

## ДЕФОРМАЦІЙНІ ПРОВІСНИКИ ЗАКАРПАТСЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ: МЕТОДИКИ ВИДІЛЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ

**Вступ.** Деформографічні дослідження в Українському Закарпатті розпочато понад 20 років тому [1–10] за ініціативою О.Г. Юркевич та активної участі відомого вченого-деформографіста, професора Об'єднаного інституту фізики Землі РАН (Росія) Л.О. Латиніної з метою вивчення деформаційних процесів у літосфері Закарпаття та прилеглих територій Словаччини, Угорщини та Румунії – північно-східного сектору Карпато-Балканського регіону, одного з найбільш активних та цікавих за геодинамікою і сейсмічністю структур Альпійського складчастого поясу Європи [7]. Завдання досліджень – вивчення геодинаміки літосфери регіону, яке вирішують за результатами досліджень деформаційних процесів у контрольованих масивах порід і виявлення процесів, пов'язаних, зокрема, з підготовкою місцевих землетрусів [10, 11], з урахуванням того, що Закарпаття є одним з найбільш сейсмічно активних регіонів України [7, 12]. Деформографічні дослідження на Закарпатті зосереджені в районах міст Берегове (рис. 1) і

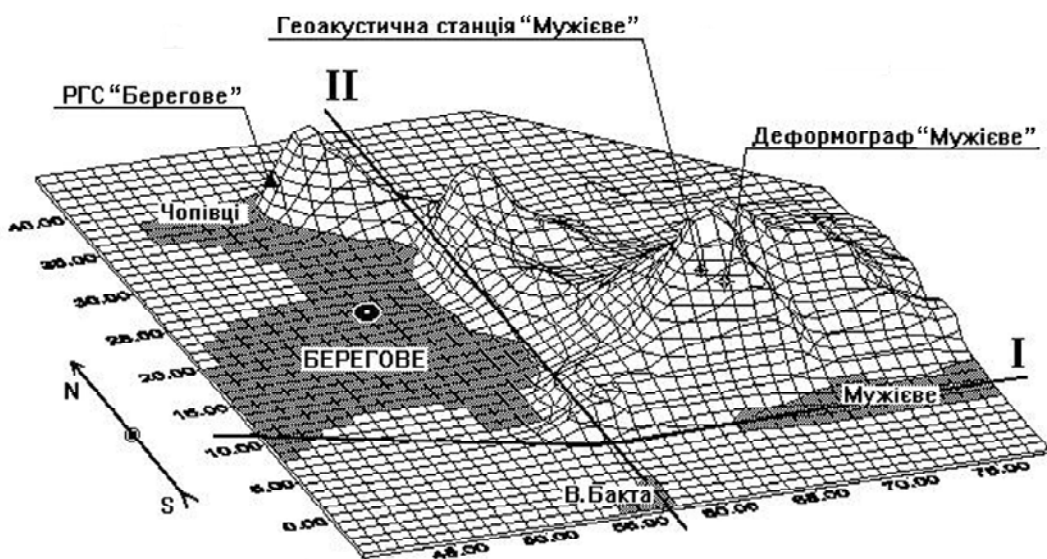


Рис. 1. Морфологія рельєфу Березівського горбогір'я (у зіставленні з елементами тектоніки) і розташування населених пунктів та пунктів геофізичних спостережень у цьому районі. Розломи: І – Припаннонський, ІІ – Березівський меридіональний

Королеве, що зумовлено важливістю цих районів як ключових у тектонічній структурі літосфери субрегіону, а також наявністю тут придатних для таких досліджень підземних виробок. Під час цих досліджень отримано цікаві дані стосовно деформаційних процесів у масивах порід кори регіону [1–7].

В останні роки з'явилися нові погляди на характер, фізичну природу та походження тих чи інших варіацій, нові підходи та методики аналізу, що дає змогу виділяти малоамплітудні (з відхиленням менше  $3\sigma$ ) аномалії й трактувати їх у геодинамічному аспекті. Прикладом такого нового погляду є проведений нами і наведений нижче аналіз деформаційних процесів у масивах порід, зареєстрованих під час досліджень на деформографічній станції “Берегове-1” (“Мужієве”) у 1986–1990 рр.

**Методика деформографічних досліджень.** Наведемо основну інформацію про методику, апаратурне забезпечення та умови організації деформографічних спостережень на зазначеному пункті, що слугуватиме нам засадами для подальшого аналізу та висновків.

