

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

Вовк Андрій Ігорович

УДК: 528.481+551.242.11

**ПРОСТОРОВО-ЧАСОВА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ РУХІВ
ЗЕМНОЇ КОРИ ЄВРОПИ ЗА ДАНИМИ ГНСС-ВИМІРІВ**

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: – доктор технічних наук, професор
Третяк Корнелій Романович,
директор Інституту геодезії
Національного університету «Львівська політехніка»,
м. Львів;

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук, професор
Сидоренко Віктор Дмитрович,
завідувач кафедри геодезії
Криворізького національного університету, м. Кривий Ріг;

кандидат технічних наук, доцент
Тадєєв Олександр Антонович,
доцент кафедри геодезії та картографії
Національного університету водного господарства та природо-
користування, м. Рівне.

Захист дисертації відбудеться «24» листопада 2016р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С.Бандери, 12, ауд. 502 ІІ навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитись у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «__» жовтня 2016р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

к.т.н., доцент Паляниця Б. Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. З постійним згущенням мереж перманентних ГНСС-станцій накопичується щораз більше вимірювальної інформації яка зосереджується в часових рядах спостережень. Це дозволяє уточнювати стійкість геодезичних мереж перманентних ГНСС-станцій і систем координат (загальноземних та локальних), в залежності від геодинамічних чинників, а також з'являється можливість деталізації тектонічних структур за їх кінематичними параметрами.

В наш час існують різні моделі кінематики тектонічних плит, які відрізняються за кількістю плит, границями, векторами швидкості. Такі моделі постійно уточнюються на основі геологічних, геофізичних, геодезичних даних. Усі вони використовують поділ земної кори на тектонічні блоки за даними геолого-геофізичних даних відомих структур. Оскільки обсяг вимірювальної інформації з перманентних ГНСС-станцій постійно накопичується тому є актуальним питання визначення кінематики і поділу тектонічних блоків на мікроплити з урахуванням даних супутникової геодезії. Зібрана інформація використовується для моделювання і прогнозу руху перманентних ГНСС-станцій, що дозволить підвищити достовірність прогнозування координат, підвищити точність інтерполяції координат на задані епохи, оцінювати стабільність глобальних та регіональних систем координат.

Результати досліджень горизонтальних рухів та деформацій земної кори можуть бути корисними для пошуку взаємозв'язків між деформацією та сейсмічністю, а також для прогнозу сейсмічної активності загалом.

Застосування ГНСС стало загальноприйнятою практикою визначення довготривалих (тривалістю від року і більше) рухів і деформацій земної кори як в глобальному та регіональному, так і в локальному масштабах.

Інформація про горизонтальні рухи земної кори (ГРЗК) використовуються при геодезичних роботах на великих інженерних спорудах, при будівництві портів, дамб, мостів, ГЕС, АЕС та ін.. Саме тому актуальність вибраного напрямку дослідження ГРЗК обґрунтована його економічною складовою.

У дисертаційній роботі досліджується проблема дослідження кінематики Європейської частини Євразійської літосферної плити з використанням методики опрацювання просторових ГНСС-мереж. Виконані в роботі дослідження суттєво доповнюють наявну інформацію про кінематику досліджуваної території та її регіональні особливості.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконана робота відповідає науковому напрямку кафедри вищої геодезії та астрономії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань»; науковій тематиці робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18) та навчально-наукової лабораторії «Опрацювання супутникових вимірів» Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка».

Дисертаційна робота виконана в межах науково-дослідних робіт пов'язаних з

вивченням геодинаміки Європейського континенту. Результати дослідження використано у науково-дослідній роботі прикладних досліджень і розробок – ДБ GPS: «Дослідження за перманентними ГНСС-вимірами взаємозв'язків геодинамічних і сейсмічних процесів у Південно-Східній Європі» (№ держреєстрації 0112U001207).

Виконані дослідження відповідають науковому напрямку «Науки про Землю і навколишнє середовище» Державного фонду фундаментальних досліджень. За цим напрямком взято участь у проекті фундаментальних досліджень: «Деформації різномасштабних тектонічних структур Східної Європи за супутниковими спостереженнями та їх відображення у сейсмічності» (№ держреєстрації 0113U005266)

Мета і задачі досліджень. Основною метою дисертаційного дослідження є геодинамічне районування території Європи за результатами визначення щорічних горизонтальних рухів та деформацій земної кори за період 2000 – 2010 роки та диференціація земної кори Європи за даними ротаційних рухів для уточнення наявних моделей ГРЗК.

У рамках дисертаційної роботи поставлено такі основні завдання:

- на основі розробленого алгоритму обчислити величини щорічних швидкостей ГРЗК та деформацій земної кори Європи за даними ГНСС-спостережень у період 2000 – 2010 роки;
- на основі щорічних полів деформацій земної кори провести блокову диференціацію земної кори Європи за їх кінематичними характеристиками та встановити взаємозв'язок з тектоно-геологічною будовою даного регіону;
- розробити методику та алгоритм диференціації території Європи за сталими ротаційними характеристиками;
- експериментально дослідити диференціації поля векторів швидкості горизонтального руху території Європи з використанням ротаційних параметрів та визначити блоки земної кори за сталими ротаційними характеристиками території Європи.

Об'єктом дослідження є поле горизонтальних деформацій земної кори на території Європи.

Предметом досліджень є районування земної поверхні Європи за сталими кінематичними характеристиками на основі опрацювання щорічних серій результатів ГНСС-спостережень.

Наукова новизна одержаних результатів.

- На основі опрацювання щорічних серій результатів ГНСС-спостережень на території Європи виділено шість умовних блоків земної кори зі своїми сталими кінематичними характеристиками; границі цих блоків збігаються з основними тектонічними структурами на території Європи.
- Визначено усереднені значення річних параметрів деформації земної кори на території Європи за період 2000 – 2010 роки (значення дилатації, загального зсуву земної кори та значення осей деформацій земної кори).

- Встановлено щорічні місця проявлення екстремальних значень деформаційних параметрів земної кори Європи, які пов'язані з основними тектонічними розломами та місцями підвищеної сейсмічної активності на території Європи.
- На основі результатів ГНСС-вимірів розроблено математичний алгоритм та методику, що дозволяє проводити диференціацію тектонічних блоків земної кори за ротаційними параметрами.
- За результатами диференціації встановлено границі двох блоків на території Європи, які обертаються навколо своїх полюсів Ейлера з різними швидкостями один відносно одного та доведено можливість вищої точності визначення векторів зміщень перманентних станцій порівняно з уже наявними моделями.

Практичне значення одержаних результатів. На основі розроблених моделей диференціації території Європи за сталими кінематичними характеристиками отримані результати рекомендується враховувати при вирішенні таких завдань:

- побудові та уточненні моделей кінематики літосферних плит;
- уточненні параметрів переходу між різними системами координат;
- визначенні стійкості окремих пунктів та систем координат у цілому;
- прогнозуванні координат перманентних ГНСС-станцій.

Використання даних поділу території Європи на два блоки за ротаційними параметрами дозволяє підвищити точність визначення координат перманентних ГНСС-станцій порівняно з наявними моделями.

Результати проведеного дослідження слугуватимуть для подальшого поглиблення досліджень еволюції геодинаміки території Європи. Запропоновану методику можна використовувати для аналогічного дослідження інших тектонічних плит.

Основні положення, що виносяться на захист.

- Блокова диференціація території Європи за даними ГНСС-спостережень.
- Методика та алгоритм проведення диференціації тектонічної плити за ротаційними параметрами.
- Апробація даної методики на прикладі Європейської плити та її поділ на два блоки, які обертаються навколо своїх полюсів Ейлера з різними кутовими швидкостями один відносно одного.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковано у співавторстві в працях [1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10] та одноосібно у [3, 8]. В працях [1, 4, 5, 6, 8] авторові належить збір та аналіз результатів спостережень перманентних ГНСС-станцій території Європи, в працях [2, 3, 7, 9] – опрацювання результатів вимірів перманентних ГНСС-станцій, визначення швидкостей горизонтальних рухів земної поверхні, вивчення деформаційних процесів. У роботі [9] – розроблено методику, на основі якої досліджено диференціацію території Європи за ротаційними параметрами.

Апробація результатів роботи. Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідали та обговорювали на таких наукових зібраннях:

- XVII Міжнародний науково-технічний симпозиум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології”, 10 – 15 вересня 2012 р., Алушта (Крим), Україна.
- IV науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих вчених «Наукова весна — 2013», 28 – 29 березня 2013 р., Дніпропетровськ, Україна.
- XVIII Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена професійному святу працівників геології, геодезії і картографії України «GEOFORUM’2013», 24 – 26 квітня 2013 р., Львів-Яворів, Україна.
- IV międzynarodowa konferencja naukowa “Innowacyjne technologie geodezyjne – zastosowanie w różnych dziedzinach gospodarki”, 22 – 24 maja 2013 r., Polanczyk, Polska.
- XVIII Міжнародний науково-технічний симпозиум “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології”, 10 – 15 вересня 2013 р., Алушта (Крим), Україна.
- V міжнародна наукова конференція «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища», 1 – 4 жовтня 2013 р., Львів, Україна.
- XXIII international symposium on “Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields”, November 07 - 08, 2013, Sofia, Bulgaria.
- XIX Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена професійному святу працівників геології, геодезії і картографії України «GEOFORUM’2014» 23 – 25 квітня 2014 р., Львів-Яворів, Україна.
- XX Міжнародна науково-технічна конференція, присвячена професійному святу працівників геології, геодезії і картографії України «GEOFORUM’2015» 22 – 24 квітня 2015 р., Львів-Яворів, Україна.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 10 наукових праць [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], у тому числі одна монографія [7]. Чотири статті у наукових фахових виданнях з переліку ВАК України [3, 4, 5, 6], одна з яких входить до наукометричної бази даних Index Copernicus [3]. Дві статті в закордонних періодичних виданнях [1, 2], одна з них входить до наукометричної бази даних Scopus [1]. Три у збірниках тез наукових конференцій [8, 9, 10].

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури (202 найменування) та одного додатку. Загальний обсяг дисертації становить 153 сторінки, ілюстрації складають 64 рисунки, 27 таблиць, додаток А.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та її основні завдання, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, сформульовано основні положення, які виносяться на захист, викладено відомості про апробацію роботи, повноту публікацій результатів та їх впровадження.

