

## КАРТА СУЧАСНИХ ГРАДІЄНТІВ ШВИДКОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ КРИМСЬКОГО ПІВОСТРОВА.

К. Третяк

*(Державний університет "Львівська політехніка")*

На протязі останніх чотирьох десятиліть, дослідники глобальних геодинамічних процесів намагаються картографічним методом відтворити сучасну картину деформацій земної кори тектонічно - активних регіонів і цілих континентів. Просторова інформація про аномальні деформаційні явища, їх розподіл, швидкості і прискорення, розвиток в земній корі є безпосереднім провісником землетрусів [1,11,18], дозволяє вивчити кінематику і історію утворення структурних форм рельєфу, визначити природу і джерела тектонічних напружень, прогнозувати і попереджувати активізацію небезпечних геологічних процесів ендегенного і техногенного походження.

Тільки картографічний аналіз глобальних та регіональних деформаційних процесів є найбільш багатограним методом досліджень геологічних структур, динаміки взаємозв'язку явищ різноманітної фізичної природи і їх прогнозу.

Вихідною інформацією для побудови карт деформацій земної кори служать результати геодезичних, мореографічних і геолого-геоморфологічних спостережень. Ці спостереження можна розділити на періодичні та безперервні (моніторингові), глобальні, регіональні та локальні, безпосередні та дистанційні, прямі та побічні, їх також можна диференціювати за точністю вимірів, порядку вимірюваних величин, довжин баз вимірів.

Однак, результати вимірів залежні від прояву ендегенних (глибинних і приповерхневих процесів), а також екзогенних факторів. Відповідно деформаційні поля отримані за результатами інструментальних вимірів, сукупністю взаємодії сил глибинної, приповерхневої і поверхневої природи. Зважене врахування геоморфологічних факторів при обробці інструментальних вимірів, можливо частково знімає тренд приповерхневих та поверхневих впливів. Однак, однозначне сприйняття деформаційного поля отриманого за інструментальними даними, як відбиток деформацій земної кори є неправдоподібне. Такі деформаційні поля доцільніше називати деформаціями земної поверхні.

### *Результати розробок карт вертикальних рухів земної кори Кримського півострова.*

Перша "Карта современных вертикальных

движений западной половины Европейской части СССР" яка охоплювала Кримський півострів була надрукована в 1958р [15]. Для її розробки використовувались дані високоточних геодезичних нівелювань, рівнемірних спостережень і геолого-геоморфологічних зйомок.

З 1971 р. розпочато міжнародне співробітництво по розробці карти сучасних вертикальних рухів земної кори Східної Європи. При складанні цієї карти масштабу 1:10000000 були використані дані повторних нівелювань східної Німеччини, Угорщини, Польщі, країн СНД, Чехії та Словаччини [16]. В 1973 р. видано удосконалений варіант цієї карти в масштабі 1:2500000 [4]. В 1985, 1986 рр., геодезичні служби країн східної Європи розробили нові варіанти цих карт [5,6].

В 1982-1984 рр. спеціалістами ГУГК була розроблена карта вертикальних рухів території будшого СРСР [7].

Геодезичним підприємством України розроблено варіант карти градієнтів вертикальних рухів земної кори Криму.

Швидкості вертикальних рухів земної кори на цих картах знаходяться в досить широкому спектрі (-4 до +6 мм/рік). Для розробок цих карт використовувалась різна геодезична і геолого-геоморфологічна інформація як правило різко рознесена в часі. Застосування різноманітних методів до побудови цих карт привело до їх неадекватності

### *Методичні аспекти розробок карт вертикальних рухів земної кори.*

Кarti вертикальних рухів земної кори складаються за даними повторних геодезичних вимірів та комплексу геоморфологічних, морфометричних і ландшафтних методів. Останні включають в себе

- аналіз просторового розміщення генетичних типів сучасних відкладів;
- аналіз сучасних зсувних процесів;
- вивчення сучасних карстових суфіозних процесів;
- аналіз сучасних змін планового положення русел рік, берегових ліній озер;
- вивчення сучасних змін повздовжніх профілів рік;



- дослідження розвитку мережі ярів;
- аналіз сучасних змін заболоченості і заозереності території;
- аналіз сучасних змін передгірських шлейфів і конусів виносу;
- аналіз аномалій нахилу русел рік;
- кореляційний взаємозв'язок між потужністю земної кори і аномаліями сили тяжіння.

Оскільки, результати геодезичних вимірів є дискретними, то результати цих методів є безперервними на всій досліджуваній території.

В [8] запропоновано метод прогнозування швидкостей вертикальних рухів за допомогою кореляційної моделі за геолого-геофізичними даними. Використовується оператор який пов'язує швидкості вертикальних рухів з рядом параметрів

$$v = f(g, G) \quad (1)$$

де: в  $g$  включено  $\Delta M$  - рельєф поверхні району  $M$ ,  $h$  - рельєф земної поверхні;  $\Delta g$  - поле аномалій сили тяжіння,  $G$  - дані про геологічну будову земної кори досліджуваного району.