Деформації в масивах гірських порід є одним з найважливіших наслідків діючих тут локальних та регіональних геодинамічних процесів водночас одним з найліпших індикаторів таких процесів. Тому вивченню деформацій як в локальному (на певних об'єктах), так і в регіональному (на відповідних територіях) аспекті здавна приділяється велика увага. Для таких досліджень використовують різні методи – геодезичні, деформографічні, нахилівимірні та ін. Потрібно зауважити, що геодезичні дослідження здебільшого застосовують для вивчення геодинаміки більших територій; метод (нівелювання) внаслідок порівняно меншої роздільної здатності апаратури дає змогу досліджувати деформаційні процеси тільки більшої амплітуди (міліметри і більше) і не забезпечує (до останнього часу) вимірювань з необхідною точністю горизонтальних складових деформацій та їх неперервного контролю.

З активним впровадженням GPS-методів ситуація помітно змінюється, але все ж незаперечною перевагою деформографічних досліджень [11] є значно вища чутливість апаратури до змін деформацій ( $10^{-8}$ – $10^{-11}$  для інварних та кварцових деформографів і  $10^{-9}$ – $10^{-13}$  для лазерних інтерферометрів) і значно ширший робочий частотний діапазон (від 0 до десятків герц), що дає змогу детально досліджувати припливні деформації, крипові рухи, власні коливання Землі, інфранизькочастотні сейсмічні хвилі та землетруси [10, 11]. Саме завдяки апаратурному забезпеченню деформографічних досліджень отримана дуже важлива інформація про геодинамічні процеси в різних регіонах Землі у минулому. Методи цих досліджень не тільки не втрачають своєї актуальності, а й забезпечують вивчення нових деформаційних ефектів і є одними з фундаментальних методів у сучасних дослідженнях геомеханіч-

ного режиму локальних і регіональних тектонічних структур [1–11], зокрема в Карпато-Балканському регіоні [2, 3, 5, 6].

Принцип дії кварцового деформографа такий [10, 11]. Прилад вимірює стиск або розширення ділянки масиву порід на віддалі, що дорівнює базі приладу (підвішеній горизонтально на спеціальних підвісах кварцовій штанзі, яка є еталоном довжини, тому що не змінює своєї довжини з часом чи під дією метеофакторів). Один із кінців кварцової штанги жорстко закріплюють у породі, а вимірювально-реєструюча система вимірює зміщення вільного кінця штанги відносно породи. Оскільки досліджувані зміни деформацій припливного та тектонічного походження є дуже малими ( $10^{-8}$ – $10^{-6}$ ) і вивчають їх на фоні різних завад (в першу чергу метеорологічного походження), то для мінімізації впливу метеофакторів (добових та сезонних змін температури, вологості повітря та породи) на результати вимірювань деформографи розміщують у підземних виробках на глибині десятків метрів від земної поверхні.

#### Деформографічні дослідження поблизу с. Мужієве на Закарпатті.

Деформографічна станція “Берегове-1” (“Мужієве”) (географічні координати  $\varphi = 48,2^\circ$ ,  $\lambda = 22,7^\circ$ ) знаходилась у розвідувальній штольні 22 на південному схилі г. Мужієвська (Велика Берегівська, 3 км на південний схід від м. Берегове) у підніжжі її вершинного купола (рис. 1), складалася з двох горизонтальних кварцових деформографів [1, 2] завдовжки 28 (азимут  $37^\circ$ ) і 12 м (азимут  $73^\circ$ ) (рис. 2), розташованих у відокремленому від решти штольні відсіку завдовжки близько 150 м.

