



## ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ КОРИ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ПЕРМАНЕНТНИХ ГНСС-СТАНЦІЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЄВРОПИ

С целью исследования динамики вертикальных движений земной коры была обработана база данных ГНСС-наблюдений на 122-х перманентных станциях Европы. Из этого ряда отобраны 20 станций, которые равномерно размещены на территории Центральной Европы. На основе непрерывных рядов наблюдений установлены изменения абсолютных и региональных скоростей вертикальных движений земной коры, их пространственное распределение и связь с тектоникой региона. Составлены картосхемы региональных скоростей вертикальных движений земной коры за период с 1998-го по 2011 гг.

In order to study the dynamics of vertical crustal movements by the results of observations of GNSS permanent stations there was processed database of 122 permanent stations. Of those stations there were selected 20 stations which are uniformly located in Central Europe. On the basis of continuous series of observations there were determined absolute and regional rates of vertical crustal movements, their spatial distribution and relationships to the tectonic structure of the region. The maps of regional rates of vertical crustal movements during period from 1998 to 2011 have been created.

**Постановка проблеми.** Рухи земної кори пояснюються неоднорідністю глибинної структури земної кори, яка формувалася протягом тривалого часу, та дією сучасних ендегенних і екзогенних факторів. З появою перманентних ГНСС-мереж з'явилася можливість проведення моніторингу деформаційних процесів земної кори і пошуку їх зв'язків з тектонічною будовою. Цій проблемі й присвячена дана стаття.

**Огляд останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями сучасної геодинаміки Європи методом ГНСС-спостережень було виявлено зв'язок між неоднорідністю будови західної частини Євразійської плити і поділом її на блоки відносно рухливості, які проявляються у вертикальних рухах земної кори [3]. Ці питання досліджували зарубіжні вчені (див. праці [4, 5]). Під час реалізації міжнародного проекту SERGOP за результатами ГНСС-спостережень на 60-ти перманентних станціях у період з 1994-го по 2005 рр. було складено карту вертикальних рухів земної кори Центральної та Західної Європи [5]. Зіставленням змісту цієї карти з розташуванням епіцентрів землетрусів та проходженням меж основних розломів і літосферних плит виявлено, що більшість блоків сучасної Євразії є відносно жорсткими і при передачі напруження від зон субдукції до зон колізії їхні краї зазнають деформації, яку легко помітити, аналізуючи результати спостережень на перманентних станціях.

Отже, проблема дослідження динаміки вертикальних неотектонічних рухів земної кори актуальна, оскільки вивчення та аналізування результатів ГНСС-спостережень на перманентних станціях дозволяє досліджувати просторово-часовий розвиток деформаційних полів та їх особливостей. Однак у ході попередніх досліджень не було виявлено прямого зв'язку між аномальними зонами

вертикальних рухів і тектонічною будовою.

**Постановка завдання.** Метою нашого дослідження було виявити особливості щорічних проявів вертикальних рухів земної кори в Центральній Європі й на основі результатів спостережень на перманентних ГНСС-станціях встановити зв'язок між цими рухами і тектонічною будовою регіону.

**Основний зміст роботи.** За вихідні дані при дослідженні геодинаміки Центральної Європи було використано результати, представлені на веб-сторінках SOPAC (Scripps orbit and permanent array center) [6] та NGL (Nevada Geodetic Laboratory) [7].

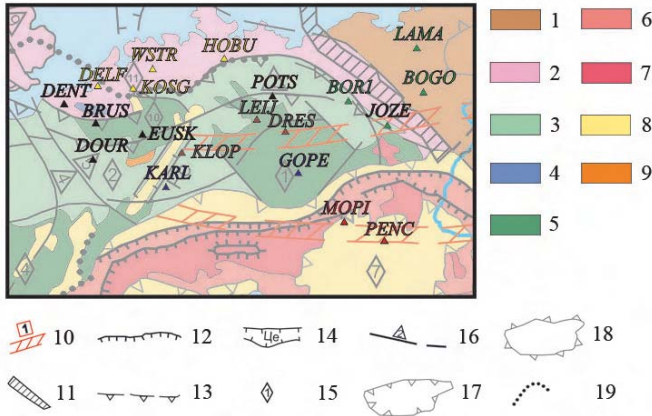
SOPAC – це один з найвідоміших центрів супутникової інформації, який має базу даних з більшості перманентних станцій світу. Основна наукова функція SOPAC полягає в тому, щоб підтримувати високу точність геодезичних та геофізичних вимірювань за допомогою системи глобального позиціонування (GPS) супутників. Матеріали цих вимірювань використовують, зокрема, для вивчення землетрусів, рухів тектонічних плит, деформацій земної кори і метеорологічних процесів. Геодезична лабораторія в американському штаті Невада (NGL) проводить дослідження у сфері космічної геодезії для вирішення наукових проблем, що мають як регіональне, так і глобальне значення. З допомогою GPS лабораторія вивчає зони сучасної тектонічної активності літосфери.

У ході нашого дослідження опрацьовано базу даних по 122-х перманентних станціях та обчислено швидкості руху земної кори. До речі, перманентні станції на території Європи розміщені нерівномірно: більшість із них знаходяться в Центральній Європі. Тому дані мають різну ступінь інформативності за регіонами. Крім того, кількість станцій у різні роки також була неоднаковою. Практично спостереження на станціях з довготривалим періодом безперервних вимірювань охоплюють період з 1998-го по 2011-й роки.

На першому етапі ми відібрали двадцять чотири



перманентні станції, рівномірно розміщені на території Центральної Європи і на яких у цей час проводилися практично безперервні спостереження (мал. 1).

