

**Ф.Д. ЗАБЛОЦЬКИЙ, О.В. СЕРАНТ, К.Р. ТРЕТЬЯК**

Національний університет "Львівська політехніка"

# ДОСЛІДЖЕННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ РУХІВ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЄВРОПИ (ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПЕРМАНЕНТНИХ СТАНЦІЙ)

© Заблоцький Ф.Д., Серант О.В., Третяк К.Р., 2003

*По результатам GPS-наблюдений разработан алгоритм вычислений параметров горизонтальных деформаций. Найдены параметры горизонтальных деформаций за 2000 г. для Центральной Европы, приведены картосхемы их распределения.*

*An algorithm of the calculation of horizontal deformations parameters is developed by the results of GPS measurements. There are found the horizontal deformations parameters for the Central Europe on extent 2000 as well as the schemes of distribution of their are resulted.*

## Постановка проблеми

Європейська мережа перманентних станцій вже створюється більше 11 років. Ці станції належать насамперед до Міжнародної геодинамічної служби (IGS) і до EUREF-мережі. Незважаючи на нерівномірне згущення мережі в часі і просторі за період роботи вже накопичено значний обсяг інформації про кінематику перманентних станцій Європи. Обробка цієї інформації може дати кількісні і якісні параметри напруженого-деформованого стану земної поверхні Європи, які можуть характеризувати тектонічну активність Європейського континенту. Для узагальнення кінематичних і деформаційних процесів на території Європи необхідно показати зміщення перманентних станцій у вигляді векторного поля та компонент деформацій. У такому разі поверхневі тектонічні процеси будуть повністю подані з погляду кінематики й теорії деформацій. Достовірність цих досліджень обґрунтовається достатньою точністю визначення швидкості векторів зміщень перманентних станцій порівняно із самими швидкостями.

## Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями

Визначення кількісних і якісних змін у часі поля деформацій земної поверхні Європи є безпосереднім індикатором сучасної тектонічної та сейсмічної активності. Характер розподілу кінематичних процесів є обмежений границями тектонічних структур і має тісний зв'язок з внутрішньою геологічною будовою континенту. Відповідно визначення деформаційних характеристик поверхні Європи матиме великий вплив на розвиток сучасних тектонічних концепцій розвитку й формування земної кори, а також дозволить удосконалити тектоно-геофізичне районування території Європи.

## **Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених вирішенню цієї проблеми**

Дослідження горизонтальних деформацій земної поверхні виконано у роботах [1–8]. Створено програми сумісних досліджень декількох європейських країн – Франції, Швейцарії, Німеччини, Австрії та Італії на стику Африканської і Євроазіатської плит. Дослідження геодинаміки Альп проводять у Франції, Швейцарії та Італії [5]. На території Швеції й Фінляндії існують спеціальні полігони для спостережень за рухами земної кори. Комплексно вивчається геодинаміка Карпат. Про роботи в Болгарії описано в [6]; в Угорщині – [7], там запропонована технологія дослідження розломів у мікромережах. Роботи на геодинамічних полігонах і нові геодинамічні проекти в Польщі описано в [8]. На території Чехословаччини, Польщі, України і Румунії вздовж Карпатської дуги створена мережа невеликих геодезичних побудов, повторні кутові і лінійні вимірювання в яких дають загальне уявлення про розподіл направленості сучасних горизонтальних рухів земної поверхні [4]. З метою вивчення сучасної геодинаміки в Карпато-Балканському регіоні створено мережу деформаційних станцій [2, 3].

Але вони виконані тільки для окремих геодинамічних полігонів або держав, що не відтворює загальної картини кінематики земної поверхні Європи.

## **Невирішені частини загальної проблеми**

На основі результатів спостережень перманентних станцій побудовані векторні поля їх зміщення [9]. Однак за векторами зміщення можна побудувати поля розподілу компонент деформацій, які з погляду теорії деформацій дозволяють на якісно новому рівні зобразити зміни поверхневих тектонічних процесів.