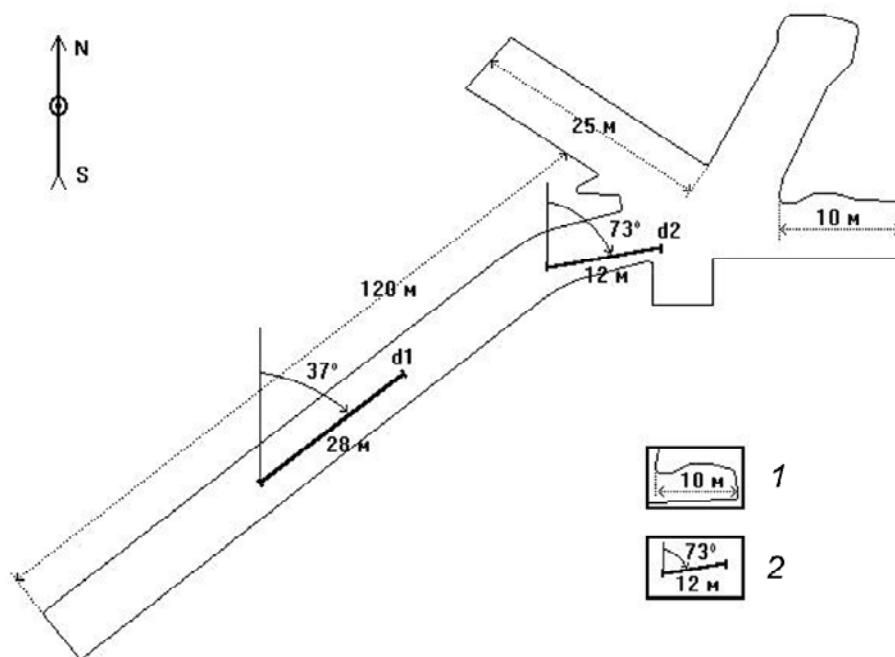


Рис. 2. План-схема пункту деформографічних спостережень “Берегове-1” (“Мужієве”): 1 – контури і розміри частин штольні; 2 – деформографи (із зазначенням їх довжин і азимутів відносно лінії північ–південь)

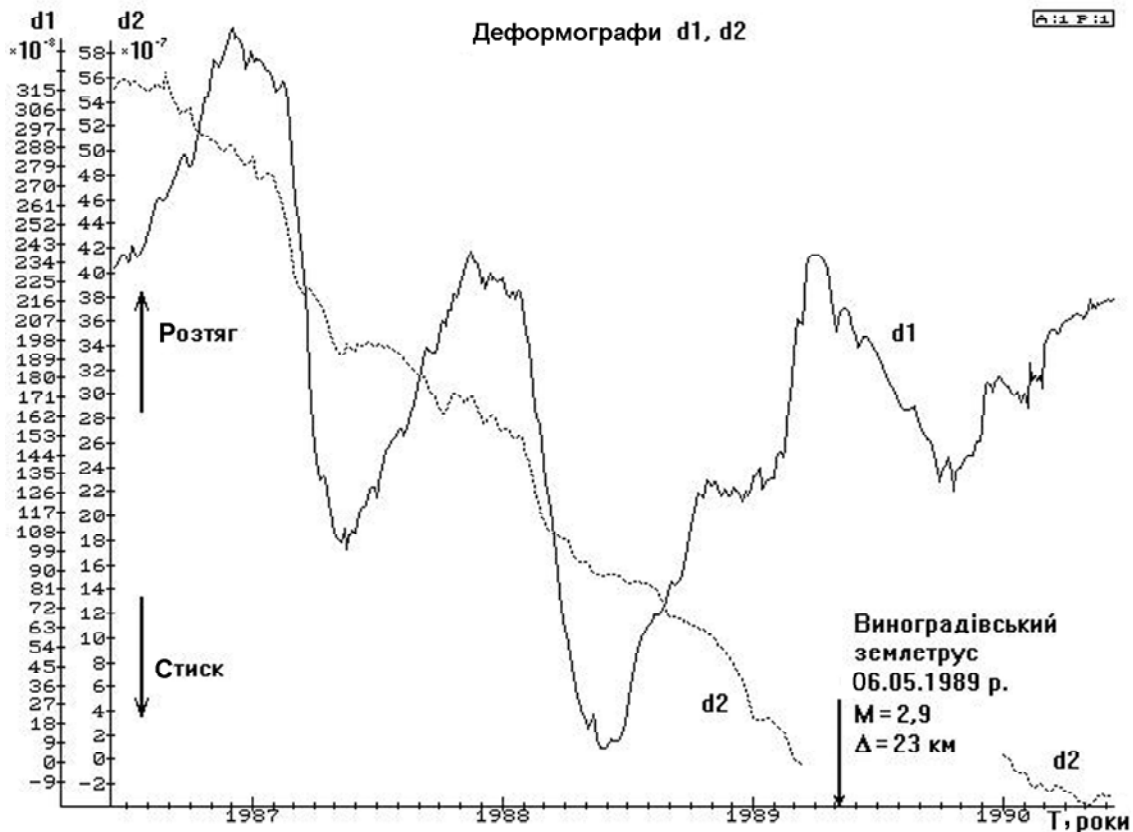


Рис. 3. Деформації гірських порід (умовні одиниці) на пункті спостережень “Берегове-1” (“Мужієве”) за 1986–1990 рр. в азимутах 37° (d1) та 73° (d2)

Від входу в штольню цей відсік відділений трьома перегородками з дверима (на рис. 2 не показані), що утворюють шлюзи, потрібні для мінімізації метеотемпературних впливів на результати вимірювань [8]. Відстань до земної поверхні у місці встановлення деформографів понад 15 м, що забезпечило спільно з обладнанням шлюзів порівняно добре нівелювання впливу сезонних коливань температури повітря та земної поверхні на результати вимірювань деформацій масиву порід (рис. 3). Зміни деформацій реєстрували безпосередньо в місці встановлення деформографів за допомогою роликово-дзеркальних фотооптичних систем на фотопапір. Чутливість до деформацій становила відповідно  $4 \cdot 10^{-9}$  і  $11 \cdot 10^{-9}$  на 1 мм запису (у відносних одиницях) [1, 2].

