
Міжнародна науково-технічна конференція

ГЕОФОРУМ 2018

**МОДЕЛЮВАННЯ ДВОВИМІРНИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПОЛІВ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ
ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ GNSS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ НА ТЕРИТОРІЇ ЄВРОПИ**

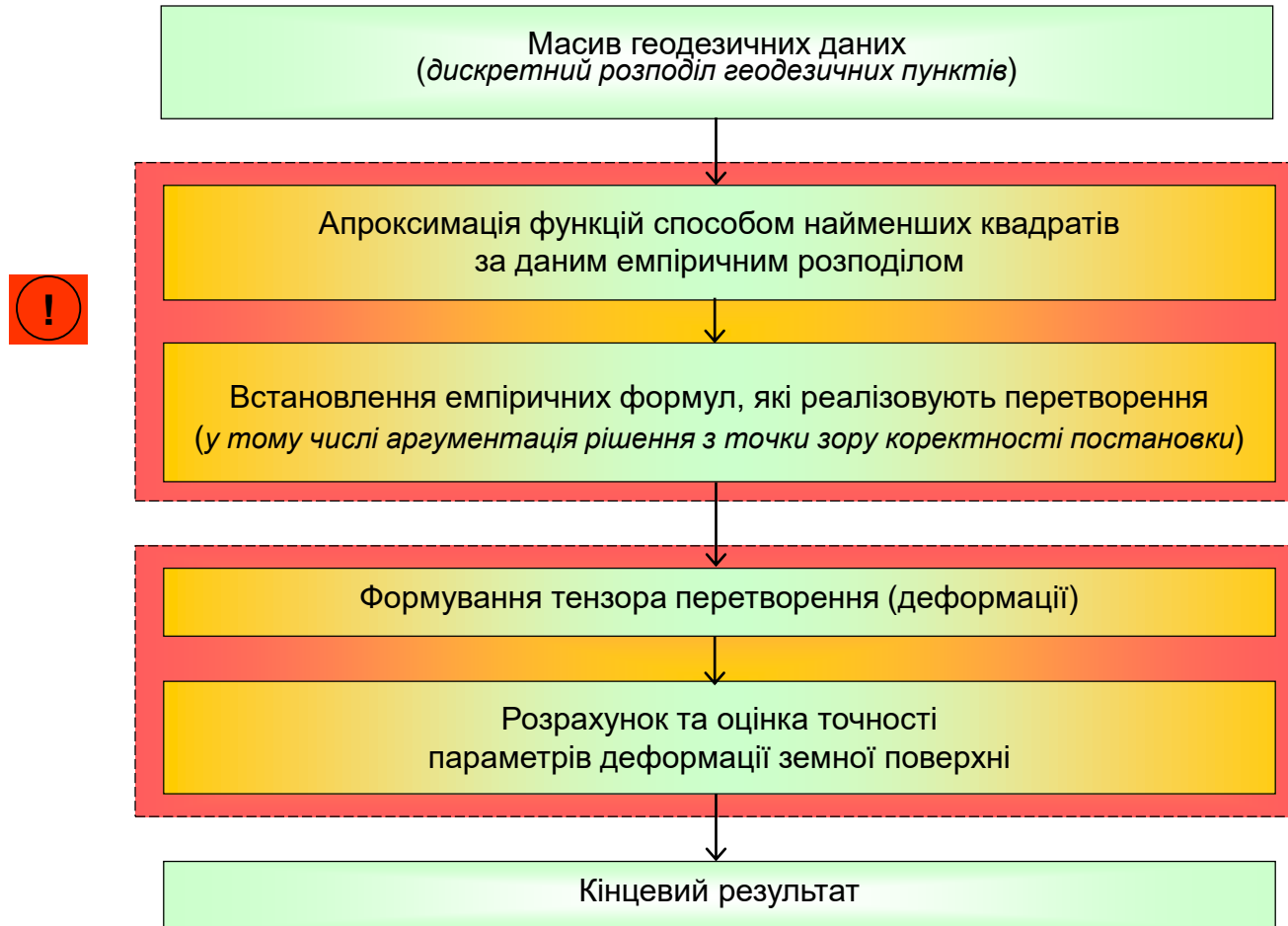
Олександр Тадєєв

Кафедра геодезії та картографії
Національний університет водного господарства та природокористування