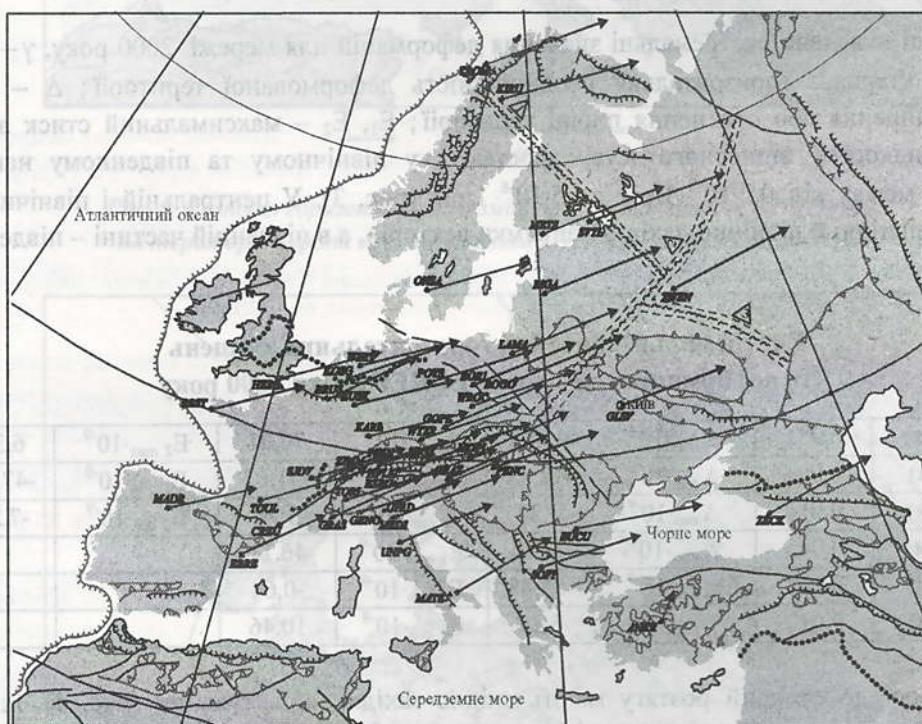
### **Постановка завдання**

Основним завданням є розробка алгоритму обчислення горизонтальних деформацій земної поверхні на основі GPS-спостережень та складання картосхем їх розподілу. Метод GPS дозволяє вивчати рухи на будь-яких територіях. За результатами GPS-спостережень можемо визначити рухи в геоцентричній системі, що буде відображати загальні зсуви тектонічних плит і локальні рухи – деформації земної поверхні. Методика обчислень запропонована в [10], обчислення деформацій за векторами зміщення – [11].

Результати безперервних спостережень перманентних станцій подають у вигляді тижневих розв'язків. Аналізуючи результати цих розв'язків, можемо встановити, що прояв кінематики перманентних станцій у часі є не завжди рівномірним, ці прояви мають коливальний характер. Висока диференціація Європейського континенту значною кількістю перманентних станцій дає змогу виявити не тільки глобальні чи регіональні зміщення блоків земної поверхні, але і встановити їх локальний прояв, а також спотворення впливу випадкових факторів (стійкістю пунктів перманентних станцій), прояв локальних техногенних процесів тощо. Безумовно, чим більша просторова диференціація перманентних станцій, тим детальніша інформація буде проявлятись на картах деформацій земної поверхні і будуть проявлятися її спотворення. Осереднення результатів обробки перманентних станцій у часі і в просторі приводить до згладження кінцевого поля деформацій, яке буде зображати узагальнений фон геодинамічних процесів. З метою попередньої якісної оцінки деформаційних процесів на території Європи, необхідно насамперед розглянути загальний тренд [12, 13] деформацій. Після виділення загальних тенденцій розвитку деформаційних процесів та їх просторового районування буде доцільне їх уточнення шляхом більшої диференціації і застосування більшої кількості перманентних станцій.

Для досліджень було використано річні результати спостережень перманентних станцій, що подані на сайті ITRF (Міжнародна земна референцна система) за 1992, 1993, 1994, 1996, 1997, 1999, 2000 роки, в яких подано координати пунктів в геоцентричній та геодезичній системах координат, зміщення пунктів по осях координат, та точність визначення цих зміщення. Це середні річні результати обробки GPS-спостережень на перманентних станціях. У річних розв'язках результатів спостережень подаються вектори зміщення пунктів у широтному й довготному напрямках. Середня

