

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет «Львівська політехніка»

Романюк Володимир Васильович



УДК 528.481+551.242.12+550.343.6

**ГЕОДИНАМІЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ  
КОРИ ЄВРОПИ, ВИЗНАЧЕНИХ ЗА ДАНИМИ ГНСС-ВИМІРІВ**

05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів – 2015

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 фізико-математичних наук  
**Вербицький Сергій Тарасович**,  
завідувач відділу сейсмічності Карпатського регіону  
Інститут геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, м. Львів

Захист дисертації відбудеться «29» грудня 2015р. о 11 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 II навч. корп.

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

Автореферат розісланий «27» листопада 2015р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



к.т.н., доцент Паляниця Б. Б.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В минулому столітті для дослідження швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори (ШСВРЗК) використовували геометричне нівелювання. Результати вимірів геометричного нівелювання мали ряд недоліків: не були безперервними, проводились на певні епохи, тривали протягом декількох років, обмежувались певною територією, давали тільки загальну інформацію про рухи земної кори. Окрім цього, використовувались мареографічні спостереження, які надавали інформацію про рух земної кори тільки на берегових лініях. Недоліком цих спостережень є також той факт, що вони обтяжені впливом океанічної складової, яка не зв'язана з вертикальними рухами земної кори.

На сучасному етапі для вивчення ШСВРЗК великий інтерес представляє ГНСС-технології. Застосування ГНСС стало загальноприйнятою практикою при визначенні довготривалих (від року і більше) рухів і деформацій земної кори в глобальному і регіональному масштабах. На відміну від класичних методів геодезії, ГНСС мають низку очевидних переваг: безперервний моніторинг, висока оперативність вимірів, простота і високий ступінь автоматизації виконання вимірювань.

Однак, вектор швидкості, визначений з геометричного нівелювання або мареографічних спостережень, збігається з прямовисною лінією і є віднесений до поверхні геоїда або квазігеоїда. Вертикальні швидкості, визначені з ГНСС-вимірів, збігаються з нормальною лінією і визначаються відносно поверхні референц-еліпсоїда. Непаралельність прямовисної лінії і нормалі на поверхні Землі є незначною і не впливає на різницю векторів зміщень, визначених відносно рівневої поверхні або референц-еліпсоїда. Зміщення точки відносно референц-еліпсоїда  $\delta r$  і її зміщення відносно рівневої поверхні  $\delta H$  пов'язані між собою виразом:  $\delta r = \delta H + \delta N$ , де  $\delta N$  - зміна висоти рівневої поверхні над поверхнею еліпсоїда. Відомо, що зміна  $\delta N$ , практично для всіх регіонів земної кулі, на 1 – 2 порядки менша від величини  $\delta H$ , в зв'язку з цим її величиною можна знехтувати. Відповідно швидкості, визначені відносно рівневої поверхні  $\delta H$ , і швидкості, визначені з ГНСС-спостережень відносно референц еліпсоїда  $\delta r$ , будуть практично однакові. Розбіжності, які виникають між цими величинами, є більшою мірою пов'язані з похибками методів вимірювання геометричного нівелювання, мареографічних спостережень, ГНСС- вимірів.

Одним із сегментів ГНСС-технологій є проведення високочастотних вимірів в різних сейсмічних зонах. У зв'язку з цим з'явився новий напрям – ГНСС-сейсмологія. Він вивчає зв'язок просторових рухів земної кори з сейсмічною активністю. Основними напрямками ГНСС-сейсмології є прогнозування місця і часу виникнення сейсмічної події. Незважаючи на певні успіхи, ГНСС-сейсмологія залишається однією зі складових прогнозу сейсмічної активності. Основними методами при прогнозуванні землетрусів залишаються геофізичні методи.

Можливий ще один напрям ГНСС-сейсмології – прогноз загальної сейсмічності. Існують періоди, коли в певних регіонах та на цілих континентах спостерігається періодична сейсмічна активність. Поставленим в даній роботі завданням є не прогнозування конкретної сейсмічної події, а знаходження

взаємозв'язку між полем ШСВРЗК та сейсмічною активністю в цілому і навпаки, між сейсмічною активністю і полем ШСВРЗК. Такий взаємозв'язок може слугувати передвісником узагальненої сейсмічної активності, що дозволить прогнозувати з певною імовірністю сейсмічні події. Актуальним є також просторово-часове вивчення самого факту взаємодії між полем ШСВРЗК та загальною сейсмічною активністю, що має, очевидно, взаємозв'язок з сучасною тектонічною будовою і сучасною геодинамікою.

Наукова новизна та економічна складова вивчення та прогнозування сейсмічної активності підтверджує актуальність дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Науково-дослідні роботи автора збігаються з науковим напрямком кафедри вищої геодезії і астрономії «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань» та науковою тематикою робіт галузевої науково-дослідної лабораторії «Геодезичного моніторингу та рефрактометрії» (ГНДЛ-18) Інституту геодезії Національного університету «Львівська політехніка». Автор брав участь у науково-дослідних роботах, прикладних дослідженнях і розробках Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (2012-2013 рр.) – ДБ GPS: Дослідження за перманентними ГНСС-вимірами взаємозв'язків геодинамічних і сейсмічних процесів у Південно-східній Європі (№ Держреєстрації 0112U001207). Виконані дослідження збігаються з науковим напрямком «Науки про Землю і навколишнє середовище» Державного фонду фундаментальних досліджень (ДФФД). За цим напрямком автор брав участь у спільному проєкті фундаментальних досліджень "ДФФД - РФФД - 2013" – № Ф53.6/053: 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 встановлення критеріїв узагальненої сейсмічності та поля ШСВРЗК, районування Європейського континенту на підставі динаміки поля ШСВРЗК та встановлення взаємозв'язку між узагальненими параметрами поля ШСВРЗК і сейсмічною активністю з метою її прогнозування. В рамках дисертаційної роботи поставлені та розв'язані такі основні задачі:

1. Дослідження динаміки поля швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори Європи за даними багаторічних ГНСС-вимірів.
2. Проведення районування території Європи за однорідними динамічними характеристиками та аналіз їх взаємозв'язку з тектонічною будовою континенту на основі динаміки поля швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори.
3. Розроблення узагальнених критеріїв поля ШСВРЗК.
4. Дослідження просторово-часових взаємозв'язків між величинами узагальнених критеріїв поля ШСВРЗК та сейсмічності на території Європи.

5. Моделювання та прогноз сейсмічної активності за даними ГНСС-спостережень і навпаки - прогнозування ШСВРЗК на основі результатів сейсмічних спостережень.

**Об'єктом дослідження** є вертикальні рухи та сейсмічна активність земної кори Європейського континенту на період 2000 — 2011рр.

**Предметом досліджень** є математичні моделі взаємозв'язку між узагальненими параметрами поля ШСВРЗК і узагальненою сейсмічністю Європейського континенту.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

- На основі дослідження динаміки поля ШСВРЗК на території Центральної Європи виділено три умовні блоки з різними однорідними кінематичними характеристиками. Межі цих блоків збігаються з основними тектонічними структурами цього регіону. Між ними встановлено три- та дворічна циклічність усереднених взаємних зміщень.
- Введено поняття “інтегрального показника швидкості висотного зміщення території” з метою узагальнення поля ШСВРЗК та пошуку взаємозв'язків між ними та загальною сейсмічністю.
- Розроблено методику, на основі якої досліджено кореляційний зв'язок між параметрами еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів та інтегральним показником швидкості висотного зміщення території.
- Виконано просторово-часовий розподіл взаємозв'язків між узагальненими параметрами поля ШСВРЗК і малою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів, яка відповідає за фонову сейсмічну активність Європейського континенту. Території з високим ступенем кореляції між цими параметрами охоплюють зони з підвищеною сейсмічною активністю.
- Для територій з високим ступенем кореляції виявлено пряму і обернену математичні залежності між значенням малої півосі еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів та інтегральним показником швидкості висотного зміщення території, які дозволяють прогнозувати зміни цих параметрів.
- Доведено, що наявність сильних за магнітудою землетрусів призводить до аномальних рухів земної кори, які понижують кореляційний зв'язок між узагальненими параметрами вертикальних зміщень земної кори та сейсмічною активністю.