Недоліком цього методу є суб'єктивний підхід до оперування геолого-геофізичною і геоморфологічною інформацією.

Окремий напрям складання карт вертикальних рухів об'єднують математично-статистичні методи. В [23] поверхня вертикальних рухів описується за допомогою алгебраїчних поліномів двох змінних, а в [20] за допомогою мультікватратичних поверхонь. В [22] запропоновано дві моделі які описують поле вертикальних рухів і які включають параметр часу за допомогою поліномів однієї та двох змінних. В [19,24] запропоновано моделі поверхні швидкостей вертикальних рухів земної кори які рекомендовано застосовувати для тектонічно активних регіонів, обумовлених неотектонічними впливами. В останній час найбільшого розповсюдження набувають статистичні методи базовані на теорії ймовірності з застосуванням методу колокації [16]. Безумовно вибір найефективнішої методики інтерполяції результатів дискретних вимірів на безперервне поле має важливе значення. Математично зрозуміло, чим вища степінь поліному тим краще апроксимаційна поверхня буде співпадати з базовими точками. Однак, важливим є врахування при інтерполяції впливу геологічних та геофізичних факторів, зокрема тектонічної будови регіону, а також фільтрації екзогенних та приповерхневих впливів. Для цього необхідно розробити критерії ефективності цих методик. В першому наближенні це може бути

експериментальне тестування методики на густій мережі точок для яких визначені швидкості зміщень. Тестована методика реалізується на обмеженій частині точок, наприклад 60-70% від всієї кількості. На решті невикористаних точок визначаються відхилення між розрахованими модельними значеннями і істинними, визначеними з вимірювань. Методика, для якої ці відхилення будуть мінімальні є найефективнішою. Зрозуміло, що для різних регіонів з різною тектонічною і геофізичною будовою найефективнішими можуть бути різні методики, що є предметом окремих досліджень.

Крім методичних аспектів інтерполяції та прогнозування вертикальних рухів земної кори важливе значення має сам підхід до представлення деформаційних процесів земної поверхні. На сьогоднішній час традиційним являється метод швидкостей вертикальних рухів. Цей метод можна розділити на метод "абсолютних" і "відносних" швидкостей. Умовно названий метод "абсолютних" швидкостей базується на визначенні швидкості зміни висот пунктів відносно вихідного пункту. Зрозуміло, що такі швидкості будуть відносними в залежності від вибраного вихідного пункту. Визначення абсолютних швидкостей можливе тільки відносно центра мас Землі. Отримання такої інформації можливе тільки при застосуванні космічних методів і побудови глобальної Земної мережі. Однак, повертаючись до методу "абсолютних" швидкостей необхідно зазначити його позитивні та негативні сторони. Отриманий цим методом розподіл швидкостей наглядно ілюструє основні тенденції динаміки земної поверхні, що дозволяє досить просто виявляти аномальні зони, розраховувати різноманітні деформаційні параметри, прогнозувати ці явища на майбутнє. Не знижуючи наукової цінності цих методів необхідно зазначити, що їх достовірність залежить від точності нівелювань, покладених в їх основу. Для складання таких карт використовують результати повторних нівелювань державної мережі і мережі геополігонів. Окремі лінії нівелювання першого класу по своїй довжині сягають 25-30 км. Точність вимірювання перевищень в нівелюванні першого класу визначається випадковою похибкою на 1 км. ходу рівною 0,7 мм і систематичною приблизно на порядок меншою. Відповідно точність визначення перевищень для однієї лінії буде складати 4 мм. Враховуючи, що для складання карт вертикальних рухів використовують результати нівелювань цілих мереж які охоплюють площі в тисячі кв. км. то похибки визначення висот найбільш віддалених реперів від вихідних (рівнемірних мо-



реграфічних пунктів) будуть сягати кількох сантиметрів. Урівноваження таких мереж приводить до зменшення цих похибок. Однак, це зменшення залежить від жорсткості мереж. Нівелірні державні високоточні мережі як правило володіють низькою ступенню жорсткості. Тому накопичення похибок в цих мережах є досить швидким. Враховуючи також, що для побудови карт вертикальних рухів використовують різниці висот реперів на різні епохи то ці похибки будуть ще більшими. Експериментальні дані отримані математичним моделюванням підтверджують, що в мережах які охоплюють площі в 1000 кв. км. похибки визначення різниці висот сягають 2-3 см. Ізолінії на картах вертикальних рухів земної поверхні проводять як правило через 1 мм. при цьому цифрові моделі представлені в величинах річних швидкостей.

Як видно з цих порівнянь точність проведення ізоліній на цих картах не співвимірна з точністю визначення річних швидкостей реперів.

Метод "відносних" швидкостей полягає в визначенні поля швидкостей зміни перевищень між сусідніми реперами і представлені його в виді ізоліній. Швидкості зміни перевищень розраховуються як

$$V = \frac{\Delta h_m'' - \Delta h_n''}{t_m - t_n} \quad (2)$$

де:  $\Delta h_m''$ ,  $\Delta h_n''$  - відповідні перевищення між двома реперами на епоху  $t_m$  і  $t_n$ .