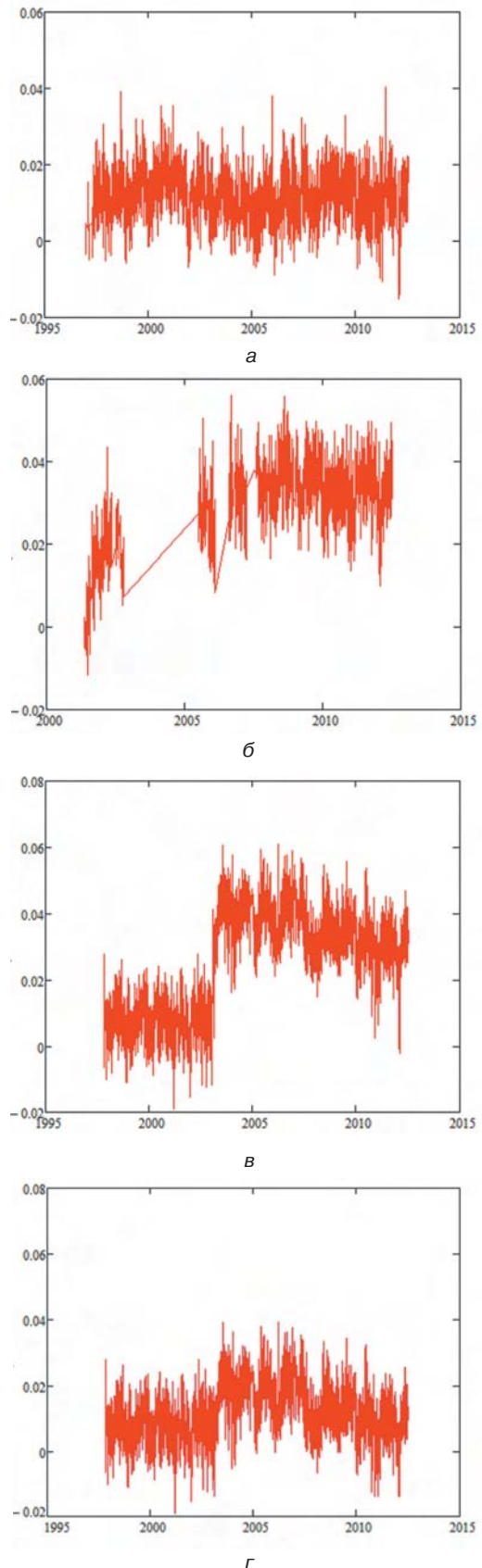


**Умовні позначення:**

**Основні структурні елементи:** 1 – плити древніх платформ з докембрійським фундаментом; 2 – плити платформ з дальс-ландським та байкальським фундаментом; 3 – плити молодих платформ з палеозойським фундаментом; 4 – області каледонської складчастості; 5 – області герцинської складчастості; 6 – області альпійської складчастості; 7 – древні ядра та масиви у межах альпійської складчастості; 8 – альпійські міжгірські западини та передові прогини; 9 – герцинські крайові прогини; 10 – геодинамічні трансрегіональні мегазони активізації; 11 – шовні зони; 12 – насиви альпійського закладення; 13 – насиви герцинського закладення; 14 – грабени; 15 – *масиви і терейни*: 1) Богемський масив; 2) Саксько-Тюрінгський терейн; 4) Центральний масив; 7) терейн Алькапа; 10) Рейнський масив, 11) Брандентінський масив; 16 – *основні розломи і сугури*: 4) лівосторонній зсув Сени; 5) правосторонній зсув Брей; 17 – тектонічні западини; 18 – тектонічні підняття; 19 – уявні межі між структурними елементами

Мал. 1. Використані в дослідженні перманентні ГНСС-станції на видозміненій [1] тектонічній картосхемі Центральної Європи

На другому етапі було відібрано часові серії даних по станціях, на яких велися безперервні спостереження упродовж 1998-2011 рр., без врахування різниць у їх висотному положенні (мал. 2, а). Скажімо, станцію LINZ було вилучено з бази даних, оскільки вона мала перерву в спостереженнях близько трьох років підряд (мал. 2, б). Перманентні станції DENT, DOUR, CRAS, NOBY, які мали розриви у рядах спостережень до півроку (мал. 2, в), було взято до опрацювання, але для перерв приймалися усереднені значення швидкостей вертикальних рухів земної кори за попередній та наступний роки. Станції DOUR, DRES, EUSK, GOPE, HOBU, KARL, KLOP, LEIJ, MOPI за період спостережень мали миттєві стрибки у висотному положенні, що було пов'язано зі зміною на них антен. У часові серії даних по цих станціях було введено відповідні поправки за зміну висоти антени (мал. 2, г). Унаслідок такої "фільтрації" було відібрано 20 станцій, географічні координати яких охоплюють: по широті – в інтервалі від 47,78° до 53,05°, по довготі – від 3,39° до 21,03°.



Мал. 2. Аналіз часових серій вимірювань на перманентних станціях: а – станція BOGO; б – станція LINZ; в – станція DRES; г – часова серія по станції DRES (введено поправку за зміну висоти антени)

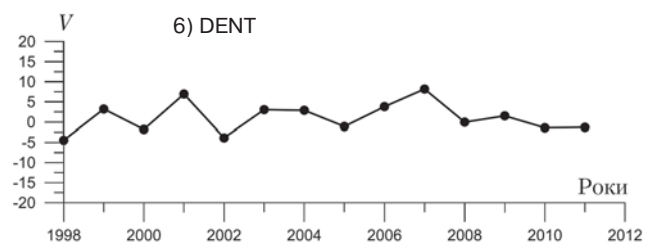
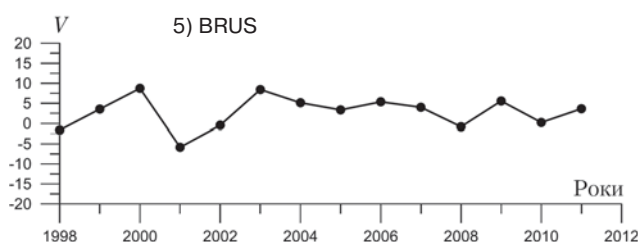
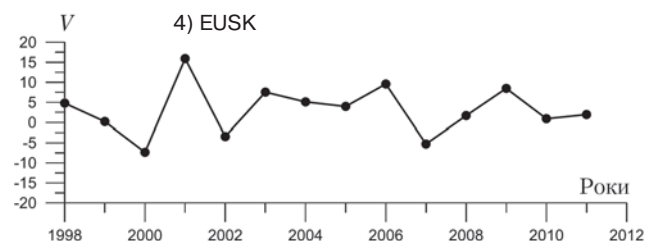
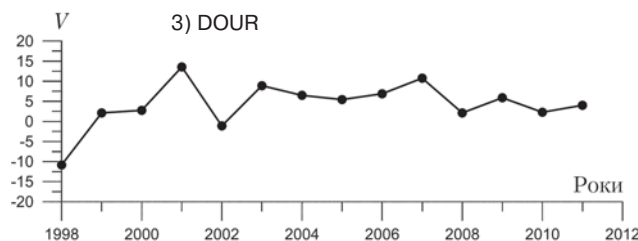
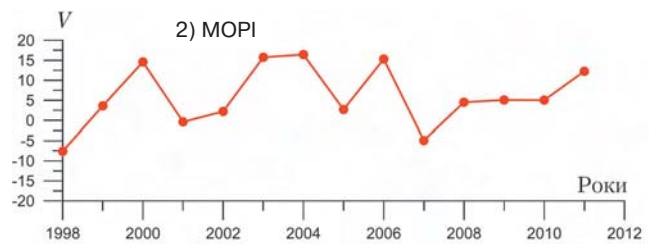
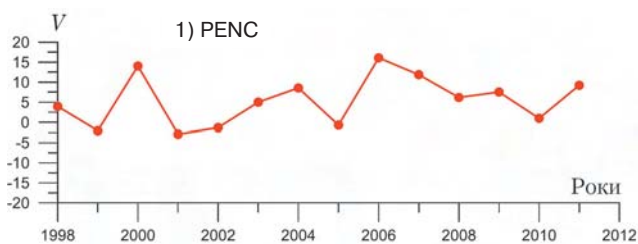