**Практичне значення одержаних результатів.** Виявлено тісний функціональний зв'язок між двома параметрами різної фізичної природи: сейсмічною активністю та вертикальними зміщеннями земної кори на території Європи, що дозволить прогнозувати зміну узагальненої сейсмічної активності. Отримані результати можуть бути використані спеціалістами, які займаються тектонічним районуванням Європи, сейсмологами для прогнозування сейсмічної активності.

Виконане дослідження має вагоме значення при подальших геодинамічних дослідженнях даного регіону та при проектуванні великих інженерних споруд,

гребель, атомних електростанцій та інших промислових і екологічно небезпечних об'єктів.

**Основні положення, що виносяться на захист.**

- Результати районування за однорідними кінематичними характеристиками території Європи на основі динаміки поля ШСВРЗК та їх взаємозв'язок з глибинною будовою Європейського континенту.
- Розроблений узагальнений критерій поля ШСВРЗК.
- Просторово-часовий взаємозв'язок між узагальненим критерієм поля ШСВРЗК і узагальненою сейсмічністю.
- Математичну модель прогнозування сейсмічної активності на території Європейського континенту.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи, отримані автором, опубліковані у співавторстві у працях [1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 6]. В опублікованих працях [4, 10] автору належить збір та аналіз результатів спостережень перманентних станцій Центральної Європи, в працях [2, 8, 9] – опрацювання результатів вимірів перманентних станцій, визначення швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори, вивчення геодинамічних процесів. У роботах [1, 3, 5, 7, 6] розроблено методика, на основі якої досліджено кореляційний зв'язок між вертикальними зміщеннями земної кори та фоновою сейсмічністю Європейського континенту.

**Апробація результатів роботи.** Основні теоретичні та експериментальні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на:

1. IV науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна — 2013» (Дніпропетровськ, 2013р.).
2. XIX Міжнародній науково-технічній конференції «Геофорум-2013» (Львів-Яворів, 2013, 2014 рр.).
3. IV International Geodetic Conference «WSIE» (Польща, Поланчик, 2013р.).
4. XVIII Міжнародному науково-технічному симпозиумі “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: ГНСС і GIS-технології” (Алушта, 2013р.).
5. V Міжнародній науковій конференції «Геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища» (Львів, 2013р.).
6. XXIII international symposium on «Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields» (Болгарія, Софія, 2013).

**Публікації.** Результати досліджень за темою дисертаційної роботи містяться у 10 публікаціях, з них 2 статті у фахових виданнях України [4, 5] та 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав [1, 2], 1 стаття у виданні України [3], яке входить до міжнародних наукометричних баз, 1 монографія [6] та 4 статті у збірниках матеріалів конференцій [7, 8, 9, 10].

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел (204 найменування). Загальний обсяг дисертації становить 170 сторінок, ілюстрації складають 55 рисунків, 24 таблиці та 1 додатку.

## 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 геодинамічних процесів на території Європи та методи їх вивчення»** проаналізовано методи дослідження вертикальних рухів земної кори.

Вертикальні рухи земної кори – це механічне переміщення точок земної кори, викликане літосферними силами, що призводять до її деформації.

Якщо вертикальні рухи проявляються в одній точці, такі рухи можна вважати рухом земної поверхні; коли ця тенденція є спільна для точок, які охоплюють значну земну поверхню, то таке явище називається вертикальними рухами земної кори.

Встановлено, що дослідження поля ШСВРЗК виконувалось на підставі усереднених значень швидкостей за певний період часу і віднесених на певну епоху. На основі спостережень було встановлено, що середньорічна абсолютна ШСВРЗК Європи становить 3 мм/рік.

Важливим є дослідження динамічних характеристик поля ШСВРЗК на підставі швидкостей, визначених з ГНСС-вимірів, що, очевидно, дозволить провести районування території.

В цьому розділі доведено актуальність дослідження сейсмічності з використанням ГНСС-технологій. Одним із шляхів прогнозу узагальненої сейсмічної активності є встановлення взаємозв'язку між узагальненими параметрами швидкостей вертикальних рухів земної кори та сейсмічною активністю.

Питанням дослідження сучасних вертикальних рухів земної кори та їх зв'язку із сейсмічністю присвячена значна кількість наукових праць вітчизняних і зарубіжних авторів, вагомий внесок для вирішення цього питання зробили такі відомі вчені, як Третяк К.Р., Заблоцький Ф. Д., Марченко О. М., Максимчук В. Ю., Палієнко В. П., Полівцев А. В., Юркевич О. І., Кузнецова В. Г., Смірнова О. М., Серант О. М., Капоралі А., Лідбер М., Алтамімі З., Захаров В. С., Красносьоров Р. І., Гусєва Т. В., Галаганов О. Н., Певнев А. К., Прилепін М. Т., Поутен М., Міллев Г., Бірд П., Крімер К.

У другому розділі дисертаційної роботи **«Дослідження сучасних вертикальних рухів земної кори та районування території Європейського континенту за результатами вимірів перманентних ГНСС-станцій»** було поставлене і вирішене завдання визначення аномалій вертикальних рухів земної кори Європи та виділення блоків зі сталими кінематичними характеристиками. Для цього було: 1) опрацьовано ряд спостережень перманентних ГНСС-станцій; 2) визначено щорічні ШСВРЗК; 3) побудовано карти цих швидкостей і зроблено їх аналіз; 4) виділено три блоки з однорідними кінематичними характеристиками.

Першим етапом роботи був відбір перманентних ГНСС-станцій, розміщених на території Європи. Було опрацьовано базу даних з майже 300 перманентних ГНСС-

станцій. За вихідні дані при дослідженні геодинаміки Європейського континенту були використані результати опрацювання перманентних ГНСС-станцій, представлені на веб-сторінці SOPAC (Scripps orbit and permanent array center) та на веб-сторінці NGL (Nevada Geodetic Laboratory) за 2000-2011 рр.

На другому етапі було відібрано часові серії безперервних спостережень визначених висот за вказаний період. Вибрані 196 перманентних ГНСС-станцій практично рівномірно покривають територію Європи (рис. 1).



**SOFI** - назва перманентної станції ▲ - розташування перманентної станції  
**MIKL** - назва перманентних станцій з максимальними значеннями

Рис. 1 Розташування перманентних ГНСС-станцій Європи у 2000-му році.

Для відібраних перманентних ГНСС-станцій обчислено середньорічні значення швидкостей вертикальних рухів земної кори та середні квадратичні похибки їх визначення. Ці швидкості визначалися в системі координат ITRF-2008; в подальшому будемо називати їх абсолютними. Максимальна додатна середньорічна швидкість вертикального руху зафіксована на станції SKE0 (Швеція) у 2007 р., що становить 26,5 мм/рік. Максимальна від'ємна швидкість зафіксована на станції MIKL (Україна) у 2002 р., і вона становить -24,2 мм/рік. Від'ємні значення швидкостей відповідають опусканню, а додатні – підніманню перманентної ГНСС-станції. Розташування станцій з максимальними додатними та від'ємними середньорічними швидкостями вертикального руху показано на (рис. 1). Середні квадратичні похибки щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів є в межах до  $\pm 3$  мм/рік.

Для узагальнення результатів дослідження в таблиці 1 представлені екстримальні річні швидкості вертикальних рухів перманентних ГНСС-станцій.



**Середні щорічні абсолютні швидкості вертикальних рухів перманентних  
ГНСС-станцій на території Європи в системі координат ITRF-2008, (мм/рік),  
(2000-2011рр.)**

Роки	$-V^{abc}$	$+V^{abc}$	$-V_{сеп}^{abc}$	$+V_{сеп}^{abc}$	$V_{сеп}^{abc}$
1	2	3	4	5	6
2000	-11,5	20,5	-4,1	7,9	3,9
2001	-9,8	16,4	-3,4	4,8	0,5
2002	-24,2	16,4	-5,6	4,5	-2,1
2003	-18,8	20,4	-3,5	6,0	4,5
2004	-12,2	21,0	-3,1	6,1	5,5
2005	-23,8	18,4	-4,0	5,8	2,3
2006	-22,6	19,5	-4,3	8,2	7,4
2007	-20,6	26,5	-3,9	5,3	-0,7
2008	-15,2	16,5	-3,2	5,8	3,5
2009	-6,8	18,5	-2,3	6,8	5,6
2010	-16,3	24,6	-3,6	5,2	3,7
2011	-21,6	18,7	-4,8	5,0	1,9

Встановлено, що максимальна сумарна амплітуда (між максимальними значеннями підняття й опускання) абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори становить у 2007 р. — 47,1 мм/рік (від -20,6 до +26,5), а мінімальна у 2009 р. — 25,4 мм/рік (від -6,8 до +18,5).

