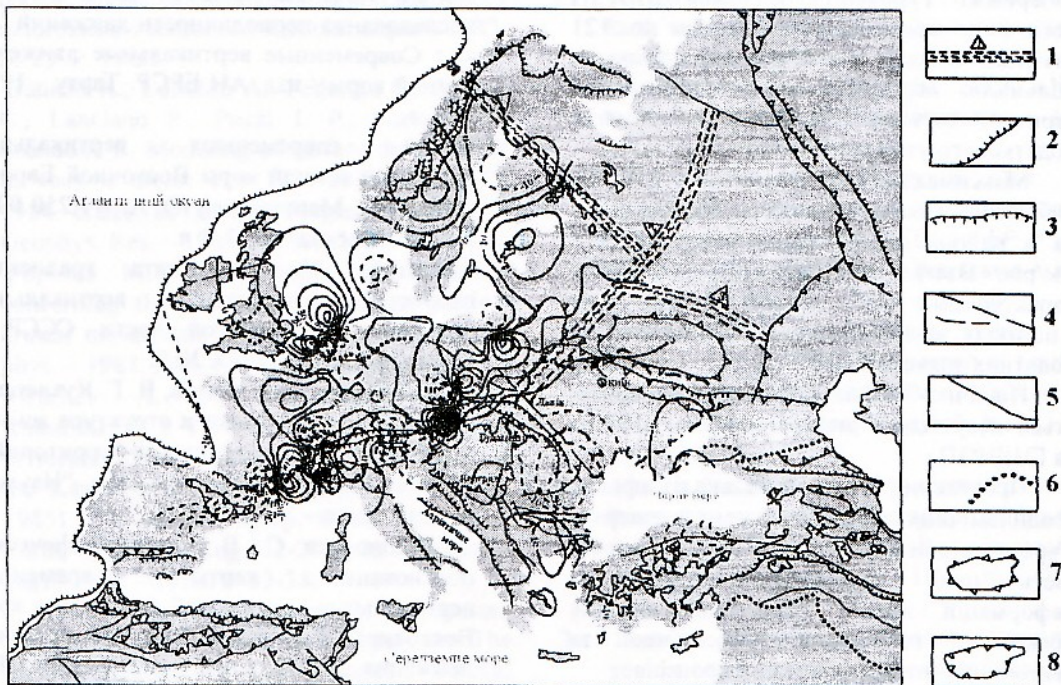
Методика обчислень ШВРЗП і ГШВРЗП запропонована [12]. При встановленні системи координат ITRF-2000, за результатами опрацювання GPS-спостережень перманентних станцій [37-40] були обчислені ШВРЗП і ГШВРЗП, та складені картосхеми їх розподілу на територію Європи (рис. 1, 2).

Діапазон значень ШВРЗП сягає від -6 мм/рік до +21 мм/рік. З аналізу побудованих картосхем видно, що більша частина Феноскандії має схильність до підняття із максимальними значеннями ШВРЗП на півночі Ботнічної затоки та на території Швеції. Контури підняття концентровано-плавно обіймають центральну область, де швидкість підняття максимальна ≈ 12 мм/рік. Східна і західна частина Феноскандії має додатні градієнти



ізолінії швидкостей вертикальних рухів земної поверхні проведені через 2 мм/рік

Рисунок 1. Картосхема розподілу швидкостей вертикальних рухів Земної поверхні на територію Європи за результати GPS-спостережень перманентних станцій на 2000 р.



ізолінії градієнтів швидкостей вертикальних рухів земної поверхні проведені через 10^{-9} 1/рік

Рисунок 2. Картосхема розподілу градієнтів швидкостей вертикальних рухів Земної поверхні на територію Європи за результати GPS-спостережень перманентних станцій на 2000 р.

1. Міжгеоблокові рухомі зони: 1 – Волинсько-Дніпівська; 2 – Раахе-Рибінська; 3 – Рязано-Саратівська. 2. Континентальний тектонічний уступ; 3. Найважливіші насуви та шар'яжі; 4. Західна границя Східно-Європейської платформи (зона Тейсера-Тронквіста); 5. Глибинні розломи; 6. Уявні границі між структурними елементами; 7. Підняття, масиви; 8. Тектонічні западини.

ШВРЗП ($3 \cdot 10^{-8}$ 1/рік), а північну частину Ботнічної затоки охоплюють від'ємні градієнти ШВРЗП, які сягають до -10^{-8} 1/рік. Ці дані підтверджують, що на більшій частині Феноскандії надалі проявляються післяльодовикові деформаційні процеси. На Балтійському узбережжі ШВРЗП мають від'ємні значення і досягають -6 мм/рік, а ГШВРЗП є додатними у межах $+10^{-8}$ мм/мм*рік.