Методика досліджень

Складові полів	просторова (тривимірна $n = 3$)			горизонтальна (двовимірна $n = 2$)		
Теоретична основа	проективно-диференціальна геометрія у середовищі ріманового простору					
Математична модель	диференціальне подання перетворень образів ріманового простору					
Методи досліджень	методи проективно-диференціальної геометрії і прийоми описування змін ріманової метрики у дотичному просторі					
Визначальна гіпотеза	перетворення простору мають геофізичне походження					
Форми образів	складні диффеоморфні многовиди розмірності $n = 3$			елементарні диффеоморфні многовиди розмірності $n = 2$		
	дотичний евклідовий простір			дотична площина	дотичні криволінійні поверхні	
Системи параметризації (координат) многовидів	прямокутна геоцентрична	геодезична еліпсоїдальна	сферична	прямокутна плоска	геодезична еліпсоїдальна	сферична
Модельна поверхня	топографічна			площина	земний еліпсоїд	геосфера
Геометрична модель	довільна замкнена неперервна область простору					
Геометричний об'єкт	двовалентний коваріантний метричний тензор перетворення (деформації) області простору					
	тривимірний			двовимірний		
Функціональна модель	довільні гладкі чи кусково-гладкі гомеоморфні функції класу C^{n-1}					
Умови реалізації функціональної моделі	забезпечення достатньо гладкої зміни ріманової метрики					
Основа побудови тензора	зміна основної квадратичної (метричної) форми області простору з використанням гомеоморфної функціональної моделі					
Масштаби полів	глобальні, регіональні, локальні			регіональні, локальні		

Загальний алгоритм вирішення завдання



Загальний алгоритм вирішення завдання

Умови реалізації емпіричного методу побудови гомеоморфної функціональної моделі



Якщо апіорі відсутня інформація про закон перетворення (деформації), то **вмотивоване компромісне рішення повинно базуватись на таких засадах:**

- ✓ Критерій встановлення емпіричних формул, які відповідають базовим функціям моделі, - середня квадратична похибка апроксимації цих функцій (підстава – формальний критерій теорії апроксимації функцій)
- ✓ З точки зору наступного використання функціональної моделі для побудови адекватних тензорних і деформаційних полів похибки апроксимації функцій для складових зміщень станцій повинні, по можливості, бути рівними (підстава – арифметичне правило визначення точності суми величин з різними середніми квадратичними похибками)
- ✓ Надмірне понад точність вимірів підвищення точності апроксимації функцій недоцільне (підстава – за гранично нульової похибки апроксимації задача перетворюється в інтерполяцію функції у вузлах і отримана емпірична формула не виражає закономірність просторового розподілу зміщень станцій)
- ✓ Надмірне збільшення числа невідомих коефіцієнтів апроксимуючої функції недоцільне (підстава – збільшення похибки апроксимації внаслідок зменшення числа ступенів свободи-надлишкових виміряних величин)

Вхідні дані вибір бази даних

	Бази GNSS-даних					
Ідентифікація	GDC/BKG	SIO	JPL	JPL Comb	NGL	UNAVCO
Приналежність	GNSS Data Center of the Bundesamt fur Kartographie und Geodasie	Scripps Institution of Oceanography	Jet Propulsion Laboratory	Jet Propulsion Laboratory	Nevada Geodetic Laboratory	University NAVSTAR Consortium
Режим доступу	http://igs.bkg.bund.de	http://sopac.ucsd.edu	http://sopac.ucsd.edu	http://sopac.ucsd.edu	http://geodesy.unr.edu	http://www.unavco.org
Програмне забезпечення	Bernese GNSS Software	GAMIT-GLOBK Software	GIPSY-OASIS Software	QOCA (GAMIT-GIPSY Combined Solution)	GIPSY-OASIS Software	GAMIT-GLOBK Software
Архів	BKG	SOPAC			NGL	UNAVCO

Обґрунтування вибору:



© Savchuk S., Tadyeyev A., Prokopchuk A . Analysis and research results of GNSS data representativeness in estimation of modern horizontal motion of the Earth's surface (on the example of Europe's territory) . Geodesy, cartography and aerial photography. - 2017. - Vol.86. – pp. 19-34.