Для відібраних перманентних станцій було обчислено щорічні значення абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори та середні квадратичні похибки їх визначення. Максимальне зростання за весь період спостережень виявлено на станції МОПІ у 2001 р., яке відповідає додатній абсолютній швидкості вертикального руху 16,5 мм/рік. Найбільше абсолютне опускання зафіксовано на станції КЛОП у 2007 р. (-24,5 мм/рік). Середні квадратичні похибки визначення щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів знаходяться в межах до 2 мм/рік.

Узагальнивши результати досліджень, було складено таблицю (див. табл. 1) значень екстремальних річних абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори в місцях розташування перманентних станцій.

Таблиця 1. Абсолютні значення швидкостей вертикальних рухів земної кори на території Центральної Європи в системі координат ITRF-2000, мм/рік

Роки	$-V$	$+V$	$-V^{абс}$	$+V^{абс}$	$V^{абс}$
1	2	3	4	5	6
1998	-10,9	4,8	-5,2	3,0	-2,3
1999	-3,8	9,3	-2,6	3,7	2,5
2000	-7,4	16,2	-4,4	8,0	6,1
2001	-9,3	15,9	-3,6	7,3	0,7
2002	-4,0	9,3	-2,4	3,3	0,2
2003	-2,5	15,7	-2,5	7,0	6,5
2004	1,0	16,4	-	6,1	6,1
2005	-2,6	9,4	-1,2	5,3	4,0
2006	0,1	16,1	-	8,3	8,3
2007	-24,5	13,6	-5,6	8,8	-1,3
2008	-5,4	8,3	-2,1	4,7	3,7
2009	-0,4	8,5	-0,4	4,5	4,3
2010	-9,5	5,0	-3,1	1,7	-0,2
2011	-3,6	12,2	-2,2	3,8	2,3



