

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ КОРИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПЕРМАНЕНТНИХ ГНСС-СТАНЦІЙ ЄВРОПИ

На підставі безперервних рядів спостережень встановлено зміни абсолютних та регіональних швидкостей вертикальних рухів земної кори, їх просторовий розподіл та зв'язок з тектонічною будовою регіону. Накопичені результати досліджень вказують на необхідність систематичних досліджень впливу різних геофізичних факторів, на стійкість та зміщення перманентних станцій та їх зв'язок із сейсмічною активністю.

Ключові слова: геодинаміка; ГНСС-спостереження; літосфера; швидкості вертикальних рухів земної кори; тектонічна будова.

Вступ

Динаміка літосфери, одне з найважливіших питань геодинаміки, протягом багатьох років була предметом геологічних і геофізичних досліджень, заснованих на різних підходах, що іноді взаємно виключають один одного. У міру нагромадження даних, у різний час переважали різні концепції про походження сучасної форми земної поверхні, історії її розвитку та рушійні сили її еволюції.

Отже, проблема дослідження динаміки сучасних вертикальних рухів земної кори актуальна, оскільки вивчення та аналізування результатів ГНСС-спостережень перманентних станцій дозволяє досліджувати просторово-часовий розвиток деформаційних полів та їхніх особливостей. Однак з попередніх досліджень не було виявлено прямого зв'язку між аномальними зонами вертикальних рухів і тектонічною будовою.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми

Найбільш обґрунтовані дослідження сучасних вертикальних рухів земної кори розпочалися в 70-х роках минулого сторіччя. За результатами досліджень були розроблені карти вертикальних рухів на території Європи [Мацкова, 1973; Мещеряков, 1973].

З появою перманентних ГНСС-мереж з'явилася можливість проведення моніторингу деформаційних процесів земної кори і пошуку їх взаємозв'язків з тектонічною будовою [Joo, 1981; Zablotskyj et al., 1998; Ihde et al., 2000].

Виклад основного матеріалу дослідження

З метою дослідження вертикальних рухів земної кори на території Європи, виконано комплекс наступних досліджень. Опрацьована база даних перманентних станцій, тривалість спостережень на яких не менше три роки. Перманентні станції розташовані по всьому Європейському континенту. На наступному етапі було відібрано часові серії станцій, які мали безперервний ряд спостережень упродовж 2000-2011 рр. без стрибків у висотному положенні. Перманентні станції, які мали розриви у рядах спостережень до півроку, були взяті в опрацювання, але на час перерви для них приймалися усереднені значення швидкостей

вертикальних рухів земної кори за попередній та наступний роки. Деякі станції за період спостережень мали миттєві стрибки у висотному положенні, що було пов'язано зі зміною антени на них. У часові серії цих станцій було введено відповідні поправки за зміни висоти антени. Внаслідок фільтрації було відібрано 196 станцій.

За вихідні дані були використані результати опрацювання перманентних станцій, представлених на веб-сторінці SOPAC [Scripps orbit and permanent array center] та на веб-сторінці NGL [Nevada Geodetic Laboratory0]. SOPAC – це один з найвідоміших центрів супутникової інформації, який включає базу даних з більшості перманентних станцій світу. Геодезична лабораторія у штаті Невада (NGL) проводить дослідження у галузі космічної геодезії для вирішення наукових проблем, що мають як регіональне, так і глобальне значення.

За результатами опрацьованої бази даних обчислено сучасні швидкості вертикальних рухів земної кори (за абсолютною та регіональною складовими). Встановлено, що максимальна сумарна амплітуда (між максимальними значеннями підняття й опускання) абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори спостерігалася у 2007 р. – 47,1 мм/рік (від -20,58 до +26,53), а мінімальна у 2009 р. – 25,39 мм/рік (від -6,8 до +18,5). Отримано середні квадратичні похибки визначення щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів, які знаходяться в межах до 3 мм/рік.

На підставі проведених розрахунків було складено карти розподілу щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів на території Європи (рис. 1).

Щоб встановити річні регіональні швидкості вертикальних рухів, було визначено середньорічні абсолютні швидкості вертикальних рухів усіх перманентних станцій, які віднімалися від значень абсолютних швидкостей вертикальних рухів кожної перманентної станції отриманих протягом року:

$$V_i^{\delta\dot{a}\dot{a}} = V_i^{\dot{a}\dot{a}\dot{n}} - \frac{\sum_{j=1}^n V_j^{\dot{a}\dot{a}\dot{n}}}{n}, \quad i = 1..n \quad (1)$$

де $V_i^{\dot{a}\dot{a}\dot{n}}$ – абсолютна швидкість вертикального руху i -ї перманентної станції; а n – загальна кількість відібраних для опрацювання станцій.