У першому розділі дисертаційної роботи «**Аналіз основних методів дослідження горизонтальних рухів земної кори**» проаналізовано основні етапи

дослідження тектоніки земної кори і пов'язаних з нею горизонтальних рухів та деформацій. Виконано аналіз проведених робіт з дослідження ГРЗК геодезичними методами.

Горизонтальні рухи земної кори – механічні рухи, що спричинені силами, які діють у земній корі, головним чином в мантиї Землі, і призводять до деформації порід, які її складають.

Дослідження ГРЗК виконують різними методами (геодезичними, геологічними, геоморфологічними, геофізичними тощо). Результати геодезичних вимірів дають інформацію про рух тільки в окремих точках земної поверхні, а не для всієї земної кори. Однак, якщо на території певного регіону проявляється систематичність таких рухів, то їх можна інтерпретувати як рухи земної кори.

За результатами такої інтерпретації створюють кінематичні моделі руху тектонічних блоків земної кори. Постійне уточнення створених моделей дозволяє вирішувати важливі задачі геодезії, зокрема: прогнозування швидкостей ГРЗК, прогнозування координат перманентних ГНСС-станцій, уточнення координат пунктів, уточнення систем координат тощо.

Результати досліджень рухів земної кори доповнюються наявною про них інформацією з геології та геофізики, що дозволяє прогнозувати їх зміну у часі.

Питанням дослідження сучасних горизонтальних рухів та деформацій земної кори присвячена значна кількість наукових праць вітчизняних і зарубіжних авторів, вагомий внесок для вирішення цього питання зробили такі відомі вчені, як Altamimi Z., Caporali A., DeMets C., Joo I., Milev G., Pospíšil L., Schenk V., Schenkova Z., Демус Р.Т., Никонов А.А., Уломов В.І., Мещеряков Ю.О., Заблоцький Ф.Д., Марченко О.М., Третяк К.Р., Ізотов А.А., Кендзера О.В., Максимчук В.Ю., Кузнєцова В.Г., Певнев А.К., Прилепін М.Т., Галаганов О.Н., Гусєва Т.В., Голубінка Ю.І., Серант О.В., Смірнова О.М., та інші.

Важливим є дослідження динаміки щорічних ГРЗК на підставі швидкостей визначених з ГНСС-вимірів, що, безперечно, дозволить провести районування території та виконувати детальніше дослідження горизонтальних деформацій.

Визначення ГРЗК є найефективнішим при комплексному використанні геологічних, геофізичних, геоморфологічних методів, які узагальнюють переміщення і деформації за мільйони років, у поєднанні з геодезичними методами, що дозволяє достовірно оцінити сучасний стан напружено-деформованого поля земної кори.

Встановлено, що для території Європи величини абсолютних швидкостей ГРЗК є порядку 25 мм/рік , достовірність яких забезпечується щоденними розв'язками мереж перманентних ГНСС-станцій. Швидкості регіональних рухів є в межах $2 - 3 \text{ мм/рік}$, а їх достовірність визначається на основі опрацювання тривалих часових серій, за умови лінійної збіжності їх результатів.

Оскільки ГНСС-спостереження є одним з найефективніших методів дослідження кінематики тектонічних блоків, доцільно розробити методику диференціації тектонічних блоків і відповідний математичний алгоритм дослідження змін кінематики тектонічних блоків за даними щорічних швидкостей перманентних ГНСС-станцій та теоретичними засадами ротації тектонічних плит.

У другому розділі дисертаційної роботи «Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними ГНСС-спостережень» проведено вивчення змін горизонтальних рухів та деформацій земної кори за результатами спостережень на мережах перманентних ГНСС-станцій Європи за період 2000 – 2010 роки. У результаті цього: 1) опрацьовано результати спостережень перманентних ГНСС-станцій; 2) визначено щорічні абсолютні та регіональні швидкості горизонтальних рухів перманентних ГНСС-станцій; 3) побудовано карти-схеми цих швидкостей, проведено їх аналіз; 4) виділено шість умовних блоків з однорідними кінематичними характеристиками; 5) виконано дослідження параметрів деформацій земної кори території Європи; 6) встановлено місця прояву щорічних екстремальних параметрів деформації земної кори Європи кожного року дослідження.

Для дослідження взято дані перманентних ГНСС-станцій, спостереження на яких проводилось більше ніж три роки. Розташування відібраних для дослідження перманентних ГНСС-станцій подано на рисунку 1.

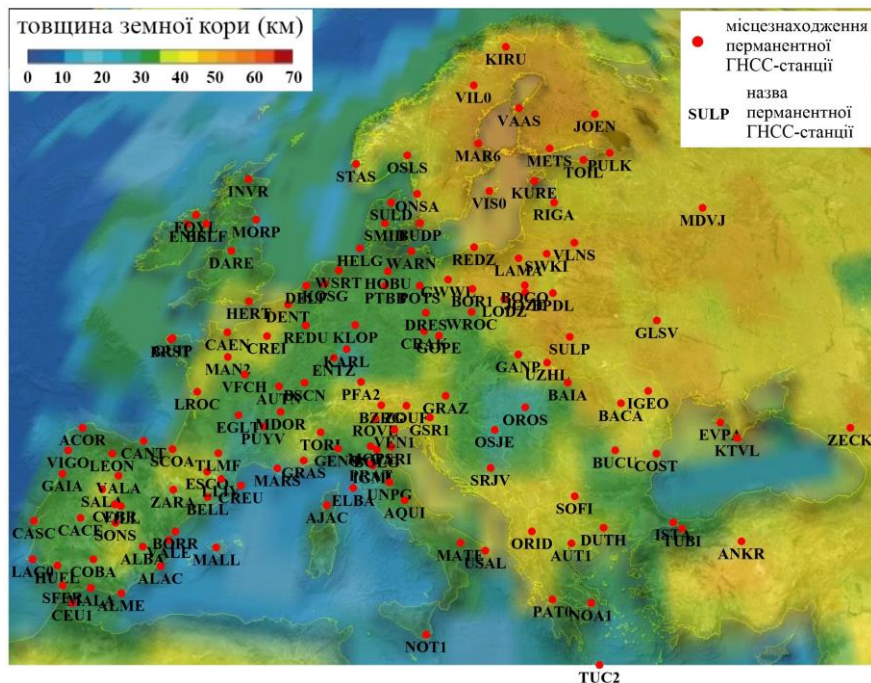


Рис. 1 Схема розташування відібраних для дослідження перманентних ГНСС-станцій на території Європи

Для відібраних перманентних ГНСС-станцій обчислено їх щорічні значення абсолютних швидкостей горизонтальних рухів (АШГР) та середні квадратичні похибки їх визначення. Ці швидкості визначено в системі координат ITRF 2005. Отримані вектори АШГР мають малі розбіжності у величині та напрямі, що ускладнює детальні дослідження кінематичних процесів. Для цього виключено систематичну складову з усіх векторів і таким чином здійснено перехід від абсолютних значень векторів швидкостей горизонтального руху $v_{B_i}^{abc}$ та $v_{L_i}^{abc}$ до регіональних $v_{B_i}^{per}$ та $v_{L_i}^{per}$ за виразами:

$$v_{B_i}^{per} = \frac{\sum_{j=1}^n v_{B_i}^{abc}}{n} - v_{B_i}^{abc} \quad (1)$$

$$V_{L_i}^{per} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{L_i}^{abc}}{n} - V_{L_i}^{abc}, \quad (2)$$

де $V_{B_i}^{abc}$, $V_{L_i}^{abc}$ – абсолютна складова вектора швидкості руху i -ої перманентної станції по широті та довготі; $\sum_{j=1}^n V_{B_i}^{abc}$, $\sum_{j=1}^n V_{L_i}^{abc}$ – сума значень $V_{B_i}^{abc}$, $V_{L_i}^{abc}$ на всіх перманентних станціях; n – кількість перманентних станцій.

На підставі проведених розрахунків побудовано карто-схеми розподілу щорічних АШГР та РШГР на території Європи за період 2000 – 2010 рр. На рисунку 2 подано карти-схеми розподілу абсолютних та регіональних швидкостей ГРЗК на території Європи за 2010 рік.

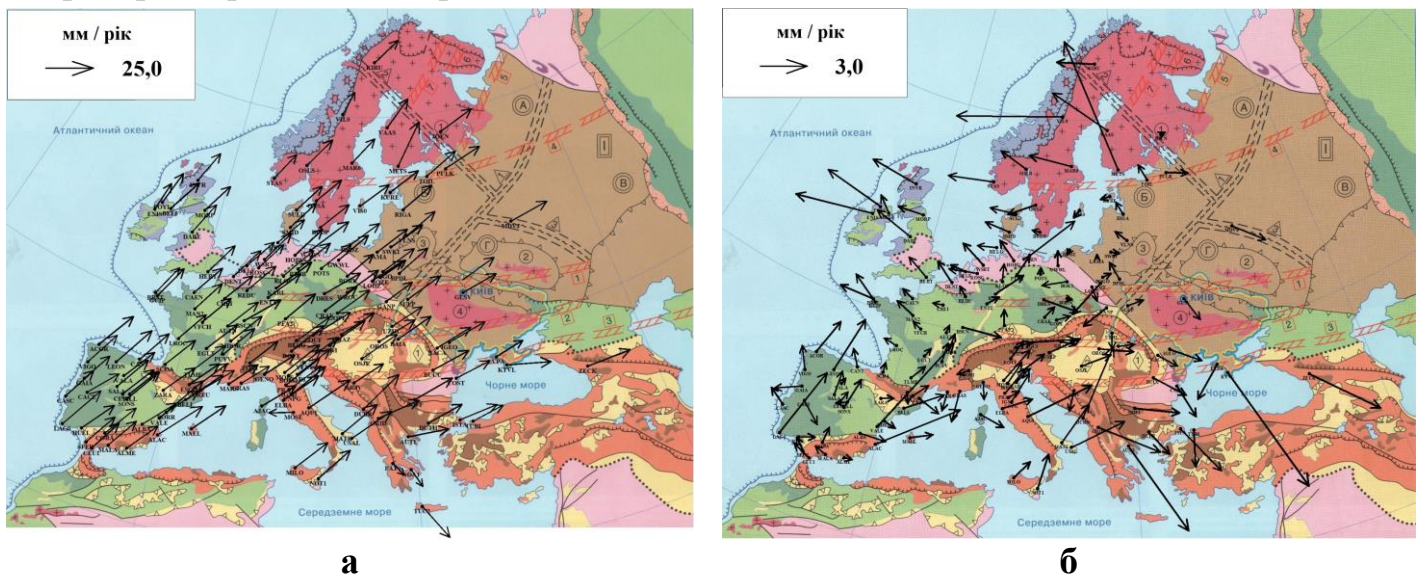


Рис 2. Карти-схеми розподілу абсолютних (а) та регіональних (б) швидкостей горизонтальних рухів земної кори на території Європи за 2010 рік

На основі аналізу карт-схем розподілу щорічних регіональних швидкостей ГРЗК на території Європи встановлено певний систематичний щорічний прояв поля швидкостей ГРЗК. Вектори у північно-західній частині Європи спрямовані на північний-захід, вектори у південно-західній частині Європи мають північно-східний напрям, вектори північно- та південно-східної частин зорієнтовані на південний схід, а вектори центральної частини Європи є різного спрямування, що пояснюється складною тектонічною будовою даного регіону.