Поле цих швидкостей не залежить від накопичення похибок вимірів в нівелірних ходах. Фізичний зміст цього поля полягає в представлені швидкостей вертикальних розтягів і стисків земної поверхні, а не швидкостей руху. Однак, невизначенність цього поля полягає в його ненормованості в горизонтальній площині, тобто швидкості вертикального розтягу або стиску не враховують відстані між реперами. Відповідно ці карти представляють спотворене поле деформацій.

Зараз актуальним є розв'язок проблеми підвищення точності, інформативності і достовірності відображення динаміки земної поверхні. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є розробка карт градієнтів вертикальних деформацій земної кори, які не залежать від закономірностей накопичення похибок в нівелірних мережах і вибору вихідних пунктів, а також достовірно відображають поле деформацій. Метод градієнтів раніше застосовувався для вивчення сучасних рухів земної кори [3,10]. Отримані градієнти є локалізовані до геометричної середини лінії нівелювання між двома

реперами. Метод звільнений від похибок передачі висот на великі віддалі. Отримані значення градієнтів рівноточні в будь-якій частині досліджуваної території. Величини градієнтів розраховуються як

$$\nabla V_y = \frac{V_y}{L_y} \quad (3)$$

де:  $\nabla V_y$  - лінійний градієнт швидкості зміни перевищень між пунктами  $i, j$ ,  $V_y$  - швидкості зміни перевищень між пунктами  $i, j$ ,  $L_y$  - відстань між пунктами  $i, j$ .

Отримані градієнти локалізуються до середини лінії нівелювання між двома реперами.

Нами запропоновано методику складання карт сучасних градієнтів швидкостей вертикальних деформацій (ГШВД) земної поверхні за результатами повторних нівелювань. Величини швидкостей деформацій розраховуються за формулою

$$\nabla V_y = \text{sign}(dh_y) \frac{V_y}{L_y} \quad (4)$$

де:  $dh_y$  - перевищення між пунктами  $i, j$ .

Функція  $\text{sign}(dh_y)$  має суттєвий вплив на знак деформацій. При  $dh_y > 0$ ,  $\text{sign}(dh_y) = +1$ , а при  $dh_y < 0$ ,  $\text{sign}(dh_y) = -1$ .

#### *Загальна тектонічна характеристика Кримського півострова.*

За сучасними уявленнями Кримський півострів розташований на території двох великих тектонічних споруд, Скіфської плити і складчато-брилової структури Гірського Криму. Границя між цими структурами проходить вздовж Сімферопольської зони розлому, яка зветься Передгірною (або Північно-Кримською) у східно-північно-східному напрямку від Балаклави до Сімферополя, а потім проходить біля м.Білогорськ, Владиславівка і далі продовжується на схід через Керченський півострів (Рис.1).

#### *Розробка карти сучасних градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні Кримського півострова.*

Розробка карти сучасних градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні Кримського півострова виконувалась на в чотири етапи:



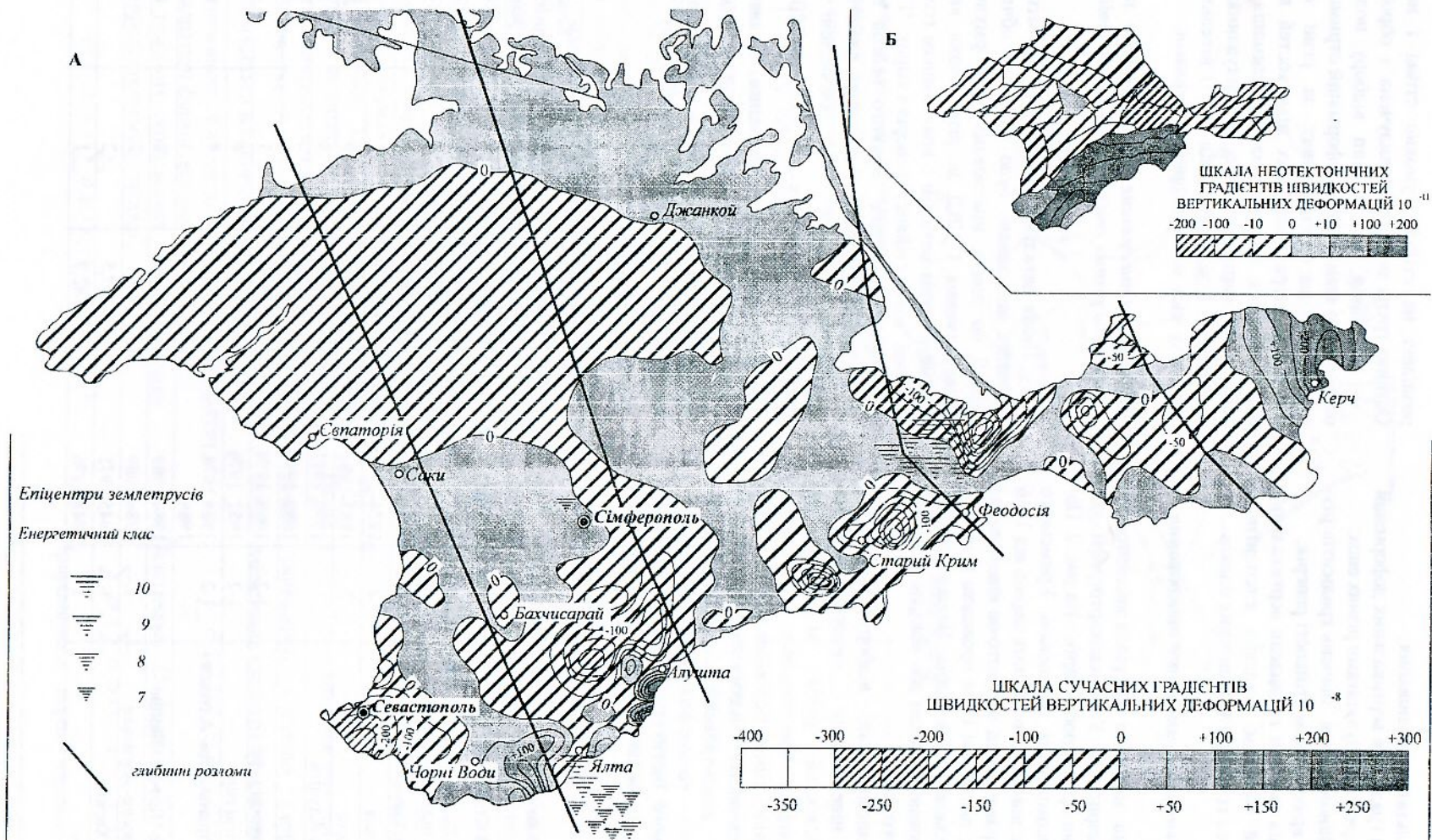


Рис. 1. Карти градієнтів швидкостей вертикальних деформацій земної поверхні Кримського півострова:  
 А – сучасних, Б – неотектонічних



- відбір результатів нівелювання;
- обчислення градієнтів вертикальних деформацій земної поверхні за результатами різних епох;
- сумісне урівноваження значень градієнтів різних епох з врахуванням стійкості реперів,
- інтерполяція ізольній градієнтів вертикальних деформацій методом кінцевих елементів з врахуванням геометрії тектонічних блоків.

#### Відбір результатів повторного нівелювання

В таблиці містяться матеріали високоточних нівелювань підприємств Укргеодезкартографії які, були використані при розробці карти. На рис. 2. Подана схема високоточних нівелювань Кримського півострова. Нівелювання охоплюють період від 1946 по 1991р. Насправді перші високоточні нівелювання на Кримському півострові були проведені в 1897 р. Корпусом військових топографів. Нажаль, результати цих нівелювань втрачені або відсутні в архівах Укргеодезкартографії.

На першому етапі відбору знаків для повторного нівелювання використовувались графіки швидкостей рухів за профілями. Аналізуючи графіки, виключались "геодезично" ненадійні знаки, зміни перевищень між якими мали значне аномальне відхилення. На другому етапі відбору виконувався аналіз матеріалів польового геолога - геоморфологічного обстеження знаків виконаного Інститутом географії НАН [2]. Всі обстежені знаки по своїй репрезентативності

розділені на стійкі, умовно стійкі і нестійкі. Остання група знаків була вилучена з обробки.

Останній, третій етап відбору полягав в осередненні швидкостей деформації отриманих на одних і тих же перевищеннях за різні періоди часу. Для осереднення цих швидкостей виконувалась лінійна, квадратична апроксимація швидкостей від параметру часу з врахуванням ваги швидкостей в залежності від якості нівелювання і інтервалу часу між повторними циклами.

#### Обчислення та сумісне урівноваження значень градієнтів різних епох з врахуванням стійкості реперів

Після детального аналізу результатів високоточних нівелювань було виконано обчислення ГШВД по лініях нівелювань за формулою (4). Урівноваження ГШВД за різні епохи виконано параметричним методом з врахуванням геоморфологічної "ваги" стійкості реперів і марок. "Геолого-геоморфологічна вага" кожного репера приймалась в залежності від його стійкості: для стійких-1, для умовно стійких - 0.5. Обчислені ГШВД знаходяться в межах  $(-2000 \leftrightarrow +2000) \cdot 10^{-8}$  (м/м\*рік) або  $(\text{рік}^{-1})$ . Значення в інтервалах  $(+2000 \leftrightarrow +350) \cdot 10^{-8}$  і  $(-2000 \leftrightarrow -400) \cdot 10^{-8}$  відносяться до 1% перевищень, які скупчені на окремих ділянках гірської частини Криму.

Основні дані про високоточні нівелювання Кримського півострова.