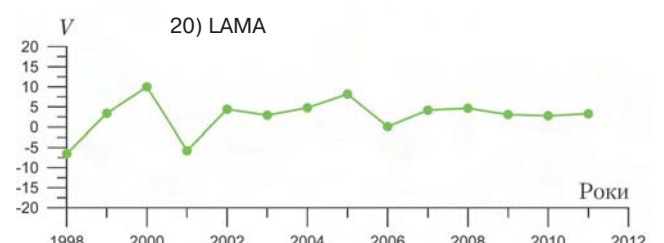
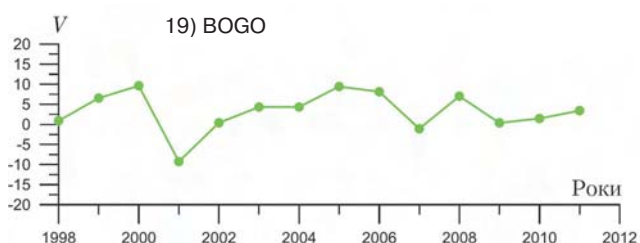
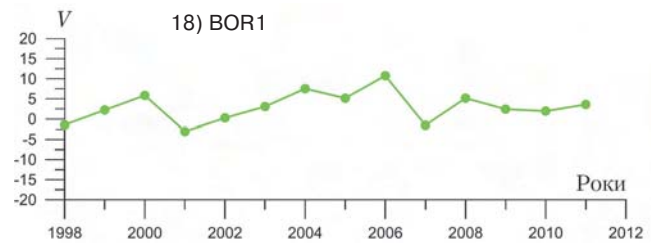
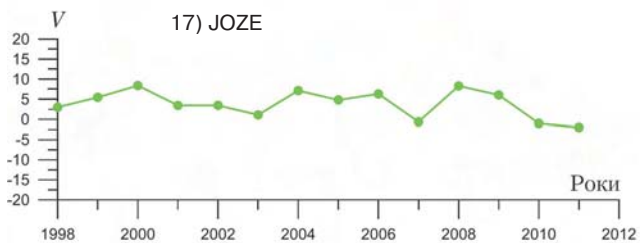
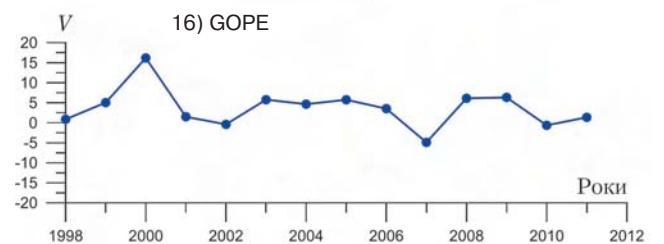
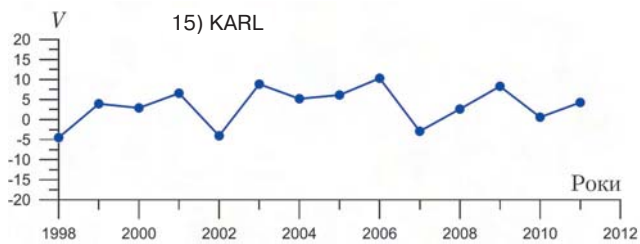
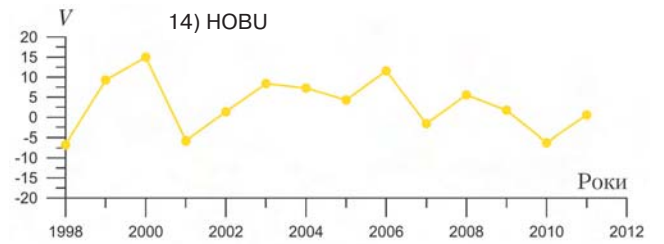
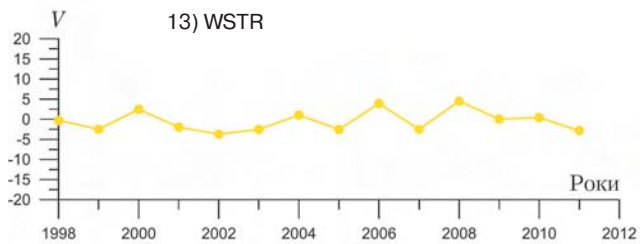
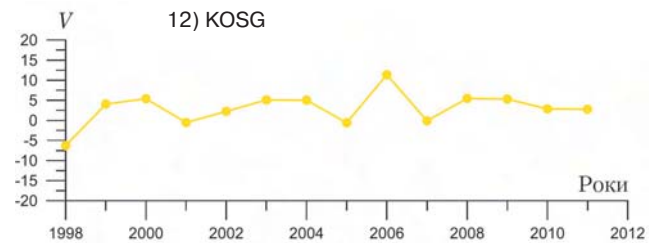
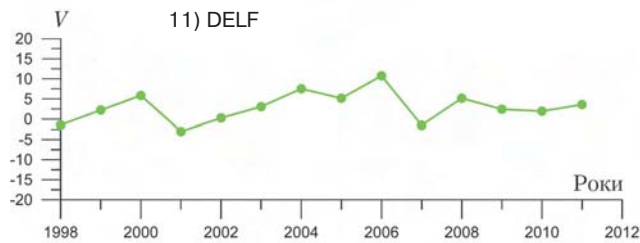
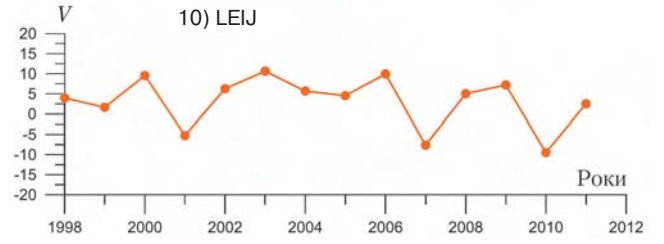
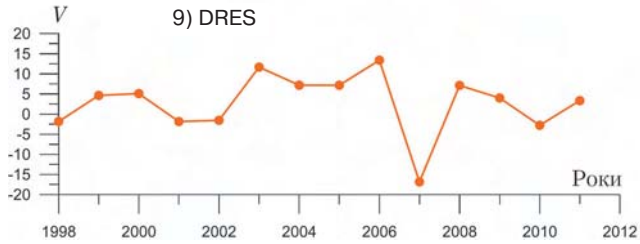
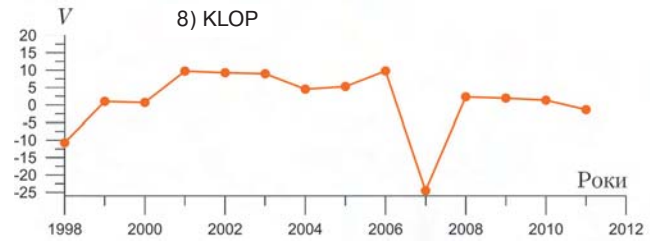
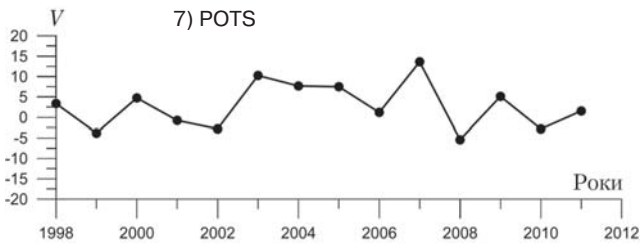
Мал. 3. Криві щорічного розподілу швидкостей вертикальних рухів

У графах 2 і 3 табл. 1 вказано екстремальні значення абсолютних швидкостей вертикальних рухів (підйому та опускання) земної кори з 1998-го по 2011-й роки. Знак "-" біля чисел свідчить про опускання, а знак "+" – про підняття. У графах 4 і 5 наводяться середні значення показників для кожного року досліджень. У графі 6 подано усереднені значення швидкостей руху земної кори упродовж року. За цими даними побудовано графіки зміни річних вертикальних швидкостей руху кори за період спостережень (мал. 3). Максимальна сумарна амплітуда швидкостей рухів досліджуваної території (між максимальними значеннями швидкості підняття 15,9 мм/рік і опускання -9,3 мм/рік) становить 25,2 мм/рік (2001 р.), а мінімальна – 8,9 мм/рік (від 8,5 до -0,4) – у 2009 році.

На основі аналізу графіків зміни абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори виділено п'ять груп станцій, у межах яких зберігається взаємна кореляція вертикальних рухів у часі (на мал. 1 цей поділ відображено трикутниками різних кольорів).

До першої групи віднесено перманентні станції PENC та МОПІ (червоні криві розподілу). Абсолютні криві розподілу швидкостей вертикальних рухів на цих станціях добре корелюються між собою. Їм відповідають максимуми значень у 2000, 2004, 2006 та 2011-му роках та мінімуми – у 2001, 2005-му роках. Станції територіально знаходяться в Угорській западині.

Станції DOUR, EUSK, BRUS, DENT, POTS виділено в окрему групу (чорний колір), оскільки криві розподілу вертикальних швидкостей руху кори в цих місцях лише частково корелюються з



земної кори в розрізі перманентних станцій за 1998-2011 рр.