Для узагальнення отриманих результатів на території Європи візуально виділено шість умовних блоків земної кори (УБЗК) зі сталими кінематичними характеристиками. Для підтвердження стійкості кінематичних характеристик виділених УБЗК в їх межах обчислено щорічні середні значення довжини вектора швидкості $S_{сер}$, його азимут $A_{сер}$ та середньоквадратичні відхилення від їх середніх значень за період 2000 – 2010 роки.

З метою узагальнення результатів у таблиці 1 подано середні значення основних кінематичних характеристик, виділених на території Європи УБЗК, та їх відхилення за період від 2002 до 2010 року.

Основні кінематичні характеристики виділених на території Європи УБЗК та їх відхилення за період від 2002 до 2010 року

№ УБЗК	2002 - 2010			
	$S_{\text{сер}}$, мм/рік	ΔS , мм/рік	$A_{\text{сер}}$, °	ΔA , °
I	5,4	2,3	118	14
II	1,4	0,9	170	38
III	3,2	1,6	298	23
IV	2,4	1,6	245	33
V	3,0	1,5	51	24
VI	2,5	1,9	139	30

З таблиці бачимо, що величини середньоквадратичних відхилень довжини вектора горизонтального руху, $S_{\text{сер}}$ практично для всіх УБЗК є вдвічі меншими за їх середні значення, середньоквадратичне відхилення азимута вектора швидкості горизонтального руху становить у середньому 30° . Це свідчить про стабільність виділених УБЗК.

Границі УБЗК (рис. 3) збігаються з такими тектонічними структурами земної кори, як: стик Східно-Європейської платформи та Балтійського щита, зона Тейсейра-Торнквіста, Альпійсько-Гімалайський пояс, Піреней. На рисунку 3 подано узагальнений рух виділених на території Європи УБЗК за період з 2002 до 2010 рр.

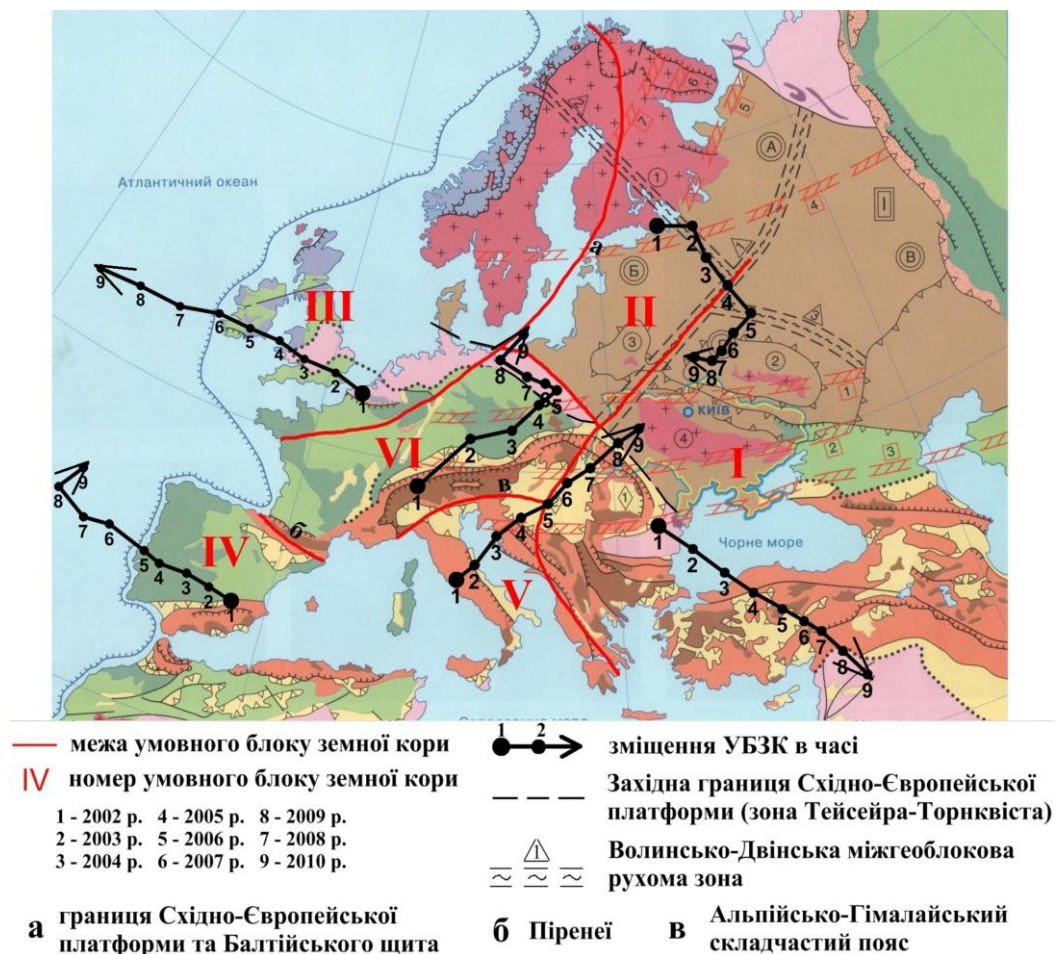


Рис. 3 Схема зміщення умовних блоків земної кори за 2002 – 2010 рр.

Швидкості регіональних горизонтальних рухів даних блоків у середньому складають $2,5 \text{ мм/рік}$, загальний вектор швидкості, майже для усіх УБЗК, має лінійний характер, окрім II УБЗК, який зазнає поступового обертового руху, та IV УБЗК, який зазнає криволінійного руху, що може бути спричинено складною тектонічною будовою території, яку вони охоплюють.

З метою дослідження деформацій земної кори мережу перманентних ГНСС-станцій розбито на суцільну мережу окремих трикутників тріангуляцією Делоне.

Деформацію земної кори досліджуваної території опишемо такими параметрами: відносне обертання ω ; відносний зсув γ_1, γ_2 ; загальний зсув γ ; дилатація Δ ; максимальний стиск або розтяг E_1, E_2 ; Θ – азимут головної осі деформації. Параметри деформації обчислюються за векторами швидкостей ГРЗК перманентних ГНСС-станцій, які є у вершинах елементарних трикутників і відносяться до геометричного центру трикутника.

Отримані результати стали основою для побудови карт-схем щорічного розподілу дилатації земної кори $10^{-8}/\text{рік}$ на території Європи за період 2000 – 2010 рр. На рисунку 4 подано карту-схему річного розподілу дилатації земної кори на території Європи за 2007 рік.

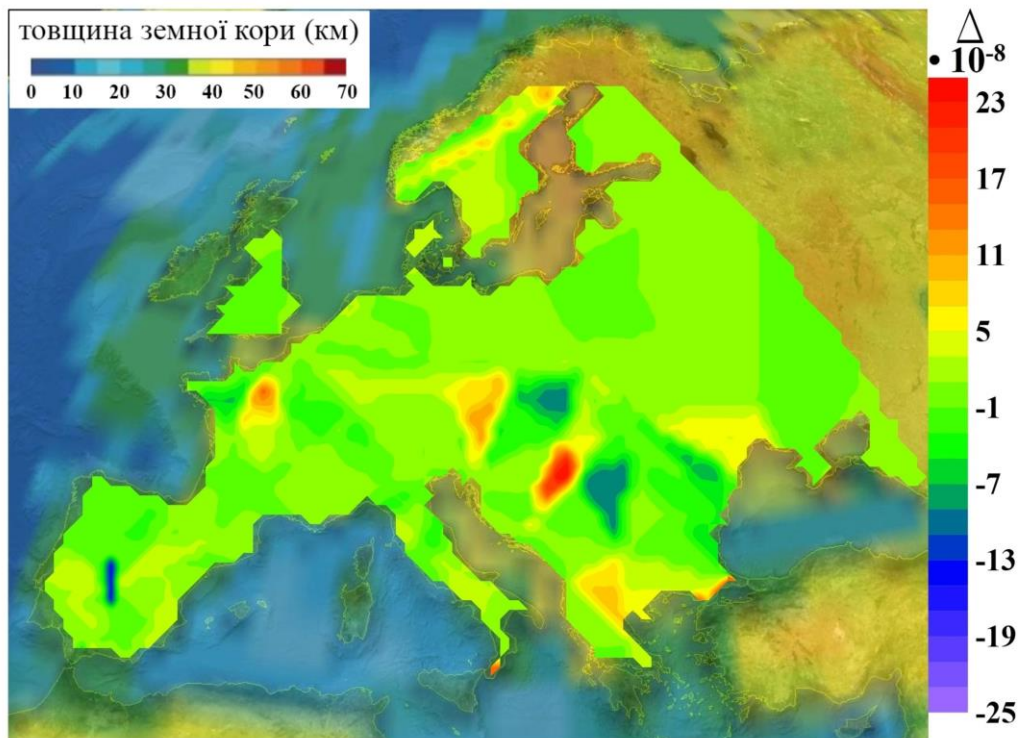


Рис. 4 Карта-схема річного розподілу дилатації земної кори території Європи за 2007 рік

Аналізуючи просторово-часовий розподіл щорічної зміни дилатації земної кори території Європи за період 2000 – 2010 рр., встановлено місця щорічного прояву екстремальних значень швидкостей дилатації земної кори як стиску ($\leq -15 \cdot 10^{-8}/\text{рік}$), так і розтягу ($\geq 15 \cdot 10^{-8}/\text{рік}$). Побудовано карту-схему прояву екстремальних значень дилатації земної кори за період з 2000 до 2010 року (рис. 5), на яку нанесено основні тектонічні розломи та місця прояву сейсмічної активності даного регіону.