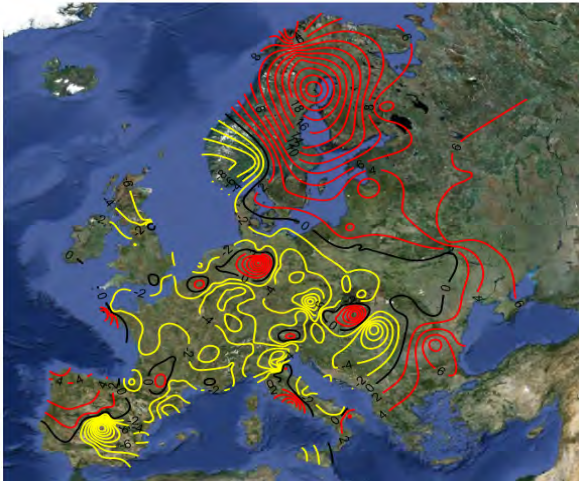


Рис. 1. Приклад картосхеми розподілу щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори за даними ГНСС-станцій у 2007 році

За виразом (1) розраховано регіональні швидкості вертикальних рухів перманентних станцій.

В ході дослідження, використовуючи триангуляцією Делоне, територія Європи була поділена на трикутники у вершинах яких знаходяться перманентні станції. Після опрацювання бази щорічних даних епіцентрів землетрусів із сейсмічними коливаннями, були відсортовані в межах кожного року епіцентри землетрусів вибраних трикутників. Для даних трикутників розраховані їх інтегральні висотні зміщення:

$$\Delta H_{\text{зід}} = S \frac{\sum |v_i|}{3} \quad (1)$$

де S – площа трикутника; $|v_i|$ – абсолютна швидкість руху земної кори. Графічно дані параметри наведені на рисунку 2.

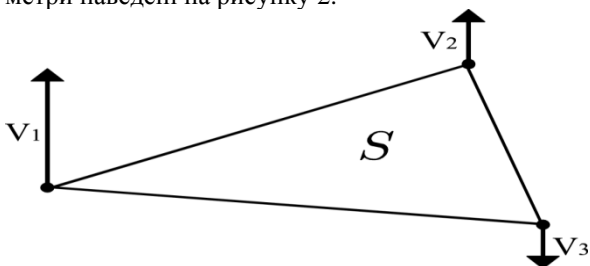


Рис. 2. Вектори зміщень вершин елементарних трикутників

Для всіх трикутників були побудовані еліпси розсіювання епіцентрів землетрусів [Третяк, Серант, 2008]. Велика піввісь еліпса розсіювання магнітуди епіцентрів землетрусів узагальнює в основному сильні за магнітудою землетруси, а мала піввісь відповідно слабші землетруси, які складають сейсмічний фон досліджуваної території (рис. 3).

На підставі опрацювання двох баз даних встановлено кореляційний зв'язок між малою піввіссю

еліпса розсіювання та інтегральним зміщенням [Третяк, Серант, 2008]. На рисунку 4 виділена територія для якої кореляція знаходиться в межах 0,6-0,9. Для решти території кореляційний зв'язок відсутній.

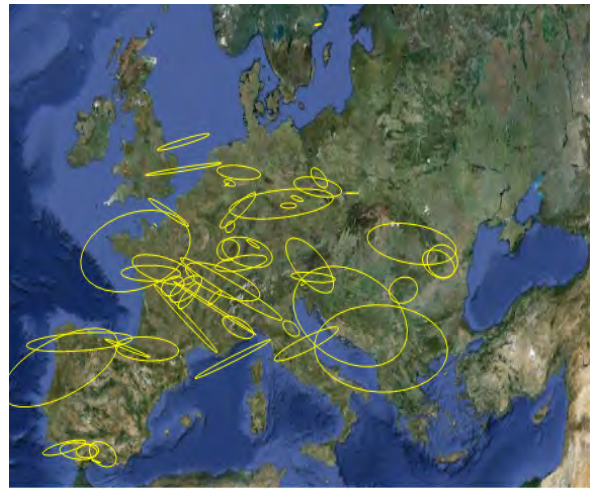


Рис. 3. Приклад картосхеми з еліпсами розсіювання магнітуди епіцентрів землетрусів на території Європи за даними сейсмічних станцій у 2007 році



Рис. 4. Територія з високим ступенем кореляції

Висновки

1. Опрацьовано базу даних 196-ти перманентних станцій Європи, на яких проводилися постійні спостереження протягом 2000-2011 рр., та обчислено сучасні швидкості вертикальних рухів земної кори. Встановлено максимальні та мінімальні сумарні амплітуди абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори.