квадратична помилка визначення зміщень пунктів для 1992 р. в широтному напрямку становить 19 мм, в довготному – 15 мм, для 2000 р. в широтному напрямку – 53 мм, в довготному – 17 мм. На рис. 1 зображені карту векторів горизонтальних зміщень Євразійської плити за результатами GPS-спостережень 2000 року. Довжини векторів ( $U$  та  $V$  – різниці проекцій векторів зміщень пунктів на відповідні координатні осі) знаходяться в межах від 11 мм до 46 мм (табл. 1), з азимутами від 20 до  $81^0$  всі вектори орієнтовані в північно-східному напрямку. На основі цих даних обчислено горизонтальні деформації земної поверхні і побудовано картосхеми їх розподілу. Для визначення параметрів деформацій брали до уваги пункти з точністю, яка на порядок вища від довжин векторів. Для обчислення компонент деформацій мережа перманентних станцій розбита на елементарні трикутники. Всі компоненти деформацій визначаються для цих трикутників, відносяться до їх центрів ваги і є безрозмірними величинами і функціонально пов’язані з координатами пунктів  $X$ ,  $Y$  та різницями проекцій векторів зміщень пунктів на відповідні координатні осі. Слід зазначити, що мережа за 1992 рік складалася з 9 пунктів, але в кожному наступному році кількість використаних пунктів зростала і мережа за 2000 рік складається з 46 пунктів, які утворюють 73 трикутники. Так, на території, охопленій мережею, в 1992 році 1 пункт припадає на  $391732 \text{ km}^2$ , а в 2000 році – на  $128844 \text{ km}^2$ . Зміну кількості та щільноти пунктів з часом показано на графіку (рис. 2).



- Міжгеоблокові рухомі зони:**
  - 1 - Волинсько-Дніська; 2 - Раахе-Рибинська;
  - 3 - Рязано-Саратівська
- Континентальний тектонічний уступ**
- Найважливіші насуви та шар'яжки**
- Західна границя Східно-Європейської платформи (зона Тейсера-Торнікеста)**
- Глибинні розломи**
- Уявні граници між структурними елементами**
- Підняття, масиви**
- Тектонічні западини**
- горизонтальне зміщення 1 см/рік**

Рис. 1. Вектори швидкостей горизонтальних зміщень за результатами GPS-спостережень 2000 року

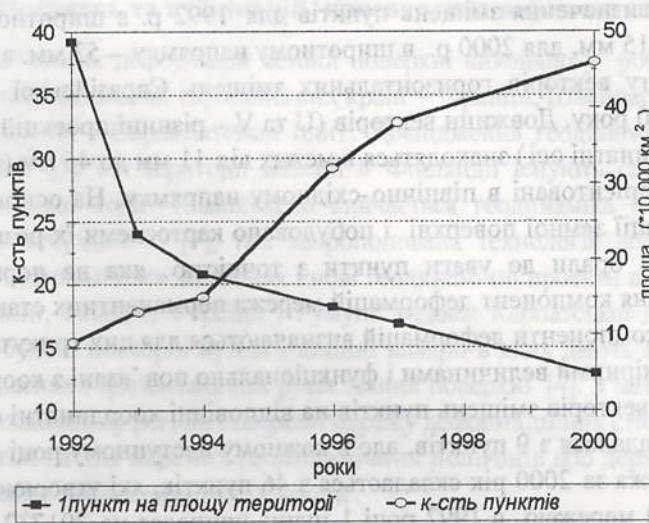


Рис. 2. Графік зміни кількості та густини пунктів із роками

У таблиці наведено екстремальні значення деформацій для мережі 2000 року,  $\gamma$  – загальний зсув, що характеризує горизонтальну неоднорідність деформованої території;  $\Delta$  – дилатація, відносне розширення або стиснення площини території;  $E_1, E_2$  – максимальний стиск або розтяг. Величини швидкостей відносного зсуву зростають у північному та південному напрямках і знаходяться в межах від  $0,2 \cdot 10^{-8}$  1/рік до  $5 \cdot 10^{-8}$  1/рік (рис. 3). У центральній і північній частині переважають північні й північно-західні напрямки векторів, а в південній частині – південно-східні напрямки.