Загальний аналіз результатів деформографічних спостережень протягом 1986–1990 рр. (рис. 4) дав змогу авторам цих робіт Л.О. Латиніній, О.Г. Юркевич та І.М. Байсаровичу дійти висновку [1–3], що в цьому пункті наявний стиск гірських порід із середньою швидкістю (у відносних одиницях)  $5,5 \cdot 10^{-7}$  на рік (азимут 37°) і  $30 \cdot 10^{-7}$  (азимут 73°).

На жаль, у зв’язку з переводом Берегове-Мужієвського золото-поліметалевого родовища, в одній з розвідувальних штолень якого і знаходилась деформографічна станція, в режим промислової експлуатації, деформографічні дослідження тут були припинені. З цієї самої причини були припи-

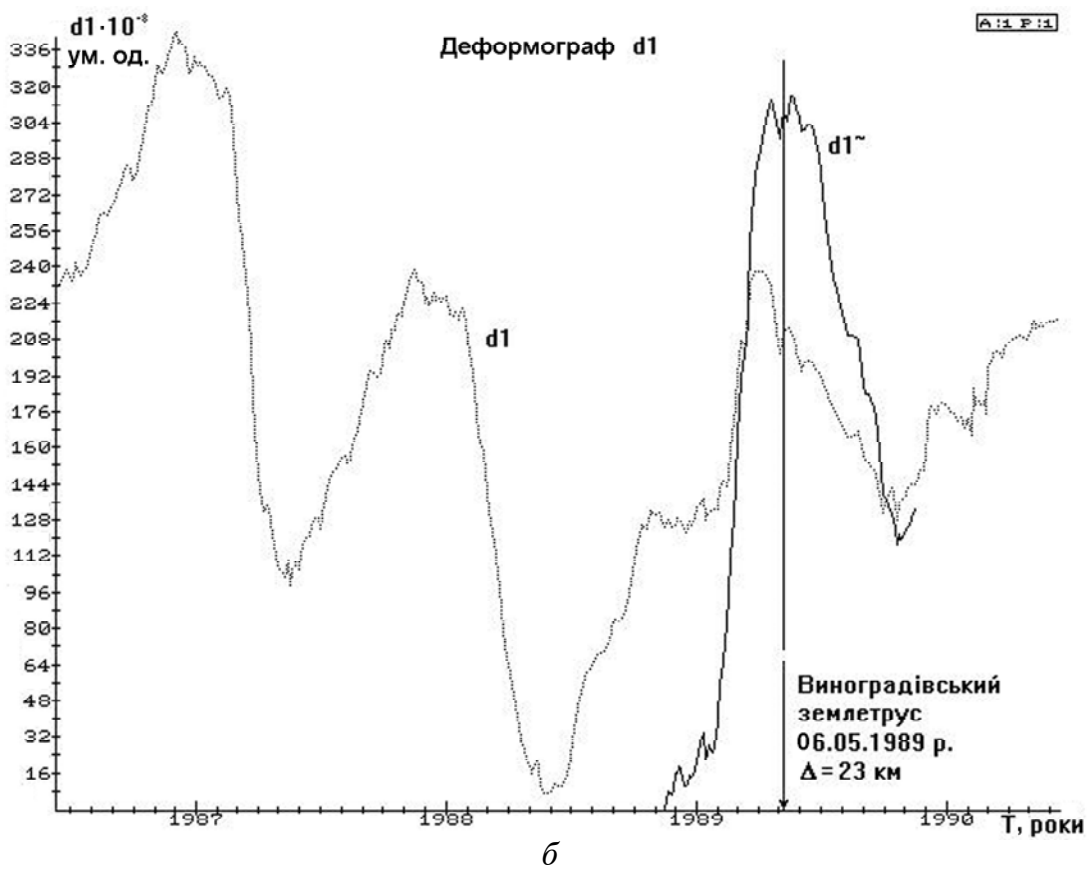
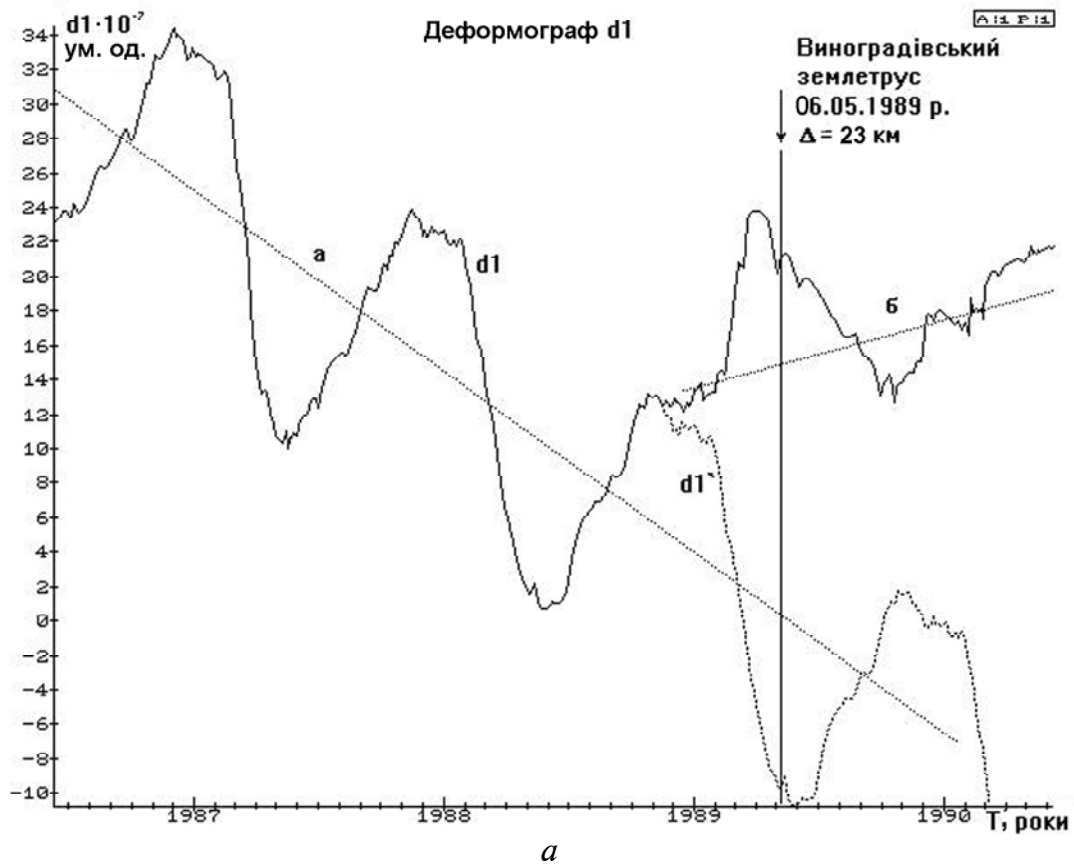