Вхідні дані

вибір тривалості спостережень і чисельності станцій

Тривалість спостережень складає 6 років протягом 2008 – 2014 р.р., що відповідає ITRF-датумам системи ITRS. Такий вибір забезпечує

- ✓ елімінацію ефектів втрати інваріантності оцінок деформаційних полів
- ✓ достатньо репрезентативні вхідні дані з точки зору співвідношення тривалості спостережень і точності зміщень станцій

Чисельність вибірки складає **126** станцій. Із загального числа понад 200 станцій вилучені такі, що мають абсолютні значення векторів зміщень менші, ніж їх похибки

Обґрунтування вибору:



© Тадєєв О.А. До проблеми елімінації ефектів втрати інваріантності в оцінюванні деформаційних полів Землі за GNSS-даними. *Геодинаміка*. - 2017. - № 2(23). – с. 34-45.


© Savchuk S., Tadyeyev A., Prokopchuk A . *Analysis and research results of GNSS data representativeness in estimation of modern horizontal motion of the Earth's surface (on the example of Europe's territory) . Geodesy, cartography and aerial photography*. - 2017. - Vol.86. – pp. 19-34.

Вхідні дані схематична карта розташування станцій



Результати


Деформаційні поля регіонального масштабу Площина

Оцінка коефіцієнта лінійної кореляції	Базові функції	Похибка апроксимації (\pm мм)	Параметри деформаційних полів					
			Дилатація (1.e-9)	Розтяг (1.e-9)	Стиснення (1.e-9)	Зсув (1.e-9)	Напрямок головної осі деформації (град.)	Обертання (сек.)
- 0.20 \pm 0.24 	Лінійна	9 12	8 \pm 1	17 \pm 1	-9 \pm 1	26 \pm 1	204.2 \pm 1.5	0.0039 \pm 0.0003
	Лінійна + білінійна	8 12	10 \pm 1	19 \pm 1	-9 \pm 1	28 \pm 1	206.2 \pm 1.5	0.0046 \pm 0.0003
	Білінійна	9 20	7 \pm 1	9 \pm 1	-2 \pm 0	11 \pm 1	204.8 \pm 3.1	0.0018 \pm 0.0002
	Поліном степені 2	8 10	10 \pm 2	19 \pm 1	-9 \pm 1	29 \pm 2	202.6 \pm 1.6	0.0042 \pm 0.0003
	Степеневий ряд 2	8 12	7 \pm 2	16 \pm 1	-9 \pm 1	25 \pm 2	200.8 \pm 1.9	0.0034 \pm 0.0003
	Степеневий ряд 3	8 11	8 \pm 2	20 \pm 2	-12 \pm 1	32 \pm 2	204.0 \pm 1.9	0.0050 \pm 0.0004
	Ряд Лежандра степені 1	8 14	17 \pm 2	30 \pm 2	-13 \pm 1	43 \pm 2	206.8 \pm 1.3	0.0071 \pm 0.0005
	Ряд Лежандра степені 2	7 10	13 \pm 3	33 \pm 3	-20 \pm 2	52 \pm 4	209.2 \pm 1.8	0.0092 \pm 0.0008
	Ряд Лежандра степені 3	7 9	5 \pm 5	20 \pm 4	-25 \pm 3	46 \pm 5	209.1 \pm 2.8	0.0080 \pm 0.0011
	Ряд Лежандра степені 4	6 6	9 \pm 6	22 \pm 4	-13 \pm 4	36 \pm 6	193.2 \pm 5.1	0.0033 \pm 0.0013
	Ряд Лежандра степені 5	6 5	-14 \pm 28	39 \pm 18	-53 \pm 24	91 \pm 30	145.0 \pm 9.1	0.0177 \pm 0.0067