На підставі проведених розрахунків було складено картосхеми розподілу щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів на території Європи. Приклад такої картосхеми для 2007 року наведений на рисунку 2.

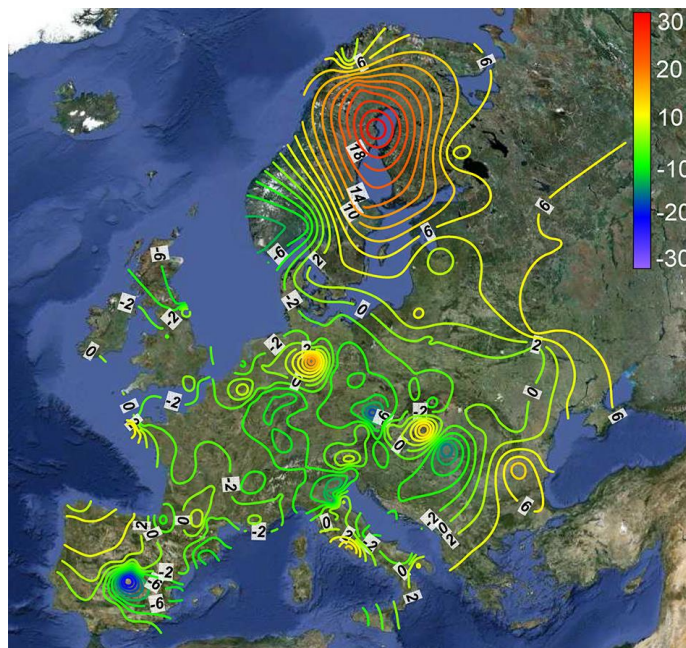


Рис 2. Картосхеми розподілу щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори за даними перманентних ГНСС-станцій (мм/рік)

Проаналізувавши ці картосхеми та порівнявши їх із вже існуючими картами, можна зробити певні висновки. Так для території Фенноскандії характерним є постійний підйом земної кори протягом всього досліджуваного періоду. Залежно від регіону та періоду швидкість підняття коливається від 1 до 20 мм/рік. Для території України, Румунії та Болгарії характерним є підйом із швидкістю 2 –16 мм/рік. На території Центральної та Західної Європи напрям вертикальних рухів земної кори кожного року змінюється в межах від -15 до +15мм/рік.

Щоб встановити річні регіональні швидкості вертикальних рухів, від абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори необхідно відняти середнє значення абсолютних вертикальних швидкостей перманентних ГНСС-станцій:

$$V_i^{\text{per}} = V_i^{\text{abc}} - V_{\text{сеп}}^{\text{abc}}, i = 1..n. \quad (1)$$

Регіональні вертикальні швидкості деформацій земної кори дозволяють показати відмінності між проявами вертикальних рухів на окремих територіях. Вони більш деталізують розподіл вертикальних рухів на певних територіях. Тому для того, щоб виявити регіональні особливості деформації земної кори, наступним кроком було редукування абсолютних швидкостей вертикальних рухів до регіональних.

На підставі обчислення середніх щорічних регіональних швидкостей вертикальних рухів перманентних ГНСС-станцій на території Європи були складені картосхеми для кожного року.

Проведені дослідження підкреслюють коливальний характер ШСВРЗК протягом досліджуваного періоду. З року в рік на більшості територій напрямок і швидкість вертикальних рухів окремих регіонів змінюються в протилежному напрямку та спостерігаються території з відносно стабільними напрямками та швидкостями руху земної кори. Так на території Фенноскандії проявляється постійний підйом всієї території, а для території Центральної Європи характерним є зміна напрямку і швидкості вертикального руху земної кори.

На території Центральної Європи розташовано 20 перманентних ГНСС-станцій (рис.3) з безперервним періодом роботи з 1998 по 2011 рр.

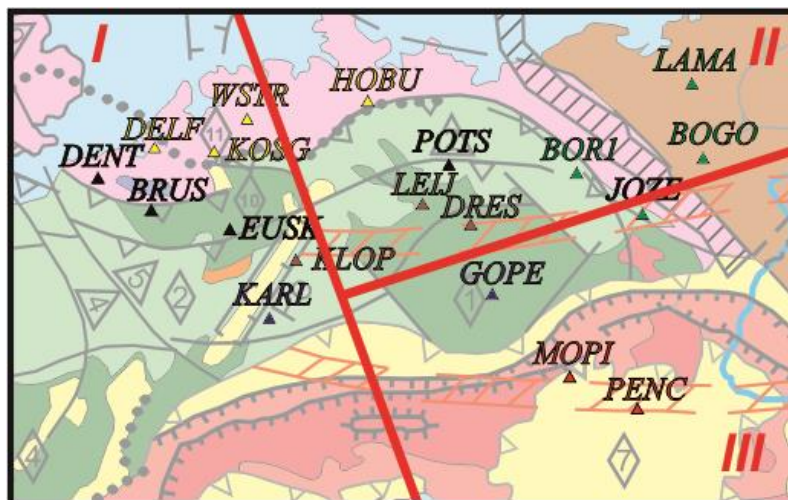


Рис. 3 Результати районування території Центральної Європи за кінематичними характеристиками, визначеними з даних ГНСС-спостережень

Для вказаних перманентних станцій обчислено щорічні значення регіональних швидкостей вертикальних рухів земної кори та середні квадратичні похибки ( $\pm 2$  мм/рік) їх визначення за період з 1998 по 2011 рр.

На підставі встановлених річних регіональних ШСВРЗК складено картосхеми їх розподілу на території Центральної Європи.

Проаналізувавши щорічні зміни полів ШСВРЗК території Центральної Європи в часі, виділили три умовні блоки з різними кінематичними характеристиками (рис. 3).

З метою проведення районування території за однорідними кінематичними характеристиками було введено поняття середньої інтегральної швидкості вертикальних рухів земної кори, яка визначається за виразом:

$$V_i^{\text{інт}} = \frac{\iint V(B, L) \cdot db \cdot dL}{S_i}, \quad (2)$$

де  $V(B, L)$  – функція зміни ШСВРЗК за широтою та довготою;  $S_i$  – площа земної кори  $i$ -го блоку.

Для кожного з виділених блоків на кожен рік спостережень за виразом (2) було обчислене значення середньої інтегральної швидкості вертикальних рухів земної кори. Крім того, було визначено щорічні різниці інтегральних середніх швидкостей між виділеними блоками:  $\Delta V_{I-II}^{\text{інт}}$ ,  $\Delta V_{II-III}^{\text{інт}}$ ,  $\Delta V_{I-III}^{\text{інт}}$ , які обчислювалися за виразами:

$$\begin{aligned} \Delta V_{I-II}^{\text{інт}} &= V_I^{\text{інт}} - V_{II}^{\text{інт}}, \\ \Delta V_{II-III}^{\text{інт}} &= V_{II}^{\text{інт}} - V_{III}^{\text{інт}}, \\ \Delta V_{I-III}^{\text{інт}} &= V_I^{\text{інт}} - V_{III}^{\text{інт}}. \end{aligned} \quad (3)$$

За цими даними побудовано графіки зміни різниці щорічних середніх інтегральних швидкостей вертикальних рухів земної кори сусідніх блоків (рис. 4).