кривими швидкостей по інших перманентних станціях, які входять до інших груп. Виокремлено станції KLOP, DRES, LEIJ (*коричневі криві*), DELF, KOSG, WSTR, HOBU (*жовті криві*), KARL, GOPE (*сині криві*) та BOR1, BOGO, LAMA, JOZE (*зелені криві*).

Слід зауважити, що для більшості перманентних станцій характерний чітко виражений мінімум кривих розподілу в 2007 р., крім PENC, DOUR, BRUS, DENT, POTS, в яких він проявився у 2008 р., та станції LAMA з мінімумом у 2006 р. Це свідчить про високу тектонічну активність земної кори в регіоні Центральної Європи в 2007 та 2008-му роках, що і зафіксували перманентні станції.

Станції PENC та МОПІ ідентифікуються з впливом терейну Алькапа Панонського масиву і Центральноукраїнської геодинамічної трансрегіональної мегазони активізації.

Об'єднано станції KLOP, DRES, LEIJ, характер кривих розподілу в другій і третій з яких дуже подібний через вплив розломів північно-західної частини Богемського масиву. Станція KLOP має дещо відмінний графік розподілу – вона знаходиться в зоні впливу південно-східних скидів грабену Верхнього Рейну, де спостерігається дещо інший характер прояву сучасних вертикальних рухів.

Група станцій DELF, KOSG, WSTR, HOBU має ідентичні конфігурації кривих розподілу вертикальних рухів, оскільки ця територія перебуває під впливом значного за площею тектонічного елемента – Західноєвропейської плити.

Станції KARL, GOPE виділено за характером кривих розподілу вертикальних рухів, який пов'язаний в одному випадку з впливом близько розташованого Рейнського грабену, а в іншому – з розміщенням станції GOPE в центральній частині Богемського масиву. До того ж, обидві станції розміщені на однаковій відстані між Центрально- і Північноукраїнською геодинамічними трансрегіональними мегазонами активізації.

Групу станцій BOR1, BOGO, LAMA, JOZE характеризують дуже подібні криві розподілу, що, очевидно, пов'язано з їх належністю до платформних структур: перша та четверта з них знаходяться у межах Західноєвропейської плити, а друга і третя – у межах Східноєвропейської платформи, чим, імовірно, і пояснюється ідентичний графік розподілу в двох останніх, незважаючи на те, що ці структури розділяє шовна зона Тейсейра-Торнквіста.

П'ять станцій – DOUR, EUSK, BRUS, DENT, POTS – теж виділено в окрему групу, оскільки криві розподілу вертикальних швидкостей руху кори в інших місцях лише частково корелюються між собою та з кривими швидкостей на перманентних станціях, які входять до інших груп. Низьку кореляцію кривих для першої та другої станцій групи можна пояснити розміщенням їх у межах фронтальної частини насуву герценід та імовірного впливу Саксоно-Тюрінгського терейну і Рейнського масиву.

Щоб встановити річні регіональні швидкості

вертикальних рухів земної кори, було визначено середньорічні абсолютні швидкості рухів для всіх перманентних станцій шляхом віднімання значень для кожної з перманентних станцій, отриманих протягом року:

$$V_i^{\text{per}} = M_i^{\text{abc}} \frac{\sum_{n=1}^n V_i^{\text{abc}}}{n}, \quad (1)$$

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

Для узагальнюючого аналізу отриманих результатів було складено таблицю екстремальних значень регіональних швидкостей вертикальних рухів перманентних станцій (табл. 2).

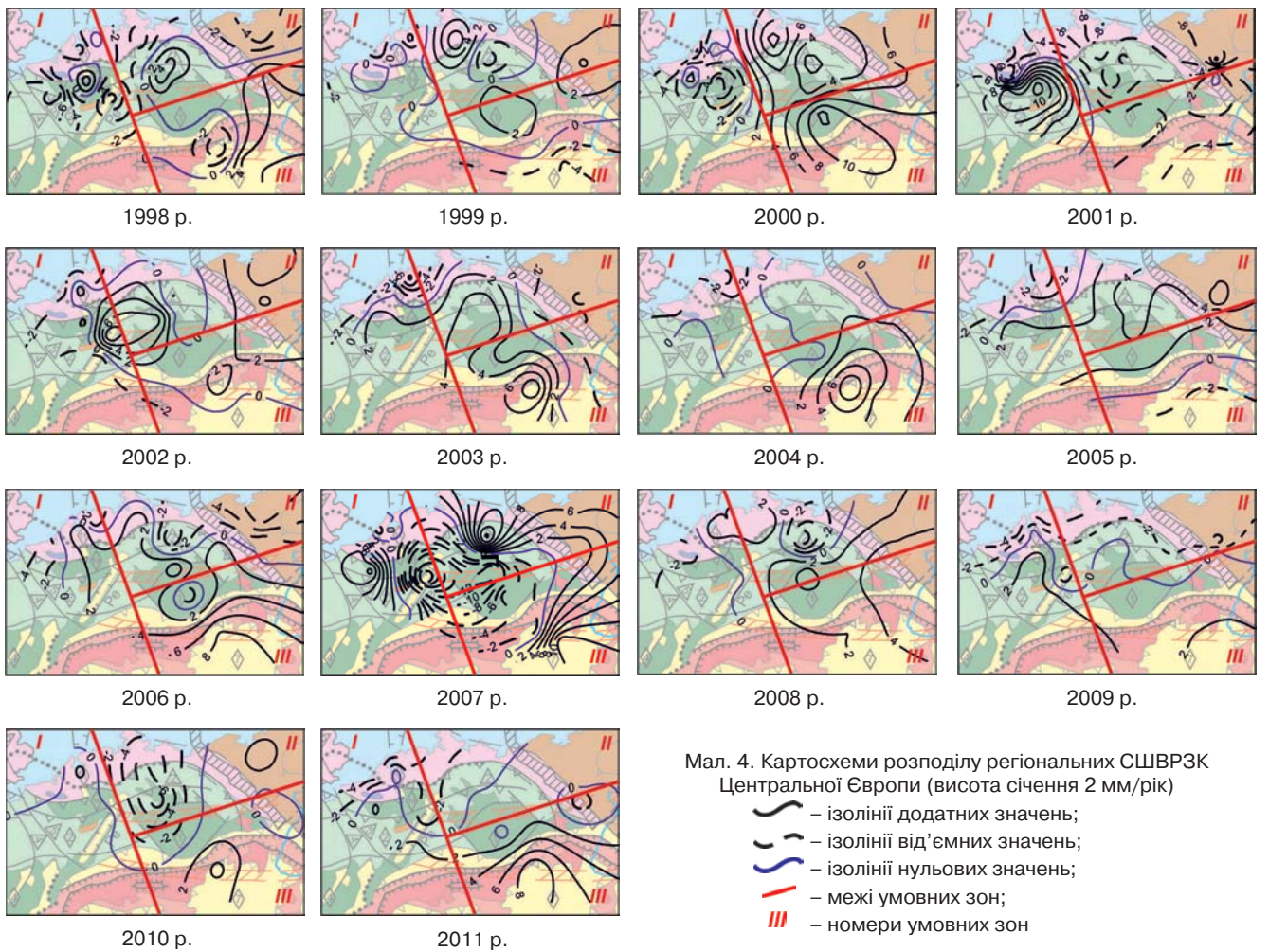
Таблиця 2. Регіональні швидкості вертикальних рухів території Європи в системі координат ITRF-2000, мм/рік