#### Екстремальні значення горизонтальних зміщень та деформацій для мережі EUREF епохи 2000 року

$U_{\max}$ (м)	0,025	$\Delta_{\max} \cdot 10^{-9}$	43,33	$\gamma_{2 \max} \cdot 10^{-9}$	70,01	$E_{2 \max} \cdot 10^{-9}$	6,30
$U_{\min}$ (м)	0,007	$\Delta_{\min} \cdot 10^{-9}$	-42,95	$\gamma_{2 \min} \cdot 10^{-9}$	-31,67	$E_{2 \min} \cdot 10^{-9}$	-47,65
$U_{\text{cep}}$ (м)	0,014	$\Delta_{\text{cep}} \cdot 10^{-9}$	3,20	$\gamma_{2 \text{ cep}} \cdot 10^{-9}$	3,78	$E_{2 \text{ cep}} \cdot 10^{-9}$	-7,27
$V_{\max}$ (м)	0,045	$\gamma_{1 \max} \cdot 10^{-9}$	44,10	$E_{1 \max} \cdot 10^{-9}$	46,11		
$V_{\min}$ (м)	0,004	$\gamma_{1 \min} \cdot 10^{-9}$	-25,88	$E_{1 \min} \cdot 10^{-9}$	-0,64		
$V_{\text{cep}}$ (м)	0,032	$\gamma_{1 \text{ cep}} \cdot 10^{-9}$	6,15	$E_{1 \text{ cep}} \cdot 10^{-9}$	10,46		

Головні осі деформацій розтягу мають східно-західне орієнтування (рис. 4). Їх значення зростають у північному напрямку досягаючи значень  $4 \cdot 10^{-8}$  1/рік. Оси стиску в північній і центральній частині в основному орієнтовані в північно-південному напрямку і мають середні значення  $-2 \cdot 10^{-9}$ , в південній частині Європи – в основному орієнтовані з північного сходу на південний захід, де набувають максимальних значень до  $-4,6 \cdot 10^{-8}$  1/рік, що збігається із локальними дослідженнями в Італії по величині й по напрямку [14]. Аномальні зони розподілу швидкостей дилатації збігаються з основними гірськими системами Європи (рис. 5). Значення дилатацій знаходяться в межах від  $-4 \cdot 10^{-8}$  1/рік (район Динарів та Піренеїв) до  $4 \cdot 10^{-8}$  1/рік (район Альп). Слід зазначити, що в Південній частині Європи спостерігаються більші значення деформацій, ніж у Центральній. Узагальнюючи розподіл усіх компонент деформацій, можна виділити два блоки – Північний і Південний, які розділяє Альпійський пояс (що також входить до південного блока), де деформації земної поверхні мають аналогічний характер.

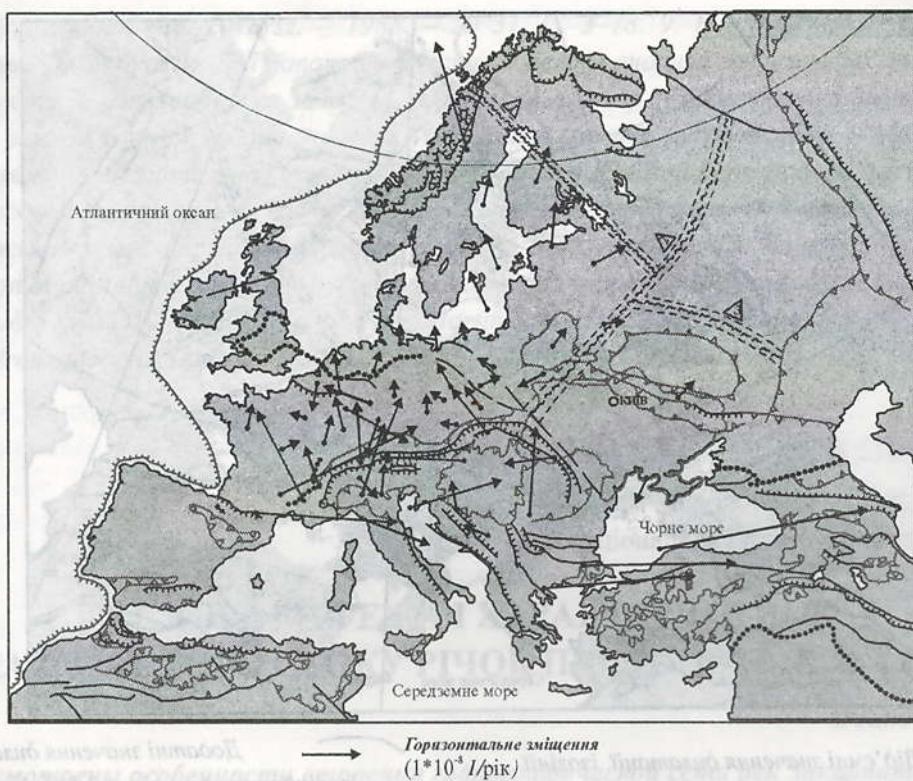


Рис. 3. Розподіл горизонтального зміщення перманентних GPS-станцій на території Європи за результатами GPS-спостережень 2000 року