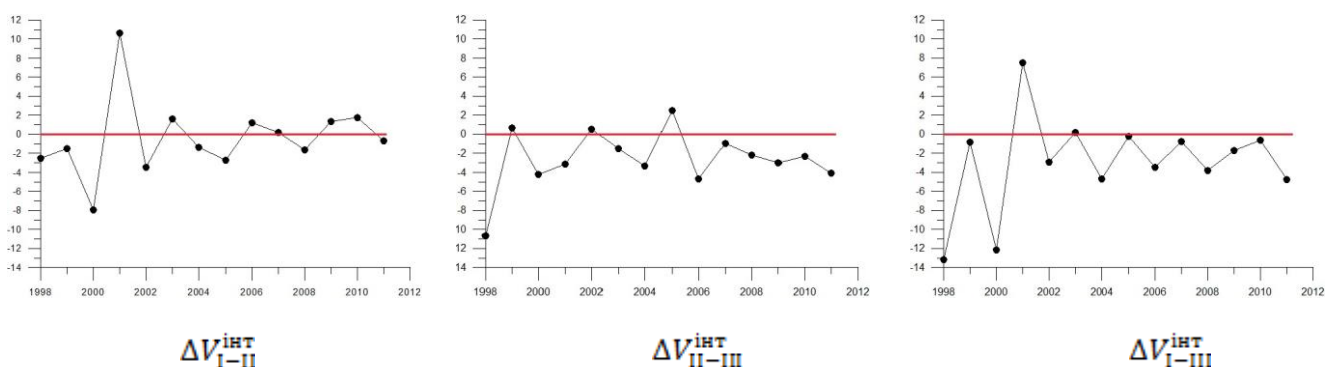


Рис. 4 Зміна різниць інтегральних швидкостей виділених блоків земної кори I, II, III

З рисунку 4 видно, що взаємна кінематика вертикальних зміщень сусідніх блоків має певну закономірність. Між першим та другим блоком спостерігається трирічна закономірність з 2002-го по 2011-й роки. Першого року перший блок

піднімається відносно другого, другого вони взаємно нерухомі, а третього року перший блок опускається відносно другого. Циклічний рух першого і третього блоків з 2000 р. має дворічний період. У перший рік перший блок відносно третього опускається, а в наступному – вони відносно нерухомі. У взаємних вертикальних рухах першого і другого блоків така чітка залежність не спостерігається, хоча вони упродовж усього періоду спостережень перебувають у відносній рівновазі.

Виділені блоки з однорідними кінематичними характеристиками ШСВРЗК збігаються з границями та глибинною будовою головних тектонічних структур Європейського континенту.

Ці тенденції необхідно враховувати для прогнозування зміни висотного положення геодезичної основи і створення моделі вертикальних рухів земної кори Європи.

У третьому розділі дисертаційної роботи «Дослідження взаємозв'язку між сейсмічною активністю і сучасними вертикальними рухами земної кори Європи, які отримані за результатами опрацювання ГНСС-вимірів регіональних перманентних ГНСС-станцій» проаналізовано прояв кореляційних зв'язків між сейсмічною активністю та полем швидкостей сучасних вертикальних рухів земної кори на території Європи.

Вихідними даними є результати опрацювання вимірів перманентних ГНСС-станцій Європейського континенту. До уваги бралися визначені ШСВРЗК зміщення перманентних ГНСС-станцій за період з 2000 по 2011 рр. (рис. 1). За цей період створено базу даних про сейсмічну активність на території Європи. Для кожного землетрусу занесено координати епіцентру, магнітуду, глибину та час його прояву.

Мережі перманентних ГНСС-станцій на кожний рік вимірювань були поділені триангуляцією Делоне на мережу трикутників. У вершині кожного трикутника знаходилась перманентна ГНСС-станція. Оскільки з кожним роком кількість перманентних ГНСС-станцій збільшується, відповідно згущується мережа трикутників.

Для кожного трикутника виділено землетруси, епіцентри яких знаходяться в його межах. На досліджуваній території за період з 2000 по 2011 роки були зафіксовані землетруси з максимальною бальністю рівною 7. Землетруси з магнітудою меншою ніж 1 бал в дослідженні не використовувались.

Щоб узагальнити вертикальні швидкості території, охопленої окремим трикутником, в вершинах якого розташовані перманентні станції, ми ввели поняття “інтегрального показника швидкості висотного зміщення території”. Інтегральний показник швидкості висотного зміщення території, обмеженої трикутником, визначаємо за таким виразом:

$$\delta V_{int} = S \frac{\sum |V_i|}{3}, \quad (4)$$

де  $S$  – площа трикутника;  $|V_i|$  – абсолютна швидкість зміщення перманентної ГНСС-станції  $i$  - тої вершини трикутника.

Для кожного трикутника, утвореного тріангуляцією Делоне, на кожний рік спостережень було розраховано інтегральний показник швидкості висотного зміщення території.

Оскільки вся територія покрита мережею трикутників, у вершинах яких є перманентні станції, то сумарний об'єм швидкості висотного зміщення земної кори, визначений за виразом (5), буде результатом чисельного інтегрування всієї території за трьома змінними  $(x, y, h)$ . Фізично це є абсолютна змінна поверхневого об'єму території, яка виникає внаслідок вертикальних рухів земної кори. Для аналітичного обчислення цього об'єму можна застосувати вираз:

$$\delta V_{\text{шв}} = \int_c^d dy \int_{\varphi_1(y)}^{\varphi_2(y)} dx \int_{h_1(x,y)}^{h_2(x,y)} |f(x, y, h)| dh. \quad (5)$$

Для інтерпретації даного виразу на рис. 5а представимо обмежену територію в вигляді двох функцій  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$ , які сходяться в точках  $c$  і  $d$ . Оскільки вертикальні рухи земної кори можуть бути як додатними, так і від'ємними, то інтегральний показник швидкості висотного зміщення території представляє собою абсолютну зміну поверхневого об'єму обмеженої території (див. рис. 5б).

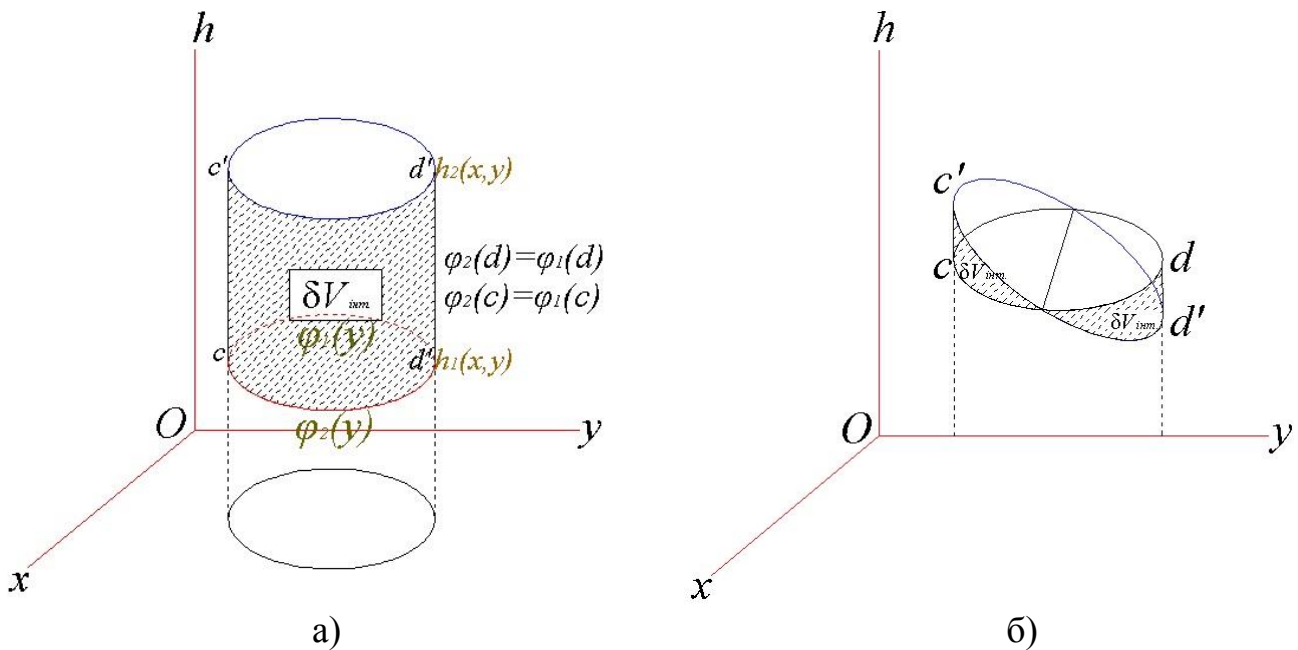
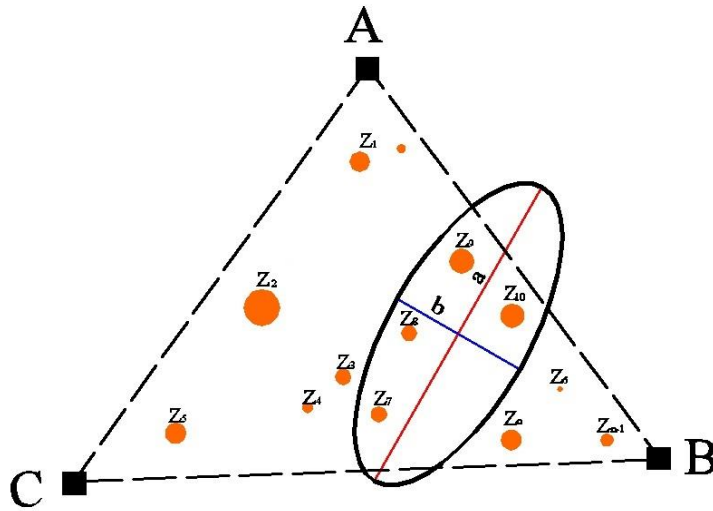


Рис. 5 Геометрична інтерпретація інтегрального показника швидкості висотного зміщення території

Для узагальнення сейсмічної активності в роботі використано поняття еліпса розсіювань епіцентрів землетрусів на обмеженій території. Для його інтерпретації показано окремих трикутник (рис. 6), у вершинах якого є перманентні ГНСС-станції А, В, С. В межах цього трикутника розташовані епіцентри землетрусів різної магнітуди.