Результати

Деформаційні поля регіонального масштабу

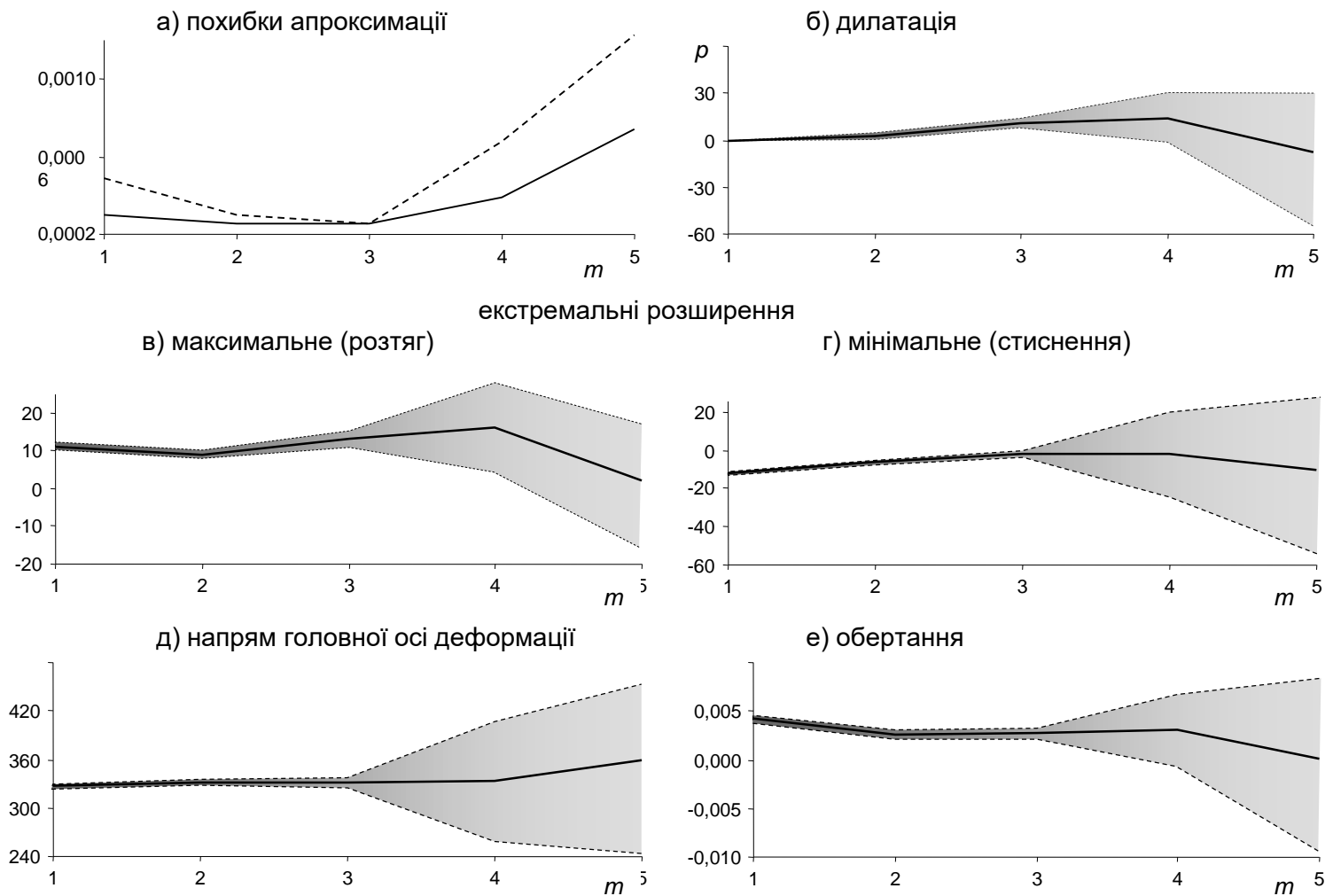
Геосфера Земний еліпсоїд

Оцінка коефіцієнта лінійної кореляції	Базові функції : Ряди сферичних функцій Лежандра (ступінь / число коефіцієнтів)	Похибка апроксимації (± сек.)	Параметри деформаційних полів					
			Дилатація (1.e-9)	Розтяг (1.e-9)	Стиснення (1.e-9)	Зсув (1.e-9)	Напряг головної осі деформації (град.)	Обертання (сек.)
-0.52 ± 0.24 	1 / 4	0.00030 0.00049	-1 ± 1	11 ± 1	-12 ± 1	22 ± 1	327.4 ± 1.7	0.0042 ± 0.0003
	2 / 9	0.00025 0.00030	3 ± 2	9 ± 1	-6 ± 1	15 ± 2	331.9 ± 3.6	0.0026 ± 0.0004
	3 / 16	0.00025 0.00025	11 ± 3	13 ± 2	-2 ± 2	15 ± 3	330.5 ± 5.7	0.0027 ± 0.0006
	4 / 25	0.00031 0.00007	14 ± 46	16 ± 41	-2 ± 22	18 ± 46	333.0 ± 74.3	0.0030 ± 0.0097