Роки	Швидкості вертикальних рухів			
	$-V^{\text{per}}$	$+V^{\text{per}}$	$-V_{\text{сер}}^{\text{per}}$	$+V_{\text{сер}}^{\text{per}}$
1998	-9,5	11,3	-4,2	3,9
1999	-14,1	8,4	-2,9	3,1
2000	-26,4	12,9	-4,0	6,5
2001	-10,7	15,4	-4,7	6,8
2002	-8,0	9,9	-2,2	3,3
2003	-12,3	10,1	-2,8	3,9
2004	-6,4	10,7	-1,3	2,8
2005	-11,0	6,9	-3,1	3,1
2006	-13,3	8,6	-3,6	3,7
2007	-23,0	15,1	-5,5	7,1
2008	-8,8	5,8	-2,2	3,1
2009	-5,4	6,4	-3,4	1,5
2010	-9,8	4,8	-3,0	1,6
2011	-9,2	10,2	-2,7	2,7

У цій таблиці вказано екстремальні та середні значення (знак "-" відповідає опусканню, а "+" – підняттю) регіональних швидкостей вертикальних рухів земної кори. Максимальна сумарна амплітуда (між крайніми значеннями підняття й опускання) рухів земної кори спостерігалася у 2000 р. – 39,3 мм/рік (від -26,4 до +12,9), мінімальна – у 2009 р.: 11,8 мм/рік (від -5,4 до +6,4).

На підставі проведених обчислень було складено картосхеми розподілу щорічних регіональних вертикальних рухів території Центральної Європи (мал. 4). Результати аналізу картосхем рухів кори з прив'язкою до тектонічних структур у період з 1998-го по 2011 рр. представлено у табл. 3.

При з'ясуванні причин виникнення аномальних проявів щорічних сучасних швидкостей вертикальних рухів земної кори (СШВРЗК) та виявленні їхніх зв'язків з певними тектонічними структурами ми керувалися такими засадами: по-перше, бралися до уваги екстремальні значення аномальних проявів СШВРЗК, оскільки саме вони передають вплив певних тектонічних структур; по-друге, розглядалися тектонічні структури, які могли безпосередньо або опосередковано впливати на інтенсивність вертикальних рухів і на утворення аномалій.



Мал. 4. Картошхеми розподілу регіональних СШВРЗК Центральної Європи (висота сніження 2 мм/рік)

- ізолінії додатних значень;
- ізолінії від'ємних значень;
- ізолінії нульових значень;
- межі умовних зон;
- номери умовних зон

Кількість аномальних проявів СШВРЗК додатного (+) та від'ємного (-) знаків у межах впливу окремих тектонічних структур вказано в табл. 3. Найбільше аномалій зафіксовано у Богемському масиві: 8 додатного знака і 5 від'ємного. Зниження тектонічної активності (це підтверджує кількість аномальних проявів) характерне для таких структур: Центральноукраїнської геодинамічної трансрегіональної мегазони активізації – 6 аномалій (4 додатні, 2 від'ємні); Північноукраїнської геодинамічної трансрегіональної мегазони активізації та Брабантського масиву – по 5 аномалій (1 додатна і 4 від'ємні); Рейнського масиву – 4 аномалії (3 додатні та 1 від'ємна).

Решта тектонічних структур зазнають меншого впливу – не більше 3-х аномальних проявів. Це шовна зона Тейсейра-Торнквіста, Центральний грабен Саксоно-Тюрінгського терейну, Панонський масив (терейн Алькапа). До порівняно слабоактивних слід віднести Рейнський масив, грабен Верхнього Рейну, зону зчленування Альп, Динарид і Карпат та Ботнічно-Свекофенський блок Східноєвропейської платформи.

Проаналізувавши зміни полів сучасних вертикальних рухів земної кори території Центральної Європи в часі, ми виділили три умовні блоки з різ-

ними кінематичними характеристиками. Межі умовних блоків показано на мал. 4.

Для дослідження кінематики блоків було введено поняття середньої інтегральної швидкості вертикальних рухів земної кори, яку визначали з виразу:

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

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

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

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

Результати обчислень зведено в табл. 4. За цими даними побудовано графіки зміни різниці середніх інтегральних швидкостей вертикальних рухів земної кори сусідніх блоків (мал. 5).