$a$  - велика піввісь еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів  
 $b$  - мала піввісь еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів

Рис 6. Трикутник мережі ABC, у якому відбулися землетруси  $Z_1 \dots Z_n$

Велика і мала півосі еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів ( $a$  та  $b$ ) є власними числами кореляційної матриці  $Q$ :

$$Q = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}, \quad (6)$$

де:

$$a_{11} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - x_{cep})^2 \cdot M_i]}{\sum_{i=1}^n M_i}}, \quad a_{22} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(y_i - y_{cep})^2 \cdot M_i]}{\sum_{i=1}^n M_i}}, \quad a_{12} = a_{21} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - x_{cep})(y_i - y_{cep}) \cdot M_i]}{\sum_{i=1}^n M_i}}, \quad (7)$$

а

$$x_{cep} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad y_{cep} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (8)$$

де  $x_i, y_i$  – координати епіцентрів землетрусів, розташованих в межах виділеного трикутника,  $n$  – кількість зафіксованих землетрусів за певний період часу;  $M_i$  – магнітуда землетрусу.

Азимут великої півосі  $a$  визначається за виразом:

$$\theta = \left. \begin{cases} \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{2a_{12}}{a_{11}^2 - a_{22}^2} \right) \text{ де } : a_{11} > a_{22} \\ \frac{1}{2} \arctg \left( \frac{2a_{12}}{a_{11}^2 - a_{22}^2} \right) + 90^\circ \text{ де } : a_{11} < a_{22} \end{cases} \right\} \quad (9)$$

Велика піввісь еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів узагальнює, в основному, сильні за магнітудою землетруси, а мала піввісь – відповідно слабші землетруси, які складають сейсмічний фон досліджуваної території.

З метою встановлення кореляційних зв'язків між узагальненими параметрами вертикальних рухів земної кори та сейсмічності було проведено кореляційний аналіз

між малою і великою півсями еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів усіх трикутників, визначених триангуляцією Делоне, для кожного року спостережень та інтегральним показником швидкості висотного зміщення території.

Першим проводився аналіз на наявність кореляційних зв'язків між малою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів, яка відповідає фоновій сейсмічності ( $b$ ), та величиною інтегрального показника швидкості висотного зміщення території ( $|\delta V_{imm}|$ ). Із утвореного масиву річних даних малої півосі еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів та інтегрального показника швидкості висотного зміщення території було визначено два трикутники, яким відповідає максимальна кореляція між узагальненими параметрами деформацій  $b$  та  $|\delta V_{imm}|$ .

Далі ітераційним процесом послідовно нарощується ряд відібраних трикутників за критерієм максимуму коефіцієнта кореляції між малою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів та інтегральним показником швидкості висотного зміщення території.

На рисунку 7 представлений приклад зміни коефіцієнта кореляції залежно від зростання відібраної кількості трикутників для 2007 року за встановленим критерієм максимуму коефіцієнта кореляції. Зрозуміло, що зі зростанням кількості відібраних трикутників, значення коефіцієнта кореляції спадає. Однак ця крива характеризується на початку повільним, а в подальшому більш різким зменшенням коефіцієнта кореляції. Очевидно, це свідчить про те, що першочергово відібрані трикутники мають тісний кореляційний зв'язок між  $b$  та  $|\delta V_{imm}|$ , і це характеризується повільним зменшенням коефіцієнта кореляції. В подальшому з початком різкого спадання коефіцієнта кореляції до цієї сукупності починають залучатися трикутники, для яких відсутня або майже відсутня залежність між вертикальними зміщеннями і фоновією сейсмічною активністю. Аналогічно тенденція зміни коефіцієнта кореляції з нарощуванням кількості відібраних трикутників характерна для всіх років спостережень (з 2000 по 2011 роки).

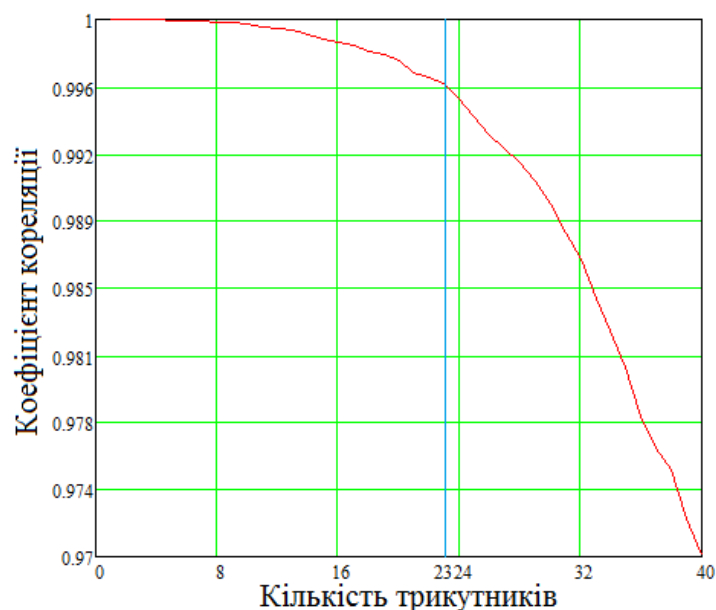


Рис 7. Крива зменшення коефіцієнта кореляції у впорядкованому ряді трикутників між  $b$  та  $|\delta V_{imm}|$ , на 2007р.

За результатами проведених досліджень складено картосхеми, на яких представлено сукупність відібраних трикутників, для яких кореляційний зв'язок між  $(b)$  і  $|\delta V_{iim}|$  становить більше 0,95. Як приклад на рисунку 8а представлена картосхема за результатами вимірів 2007 року. Ці території збігаються із зонами підвищеної сейсмічної активності. Аналізуючи ці картосхеми, видно, що висока кореляція між параметрами  $b$  та  $|\delta V_{iim}|$  спостерігається у Піренейській, Альпійській, Апеннінській, Динарській та Карпатській гірських системах.

Отже, візуально можна стверджувати, що для певних територій існує тісний функціональний зв'язок між двома параметрами різної фізичної природи: фоновою сейсмічною активністю та ШСВРЗК.

На основі аналізу щорічних картосхем за період 2000 по 2011 роки з використанням ґридів встановлено території, на яких майже щорічно проявляється кореляційний зв'язок між  $b$  і  $|\delta V_{iim}|$  (рис.8б). На цьому рисунку синім кольором виділені території, на яких кореляційний зв'язок між  $b$  і  $|\delta V_{iim}|$  проявляється від 5 до 11 років.