Назва лінії	Клас нівелювання	Роки	Довжина траси в (км)	Кількість фундаментальних реперів	Кількість ґрунтових реперів
Мекензіві гори-Стрєнь	7-2	1969, 1974, 1977, 1983-1984	44,3	1	4
Сімферополь-Владиславівка	1-2	1974-1975, 1983-1984	126,3	3	2
Алушта -Владиславівка	1	1983-1984 1974-1975	176,2	4	
Алушта - Феодосія	2	1974-1975, 1991	105,1	1	
Грушівка- Алушта	2	1983-1984 1991	132,6	5	20
Сонячногірське-Алушта	1	1990, 1991	34,1	3	8
Севастополь-Ялта	1	1980, 1983-1984	103,2	7	1
Херсонес-Мекензіві гори	1-2	1969, 1974, 1977	38,1	3	2
Ішунь- Мекензіві гори	1-2	1952, 1976	383,9	4	
Сімферополь-Стрєнь-Ялта- Алушта - Сімферополь	1-2	1969,1974,1977,1983-1984	114,2	7	6
Леніно- Мисове-Пісочне -Леніно	1	1984,1989	65,9	2	10
Семенівка - Мисове- Азовське	1	1984,1989	45,4	2	4
Сімферополь - Харків	1	1945,1975	177,5	2	
Джанкой - Керч	1	1948,1976	182,9	1	



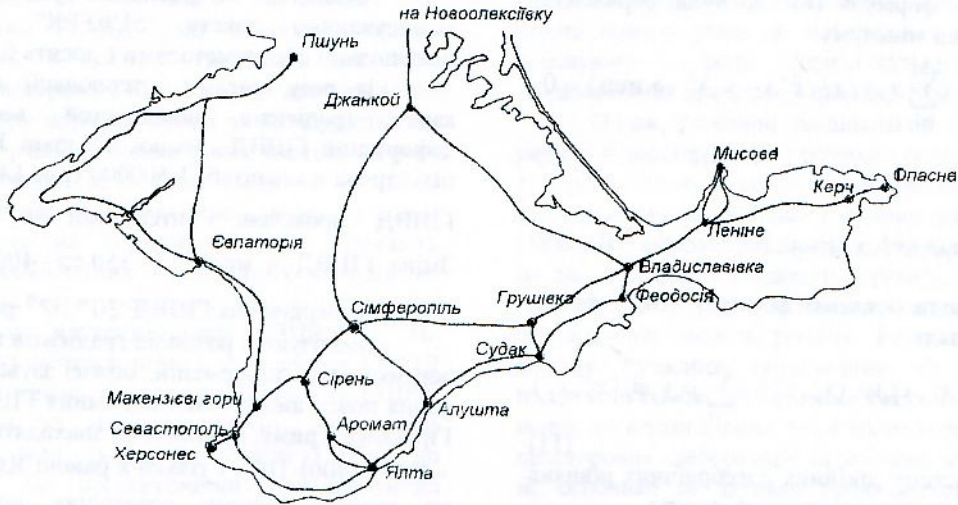


Рис. 2. Схема ліній високоточних нівелювань Криму.

**Інтерполяція ізоліній градієнтів вертикальних деформацій методом кінцевих елементів з врахуванням геометрії тектонічних блоків**

- В [17,21] у першу чергу для інтерполяції ізоліній необхідно передбачити пристосованість підходу, який може задовольняти декілька критеріїв
- інтерполяційний метод повинен легко поширюватися на велику кількість тектонічних блоків;
  - розбиття області має задаватися регулярною сіткою для найпростішого використання методів побудови ізоліній;
  - метод має передбачити подальшу можливість згідно деякого закону отримати загальний взаємопов'язаний рух тектонічних блоків.

Нехай  $\varphi(x_1, x_2)$  - функція зміни швидкості висоти поверхні, задана в  $N$  точках блоку. Використання стандартних методів інтерполяції для випадку великих  $N$  приводить до використання поліномів високих порядків, які передбачають суттєві осциляції розв'язку. Тому запропоновано підхід, який базується на використанні методу найменших квадратів в скінченноелементній інтерпретації.

Згідно такого методу область інтерполяції (блок) розбивається на скінченні елементи  $\Omega_i^*$  ( $i$  - номер скінченного елемента). Елементи вибираються квадратної форми, восьмиточкові (рис. 3).

На кожному скінченному елементі шукану функцію представляємо у вигляді

$$\varphi(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(x_1, x_2), \quad (5)$$



Рис. 3. Восьмиточкові елементи квадратичної форми.

На кожному скінченному елементі шукану функцію представляємо у вигляді

$$\varphi(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(x_1, x_2), \quad (5)$$

де  $k$  - кількість базисних функцій з допомогою яких проводиться інтерполяція. Як частковий випадок таких функцій можуть бути використані поліноми

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= 1, \varphi_2 = \xi, \varphi_3 = \eta, \varphi_4 = \xi^2, \varphi_5 = \xi\eta, \\ \varphi_6 &= \eta^2, \varphi_7 = \xi^3, \varphi_8 = \xi^2\eta, \varphi_9 = \xi\eta^2, \\ \varphi_{10} &= \eta^3 \end{aligned} \quad (6)$$

Нехай  $y_j$  ( $j = 1, \nu$ ) - значення шуканої функції у  $\nu$  точках скінченного елемента  $(x_1^j, x_2^j)$ . Згідно методу найменших квадратів будемо вимагати, щоб

$$\sum_{j=1}^{\nu} \rho_j (\varphi_j(x_1^j, x_2^j) - y_j)^2 \rightarrow \min \quad (7)$$