	5 / 36	0.00074 0.00373	-8 ± 48	2 ± 14	-10 ± 45	12 ± 48	359.9 ± 117.1	0.00001 ± 0.0099

Результати

Деформаційні поля регіонального масштабу

Геосфера Земний еліпсоїд



Результати Деформаційні поля регіонального масштабу

Порівняльна таблиця

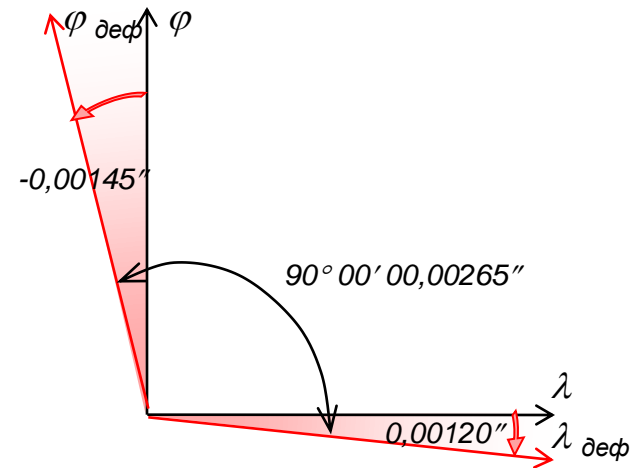
Модельна поверхня	Базові функції	Похибка апроксимації	Параметри деформаційних полів					
			Дилатація (1.e-9)	Розтяг (1.e-9)	Стиснення (1.e-9)	Зсув (1.e-9)	Напрямок головної осі деформації (град.)	Обертання (сек.)
Площина	Ряд функцій Лежандра степені 4	± 6 мм ± 6 мм	9 ± 6	22 ± 4	-13 ± 4	36 ± 6	193.2 ± 5.1	0.0033 ± 0.0013
Геосфера Земний еліпсоїд	Ряд сферичних функцій Лежандра степені 3	$\pm 0.00025''$ $\pm 0.00025''$	11 ± 3	13 ± 2	-2 ± 2	15 ± 3	330.5 ± 5.7	0.0027 ± 0.0006