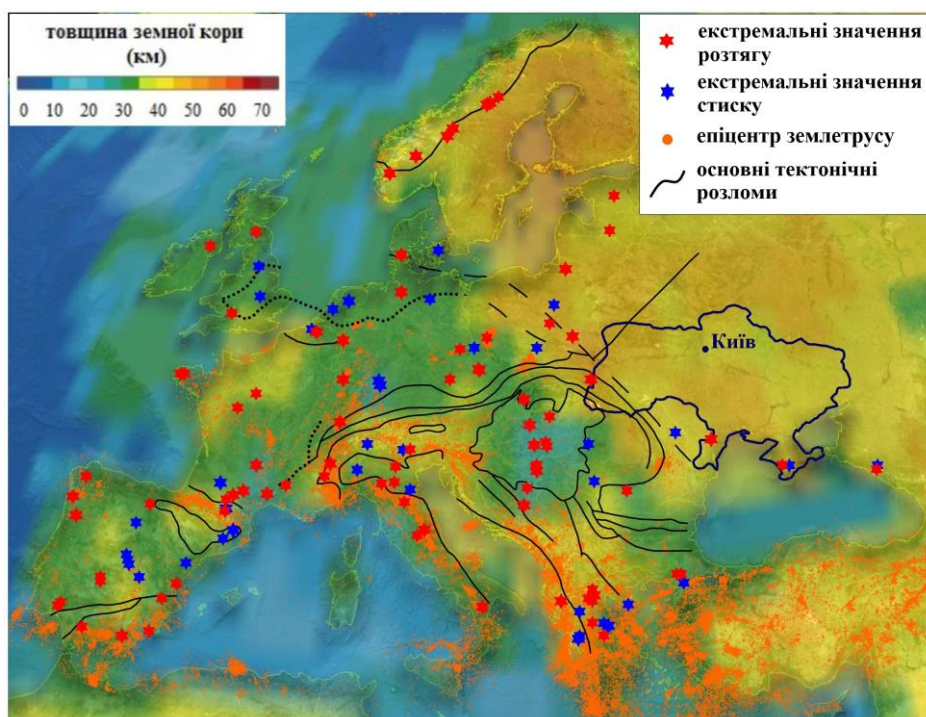


Рис. 5 Карта-схема розподілу екстремальних значень швидкостей дилатації земної кори $10^{-8}/\text{рік}$ та прояву сейсмічної активності на території Європи

Прояв екстремальних значень швидкостей дилатації земної кори, стиску та розтягу на території Європи протягом усього досліджуваного періоду пов'язані з основними тектонічними розломами, що проходять через Апеніни, Дінаріди, Піренеї, з геологічними зонами, такими як Іберійський масив, Альпійсько-Гімалайський пояс, а також виникають у місцях з малою товщиною земної кори та у місцях підвищеної сейсмічної активності.

Також побудовано карту-схему прояву максимальних та мінімальних значень загального зсуву ($\gamma \cdot 10^{-8}/\text{рік}$) земної кори на території Європи (рис. 6 а) та карту-схему розподілу максимальних значень мінімальних та максимальних осей деформацій земної кори Європи E_1 та E_2 (рис. 6 б).

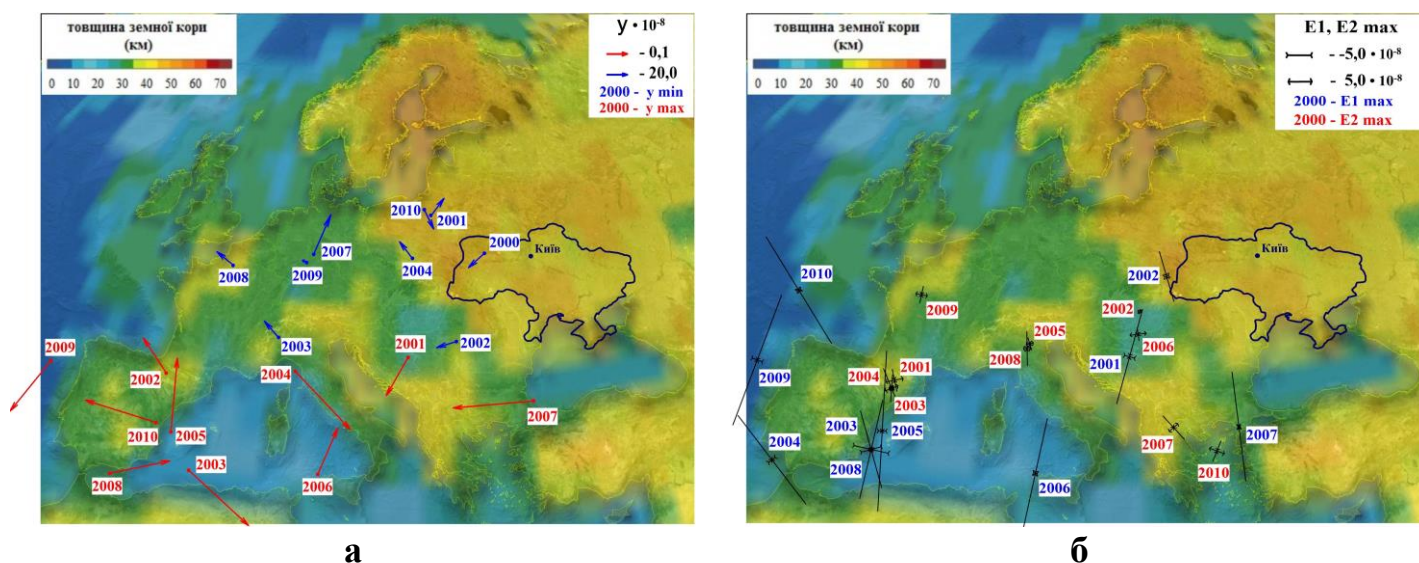


Рис. 6 Карти-схеми розподілу мінімальних та максимальних значень загального зсуву земної кори (а) та розподілу максимальних значень E_1 та E_2 (б) на території Європи за період з 2000 до 2010 року

Аналізуючи побудовані карти-схеми встановлено, що максимальні значення загального зсуву γ та мінімальних та максимальних осей деформацій земної кори Європи E_1 та E_2 проявляються на території основних геологічних зон, які мають високу геодинамічну активність. Вектори загального зсуву земної кори в цих зонах не є орієнтовані в одному напрямку, що свідчить про відповідні значні геодинамічні деформаційні процеси даного ареалу, осі E_1 , зорієнтовані з півночі на південь і відображають стиснення усього Середньоморського поясу.

У третьому розділі дисертаційної роботи «Диференціація ротаційних рухів земної кори Європи» розроблено методику та алгоритм визначення динаміки ротаційних параметрів тектонічної плити за даними щорічних швидкостей ГРЗК, визначених з ГНСС-спостережень, які апробовані на прикладі Європейської частини Євразійської плити.

Диференціацію тектонічних блоків земної кори виконують геофізичними та геологічними методами за виявленими глибинними розломами, при цьому границі цих розломів на земній поверхні можуть мати різний прояв. З метою уточнення границь тектонічних розломів та їх прояву на земній поверхні використовують дані перманентних ГНСС-станцій. За результатами таких досліджень створені відповідні моделі: NUVEL 1, NUVEL 1A, HS2-NUVEL 1A, HS3-NUVEL 1A, APKIM2000.0, APKIM2005-IGN, GSRM v1.2, MORVEL 2010 тощо. Диференціація тектонічних блоків за такими моделями є неоднозначною як за їх кількістю, так і щодо встановлення їх границь. Ми пропонуємо використати дослідження ротаційних параметрів літосферних плит для встановлення прояву границь тектонічних блоків на земній поверхні.

Зв'язок швидкості зміщення перманентної ГНСС-станції з координатами полюса Ейлера та її кутовою швидкістю обертання в геодезичних координатах можна представити такими виразами:

$$V_B = \Omega \times \cos(\Phi) \times \sin(L - \Lambda) + \Delta_B \quad (3)$$

$$V_L = \Omega \times (\sin(\Phi) \times \cos(B) - \cos(\Phi) \times \sin(B) \times \cos(L - \Lambda)) + \Delta_L \quad (4)$$

де Ω – кутова швидкість обертання плити; Φ , Λ – координати полюса обертання (Ейлера); B , L – координати перманентної ГНСС-станції з визначеними швидкостями зміщень у широтному та довготному напрямках; Δ_B , Δ_L – загальне зміщення по осях B та L .

Для будь-якої сукупності перманентних ГНСС-станцій кількість цих рівнянь є більша за кількість невідомих. У зв'язку з цим визначення невідомих параметрів полюса Ейлера (Ω , Φ , Λ) виконується за способом найменших квадратів. Для цього, продиференціювавши рівняння (3), (4), приводимо їх до лінійного виду та складаємо рівняння поправок:

$$\begin{aligned} & \delta\Omega \times (\sin(L - \Lambda_0) \times \sin(\Phi_0)) - \delta\Phi \times (\Omega_0 \times \sin(L - \Lambda_0) \times \sin(\Phi_0)) - \\ & - \delta\Lambda \times (\Omega_0 \times \cos(L - \Lambda_0) \times \cos(\Phi_0)) + \Omega_0 \times \cos(\Phi_0) \times \sin(L - \Lambda_0) - (V_B - V_{B_0}) + \Delta_B = V_B \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
& \delta\Omega \times \left(\cos(B) \times \sin(\Phi_0) - \cos(L - \Lambda_0) \times \sin(B) \times \cos(\Phi_0) \right) + \\
& + \delta\Phi \times \left(\Omega_0 \times \left(\cos(B) \times \cos(\Phi_0) + \cos(L - \Lambda_0) \times \sin(B) \times \sin(\Phi_0) \right) \right) - \\
& - \delta\Lambda \times \left(\Omega_0 \times \sin(L - \Lambda_0) \times \sin(B) \times \cos(\Phi_0) \right) + \\
& + \Omega_0 \times \left(\sin(\Phi_0) \times \cos(B) - \cos(\Phi_0) \times \sin(B) \times \cos(L - \Lambda_0) \right) - \left(V_L - V_{L_0} \right) + \Delta_L = v_L,
\end{aligned} \tag{6}$$

де $\delta\Omega$, $\delta\Phi$, $\delta\Lambda$ – поправки; Ω_0 , Φ_0 , Λ_0 – наближені значення параметрів полюса Ейлера; V_B та V_L – величина вектора швидкості абсолютного горизонтального зміщення по осях B та L ; Δ_B , Δ_L – загальне зміщення.