На території Східної Європи (Румунія, Болгарія, Молдова, Південно-Західна Україна) значення ШВРЗП змінюються від -1 мм/рік до $+6$ мм/рік (район Вранча). Величини ГШВРЗП тут змінюються у межах від $3 \cdot 10^{-8}$ до $3 \cdot 10^{-8}$ 1/рік. На Балканському півострові спостерігається слабка диференціація регіонального фону ШВРЗП. На цій території проявляються додатні ГШВРЗП 10^{-8} мм/мм*рік. На Апеннінському півострові значних рухів земної поверхні не спостерігається. Значення ШВРЗП досягають не більше -2 мм/рік.

Спадання інтенсивності руху ШВРЗП спостерігається у напрямку до Чеського кристалічного масиву і Мизинської плити. У районі Чорного моря на східному узбережжі Туреччини значення ШВРЗП досягають максимальних значень до $+21$ мм/рік. Однак у зв'язку з низькою щільністю перманентних станцій на цій території достовірність цих даних вимагає додаткового уточнення.

Максимальних значень ШВРЗП набувають також у Складчастих Карпатах та в районі Альпійського поясу до $+16$ мм/рік. Взагалі для Альпійського поясу характерним є чередування зон опускання і підняття земної поверхні та від'ємних та додатних значень ГШВРЗП.

Північно-Західна Європа характеризується несуттєвою диференціацією ШВРЗП та ГШВРЗП.

Проведений попередній аналіз прояву геодинамічних процесів на земній поверхні Європи свідчить про значну структуризованість поля вертикальних рухів та деформацій земної кори, що вимагає досконалої геолого-геоморфологічної та тектонічної інтерпретації цих процесів. Подальше згущення мережі перманентних станцій, накопичення результатів GPS-вимірів та їх поєднання з класичними методами дозволить підвищити інформативність та достовірність карт ШВРЗП і ГШВРЗП, а також фільтрувати короткоперіодичні варіації та узагальнювати віковий тренд геодинамічних процесів.

Висновки:

1. За результатами опрацювання даних перманентних GPS-станцій обчислені ШВРЗП і ГШВРЗП на епоху 2000 р. та складено картосхеми їх розподілу на територію Європи.
2. Встановлено якісні та кількісні територіальні особливості розподілу цих параметрів.
3. Виявлена значна структуризованість поля вертикальних рухів та деформацій земної кори вимагає досконалої геолого-геоморфологічної та тектонічної інтерпретації цих процесів.

Література

1. Современные движения Земной коры на территории западной половины Европейской части СССР / изд. "Геодиздат" – 1958, 228 с.
2. Былинская Л. М., Мещеряков Ю. А. О связи градиентов скоростей вертикальных тектонических движений земной поверхности с сейсмичностью на примере западной половины Европейской части СССР // Докл. АН СССР – 1964. № 3, т. 154.
3. Мацкова В. А. Карта градиентов скоростей современных вертикальных движений земной коры Европейской части СССР и исследования периодичности движений // В кн.: Современные вертикальные движения земной коры / изд. АН ЕРСР. Тарту - 1973, № 5.
4. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы // Под ред. Мещерякова Ю. А. – 1:250 000 / ГУГК - Москва – 1973, 1 л.
5. Гофштейн И. Д. Карта градиентов скоростей современных вертикальных движений Европейской части СССР // Геоморфология – 1975. № 2.
6. Г. Т. Собкарь, В. И. Сомов, В. Г. Кузнецова. Современная динамика и структура земной коры Карпат и прилегающих территорий // АН УССР инст. Геофизики / изд. "Наукова думка". Киев – 1975/ С. 128.
7. Победоносцев С. В. Океанографическое обоснование карты современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы // зб. Современные движения земной коры / изд. АН ЭССР – Тарту - 1975, № 5. С. 16-25.
8. Карта современных вертикальных движений земной коры в Карпато-Балканском регионе // Гл. ред. И. Йоо / "Картография" - Будапешт- 1985, 1 л.
9. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши,