Підставимо (5) формулу (7). Отримаємо

$$\sum_{j=1}^{\nu} \rho_j (\sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(x_1^j, x_2^j) - y_j)^2 \rightarrow \min \quad (8)$$

Приврівнюючи перші часткові похідні від



лівої частини формули (8) до нуля, отримаємо необхідні умови мінімуму

$$\frac{\partial}{\partial a_i} \left( \sum_{j=1}^v \rho_j \left( \sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(x'_1, x'_2) - y_j \right)^2 \rightarrow \min \right) = 0, \quad I = 1, k \quad (9)$$

або

$$\sum_{j=1}^v 2\rho_j \left( \sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(x'_1, x'_2) - y_j \right) \varphi_i(x'_1, x'_2) = 0. \quad (10)$$

Записавши останню формулу (10) у більш зручному вигляді

$$\sum_{j=1}^v \rho_j \sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(x'_1, x'_2) \varphi_i(x'_1, x'_2) = \sum_{j=1}^v \rho_j y_j \varphi_i(x'_1, x'_2) \quad (11)$$

отримаємо систему лінійних алгебраїчних рівнянь для знаходження невідомих коефіцієнтів

Після цього знайдемо значення функції (5) у всіх вузлах скінченного елемента.

Використання квадратичних апроксимацій типу

$$\psi_j(\xi, \eta) = \frac{1}{4} (1 + \xi, \xi)(1 + \eta, \eta)(\xi, \xi + \eta, \eta - 1), \quad j = 1, 3, 5, 7;$$

$$\psi_j(\xi, \eta) = \frac{1}{2} (1 - \xi^2)(1 + \eta, \eta), \quad j = 2, 6$$

$$\psi_j(\xi, \eta) = \frac{1}{2} (1 + \xi, \xi)(1 - \eta^2), \quad j = 4, 8 \quad (12)$$

дозволяє з допомогою формул

$$x_1 = \sum_{i=1}^8 x'_1 \psi_i(\xi, \eta);$$

$$x_2 = \sum_{i=1}^8 x'_2 \psi_i(\xi, \eta); \quad (13)$$

отримати розподіл функції в будь-якій точці скінченного елемента

Алгоритм використання запропонованого методу для блоку будь-якої форми передбачає розширення блоку до описуючого прямокутника, розбиття нової прямокутної області на прямокутні восьмиточкові елементи, вибір точок з відомими значеннями функції на кожному елементі, інтерполяцію на всіх елементах (починаючи з елементів з найбільшою кількістю заданих функцій швидкості).

Результатом використаного алгоритму є інтерполянт на рівномірній сітці, що дозволяє задовільняти всі критерії, сформульовані в постановці задачі.

Інтерполяція ізоліній проводилась для кожного тектонічного блоку. Далі виконувалось узгодження ізоліній на стиках тектонічних блоків.

Аналогічну інтерполяцію було проведено з застосуванням пакету "SURFER". Результати інтерполяції обома методами є досить близькими.

За результатами інтерполяції побудовано карту градієнтів швидкостей вертикальних деформацій ГШВД земної поверхні Кримського півострова в масштабі 1:500000 (рис. 1А). Ізолінії ГШВД проведені з інтервалом  $50 \cdot 10^{-8} \text{ рік}^{-1}$ . Зміна ГШВД в межах  $(+350 \Leftrightarrow -400) \cdot 10^{-8} \text{ рік}^{-1}$ . Точність визначення ГШВД  $20 \cdot 10^{-8} \text{ рік}^{-1}$ .

Аналізуючи розподіл градієнтів швидкостей вертикальних деформацій, можна зауважити утворення поясу аномальних від'ємних ГШВД вздовж Гірського Криму, їх величини знаходяться в межах  $-(50 \Leftrightarrow 400) \cdot 10^{-8}$ , і тільки в районі Ялти та Керчі на значно менших територіях проявляються додатні ГШВД в границях  $-(50 \Leftrightarrow 300) \cdot 10^{-8}$ . На території Центрального сегменту Скіфської плити в основному проявляються значно менші від'ємні ГШВД в межах  $-(0 \Leftrightarrow 50) \cdot 10^{-8}$ , на південній і частково південно-східній частині Кримського півострова та в районі Сімферополя та Сакі проявляються додатні ГШВД в межах  $+(0 \Leftrightarrow 50) \cdot 10^{-8}$ . На нашу думку, створена карта ГШВД Кримського півострова найбільш достовірно, якісно і кількісно відображає сучасний стан вертикальної складової, поверхневих деформаційних процесів глибинної тектонічної природи, одержаних високоточними інструментальними вимірами. Можна припустити, що визначені ГШВД є успадкованими неотектонічними процесами досліджуваної території.