Розв'язуємо систему рівнянь (5), (6) способом найменших квадратів. Для цього вибираємо наближені значення параметрів полюса Ейлера i , використовуючи поправки ($\delta\Omega$, $\delta\Phi$, $\delta\Lambda$), обчислюємо уточнене значення параметрів полюса Ейлера (Ω , Φ , Λ). Оскільки наближені параметри полюса Ейлера можуть відрізнятися від уточнених, то при розв'язку потрібно збільшувати кількість ітерацій. Ітераційний процес відбувається доти, поки розходження між ітераціями в значенні кутової швидкості полюса Ейлера не буде $\leq 10^{-6}$ радіан/млн.р, а розходження координат полюса Ейлера не буде $\leq 10^{-6}$ радіан. Результати такої ітерації вважаються остаточними.

Оскільки кожна перманентна ГНСС-станція, що входить до сукупності станцій, має свій вплив на остаточні параметри полюса Ейлера (Ω , Φ , Λ) та їх точність, то з метою проведення можливої диференціації тектонічної плити проаналізуємо внесок кожної станції в точність визначення параметрів полюса Ейлера. Для цього обчислимо величини Δm_Ω , Δm_Φ , Δm_Λ для кожної станції.

$$\Delta m_\Omega = m\Omega_0 - m\Omega_i, \tag{7}$$

$$\Delta m_\Phi = m\Phi_0 - m\Phi_i, \tag{8}$$

$$\Delta m_\Lambda = m\Lambda_0 - m\Lambda_i. \tag{9}$$

де m_Ω , m_Φ , m_Λ – середні квадратичні похибки (СКП) параметрів полюса Ейлера для всієї сукупності станцій; m_{Ω_i} , m_{Φ_i} , m_{Λ_i} – середні квадратичні похибки (СКП) параметрів полюса Ейлера при вилученій i -ій станції з сукупності.

Оскільки отримані значення Δm_Ω , Δm_Φ , Δm_Λ мають різну розмірності, то для їх узагальнення використовується поняття ентропії.

Перманентна ГНСС-станція, для якої величини Δm_Ω , Δm_Φ , Δm_Λ є мінімальними, максимально погіршує точність визначення параметрів полюса Ейлера. Для оцінки цього впливу введемо поняття узагальненого критерію зміни точності параметрів полюса Ейлера

$$\Delta m_{y3} = \ln(\Delta m_\Omega) + \ln(\Delta m_\Phi) + \ln(\Delta m_\Lambda). \tag{10}$$

Отже, критерієм оцінки впливу окремої станції на визначення параметрів полюса Ейлера (Ω , Φ , Λ) та їх точність є величина Δm_{y3} .

Перманентні ГНСС-станції, вилучення яких з сукупності покращують точність ротаційних параметрів, мають максимальну невідповідність до цих ротаційних

параметрів. Такі станції, використовуючи ітераційний процес, необхідно вилучати з сукупності усіх перманентних станцій.

На підставі почергового аналізу кожної перманентної ГНСС-станції з усієї сукупності, визначаємо станцію, яка має максимальну невідповідність моделі. Ця процедура відбувається методом ітерацій так: почергово з сукупності усіх перманентних ГНСС-станцій вилучається станція та виконується повторне обчислення координат полюса Ейлера (Φ_1, Λ_1), кутової швидкості (Ω_1), визначається їх оцінка точності ($m_{\Omega_1}, m_{\Phi_1}, m_{\Lambda_1}$) та параметр Δm_{y_3} . Отримавши ці значення, вилучена станція повертається у сукупність та вилучається наступна станція і повторно проводиться ця ж процедура.

Такий ітераційний процес виконують для усієї сукупності перманентних ГНСС-станцій та визначають координати полюса Ейлера (Φ_i, Λ_i), кутову швидкість (Ω_i), їх оцінку точності ($m_{\Omega_i}, m_{\Phi_i}, m_{\Lambda_i}$) та параметр Δm_{y_3} для всіх почергово вилучених станцій.

Таким чином, провівши тестування усіх перманентних ГНСС-станцій, для кожної з них, визначено значення Δm_{y_3} .

Перманентна ГНСС-станція, яка максимально погіршує узагальнений критерій точності визначення параметрів полюса Ейлера, за умови $\Delta m_{y_3} = m_{y_3}^i - m_{y_3}^{i+1} = \max$, остаточно вилучається з масиву станцій. Тестування повторюється та визначається наступна станція, яка має найбільший вплив на точність визначення параметрів полюса Ейлера та відбувається її вилучення.

Сукупність перманентних ГНСС-станцій, що залишилась у мережі і вилучення яких не дає підвищення точності визначення параметрів полюса Ейлера, свідчить про те, що це виділена однорідна сукупність станцій, яка охоплює територію із сталими ротаційними характеристиками.

Даними для дослідження диференціації тектонічної плити Європейського континенту за ротаційними параметрами були використані величини векторів АШГР перманентних ГНСС-станцій за період з 2000 до 2010 року, отримані при опрацюванні результатів спостережень на перманентних ГНСС-станціях території Європи. Розташування використаних при дослідженні станцій подано на рисунку 1.

За розробленою методикою були обчислені наближені параметри полюса Ейлера: координати (Φ, Λ), кутова швидкість (Ω) та їх оцінка точності ($m_{\Omega}, m_{\Phi}, m_{\Lambda}$) для сукупності усіх відібраних для дослідження перманентних ГНСС-станцій.

На основі алгоритму визначено послідовний ряд перманентних ГНСС-станцій, які підлягають вилученню з сукупності усіх станцій.

Для детальнішого аналізу зміни узагальненого параметра Δm_{y_3} використано градієнти зміни цієї функції від кількості вилучених станцій (k), $\Delta m_{y_3}(k)$. Проте використання градієнтів функції $\Delta m_{y_3}(k)$ не є ефективним для автоматизації процесу диференціації тектонічної плити за ротаційними характеристиками, оскільки функція градієнтів $\Delta m_{y_3}(k)$ не є гладкою.

З метою автоматизації цього процесу, апроксимуємо функцію $\Delta m_{y_3}(k)$ аналітичною функцією $m_{y_3}(k) = \frac{a}{b+k^c} + d \times k^3 + f \times k^2$, що найкраще її описує, і замість градієнтів будемо використовувати часткові похідні цієї функції. Функція

часткової похідної є гладкою, а її застосування дозволяє чітко та автоматизовано встановити границю екстремуму, який відповідає межі вилучення станцій.

На рисунку 7 подано зміну часткової похідної для функції зміни узагальненого параметра $m_{yz}(k)$, а також показано збільшений фрагмент кривої цієї функції в околицях точки екстремуму.

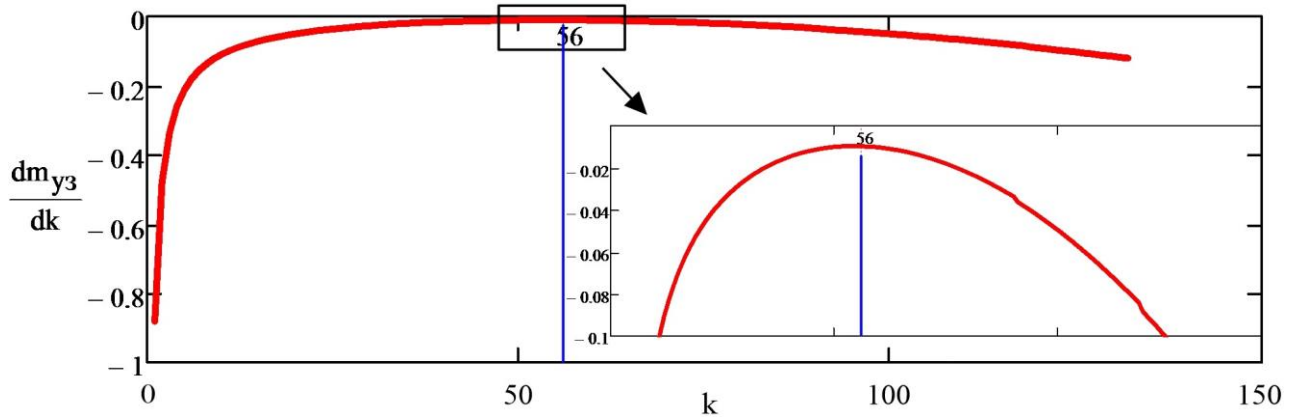


Рис. 7 Функція похідної $\frac{dm_{yz}}{dk}$

Екстремум функції відповідає 56 вилученим з сукупності перманентним ГНСС-станціям. Результати тестування сукупності ГНСС-станцій за усіма параметрами полюса Ейлера підтверджують необхідність вилучення близько 66 станцій. В результаті отримано остаточну сукупність станцій з однорідними ротаційними параметрами, в яку входять 68 перманентних ГНСС-станцій (блок А).

Перманентні ГНСС-станції, які вилучено (блок Б), також утворюють нову сукупність перманентних ГНСС-станцій, яку аналогічно можна спробувати поділити на окремі групи. Для цього за розробленим алгоритмом проведено тестування. Однак для цієї сукупності екстремуми функцій відсутні, що свідчить про те, що вона не підлягає поділу. Отже, ця сукупність також має свої однорідні ротаційні характеристики. На рисунку 8 подано просторовий розподіл виділених на основі алгоритму двох сукупностей перманентних ГНСС-станцій.

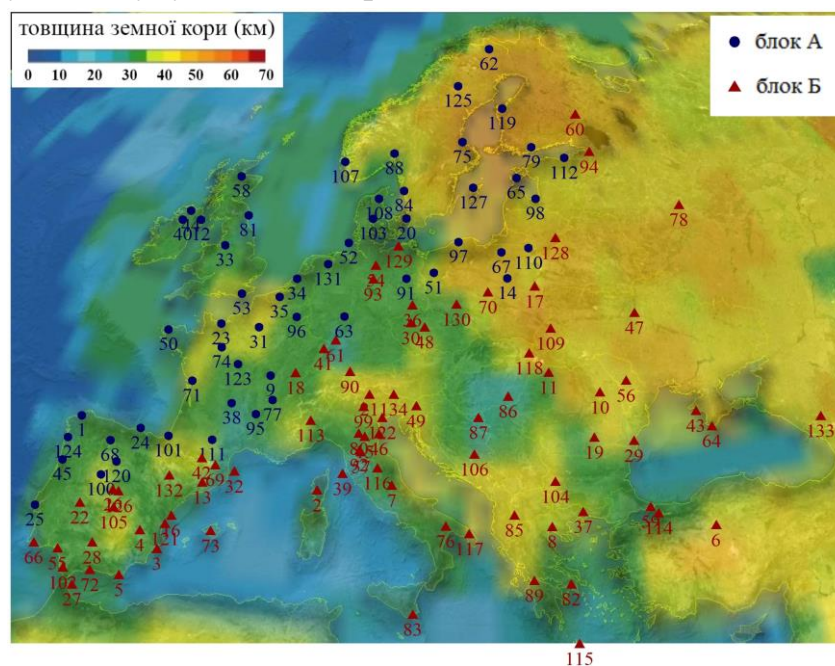


Рис. 8 Просторовий розподіл перманентних ГНСС-станцій блоків А та Б

З рисунку 8 бачимо, що ГНСС-станції блоку А розташовані у північній частині Європи (умовно Північний блок), а станції блоку Б розташовані у південній частині Європи (умовно Південний блок).