- Румынии, СССР (европейская часть), Чехословакии / ГУГК – Москва -1986.
10. Кашин Л. А. и др. Карта вертикальных движений земной коры на территории СССР // 7-й меж. симп. по совр. движ. земной коры”. Тез. докл. / Таллин - 1986. С. 59 – 60.
 11. Кашин Л. А. и др. Карта вертикальных движений земной коры на территории СССР // 7-й меж. симп. по совр. движ. земной коры / Тез. докл. Таллин - 1986. С. 59 – 60.
 12. Третьяк К. Р. Карта сучасних градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні Кримського півострова // Збірник “Геодинаміка” / Вид. НУ “Львівська політехніка”. – 1999. 134 с., №1(2). С. 22-30.
 13. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах // Методическое руководство / ЦНИИГАиК – Москва – 1985, 127 стр. Fourniguet J. Современная геодинамика во Франции. Иллюстрация вклада результатов сравнения нивелировок в изучение современных деформаций. Geodynamique actuelle en France. Une illustration de l’apport des comparaisons de nivellements a l’etude des deformations actuelles // Geochronique – 1987, № 23. P. 17-21.
 14. Bianchi R., Coradini A., Federico C., Giberti C., Lanciano P., Pozzi J. P., Sartoris C., Scandone R. Modeling of surface deformation in volcanic areas: The 1970-1972 and 1982-1984 crises of Campi Flegrei, Italy // J. Geophys. Res. – 1987, №13. P.139-150.
 15. Popescu M.N. Preliminary considerations concerning the new map of recent vertical crustal movements in Romania // Rev. roum. phys. – 1987, № 4. P. 451-462.
 16. Grachev A. F., Magnitsky V. A., Kalashnikova I. V., Lapushonok I. L. Analysis of recent vertical crustal movements maps of the Karpatian – Balkan region (1973, 1979, 1985) // 6 th. Int. Symp. Geod. and Phys. Earth, Potsdam, Aug. 22-27,1988 / Abstr. – Berlin, s. a. – 1988. P. 33-34.
 17. J. Ihde, J. Adam, V. Gurtner, B. G. Harsson, M. Sacher, W. Schluter, G. Woppelmann The height solution of the European vertical reference network (EUVN) // Report on the Sump. Of the IAG Subcommission for Eur. (EUREF) – Munchen – 2000. P. 132 – 145.
 18. G. Woppelmann, J. Adam, V. Gurtner, B. G. Harsson, J. Ihde, , M. Sacher, W. Schluter. Status report Sea-level data collection and analysis within the EUVN project // Report on the Sump. Of the IAG Subcommission for Eur. (EUREF) – Munchen – 2000. P. 146 – 158.
 19. Joo I. Recent vertical crustal movements of the Carpatho – Balcan – Regions // Tectonophysics – Amsterdam – 1981. P. 41-52. P. Vyskocil, V. Schenk. Geological and geophysical studies and crustal structure in the Bohemian massif // The Bohemian massif. CEI CERGOP Study Group № 8 “Geotectonic Analysis of the Region of Central Europe” / Reportts on Geodesy – Warsaw university of technology institute of geodesy and geodetic astronomy – 1998, № 3 (33). P. 35-50.
 20. Jaroslav Shimek. Geoid for the territories of the Czech and the Slovak Republics and its Geodetic and geophysical significance // The Bohemian massif. CEI CERGOP Study Group № 8 “Geotectonic Analysis of the Region of Central Europe” / Reportts on Geodesy – Warsaw university of technology institute of geodesy and geodetic astronomy – 1998, № 3 (33). P. 61-89.
 21. P. Vyskocil. Recent Dynamics of the territory of Bohemian massif and Adjacent area // The Bohemian massif. CEI CERGOP Study Group № 8 “Geotectonic Analysis of the Region of Central Europe” / Reportts on Geodesy – Warsaw university of technology institute of geodesy and geodetic astronomy – 1998, № 3 (33). P. 113-139.
 22. F. Zablotzkyj, K. Tretyak, A. Ostrovskyj. Earth’s crust deformations by means precise geodetic measurements // Geodynamics of Northern Carpathians. CEI CERGOP / Politechnika Warszawska - Warszawa, – 1998, № 6 (36). P. 111-119.
 23. Doru Badescu. Geology of the East Carpathians – an overview // Monograph of Southern Carpathians. CEI CERGOP / Politechnika Warszawska – Warszawa – 1998, № 7 (37). P. 49- 81.
 24. Daniel Ciulavu Corneliu Dinu. The Transylvanian basin // Monograph of Southern Carpathians CEI CERGOP / Politechnika Warszawska – Warszawa – 1998, № 7 (37). P. 111- 125.
 25. Marius Visarion. Gravity anomalies on the Romanian territory // Monograph of Southern Carpathians. CEI CERGOP / Politechnika Warszawska - Warszawa – 1998, № 7 (37). P. 133- 157.
 26. Dumitru Ioane, Ligia Atanasiu. Gravimetric geoids and geophysical significances in Romania // Monograph of Southern Carpathians. CEI CERGOP / Politechnika Warszawska - Warszawa – 1998, № 7 (37). P. 157- 177.
 27. Dumitru Ioane. Synthesis of the geodynamic, geological and geophysical data presented in the “South Carpathians” monograph. // Monograph of Southern Carpathians. CEI