Таблиця 3. Кількість щорічних аномальних проявів додатного (+) та від'ємного (-) знаків СШВРЗК Центральної Європи у межах впливу окремих тектонічних структур

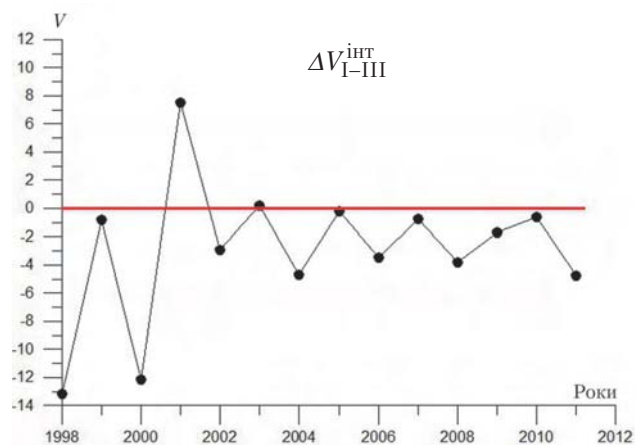
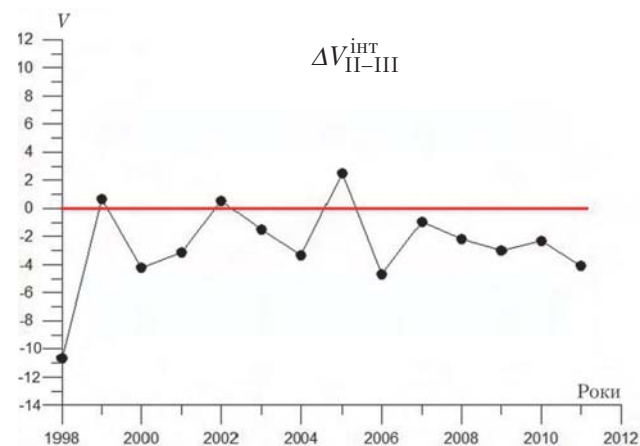
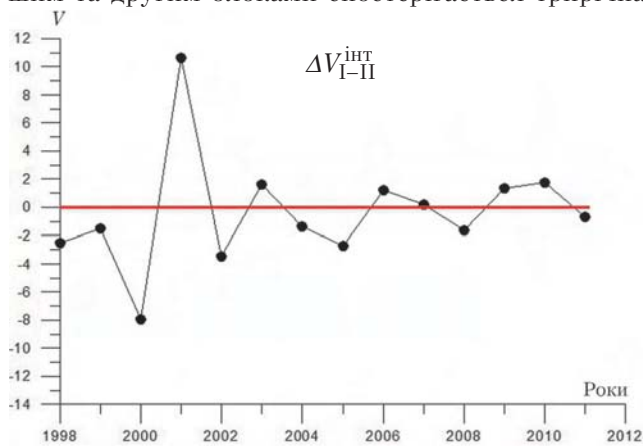
Різноманітні тектонічні елементи	Роки												Σ				
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009		2010	2011		
<b>Платформні комплекси</b>	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	
Східноєвропейська платформа (Болготно-Свекофенський блок)									1								0 1
Західноєвропейська плита		1	1	1							1						3 1
<b>Масиви</b>																	
Брабантський					1		1	1	1								1 4
Рейнський				1						1							0 2
Богемський	1	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	1				8 5
Центральний										1							1 0
Панонський		1							1						1		2 1
<b>Терейни</b>																	
Саксоно-Тюрінгський	1		1	1													3 0
<b>Шовні зони</b>																	
Тейсейра-Торнквіста	1	1						1									3 0
<b>Геодинамічні трансрегіональні мегазони активізації</b>																	
Центральноросійська	1				1	1	1	1					1				4 2
Північноукраїнська	1	1			1			1									1 4
<b>Фронтальні зони насувів</b>																	
Герцинської фази активізації										1			1				1 1
Альпійської фази активізації (зона потрійного примикання Альп, Карпат і Динарид)	1																0 1
<b>Грabenи</b>																	
Верхнього Рейну	1				1												1 1
Центральний Північного моря						1			1								0 3



Таблиця 4. Середні інтегральні вертикальні швидкості рухів земної кори кожного блоку та їх різниці, мм/рік

№ зони	Середні значення $V_i^{INT}$ в розрізі років													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
I	-3,8	-0,3	-2,8	4,7	-1,4	1,6	-1,2	0,5	0,3	1,2	-0,2	-0,7	0,2	-1,0
II	-1,3	1,3	5,2	-6,0	2,0	0,0	0,2	3,2	-1,0	1,0	1,4	-2,0	-1,5	-0,3
III	9,4	0,6	9,4	-2,9	1,5	1,5	3,5	0,6	3,7	1,9	3,6	1,0	0,8	3,8
Різниці між зонами	Різниці середніх значень $V_{i-k}^{INT}$													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
I-II	-2,5	-1,5	-8,0	10,7	-3,5	1,7	-1,4	-2,7	1,2	0,2	-1,6	1,3	1,7	-0,7
II-III	-10,6	0,7	-4,2	-3,1	0,5	-1,5	-3,3	2,5	-4,7	-0,9	-2,2	-3,0	-2,3	-4,1
I-III	-13,2	-0,8	-12,2	7,6	-2,9	0,2	-4,7	-0,2	-3,5	-0,8	-3,8	-1,7	-0,6	-4,8

З мал. 5 видно, що взаємна кінематика рухів сусідніх блоків має певну закономірність. Між першим та другим блоками спостерігається трирічний



Мал. 5. Графіки різниці інтегральних швидкостей руху блоків земної кори

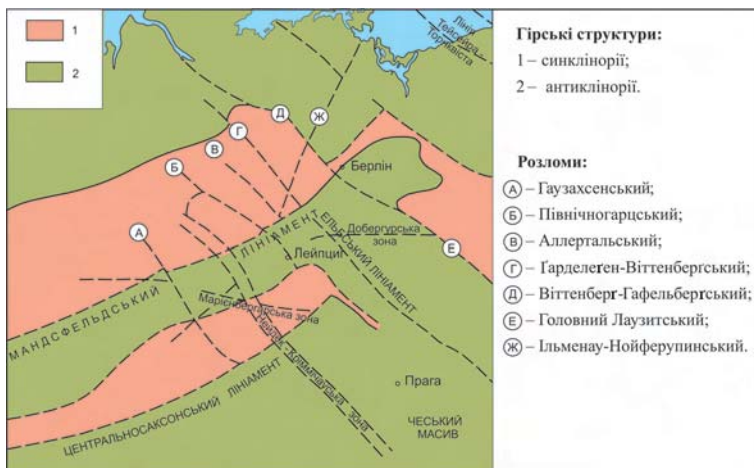
закономірність у 2002-2011-му роках. Першого року перший блок піднімається відносно другого, потім вони взаємно нерухомі, а третього року перший блок опускається відносно другого. Циклічний рух першого і третього блоків з 2000 р. має дворічний період. У перший рік перший блок відносно третього опускається, а в наступному вони відносно нерухомі. У взаємних вертикальних рухах першого і другого блоків така чітка залежність не спостерігається, хоча вони упродовж усього періоду досліджень перебували у відносній рівновазі.