Найбільшої уваги, що до представлення кількісних та якісних параметрів новітньої геодинаміки Криму заслуговує робота В.П. Палієнко [12]. Тут за результатами геолого-геоморфологічних досліджень визначено осереднені неотектонічні градієнти вертикальних деформацій Криму. Спрощена схема неотектонічних ГШВД Кримського півострова відтворена на рис. 1Б. В [12] ГШВД представлені в розмірності [см/(км/рік)]. Нами ці величини приведені до розмірності  $\text{рік}^{-1}$ . Неотектонічні ГШВД чітко розмежовані тектонічними структурами. На Центральному сегменті Скіфської плити практично повністю переважають від'ємні градієнти в межах  $-(0 \Leftrightarrow 200) \cdot 10^{-11}$ , в Гірському Криму домінують додатні градієнти в межах  $+(0 \Leftrightarrow 100) \cdot 10^{-11}$ , і тільки в районі Севастополя вони досягають межі  $+(100 \Leftrightarrow 200) \cdot 10^{-11}$ .



Порівнюючи розподіл сучасних та неотектонічних ГШВД слід зауважити повну протилежність в знаках градієнтів на 80% території півострова. Крім цього неотектонічні ГШВД є на три порядки менші за розмірністю від сучасних. Порядок максимальних неотектонічних ГШВД приблизно відповідає зміні за 10 років перевищення на 0,2 мм. між двома точками розташованими на відстані 10 км. Точність сучасних високоточних геодезичних методів не дозволяє фіксувати зміщення які відповідають максимальним неотектонічним ГШВД. Не співвимірність неотектонічних та сучасних ГШВД може бути пояснена тим, що неотектонічні ГШВД є осереднені за цілу геологічну епоху яка вимірюється млн років, а сучасні ГШВД по відношенню до неотектонічних є практично миттєвими. Вони охоплюють епохи в десятки років. Очевидно, протягом тривалого часу порядку млн. років земна поверхня зазнавала змінних коротко періодичних так і довго періодичних, як по швидкості так і по напрямку вертикальних зміщень. Взаємна компенсація яких приводить до значно меншого порядку неотектонічних ГШВД в порівнянні з сучасними. В іншому випадку сучасні ГШВД є проявом не тільки глибинних, а приповерхневих чи екзогенних факторів. В такому випадку сучасні геодезичні методи непридатні для представлення деформацій земної поверхні глибинної природи. Однак, геодезичні методи є надзвичайно ефективні при прогнозуванні в сейсмоактивних районах, таких глибинних явищ як землетруси [1]. Порядок швидкостей сучасних деформацій земної поверхні визначених геодезичними методами в інших регіонах відповідає по розмірності сучасним ГШВД Кримського півострова. Слід зауважити також про певну кореляцію з аномалією сучасних ГШВД з геофізичними аномаліями. Так аномальні додатні сучасні ГШВД зафіксовані в районі Ялти є розташовані безпосередньо біля зони епіцентрів місцевих землетрусів [14], та значних аномалій магнітного поля визначених на пункті "Чорні води"[13].

Можливо, якщо існує зв'язок між сучасними ГШВД і неотектонічними деформаціями, то його встановлення, є справа майбутнього. Це пов'язано з тим, що теорія інтерпретації геодинаміки Криму з позицій тектоніки постійно зазнавала еволюційних змін. Так, згідно [9] до 40-х років нашого століття вважалося, що в формуванні Гірського Криму основну роль відігравали горизонтальні рухи, в 40-60-х роках перевага була віддана вертикальним рухам. В останні роки вчені, отримавши результати нових

геолого-геофізичних досліджень, повертаються на якісно новому рівні до попередньої гіпотези про домінуючу роль горизонтальних рухів в геодинамічних процесах Гірського Криму.

Однак, глибинні геодинамічні процеси природно є просторовими і розподіл їх на вертикальну та горизонтальну складові є умовним. Вертикальні та горизонтальні напруження є фізично взаємозв'язані. Очевидно, фізично розділити деформаційні процеси на дві складові і віддавати перевагу, одній з них, дозволяє побудувати більш спрощену і наглядну геодинамічну модель регіону. Результати значних об'ємів сучасних геодезичних та геофізичних інструментальних вимірювань свідчать про виникнення як вертикальних так і горизонтальних, тобто просторових деформацій та зміщень земної поверхні, особливо це активно проявляється в гірських районах. Геодезисти були змушені, до недавнього часу, розділяти рухи земної поверхні на ці складові, тільки із-за того, що для визначення горизонтальних і вертикальних зміщень використовувались абсолютно різні по технології та точності методи та інструменти. Однак, поява методу GPS, дозволяє визначати просторові зміщення точок земної поверхні практично з однаковою точністю будь-якої складової. Очевидно, в найближчому майбутньому сукупність результатів повторних геофізичних спостережень, GPS-вимірів та трьох-мірних геолого-тектонічних моделей дозволить створити достовірну концепцію геодинамічного розвитку Криму.