- CERGOP / Politechnika Warszawska - Warszawa - 1998, № 7 (37). P. 243- 267.
28. L. Chtristoskov. Energy and source parameters of the strong Bulgarian earthquakes after 1900 // Geodynamic investigations on the territory of Bulgaria investigations of the Chirpan-Plovdiv region related to the 1928 earthquake. / Politechnika Warszawska - Warszawa. - 2000, № 3 (48). P. 15 - 20.
 29. Margarita Matova. Seismically formed structures in the region of the towns plovdiv and chirpan (Southern Bulgaria) // Geodynamic investigations on the territory of Bulgaria investigations of the Chirpan-Plovdiv region related to the 1928 earthquake. / Politechnika Warszawska - Warszawa. - 2000, № 3 (48). P. 83 - 91.
 30. Dora Angelova. Holocene and contemporary fault in the Chirpan seismic area and its dynamics // Geodynamic investigations on the territory of Bulgaria investigations of the Chirpan-Plovdiv region related to the 1928 earthquake. / Politechnika Warszawska - Warszawa. - 2000, № 3 (48). P. 93 - 99.
 31. Vassil T. Geological and seismological impact of Chirpan-Plovdiv area on environmental projects // Geodynamic investigations on the territory of Bulgaria investigations of the Chirpan-Plovdiv region related to the 1928 earthquake. / Politechnika Warszawska - Warszawa. - 2000, № 3 (48). P. 111 - 130.
 32. Georgi Alexiev, Tzvetan Georgiev. Geodynamic problems of the Kraishte-Sredna gora morphostructural zone // Geodynamic investigations on the territory of Bulgaria investigations of the Chirpan-Plovdiv region related to the 1928 earthquake. / Politechnika Warszawska - Warszawa. - 2000, № 3 (48). P. 131 - 140.
 33. D. S. Dimitrov. Evaluation of the tectonic stress associated with the april 1928 earthquake by geodetic and GPS measurements / Geodynamic investigations on the territory of Bulgaria investigations of the Chirpan-Plovdiv region related to the 1928 earthquake. // Politechnika Warszawska / Warszawa. № 3 (48), 2000. P. 165 - 169.
 34. Pavel Vyskocil. Maps of annual velocities of vertical movements at the territory of the Czech Republic // XXVII Gen. As. Of Eur. Geophysical Soc. (EGS) / Symposium G 10 "Geodetic and Geodynamic Programmes of the CEI" - Nice, France, 21-26 April 2002, 8 p.
 35. Janusz Sledzinski. International cooperation in geodesy and geodynamics realised in the frame of CEI WGST section C "Geodesy". Experiences and results. // Inf. Symp."GPS-Real Time Kinematics. Education and Practice", Lviv, Ukraine 24-26 sep. 2001: Abstr.- angl.
 36. А.А. Изотов Технические проблемы изучения движения земной коры геодезическими методами // ин. Сим. „Современные движения земной. коры”/ изд. Академ. Наук Эстонской ССР, Тарту-1973, №5. С. 347-357.
 37. <http://www.wdcb.rssi.ru/~victat/GPS/index/html>
 38. <http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/ITRF2000>
 39. <http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/datum.html>
 40. <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/list.html>

INVESTIGATION OF SPATIAN DEFORMATION OF EARTH SURFACE OF EUROPE USING THE RESULTS OF PERMANENT GPS-MEASUREMENTS

O. Smirnova, K. Tretyak, T. Jakobchuk

Behind results of GPS-supervision it is developed algorithm of definition of parameters of vertical deformations. It is found parameters of vertical deformations for 2000 for the Central Europe, it is resulted circuits of their distribution.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЕВРОПЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ GPS-НАБЛЮДЕНИЙ ПЕРМАНЕНТНЫХ СТАНЦИЙ

О. Смирнова, К. Третьак, Т. Якобчук

По результатами GPS-наблюдений разработан алгоритм вычисления параметров вертикальных деформаций. Найдены параметры вертикальных деформаций за 2000 год для Центральной Европы, приведены картосхемы их распределения.