Результати

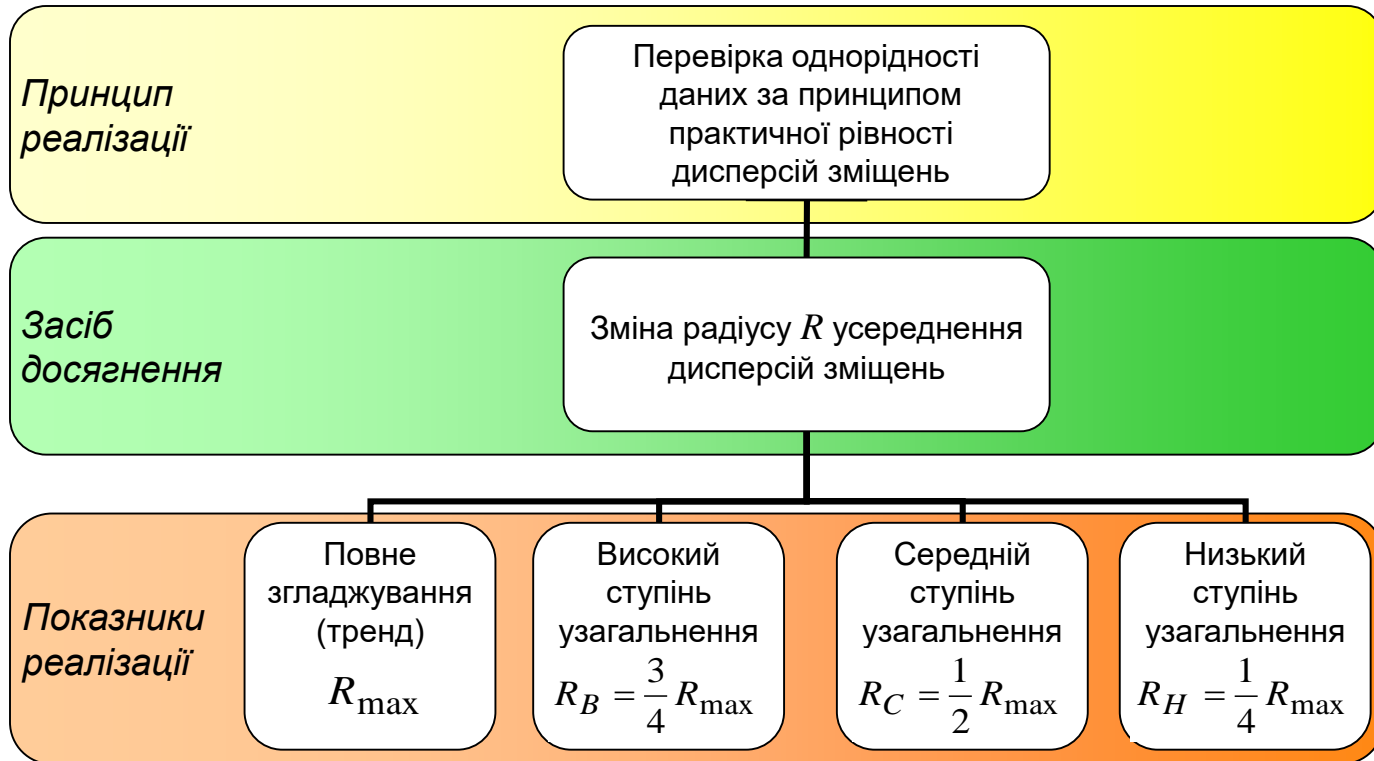
Спотворення ортогональності системи координат

Геосфера Земний еліпсоїд

Осі координат	φ (меридіан)	λ (паралель)
Напрями осей відносно початкового стану	$359^{\circ} 59' 59,99855''$	$90^{\circ} 00' 00,00120''$
Відхилення осей від початкового стану	$-0,00145''$	$0,00120''$
Показник косокутної системи (різниця напрямів осей)	$90^{\circ} 00' 00,00265''$	
Спотворення ортогональності (обертання поверхні як абсолютно твердого тіла)	$0,00265''$ $\pm 0,00062''$	