Поділ на умовні блоки різної активності й диференційованості щорічних проявів сучасних рухів за даними ГНСС-вимірювань дав можливість знайти їх зв'язок зі структурами глибинного закладання. На основі аналізу глибинних тектонічних розломів Центральної Європи ідентифіковано межі між вибраними блоками зі структурами глибинного закладання (мал. 6). Це Гаузахсенський глибинний розлом і розміщена паралельно до нього з північного сходу Нейдек-Крими́чауська зона, які мають північно-західне простягання і практично збігаються з межею, яка локалізує з північного сходу перший блок; межа між другим і третім блоками ідентифікується з Центральносаксонським лініаментом північно-східного простягання.

Названі структури перетинаються між собою і, судячи з характеру цього перетину, перші дві є молодшими. Графіки зміни середніх інтегральних швидкостей руху блоків I-II, II-III та I-III (див. мал. 5) вказують на різні тектонічні режими їх розвитку, оскільки вони відокремлюються один від одного Гаузахсенським глибинним розломом і Нейдек-Крими́чауською зоною. Слід зазначити, що Гаузахсенський розлом має характер правостороннього зсуву, а вздовж Центральносаксонського лініаменту (за даними глибинного сейсмічного зондування) спостерігаються значні зміщення на рівні межі Мохоровичича.

**Висновки. 1.** Опрацьовано базу даних 20-ти перманентних станцій Центральної Європи, на яких проводилися постійні спостереження протягом 1998-2010 рр., та обчислено сучасні швидкості вертикальних рухів земної кори (за абсолютною та регіональною складовими). Встановлено, що максимальна сумарна амплітуда (між максимальними значеннями підняття й опускання) абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори спостерігалася у 2001 р. – 25,2 мм/рік (від -9,3 до +15,9), а мінімальна у 2009 р. – 8,9 мм/рік (від -0,4 до 8,5). Найбільша сумарна амплітуда регіональних швидкостей вертикальних рухів земної кори спостерігалася у 2000 р. –





Мал. 6. Схема розміщення найважливіших розломів у Центральній Європі [2]

39,3 мм/рік (від -26,4 до +12,9), а найменша у 2009 р. – 11,8 мм/рік (від -5,4 до +6,4). Середні квадратичні похибки визначення щорічних абсолютних швидкостей вертикальних рухів знаходяться в межах до 2 мм/рік.

2. На основі аналізу графіків зміни абсолютних швидкостей вертикальних рухів земної кори виділено п'ять груп перманентних станцій, у межах яких зберігається взаємна кореляція вертикальних рухів у часі.

3. Укладено картосхеми розподілу щорічних регіональних швидкостей вертикальних рухів території Центральної Європи. Виділено три умовні блоки з різними кінематичними характеристиками. Між ними встановлено три- та дворічна циклічність усереднених взаємних зміщень.

4. Поділ на умовні блоки різної активності та диференційованості щорічних проявів сучасних верти-

кальних рухів за даними ГНСС-вимірювань дав можливість виявити їх зв'язок з глибинними тектонічними структурами.

### Література

1. *Атлас "Геологія та корисні копалини України"*; під ред. Л.С. Галецького / НАН України; Мін-во екології та прир. рес. України. – Вид-во У/ЦПТ "Геос – XXI століття", 2001. – С. 15.

2. *Соколовский, А.К.* Важнейшие зоны разломов Центральной Европы: происхождение и история развития / А.К. Соколовский // Матер. Междунар. геол. конгр. "Тектонические процессы", XXVIII сес.: Докл. сов. геологов. – М., 1989. – С. 242-252.

3. *Bennet, R.A.* Constraints on vertical crustal motion for long base lines in the central Mediterranean region using continuous GPS / R. A. Bennet, S. Hreinsdottir // Earth and Planet. Sci. Lett. – 2007. – V. 257. – № 3-4. – P. 419-434.

4. *Calais, E.* Current Extension in the Central Part of the Western Alps from Continuous GPS Measurements 1996-2001 / E. Calais, J.-M. Njéquet, F. Jouanne, M. Tardy // *Geology*. – 2002. – P. 651-654.

5. *Caporali, A.* Geokinematics of Central Europe: New insights from the CERGOP-2 (Environment Project) / A. Caporali, C. Aichhorn, M. Becker [et al.] // *Geodynamics*. – 2008. – V. 45. – № 4-5. – P. 246-256.

### Інтернет-джерела

6. *База даних SOPAC (Scripps orbit and permanent array center)*. – <http://sopac.ucsd.edu>

7. *Веб-сторінка геодезичної лабораторії в штаті Невада (Nevada Geodetic Laboratory)*. – <http://geodesy.unr.edu>

Надійшла 27.02.13

\* \* \*

УДК 528.48

І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ НАДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВІДІВ МЕТОДОМ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

Выполнены наблюдения за смещениями опорного сечения надземного перехода магистрального газопровода "Уренгой – Помары – Ужгород" методом корреляционного анализа. На основе экспериментальных данных установлена степень влияния термического фактора на величину смещения трубопровода. Получено уравнение регрессии для прогнозирования этих смещений.

The monitoring of displacements of the reference section of an overground switch of gas pipeline "Urengoy – Pomary – Uzhgorod" have been conducted with use of correlation analysis method. On the basis of experimental data the level of influence of thermal effect on the pipeline displacement has been determined. The regression equation to predict the displacements has been obtained.

**Постановка проблеми.** Температурні деформації надземних трубопроводів виникають внаслідок їх видовження, викликаного зміною температурного ре-

жиму атмосфери. Температура поверхні труби є змінною по довжині та в часі величиною. Її визначають в основному температура речовини, що транспортується, і температура навколишнього середовища [6].

Якщо температуру повітря над окремими ділян-

© І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар, 2013