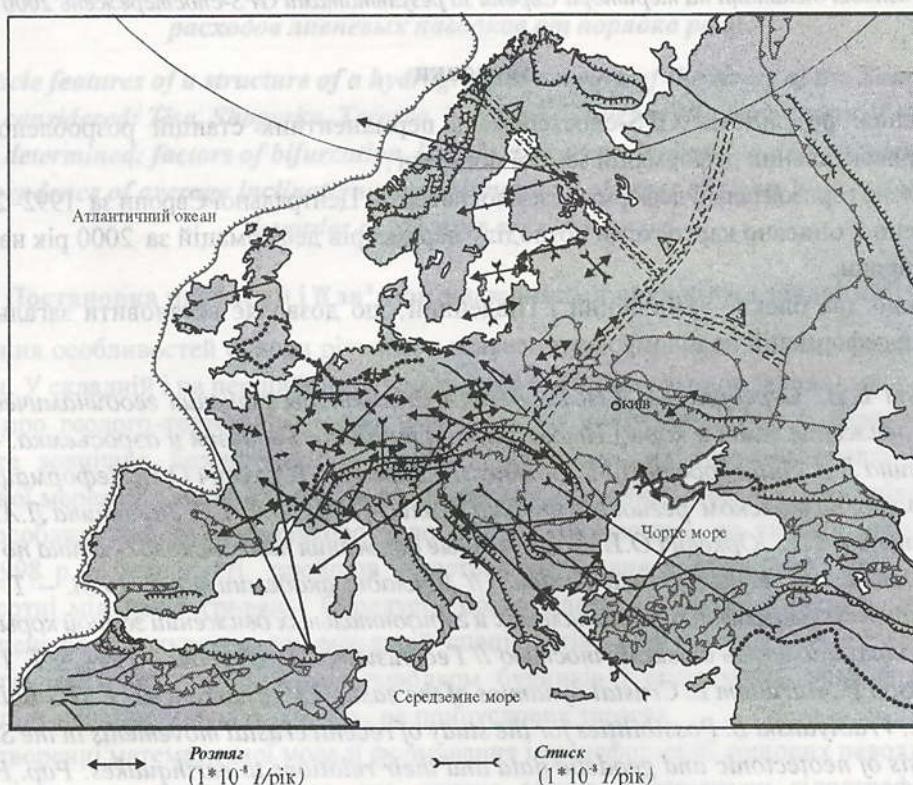


Рис. 4. Розподіл стиску й розтягу на території Європи за результатами GPS-спостережень 2000 року