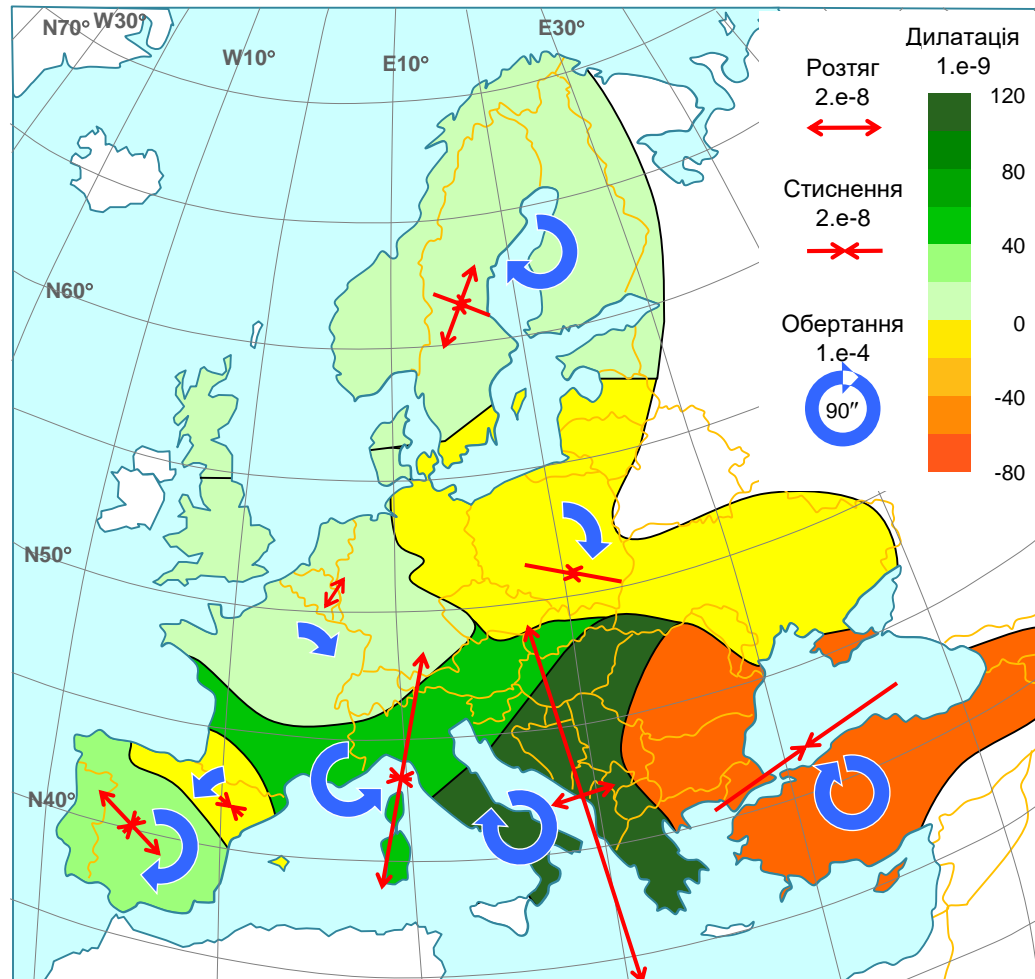


Перспективи зміни ступеню узагальнення (деталізації) результатів опрацювання даних



Результати Деформаційні поля локального масштабу

Схематична карта деформацій земної поверхні



Основні висновки за результатами експерименту

- ✓ Посвідчено переваги моделювання деформаційних полів земної поверхні на типових криволінійних поверхнях у порівнянні з таким на площині
- ✓ На прикладі опрацювання обраного масиву вхідних даних показано, що лінійні закономірності деформації земної поверхні практично відсутні
- ✓ Теорія диференціального подання перетворень образів ріманового простору, як основа оцінювання деформаційних полів Землі, є узагальнюючою щодо традиційно використовуваної лінійно-однорідної моделі математичної теорії пружності. Використана методика деформаційного аналізу на такій теоретичній основі дає змогу виражати будь-які, а не лише лінійні, закономірності деформації, отже має значно вищий потенціал та інформативний ресурс
- ✓ За результатами моделювання визначено параметри деформаційних полів регіонального та локального масштабів для території Європи за період 2008-2014 р.р.

Доповідь завершено

Дякую за увагу