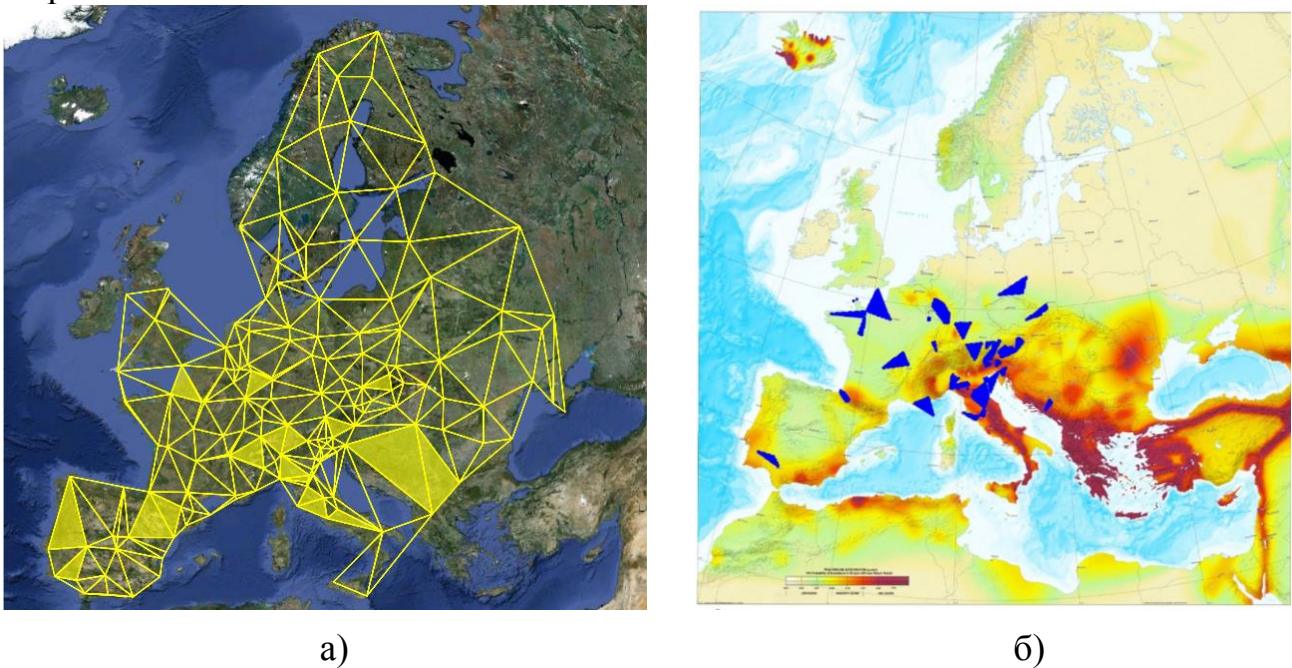


Рис 8. Картосхеми територій, охоплених високим ступенем кореляції між  $b$  і  $|\delta V_{iim}|$   
 а) за даними спостережень 2007 року  
 б) за даними спостережень усього досліджуваного періоду

З рисунку 8б видно, що зони з тісним кореляційним зв'язком між  $b$  і  $|\delta V_{iim}|$  збігаються з зонами інтенсивної сейсмічної активності. Однак на Європейському континенті є значна частина територій з інтенсивною сейсмічною активністю, для яких цей кореляційний зв'язок не характерний.

За результатами вимірів з 2000 до 2011 року ШСВРЗК та сейсмічності для виділених сейсмічно активних зон Європейського континенту та розв'язком відповідної системи рівнянь встановлено математичну залежність взаємозв'язку параметрів  $(b)$  та  $|\delta V_{iim}|$ :

$$\ln(b) = \ln(|\delta V_{iim}|) + (3,76 \pm 0,24). \quad (10)$$



Даний вираз дозволяє визначити за довготривалий період спостережень значення малої півосі еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів при відомому показнику швидкості висотного зміщення території.

Нами проведено статистичний аналіз розподілу землетрусів за період спостережень для виділених територій, а також для решти територій Європи з підвищеною сейсмічною активністю. Для прикладу на рисунку 9 представлено 6 сейсмічно активних зон, перші три з яких(1-3) мають кореляційний зв'язок, а наступні три (4-6) не мають кореляційного зв'язку між цими параметрами.

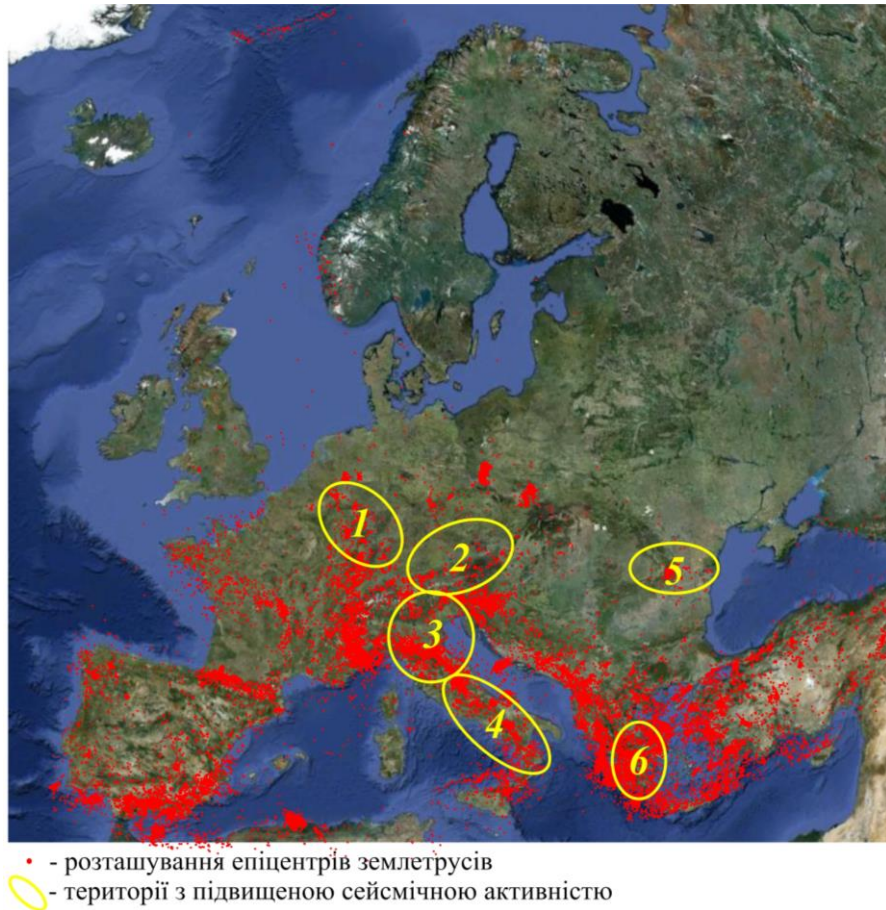


Рис. 9 Карта сейсмічності території Європи з досліджуваними зонами

За даними баз даних веб-сайт United States Geological Survey та Centre sismologique euro-méditerranéen european-mediterranean seismological centr побудовано гістограми розподілу землетрусів за магнітудою для всіх шести зон (рис 10). Градація землетрусів за магнітудою є від 1 до 6 балів з інтервалом один бал.

З аналізу представлених гістограм видно, що для перших трьох зон, для яких характерна наявність кореляційних зв'язків, 55 - 70% загальної кількості землетрусів мають магнітуду 2. Від 10 до 30% це землетруси в межах 1 бала. Також мають місце трибальні землетруси, які є в межах від 10 до 30%. В цих зонах зафіксовано незначну кількість землетрусів з магнітудою 4 та 5 балів, кількість яких не перевищує 3%.

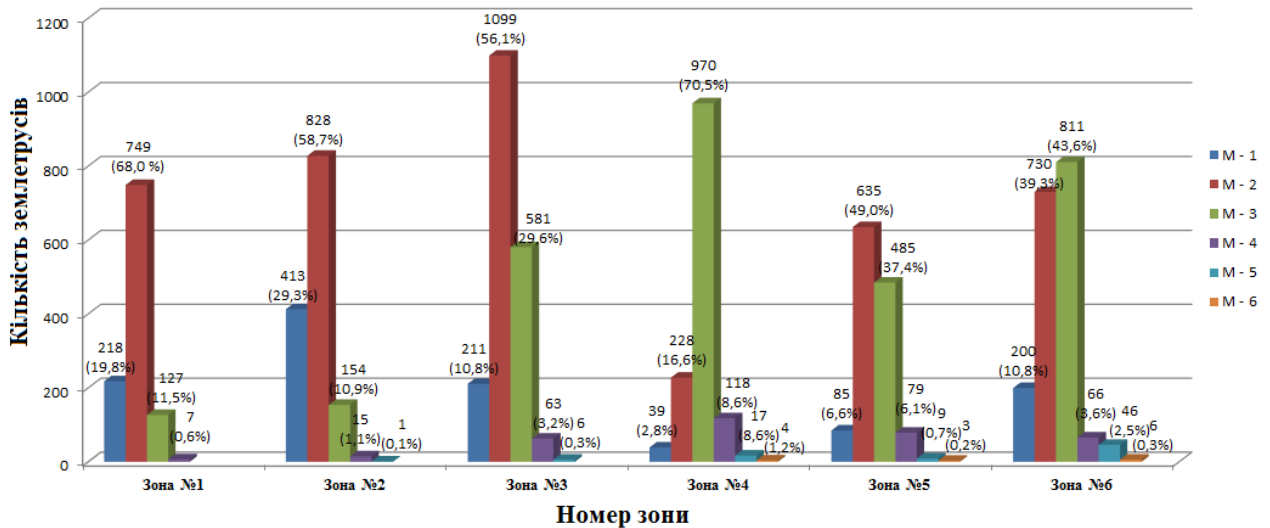


Рис. 10. Гістограма розподілу землетрусів за магнітудою для вибраних шести зон Європейського континенту