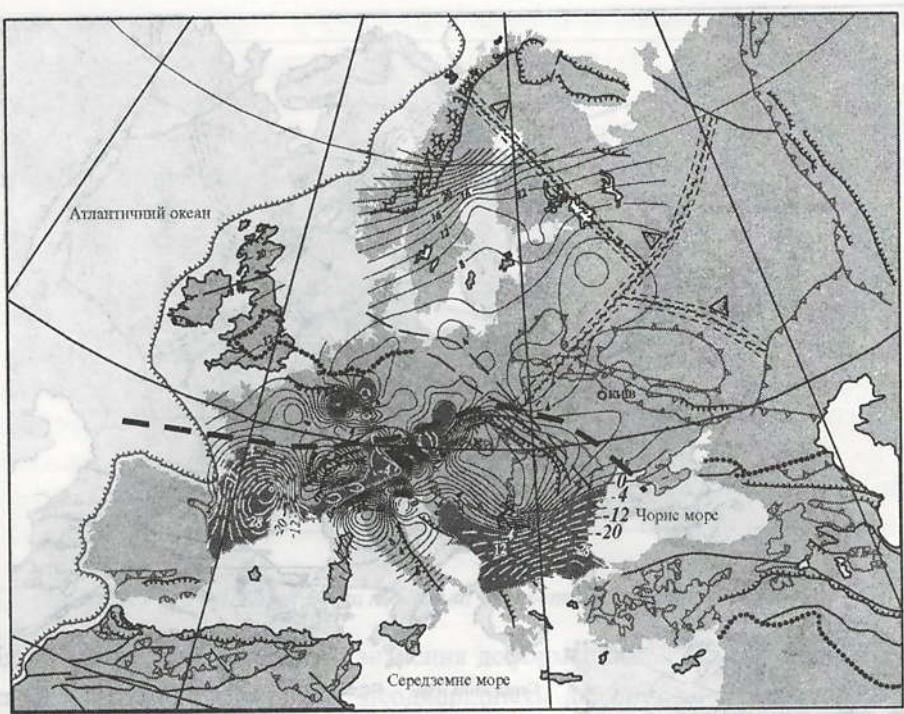


Рис. 5. Розподіл дилатациї на території Європи за результатами GPS-спостережень 2000 року

### Висновки

- На основі результатів GPS-спостережень перманентних станцій розроблено алгоритм обчислення горизонтальних деформацій земної поверхні.
- Обчислено горизонтальні деформації земної поверхні Центральної Європи за 1992–2000 рр.
- Наведено й описано картосхеми розподілу параметрів деформацій за 2000 рік на територію Центральної Європи.
- Виділено два блоки – Північний і Південний, що дозволяє встановити загальний тренд горизонтальних деформацій на цілому континенті.

- Kaftan V.I., Serебрякова Л.И. Геодезические методы решения геодинамических задач (Современные движения земной коры). Итоги науки и техники. Геодезия и аэросъемка. – М., 1990. Т. 28. 2. Латинина Л.А., Байсарович И.М., Бризих Л., Варга П., Юркевич О.И. Деформационные изменения в Карпато-Балканском регионе // Физика Земли. – 1993. – № 1. 3. Латинина Л.А., Варга П., Варга Т., Вербицкий Т.З., Юркевич О.И. Современные движения паннонского бассейна по экстензо-метрическим данным и неотектоника региона // Доклады академии наук. 1998. – Т. 360, № 1.
- Сомов В.И. Природа современных вертикальных и горизонтальных движений земной коры Карпато-Динарского региона и их связь с сейсмичностью // Геофизический журнал. – 1994. – Т. 16. – № 6. – С. 28–35.
- Wilson P., Aardoom L. Crustal dynamics of the eastern Mediterranean // CSTG Bull. – 1982. – № 4.
- Milev G., Vrablyanski B. Possibilities for the study of recent crustal movements in the Struma fault zone, on the basis of neotectonic and geodetic data and their relations to earthquakes: Pap. Proc. Symp. Recent. Crust. Movem., Tallin, Sept. 1986. Pt 1 // J. Geodyn. – 1988. – 9, № 2–4, 265–277.
- Foldvary S., Miskolczi L., Radai O. Toresvonalak vizsgalata geodeziai mikrohalozatokkal // Foldt. Kozl. – 1986. – 116, № 1. – С. 65–74.
- Czarnecka K. Problemy interpretacji badan współczesnych ruchów skorupy ziemskiej

- w Polsce // Pr. nauk. Geod. PWarsz. – 1988. – № 31. С. 3–78. 9. <http://www.wdcb.rssi.ru/~victat/GPS/index/html>. 10. Есиков Н. Г. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности. – Новосибирск, 1979. 11. Изотов А.А. и др. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах (метод. руководство). – М.: ЦНИИГАиК 1985. 12. Мельцер Х. Региональная и локальная кинематика Южной Германии по данным геодезических методов и ее геофизическая и геологическая интерпретация // 7 Междунар. симп. по соврем. движениям зем. коры. – Таллин, 8–13 сент. 1986. – С. 92. 13. Bankwitz E., Bankwitz P., Bewertung von signaltolgen rezenter vertikaler Erdkrustenbewegungen // Geod. und geophys. Veroff. – 1985. – R. 3, № 52. – С. 50–134. 14. Caporali A., Martin S., Massironi M., Baccini S. State of strain in the Italian crust from geodetic data // EUREF Publikation. – Frankfurt am Main 2002, – № 10. – Band 23.