3. Складено картосхеми розподілу щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів території Європи.

4. Побудова еліпси розсіювання магнітуди епіцентрів землетрусів на території Європи.

5. За результатами визначення швидкостей деформацій земної поверхні Європи та спостереженнями сейсмічних станцій (на основі опрацювання інформації за період з 2000 по 2011 рр.)

встановлено кореляцію в межах (0,6-0,9), між малою піввіссю еліпса розсіювання магнітуди епіцентрів землетрусів (утворену слабкими землетрусами), та інтегральними висотними зміщеннями. Виділено територію з високим ступенем кореляції, яка співпадає з сейсмічно активними та гірськими районами Європи. Це свідчить про те, що існує взаємозв'язок між вертикальними рухами і сейсмічною активністю.

Література

- Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы // Под ред. Мещерякова Ю.А. – 1:250 000 / ГУГК – Москва. – 1973.
- Мацкова В.А. Карта градиентов скоростей современных вертикальных движений земной коры Европейской части СССР и исследования периодичности движений // Современные вертикальные движения земной коры / Изд. АН ЕРСР. Тарту. – 1973, № 5.
- Серант О. Зв'язок між горизонтальними деформаціями земної поверхні та сейсмічною активністю Центральної Європи / Третяк К., Серант О., Смірнова О. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – №1(15). – С. 74-81.
- Constraints on vertical crustal motion for long base lines in the central Mediterranean region using continuous GPS/ R.A. Bennet, S. Hreinsdottir // Earth and Planet. Sci. Lett. – 2007. – V. 257. – № 3-4. – P. 419-434.
- Current Extension in the Central Part of the Western Alps from Continuous GPS Measurements 1996–2001 / E. Calais, J.-M. Njicquet, F. Jouanne, M. Tardy // Geology. – 2002. – P. 651-654.
- Geokinematics of Central Europe: New insights from the CERGOP-2 Environment Project / A. Caporali, C. Aichhorn, M. Becker [et al] // J. Geodynamics. – 2008. – V. 45. – № 4-5. – P. 246-256.
- Ihde J., Adam J., Gurtner V., Harsson B.G., Sacher M., Schluter W., Woppelmann G. 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.
- Joo I. Recent vertical crustal movements of the Carpatho – Balcan Regions // Tectonophysics – Amsterdam. – 1981.
- Nevada Geodetic Laboratory : <http://geodesy.unr.edu>.
- Scripps orbit and permanent array center: <http://sopac.ucsd.edu>.
- Zablotskyj F., Tretyak K., Ostrovskyj A.. Earth's crust deformations by means precise geodetic measurements // Geodynamics of Northern Carpathians. CEI CERGOP / Politechnika Warszawska. – Warszawa. – 1998, № 6 (36). – P. 111-119.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЕЖЕГОДНЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАБЛЮДЕНИЙ ПЕРМАНЕНТНЫХ ГНСС-СТАНЦИЙ ЕВРОПЫ

К.Р. Третяк, В.В. Романюк

На основании непрерывных рядов наблюдений установлено изменения абсолютных и региональных скоростей вертикальных движений земной коры, их пространственное распределение и связь с тектоническим строением региона. Накопленные результаты исследований указывают на необходимость систематических исследований влияния различных геофизических факторов на устойчивость и смещение перманентных станций и их связь с сейсмической активностью.

Ключевые слова: геодинамика; ГНСС-наблюдения; литосфера; скорости вертикальных движений земной коры; тектоническое строение.

RESEARCH OF FEATURES OF ANNUAL VERTICAL MOVEMENT OF THE CRUST BASED ON THE OBSERVATIONS OF PERMANENT GNSS-EUROPE STATIONS

K.R. Tretyak, V.V. Romaniuk

Based on the continuous series of observations we determined the changes of absolute and regional velocity of vertical crustal movements, their spatial distribution and relationship with the tectonic structure of the region. The accumulated research results indicate the necessity for systematic studies of the impact of various geophysical factors on the stability and permanent displacement of stations and their relation to seismic activity.

Keywords: geodynamics; GNSS-observations, lithosphere, speeds of vertical crustal movements, tectonic structure.