Цим ще раз підтверджується, що відібрані сукупності станцій просторово і за кінематичними характеристиками відносяться до двох різних блоків земної кори, які обертаються навколо своїх полюсів Ейлера, що мають близьке розташування, але різну кутову швидкість. На рисунку 9 подано ротаційні параметри та координати полюса Ейлера для виділених сукупностей ГНСС-станцій.

параметри полюса Ейлера

для **Північного блоку**

$$\Omega = 0,281 \pm 0,006 \text{ }^\circ/\text{млн.р}$$

$$\Phi = 59,56^\circ \pm 0,85^\circ$$

$$\Delta = -88,75^\circ \pm 2,33^\circ$$

параметри полюса Ейлера

для **Південного блоку**

$$\Omega = 0,271 \pm 0,006 \text{ }^\circ/\text{млн.р}$$

$$\Phi = 59,61^\circ \pm 0,83^\circ$$

$$\Delta = -90,55^\circ \pm 2,18^\circ$$



Рис. 9 Параметри полюсів Ейлера для Північного та Південного блоків

Розрахунки, проведені за даними щорічних векторів АШГР перманентних ГНСС-станцій, та аналіз отриманих модельних векторів Північного та Південного блоків, вказують на необхідність поділу Євразійської плити на два тектонічні блоки, що обертаються кожна відносно свого полюса Ейлера зі своєю швидкістю.

Точність визначення кутової швидкості обертання кожного з блоків є на порядок вищою від її величини. Точність визначення координат полюса обертання кожного з блоків свідчить про його впевнену фіксацію порівняно із розмірами Євразійської тектонічної плити.

За визначеними ротаційними параметрами Північного та Південного блоків (рис. 9) для усіх перманентних ГНСС-станцій, були обчислені складові модельних векторів швидкості горизонтального зміщення у широтному та довготному напрямках а також обчислені величини відхилень модельних значень від виміряних.

На рисунку 10 подано модельні вектори ГРЗК перманентних ГНСС-станцій, визначені за обчисленими ротаційними параметрами двох виділених блоків.

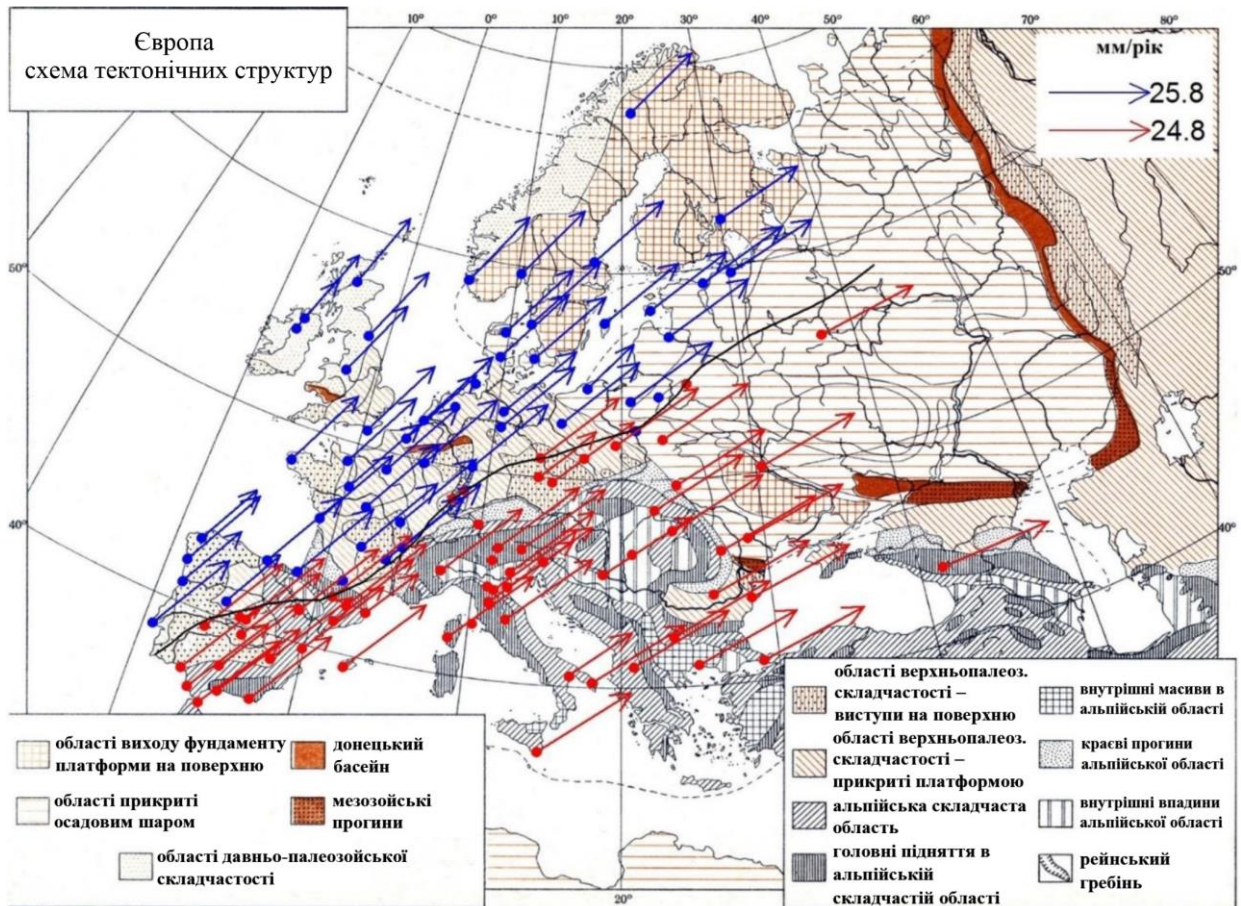


Рис. 10 Схема модельних векторів швидкостей горизонтального руху Північного та Південного блоку визначених за ротаційними параметрами

Вектори Північного блоку зосереджені на території Верхньопалеозойської складчастості, що виступає на поверхню та в її областях, які прикриті платформою. Натомість вектори Південного блоку розташовані на території Альпійсько-Гімалайського поясу, зокрема в областях Альпійської складчастості, її головних підняттях, внутрішніх міжгірських масивах, краєвих прогинах та неогенових впадинах. Наявність такого поділу дозволяє зробити припущення про те, що між Північним та Південним блоками проходить границя, вздовж якої відбувається зміщення блоків один щодо одного.

Для підтвердження ними було розглянуто рух Північного блоку відносно Південного, як нерухомого, та за отриманими результатами побудована карта-схема, що відображає цей рух. В результаті аналізу встановлено зміщення усієї частини Північного блоку відбувається у північно-східному напрямку зі швидкістю до $1,5 \text{ мм/рік}$ відносно нерухомого Південного блоку.

Отримана присутність на єдиній жорсткій плиті певних сегментів, що рухаються з різними кутовими швидкостями, підтверджується результатами тектонічних та палеотектонічних досліджень. У дослідженнях відображено зміщення окремих блоків єдиної тектонічної плити, а за даними радіовуглецевого аналізу можна визначити вік породи (рис. 11).

За побудованими на основі палеотектонічних даних картами можна бачити, що тектонічні плити не є суцільними, а мають сегменти, які рухаються з різною кутовою швидкістю, що проявилось в відкладанні порід різного віку на дні океанів.

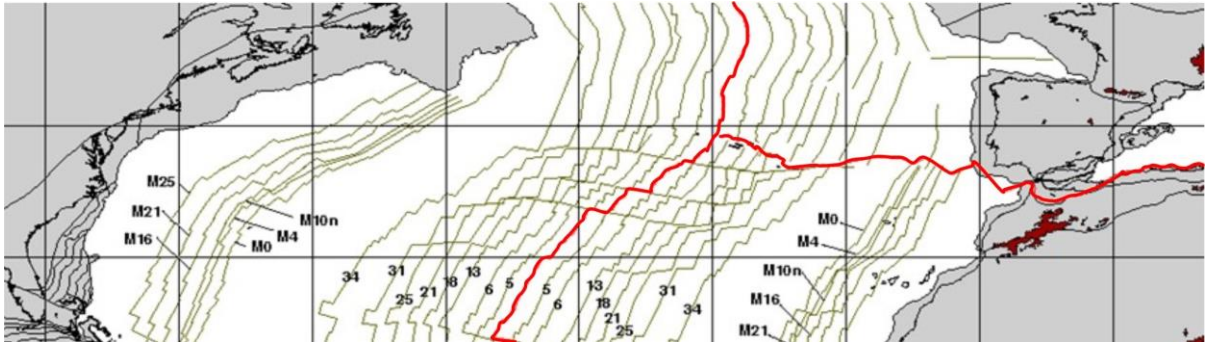


Рис. 11 Ізохрони для Центральної Атлантики. Лінії вказують на відносну позицію Північно-Американської плити щодо Європейської

Наявність таких сегментів вказує на продовження границі Євразійської та Африканської плит до середньо-атлантичного жолоба. Тому виділяються окремі блоки які рухаються з різною кутовою швидкістю. Зображене за палеотектонічними даними суттєве зміщення блоків у середньоатлантичному жолобі дає підстави стверджувати, що цей процес триває протягом часу формування тектонічних структур Європейського континенту.

Однак прояв цієї тріщинуватості видно лише на дні океану, її практично неможливо побачити на континенті, оскільки давні вулканічні породи є прикриті осадовим шаром, тому палеотектонічні методи є не ефективними при дослідженні на суші. Отримані при даному дослідженні, результати демонструють можливість проведення такого тектонічного районування, окремих блоків земної кори, використовуючи результати ГНСС-спостережень.