Для зон, в яких не спостерігається кореляція між  $b$  і  $|\delta V_{im}|$ , характерна переважна більшість землетрусів з бальністю 3 - від 37 до 70% та 2-х бальних землетрусів від 16 до 49%. Однак для цих територій є значно більше землетрусів з бальністю 4 - від 6 до 9% та з магнітудою 5 — від 0,7 до 2,5%. А також мають місце 6-ти бальні землетруси від 0,3 до 1,2%.

Тобто території, для яких характерний кореляційний зв'язок між  $|\delta V_{im}|$  і  $(b)$ , переважають землетруси за магнітудою до 3 і менше балів і повністю відсутні землетруси з магнітудою 6.

Для територій з відсутнім кореляційним зв'язком переважають землетруси з магнітудою більше 3 балів, і збільшується кількість землетрусів з магнітудою 5 та є землетруси з магнітудою 6 балів.

Очевидно, що збільшення середньої бальності землетрусів та поява землетрусів з магнітудою 6 призводить до втрати кореляційного зв'язку між фоною сейсмічності та вертикальними зміщеннями земної кори.

В роботі також було встановлено відсутність кореляційних зв'язків між великою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів ( $a$ ), що характеризує сильні за магнітудою землетруси, та інтегральним показником швидкості висотного зміщення території ( $|\delta V_{im}|$ ). Сильні за магнітудою землетруси, на відміну від фонових, появляються рідко та спонтанно, що унеможлиблює встановлення взаємозв'язку між узагальненими параметрами деформації  $a$  та  $|\delta V_{im}|$ .

За даною методикою, з метою прогнозування фонові узагальненої сейсмічної активності або інтегрального показника швидкості висотного зміщення території на наступний рік, було проведено такі дослідження. За період з 2000 до 2011 року було визначено коефіцієнти кореляції на епоху  $t$  між  $b$  визначеним за період  $t \div (t + 1 \text{ рік})$  та  $|\delta V_{im}|$  визначеним на період  $(t - 1 \text{ рік}) \div t$  і навпаки.

Для сейсмічно активних зон з підвищеною фоною сейсмічності Європейського континенту на основі математичного моделювання встановлено залежність узагальненої річної сейсмічної активності для наступного періоду на основі узагальнених річних параметрів поля ШСВРЗК:

$$\ln(b) = (0,7 \pm 0,2) \ln(|\delta V_{imm}|) + (5,61 \pm 0,97). \quad (11)$$

Також було встановлено зворотну математичну залежність для прогнозування річного інтегрального показника швидкості висотного зміщення території на основі параметра малої півосі еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів:

$$\ln(|\delta V_{imm}|) = \frac{\ln(b) + (9,63 \pm 1,08)}{(0,97 \pm 0,46)}. \quad (12)$$

У роботі також було проведено дослідження на встановлення взаємозв'язків між  $(b)$  і  $|\delta V_{imm}|$  в різні періоди, використовуючи піврічні дані. З результатів дослідження встановлено, що кореляційні зв'язки між  $b$  та  $|\delta V_{imm}|$  відсутні, що пов'язано з коротким періодом спостережень.

Дані дослідження дозволили встановити для територій з коефіцієнтом кореляції 0,95 і вище, між  $b$  і  $|\delta V_{imm}|$  математичну залежність взаємозв'язку і прогнозування узагальненої фонові сейсмічності та інтегрального показника швидкості висотного зміщення території. Результати дослідження вказують на відсутність взаємозв'язку між великою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів, що характеризує сильні за магнітудою землетруси, та абсолютного значення інтегрального показника швидкості висотного зміщення території, оскільки сильні за магнітудою землетруси, на відміну від фонових, з'являються рідко та спонтанно і унеможливають встановлення взаємозв'язку між параметрами  $a$  та  $|\delta V_{imm}|$ .

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу результатів досліджень вертикальних рухів земної кори Європейського континенту та прогнозування сейсмічної активності обґрунтовано необхідність дослідження динаміки поля ШСВРЗК та їх районування, а також потреба розробки методик пошуку взаємозв'язків між узагальненими параметрами сейсмічної активності та полем ШСВРЗК.

2. На основі опрацювання результатів спостережень перманентних ГНСС-станцій з метою проведення районування території за однорідними кінематичними характеристиками введено поняття середньої інтегральної швидкості вертикальних рухів земної кори. На основі змін поля ШСВРЗК Європейського континенту виділено три умовні блоки з різними кінематичними характеристиками, між якими встановлено три- та дворічна циклічність усереднених взаємних зміщень. Виділені блоки збігаються з границями та глибинною будовою головних тектонічних структур Європейського континенту.

3. З метою узагальнення ШСВРЗК та дослідження їх взаємозв'язку з сейсмічною активністю, розроблено узагальнений критерій поля ШСВРЗК "інтегрального показника швидкості висотного зміщення території". Розроблено методику дослідження просторово-часового взаємозв'язку між величинами узагальнених критеріїв поля ШСВРЗК та сейсмічності на території Європи.

4. На основі виконаних досліджень встановлено для деяких сейсмічно активних районів Європейського континенту прямий і обернений зв'язок між величинами узагальненого критерію поля ШСВРЗК та малою піввіссю еліпса розсіювання землетрусів, що свідчить про взаємозв'язок між повільними рухами земної кори і фонові сейсмічністю, яка викликана слабкими землетрусами. Натомість поява

сильних землетрусів призводить до аномальних рухів земної кори, які не мають систематичного прояву і для таких територій не встановлено взаємозв'язок між узагальненою фоновою сейсмічністю та інтегральним показником швидкості висотного зміщення території. Для територій з підвищеною фоновою сейсмічністю Європейського континенту встановлено математичну залежність, яка дозволяє прогнозувати за даними ГНСС-спостережень ступінь узагальненої фонової сейсмічності, і навпаки, за узагальненим параметром фонової сейсмічності передбачати інтенсивність вертикальних рухів земної кори.

5. Результати проведених досліджень необхідно враховувати при прогнозуванні зміщень пунктів висотної основи Європейського континенту та розробці моделей вертикальних рухів земної кори.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Статті у наукових періодичних виданнях інших держав**

1. Romaniuk V. Using GNSS Technologies for Research Features Vertical Movements of the Crust of Europe / K. Tretyak, V. Romaniuk // *Geomatics and environmental engineering – AGH.* – Польща, Краків, 2013. – № 7/2. – С. 71-77.
2. Romaniuk V. Research of features of annual vertical movement of the crust based on the observations of permanent GNSS - Europe stations [Електронний ресурс] / K. Tretyak, V. Romaniuk // *Съюз на геодезистите и земеустроителите в България: Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields.* – Болгарія, Софія. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: [www.geodesy.fnts-bg.org](http://www.geodesy.fnts-bg.org).

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

3. Романюк В. В. Дослідження взаємозв'язку між сучасними вертикальними зміщеннями земної кори і сейсмічною активністю Європи / К. Р. Третяк, В. В. Романюк // *Геодинаміка.* – Львів, 2014. – № 1. – С. 7 – 20.

### **Статті у наукових фахових виданнях України**

4. Романюк В. В. Вивчення особливостей вертикальних рухів земної кори за результатами спостережень на перманентних ГНСС-станціях Центральної Європи / К. Р. Третяк, О. М. Смірнова, В. Г. Кузнецова, А. Я. Кульчицький, В. В. Романюк // *Вісник геодезії та картографії.* – Київ. – 2013. – №2 – С. 4 – 12.
5. Романюк В. В. Дослідження особливостей вертикальних рухів земної кори за результатами спостережень перманентних ГНСС-станцій Європи / К. Р. Третяк, В. В. Романюк // *Геодинаміка.* – Львів, 2013. – №2. – С. 21 – 24.