#### Література

1. Асада Т Методы прогноза землетрясений (Их применение в Японии) Москва "Недра" 1984г.
2. Волков Н.Г., Купраш Р.П., Палиенко В.П. Геоморфологическая оценка устойчивости реперов линий повторного нивелирования Крымского и Карпатского геодинамического полигонов// Докл. АН УРСР Сер. Б 1982 Т 11 с. 8-11.
3. Гзовский М.В, Современные движения земной коры 1963 г.
4. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы Под ред. Ю.А. Мещерякова - 1:250000 - М.ГУГК 1973 - 1 л.
5. Карта современных вертикальных движений в Карпато-Балканском регионе /Гл. ред. И.Йоо - Будапешт Картография 1985 - 1 л.
6. Карта современных вертикальных движений земной коры на территории Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР (европейская часть), Чехословакии Москва. ГУГК, 1986.



7. Кашин Л.А. и др. Карта вертикальных движений земной коры на территории СССР, // 7-й меж. симп. по совр. движ. Земной коры. Тез. докл. Таллин 1986 г, с. 59-60.
8. Колмогорова П.П., Каратаев Г.И. Прогнозирование скоростей СВДЗК с помощью корреляционной модели по статистическим геолого-геофизическим данным. // Методические вопросы исследования современных движений земной коры. Новосибирск. Наука 1975г, с. 182-203.
9. Круглов С.С., Цыпко А.К. – Тектоника Украины. Москва "Недра" 1988 г.
10. Мешеряков Ю.А., Былинская Л.Н. Доклады АН СССР, т.154, 1964.
11. Мешеряков Ю.А. Изучение современных движений земной коры и проблема прогноза землетрясений //Современные движения земной коры, - М, Наука 1968г, с. 44-62.
12. Палиенко В.П. Новейшая геодинамика и ее отражение в рельефе Украины. Киев, "Наукова думка" 1992, 116 с.
13. Печурин В.Т. и др. Сейсмопрогностические наблюдения на территории Крыма в 1993 г. /Сесмологический бюллетень Украины за 1993г. НАН Украины. Институт геофизики им. С.И. Субботина. Симферополь, 1996 г.
14. Свидлова В.А., Сейсмичность Крыма. / Сейсмологический бюллетень Украины за 1993г. НАН Украины. Институт геофизики им. С.И. Субботина. Симферополь, 1996 г.
15. Современные движения Земной коры на территории западной половины Евро-пейской части СССР, И, Геодезиздат. 1958 г, 288 с.
16. Сомов В.И. и др. Статистические методы в современной геодинамике Карпато-Динарского региона, Киев. Наукова думка 1992 г, с. 251.
17. Третьяк К., Савула Я., Кухарський В., Методика розробки карт градієнтів сучасних вертикальних рухів Земної кори (СГВРЗК). Збірник тез міжнародного симпозиуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища" Алушта 1996.. с.35-37
18. Dambara T. Geodesy and earthquake prediction // Current reserch in erthquake prediction I. -Tokyo 1981 p. 167-220.
19. Hein G. Kisterman K. On the problem of diviring recent crustal movement from geodetic levelling data //Allgemene Vermessung - Nachrichten - 1979 - 86 N 10. p. 392-398.
20. Holdadaht S. Hardy R. Solvability and multiqadric analysis as applied to investugations of vertical crustal movements // Tectonophysics - 1979 N 52 - p. 139-155.
21. Koukharskyi V. M., Savula Ya. G., Tretyak K.R, A techniques for creation of maps of current gradients of Earth crust vertical shifts.// EGS, Annales Geophysicae, Part 1, Society symposia, Solid Earth Geophysics & Natural Hazards, Suppl. I to Volume 15 Abstract Book 22<sup>nd</sup> General Assembly of the EGS, Vienna 1997, c212.
22. Malzer H. et al. Recent vertical movements and their determinatuon in the Rlnish Massif // Tectonophysics 1979 - 52 - p 167-176.
23. Vanicek P. Christodulidis D. A method for evaluation of vertical crustal movements from scattered geodetic relevelings //Can. J. Earth. Sci, 1974 -N 5 p.605-610.
24. Vanicek P. et al. Four-dimensional modelling of recent vertical movements in the area of the souden California uplift //Tectonophysics 1979-52. p.287-300.

K. Tretyak

THE MAP OF RECENT GRADIENTS OF VELOCITIES OF VERTICAL DEFORMATIONS OF EARTH'S SURFACE IN CRIMEAN PENINSULA

Summary

The map of recent gradients of velocities of vertical deformations of Earth's surface in Crimean peninsula was constructed on the basis of precise leveling data. Gradient values are within interval  $(+350 \Leftrightarrow -400) \cdot 10^{-8} \text{ yr}^{-1}$ . Obtained gradient values and their distribution were compared with the neotectonic gradients based on geological and geomorphological studies in Crimea.

К. Третьяк

КАРТА СОВРЕМЕННЫХ ГРАДИЕНТОВ СКОРОСТЕЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА.

Резюме

По результатам высокоточного нивелирования построена карта современных градиентов скоростей вертикальных деформаций земной поверхности Крымского полуострова. Значения градиентов находятся в пределах  $(+350 \Leftrightarrow -400) \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$ . Выполнено сопоставление значений и распределения современных градиентов скоростей вертикальных деформаций и аналогичных неотектонических градиентов, полученных по результатам геолого-геоморфологических исследований Крыма.