Умовно продовживши нашу лінію розмежування Північного та Південного блоків, виділених на основі диференціації за ротаційними характеристиками, а також межі раніше встановлених УБЗК, отриманих на основі диференціації за сталими кінематичними характеристиками, ми можемо побачити їх відображення у результатах досліджень тектонічних кордонів західної частини Європейського континенту (рис. 12).

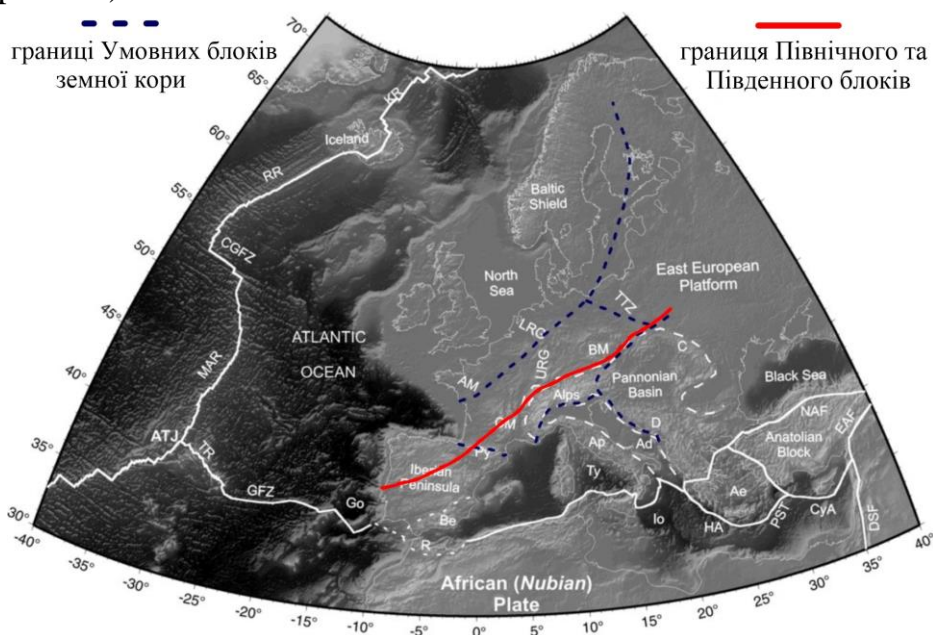


Рис. 12 Тектонічні кордони західної частини Євразійської плити, накладені на модель топографії ЕТОРО2

Як бачимо, границя Північного та Південного блоків (червона лінія) та границі умовних блоків земної кори (синя лінія) збігаються, особливо в межах східної частини Альпійської дуги та території Паннонського басейну, розбіжність границь центральної частини Альпійської дуги пояснюється складною тектонічною будовою та неможливістю точного встановлення границь тектонічних структур даного регіону.

Отримані результати схожі з результатами досліджень Європейської тектонічної плити, де виділяють певні території з своїми ротаційними характеристиками, Variscan Orogen та Alpine Orogen, границі яких збігаються з межею Північного та Південного блоків.

Виконано порівняння величин модельних векторів АШГР (умовно диференційна модель ГРЗК) перманентних ГНСС-станцій, отриманих для Північного та Південного блоків земної кори, з векторами АШГР перманентних ГНСС-станцій даного регіону, визначених з результатів ГНСС-спостережень та за відомими моделями ГРЗК Євразійської плити.

Обчислено значення середньоквадратичних відхилень векторів та азимутів АШГР для диференційної та інших відомих кінематичних моделей ГРЗК (табл. 2).

Таблиця 2

Середні квадратичні відхилення векторів та азимутів АШГР ГНСС-станцій диференційної та інших відомих моделей кінематики ГРЗК

Моделі	Північний блок		Південний блок		загальне	
	ΔS , мм/рік	ΔA , °	ΔS , мм/рік	ΔA , °	ΔS , мм/рік	ΔA , °
диференційна модель	0,90	3,80	1,03	4,19	1,37	5,66
GEODVEL 2010	1,62	5,46	2,09	4,15	2,64	6,86
MORVEL 2010	2,34	10,88	3,16	5,30	3,93	12,10
APKIM2005-DGFI	1,65	7,53	2,03	4,66	2,62	8,86
APKIM2005-IGN	1,69	5,21	2,04	5,61	2,65	7,66
GSRM v1.2	2,18	4,95	2,42	4,19	3,26	6,49
CGPS 2004	1,58	5,47	2,05	4,00	2,59	6,78
REVEL 2000	1,57	6,83	2,07	4,84	2,60	8,37
ITRF2000 (AS&B [2002])	1,59	5,71	2,07	4,09	2,61	7,02
HS3-NUVEL1A	1,67	7,24	2,27	5,46	2,82	9,07
APKIM2000.0	1,72	5,04	2,13	3,75	2,74	6,28
ITRF2000 (D&A [2001])	1,63	5,55	2,09	4,09	2,65	6,89
HS2-NUVEL1A	1,79	7,18	2,50	5,41	3,07	8,99
NUVEL 1A	1,67	7,25	2,26	5,47	2,81	9,08
NUVEL 1	1,67	7,29	2,03	5,49	2,63	9,13

Аналізуючи таблицю 2, можна побачити, що вектори АШГР перманентних ГНСС-станцій, отримані для різних відомих кінематичних моделей, як Північного, так і Південного блоків, мають більше відхилення від векторів АШГР, отриманих на основі опрацювання часових серій ГНСС-спостережень, порівняно з відхиленнями диференційної моделі ГРЗК Північного та Південного блоків. Приведені середньоквадратичні відхилення отриманих результатів також свідчать про перевагу запропонованої диференційної моделі, на відміну від відомих моделей кінематики ГРЗК території Європи.

Така розбіжність пояснюється використанням при створенні кінематичних моделей Євразійської плити як одного суцільного блоку з подальшим обчисленням

значень векторів швидкостей горизонтального руху. Натомість вектори швидкостей горизонтального руху у запропонованій диференційній моделі ГРЗК були отримані на основі диференціації Євразійської плити на два блоки, що дозволило отримати менші відхилення.

Менша розбіжність між векторами та азимутами АШГР диференційної моделі та векторами АШГР, обчисленими на основі часових серій, дозволить отримати достовірніше значення горизонтальної складової зміщення ГНСС-станцій, що в свою чергу дозволить більш надійно прогнозувати зміну координат пунктів у часі та краще уточнювати як параметри переходу між системами координат, так і безпосередньо моделі кінематики тектонічних плит.

Проведене дослідження демонструє наявність на території Європи двох тектонічних блоків з відмінними ротаційними характеристиками. Межі цих блоків узгоджуються з даними палеотектонічних досліджень на глибинних розломах Атлантичного океану та низкою інших досліджень. Диференціація підтверджується північно-південною орієнтацією максимальних осей стиску на території Європи, яка може пояснюватися дією доцентрових сил Південного блоку щодо полюса Ейлера, а також наступом Африканської плити на Євразійську.

Розроблена методика дозволяє, використовуючи абсолютні вектори швидкості руху, визначені за ГНСС-спостереженнями, проводити диференціацію ротаційних рухів земної кори відносно полюсів Ейлера. Розроблений математичний апарат та методику можна використовувати для диференціації рухів земної кори за ротаційними параметрами для будь-якої тектонічної плити або її частини.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукове завдання дослідження горизонтальних рухів земної кори Європейської частини Євразійської літосферної плити з використанням методики опрацювання просторових ГНСС-мереж на території Європи. В результаті виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Для території Європи величини абсолютних швидкостей горизонтальних рухів є в межах $25 - 30 \text{ мм/рік}$, достовірність яких забезпечується щоденними розв'язками мереж перманентних ГНСС-станцій. Швидкості регіональних рухів є в межах $2 - 3 \text{ мм/рік}$, а їх достовірність визначається на основі опрацювання тривалих часових серій, за умови лінійної збіжності їх результатів.
2. На основі опрацювання результатів спостережень перманентних ГНСС-станцій території Європи за період з 2000 до 2010 року, виділено шість умовних блоків земної кори. Регіональні швидкості горизонтальних рухів виділених умовних блоків у середньому складають $2,5 \text{ мм/рік}$ і мають практично лінійний характер. Порівняно з іншими дослідженнями швидкості горизонтальних рухів виділених умовних блоків вказують на певну збіжність, а їх границі збігаються з основними тектонічними розломами. Проте виділені умовні блоки охоплюють інші тектонічні структури. Причина такої відмінності полягає у використанні для даного дослідження, щорічних регіональних швидкостей горизонтальних рухів, а не їх осереднених за різний період значень отриманих за результатами ГНСС-спостережень різної тривалості.

3. Детальний аналіз часових серій перманентних ГНСС-станцій Карпато-Балканського регіону (1990 – 2010) дозволив провести просторово розподіл даної території на чотири блоки. Кінематика цих блоків підтверджується блоковою структурою регіону та ротацією тектонічних блоків Карпатської дуги. Виділені блоки за сталими кінематичними характеристиками Карпато-Балканського регіону мають спільні границі з умовними блоками, виділеними за даними регіональних швидкостей Європи, а також охоплюють одні і ті ж тектонічні структури.
4. За даними щорічних швидкостей горизонтального руху перманентних ГНСС-станцій встановлено місця прояву екстремальних параметрів деформації земної кори Європи у кожному році дослідження (2000 – 2010), які збігаються з місцями підвищеної сейсмічної активності на території Європи та з основними тектонічними зонами. Максимальні значення осі деформацій земної кори Європи E_1 , які орієнтовані з півночі на південь, відображають стиснення Середземноморського поясу, Іберійської плити, Дінарід, Піренеїв, Зони Вранча.
5. За розробленою методикою диференціації тектонічної плити за ротаційними параметрами, використовуючи дані щорічних (2000 – 2010) абсолютних швидкостей горизонтальних рухів перманентних ГНСС-станцій, визначено зміни ротаційних параметрів території Європи та встановлено межі двох блоків, які мають відмінні ротаційні параметри.
6. Рух цих блоків з різною кутовою швидкістю має відображення на палеотектонічних картах середньоатлантичного жолоба, а їх межі збігаються з виділеними на території Європейського континенту тектонічними структурами, що підтверджує дослідження інших авторів. За цими дослідженнями північно-західна границя Африканської та Євразійської тектонічних плит проходить через розлом у межах Іберійського півострова, а не, як прийнято по глибинному розломі.
7. Проведена диференціація підтверджується північно-південною орієнтацією максимальної осі стиску E_1 на території Європи, що можна пояснити дією доцентрових сил Південного блоку відносно полюса Ейлера та насуванням Африканської тектонічної плити на Євразійську.
8. Розроблена диференційна модель кінематики Європейського континенту краще узгоджується з результатами визначення векторів абсолютних швидкостей горизонтальних рухів за часовими серіями, ніж інші відомі моделі, що свідчить про необхідність їх уточнення з метою достовірного прогнозування координат перманентних ГНСС-станцій тощо.
9. Виконані дослідження дають можливість удосконалити наявні моделі горизонтальних рухів земної кори, необхідні для прогнозування та інтерполяції координат перманентних ГНСС-станцій та встановлення систем координат.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав

1. Vovk A. Differentiation of the rotational movements of the European continent's earth crust / K. Tretyak, A. Vovk. // Acta Geodynamica et Geomaterialia. – 2016. – Vol 13 №1(181). – P. 5–18.