### **Монографія**

6. Третяк К. Р. Сучасна геодинаміка та геофізичні поля Карпат і суміжних територій / К. Р. Третяк, В. Ю. Максимчук та ін. // *Монографія, Львів – 2015.* – 418 с.

### **Тези доповідей та матеріали конференцій**

7. Romaniuk V. Investigation of the interrelation between vertical movements of the crust and generalized seismic activity on the territory of Europe / O. Smirnova, L. Babiuk, K. Tretyak, V. Romanyuk, I. Sidorov // *Geophysical Research Abstracts, EGU General Assembly 2014, Австрія.* – 2014.

8. Романюк В. В. Вертикальні рухи земної поверхні Європи за даними супутникових спостережень (1998 -2010 рр.) / К. Р. Третяк, В. В. Романюк // Зб. матеріалів XVII Міжнародного науково-технічного симпозіуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології". – Алушта (Крим). – 2012. – С. 83 – 88.
9. Романюк В. В. Дослідження геодинамічних процесів території Європи за результатами спостережень перманентних ГНСС-станцій / К. Р. Третяк, В. В. Романюк // Зб. матеріалів XVIII Міжнародного науково-технічного симпозіуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS – технології", Алушта (Крим), 2013. – С. 287 – 289.
10. Романюк В. В. Вивчення особливостей вертикальних рухів земної кори за результатами спостережень на перманентних ГНСС-станціях Центральної Європи / К. Р. Третяк, О. М. Смірнова, В. Г. Кузнєцова, А. Я. Кульчицький, В. В. Романюк // Збірник статей четвертої науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених "Наукова весна – 2013". – Дніпропетровськ, 2013. – С. 189 – 190.

### АНОТАЦІЯ

Романюк В.В. Геодинамічна інтерпретація вертикальних рухів земної кори Європи, визначених 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, 2015.

У дисертаційній роботі, за результатами опрацювання даних результатів спостережень майже двохсот перманентних ГНСС-станцій Європи за період з 2000 до 2011 року, визначено абсолютні і регіональні складові векторів швидкості сучасних вертикальних рухів земної кори (ШСВРЗК). На основі змін поля ШСВРЗК Європейського континенту виділено три умовні блоки з різними кінематичними характеристиками, між якими встановлено три- та дворічна циклічність усереднених взаємних зміщень. З метою узагальнення ШСВРЗК та дослідження їх взаємозв'язку з сейсмічною активністю, розроблено узагальнений критерій "інтегрального показника швидкості висотного зміщення території". Розроблено методика, на основі якої встановлено для деяких сейсмічно активних районів Європейського континенту прямий і обернений зв'язок між величинами узагальненого критерію поля ШСВРЗК та малою піввіссю еліпса розсіювання епіцентрів землетрусів. Це свідчить про взаємозв'язок між повільними рухами земної кори і фоновою сейсмічністю, яка викликана слабкими землетрусами. Для виділення сейсмічно активних територій Європейського континенту встановлено математичну залежність, яка дозволяє прогнозувати за даними ГНСС-спостережень ступінь сейсмічної активності і навпаки, за узагальненим параметром фонової сейсмічності передбачати інтенсивність вертикальних рухів земної кори.

**Ключові слова:** перманентна ГНСС-станція; вертикальні рухи земної кори; часові серії перманентних ГНСС-станцій; землетрус; сейсмічна активність.

## АННОТАЦИЯ

Романюк В.В. Геодинамическая интерпретация вертикальных движений земной коры Европы, определенных 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 «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

В диссертационной работе по результатам обработки данных результатов наблюдений почти двухсот перманентных ГНСС-станций Европы за период с 2000 по 2011 год определены абсолютные и региональные составляющие векторов скорости современных вертикальных движений земной коры (ССВДЗК). На основе изменений поля ССВДЗК Европейского континента выделены три условные блоки с различными кинематическими характеристиками, между которыми установлены трёх- и двухлетняя цикличность усредненных взаимных смещений. С целью обобщения ССВДЗК и исследования их взаимосвязи с сейсмической активностью, разработан обобщенный критерий "интегрального показателя скорости высотного смещение территории". Разработана методика, на основе которой установлена для некоторых сейсмически активных районов Европейского континента прямой и обратная связь между величинами обобщенного критерия поля ССВДЗК и малой полуосью эллипса рассеяния землетрясений. Это свидетельствует о взаимосвязи между медленными движениями земной коры и фоновой сейсмичностью, которая вызвана слабыми землетрясениями. Для выделения сейсмически активных территорий Европейского континента установлено математическую зависимость, которая позволяет прогнозировать по данным ГНСС-наблюдений степень сейсмической активности и наоборот, по обобщенным параметрам фоновой сейсмичности предусматривать интенсивность вертикальных движений земной коры.

**Ключевые слова:** перманентная ГНСС-станция; вертикальные движения земной коры; временные серии перманентных ГНСС-станций; землетрясение; сейсмическая активность.

## ANNOTATION

Romaniuk V. Geodynamic interpretation of vertical crustal movements of Europe, defined according to the GNSS-measurements. – 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, 2015.

Nowadays one way of studying the velocity of the modern vertical movements of the crust (MVMC) is GNSS-measurements. The application of GNSS has become common practice in determining the long-term movements and deformations of the earth crust in global and regional scale. Unlike classical methods of geodesy, GNSS - methods have some obvious advantages: continuous monitoring, high measuring speed, simplicity and a high degree of measurement automation.

One of the segments of GNSS technology is to conduct the high-frequency measurements in different seismic zones. In this regard, a new direction appeared - GNSS-seismology. It studies the relationship of the spatial movements of the crust with the

seismic activity. The task of this work is not specific prognosing of the seismic events, but finding the relationship between the velocity of the field of modern vertical movements of the crust and seismic activity in general and contrast between seismic velocity of field and modern vertical movements of the crust. This relationship can serve as a harbinger of the generalized seismic activity, which will in general predict with a certain probability the seismic event.

The results of the data processing nearly two hundred permanent GNSS-stations of Europe observation results for the period from 2000 to 2011 defined the absolute and regional components of the velocity vectors of the modern vertical movements of the earth's surface, rms errors of their definitions and drawn the maps and regional absolute velocities.

For the purpose of zoning for homogeneous kinematic characteristics we introduced the concept of an integrated medium speed of the vertical crustal movements. Basing on the made maps three conditional blocks with different kinematic characteristics was isolated. Among them there are three and two-year cyclical averaged mutual displacement. Dedicated blocks with similar kinematic characteristics MVMC coincide with the boundaries and the deep of structure of the main tectonic structures of the European continent.

In order to generalize the velocity field of the modern vertical movements of the crust and the study of their relationship to seismic activity, the generalized criteria of "integral indicator of the displacement speed of high-altitude territory" was developed. The spatial and temporal distribution of the parameters of generalized criteria of the velocity field of modern vertical movements of the crust and the criteria for generalized seismicity from 2000 to 2011 was studied. Their relationship with the area of intense of the seismic activity was established.

The method of establishing the correlations between the parameters of earthquake epicenters scattering ellipse and integral indicator of displacement speed of high-altitude areas was developed. For the European continent areas with a high degree of correlation between the small semi-axis ellipse of scattering of the earthquake epicenters responsible for background seismicity territory and integral indicator of displacement speed of high-altitude observation area for the period from 2000 to 2011 were established. However no correlation between great semi-axis ellipse of scattering and integral indicator of the displacement speed of high-altitude areas.

For seismically active areas of the European continent the mathematical dependence of prediction of general seismic activity on the basis of generalized parameters of the velocity field of the modern vertical movements of the crust and vice versa was determined. Based on statistical analysis we found that weak earthquakes develop systemic slow crustal movements that correlate with background seismicity which is formed by faint earthquakes within 3 points. Instead, earthquakes, more than three points, lead to the abnormal crustal movements that do not have a systematic manifestation and therefore do not correlate with the results of MVMC.

**Keywords:** permanent GNSS-station; vertical crustal movements; time series of permanent GNSS-stations; earthquake; seismic activity.