2. Vovk A. Research on European crust's dynamics of horizontal movements and deformation based on GNSS observation data (2000-2010) [Електронний ресурс] / К. Третяк, А. Вовк // Proceedings XXIII international symposium on modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.researchgate.net/publication/294259408>.

Статті у наукових періодичних виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз:

3. Вовк А. Результати визначення горизонтальних деформацій земної кори Європи за даними ГНСС – спостережень та їх зв'язок з тектонічною будовою / К. Третяк, А. Вовк. // Геодинаміка. – 2014. – №1(16). – С. 21–33.

Статті у наукових фахових виданнях України

4. Вовк А. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними GNSS спостережень (2000 – 2010) / К. Третяк, А. Вовк. // Геодинаміка. – 2012. – №2(13). – С. 5–17.
5. Вовк А. Про міграцію екстремумів швидкостей дилатації земної кори на території Європи / К. Третяк, А. Вовк. // Геодинаміка. – 2013. – №2(15). – С. 19–21.
6. Вовк А. Аналіз горизонтальних рухів земної кори центральної Європи визначених за ГНСС – вимірами / А. Вовк. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – №II(30). – С. 28–31.

Монографія

7. Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій [Текст] : монографія / [К. Р. Третяк та ін.] ; за заг. ред. проф. К. Р. Третяка, проф. В. Ю. Максимчука, чл.-кор. НАН України Р. І. Кутаса ; НАН України, Нац. ун-т "Львів. політехніка", Карпат. від-ня Ін-ту геофізики ім. С. І. Субботіна. – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2015. – 418 с.

Тези доповідей та матеріали конференцій

8. Вовк А. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори за даними ГНСС спостережень (2000 – 2011) / К. Третяк, А. Вовк. // збірник статей XVII Міжнародного науково-технічного симпозиуму «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS- технології». – 2012. – С. 79–82.
9. Вовк А. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними GNSS спостережень (2000 – 2010) / А. Вовк. // збірник статей IV науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна – 2013». – 2013. – С. 144–146.
10. Вовк А. Дослідження взаємозв'язку між Деформацією земної кори і сейсмічною активністю Європи / К. Третяк, А. Вовк. // збірник статей XVIII Міжнародного науково-технічного симпозиуму «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS- технології». – 2013. – С. 318–322.

АНОТАЦІЯ

Вовк А.І. Просторово-часова диференціація горизонтальних рухів земної кори Європи за даними ГНСС-вимірів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

У дисертаційній роботі виконано дослідження горизонтальних рухів земної кори Європейської частини Євразійської літосферної плити з використанням методики опрацювання просторових ГНСС-мереж на території Європи. За результатами опрацювання даних спостережень перманентних ГНСС-станцій Європи, за період з 2000 до 2010 року, визначено абсолютні і регіональні складові векторів швидкості сучасних горизонтальних рухів земної кори. На основі змін поля регіональних швидкостей горизонтального руху Європейського континенту виділено шість умовних блоків земної кори зі своїми сталими кінематичними характеристиками, границі виділених умовних блоків збігаються з основними тектонічними розломами на території Європи. Проведено дослідження параметрів горизонтальної деформації земної кори на території Європи. Встановлено щорічні місця прояву екстремальних значень швидкостей дилатації земної кори на території Європи, що пов'язані з основними тектонічними зонами та місцями підвищеної сейсмічної активності. У роботі теоретично обґрунтовано та розроблено методику і алгоритм визначення динаміки ротаційних параметрів тектонічної плити за даними щорічних горизонтальних рухів земної кори, визначених з ГНСС-спостережень. Розроблену методику та алгоритм апробовано на прикладі території Європи. За розробленою методикою диференціації тектонічної плити за ротаційними параметрами, використовуючи дані щорічних (2000 – 2010) швидкостей горизонтальних рухів ГНСС-станцій, визначено зміни ротаційних параметрів території Європи та встановлено межі двох блоків, які мають відмінні ротаційні параметри.

Ключові слова: перманентна ГНСС-станція; горизонтальні рухи земної кори; деформація земної кори; кінематичні параметри; ротаційні параметри; полюс Ейлера; Європа; Євразійська плита.

АННОТАЦИЯ

Вовк А.И. Пространственно-временная дифференциация горизонтальных движений земной коры Европы по данным ГНСС-измерений. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – геодезия, фотограмметрия и картография. – Национальный университет «Львовська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

В диссертационной работе выполнено исследование горизонтальных движений земной коры Европейской части Евразийской литосферной плиты с использованием методики обработки пространственных ГНСС-сетей на территории Европы. По результатам обработки данных наблюдений перманентных ГНСС-станций Европы за период с 2000 по 2010 год, определены абсолютные и региональные составляющие векторов скорости современных горизонтальных движений земной коры. На основе изменений поля региональных скоростей горизонтального движения Европейского континента выделено шесть условных блоков земной коры

со своими постоянными кинематическими характеристиками, границы выделенных условных блоков совпадают с основными тектоническими разломами на территории Европы. Проведено исследование параметров горизонтальной деформации земной коры на территории Европы. Установлены ежегодные места проявления экстремальных значений скоростей дилатации земной коры на территории Европы, связанные с основными тектоническими зонами и местами повышенной сейсмической активности. В работе теоретически обоснована и разработана методика и алгоритм определения динамики ротационных параметров тектонической плиты по данным ежегодных горизонтальных движений земной коры, определенных с ГНСС-наблюдений. Разработанную методику и алгоритм апробировано на примере территории Европы. По разработанной методике дифференциации тектонической плиты по ротационным параметрам, используя данные ежегодных (2000 - 2010) скоростей горизонтальных движений ГНСС-станций, определены изменения ротационных параметров территории Европы и установлены границы двух блоков, которые имеют различные ротационные параметры.

Ключевые слова: перманентная ГНСС-станция; горизонтальные движения земной коры; деформация земной коры; кинематические параметры; ротационные параметры; полюс Эйлера; Европа; Евразийская плита.

ANNOTATION

Vovk A. Spatio-temporal differentiation of horizontal crust movements in Europe, according GNSS measurements. – On the rights of manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences by specialty 05.24.01 – geodesy, photogrammetry and cartography. – Lviv Polytechnic National University Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

The study of horizontal crustal movements of European Eurasian lithospheric plate was conducted in the dissertation using processing techniques of spatial GNSS networks in Europe.

For the territory of Europe, the absolute value of horizontal movement is within 25 - 30 mm per year, which provides the reliability of everyday network solutions of permanent GNSS stations. The speed of regional movement is within 2 - 3 mm per year and their reliability is based on the study of long term series according to the linear convergence of results.

On the basis of processing the results of permanent observations of GNSS stations in Europe there were pointed the six conditional blocks of the Earth's crust. The regional speeds of horizontal movements of the pointed conditional blocks are on average 2.5 mm per year and almost linear in nature. Comparing with the other studies the speeds of horizontal movements of the pointed conditional blocks indicate a certain convergence and their boundaries coincide with the major tectonic faults. However, the pointed conditional blocks encompass the other tectonic structures. The reason for a such difference lies on the using of regional annual velocities research of horizontal movements but not their averaged values for the different period being obtained from the results of GNSS observations with different duration.

The detailed analysis of the time series of permanent GNSS stations in Carpathian-

Balkan region (1990 - 2010) made possible the conduction of space division of the territory into four blocks. The kinematics is confirmed by the block structure of the region and the rotation of tectonic blocs of the Carpathian arc. The pointed blocks with the constant kinematic characteristics of the Carpathian-Balkan region have common borders with the conditional blocks being allocated in accordance with the regional velocities of Europe and also encompass the same tectonic structure.

In accordance with the annual velocity of horizontal movements of permanent GNSS stations there were defined the appearance places of the extreme deformation parameters of the Earth crust in Europe of every year researches (2000 - 2010), which are coincided with the places of high seismic activity in Europe and the major tectonic zones. The maximum value of axis deformation of the European crust E_1 , being oriented from the North to the South, reflects the contraction of the Mediterranean zone, Iberian Plate, Dinarides, Pyrenees and Vrancea zone.

Due to the help of developed technique for the differentiation of tectonic plates with rotational parameters, using annual data (2000 – 2010) of the absolute speeds of horizontal movements of the GNSS permanent stations, there were defined the changes of rotation parameters of the European area and the boundaries of the two blocks, which have different rotary settings.

The movement of these blocks with the different angular speed is displayed on the Mid-Atlantic Paleotectonic Maps and their boundaries are coincided with the dedicated ones on the European continent tectonic structures that proves the research of other authors. According to the studies The North-West Board of the African and Eurasian tectonic plates is passing through the fault within the Iberian Peninsula borders but not through the deep-seated fault.

The conducted differentiation is confirmed by the North-South orientation of the maximum compression axis E_1 in Europe that can be attributed to the action of the centripetal forces of the southern block relative to the Euler pole and shoving closer of the African tectonic plate into the Eurasian one.

The developed differential model of the kinematics of the European continent is agreed better with the results of vectors determination of the absolute velocities of horizontal movements by time series than other famous models. It indicates the need for their verification to ensure a reliable prediction of coordinates of permanent GNSS stations etc.

The conducted studies make it possible to improve existing models of horizontal earth crust movements needed for the prediction and interpolation of the coordinates of permanent GNSS stations and the establishment of coordinate systems.

Keywords: permanent GNSS-station; horizontal crustal movements; the crust deformation; kinematic parameters; rotation parameters; Euler Pole; Europe; the Eurasian plate.