Рис. 4. Результати аналізу часового ряду  $d1$  змін деформацій в азимуті  $37^\circ$  на пункті “Мужієве” за 1986–1990 рр. (а) та виділений деформаційний провісник виноградівського землетрусу 1989 р. (б). Пояснення у тексті

нені й геоакустичні дослідження на розташованому неподалік (див. рис. 1) геоакустичному пункті “Мужієве”.

**Нові завдання під час аналізу даних деформографічних досліджень на Закарпатті.** Ми зацікавилися деформографічними даними у зв’язку з дослідженнями геодинамічних процесів у літосфері Закарпаття та пошуком провісників місцевих землетрусів. Такий інтерес зумовлений порівнянням деформографічних даних та даних геоакустичних досліджень, які ми проводили в той самий період на вже згаданому (див. рис. 1) геоакустичному пункті спостережень “Мужієве” [7, 13–17]. Зокрема, важливо було порівняти деформографічні дані як дані прямого методу з результатами геомеханічної інтерпретації геоакустичних даних як непрямого параметричного методу [14, 17] в аспекті визначення характерних рис та найважливіших особливостей геомеханіки породних масивів Берегівського горбогір’я [14–17]. Не зосереджуючись на цьому питанні детальніше, оскільки воно потребує окремого поглибленого розгляду, зазначимо, що деформографічні та геоакустичні дані добре узгоджуються між собою як на якісному рівні та в часовому розвитку, так і щодо кількісних оцінок.

Інше важливе питання, на яке ми спробували знайти відповідь – виявлення та дослідження аномальних деформаційних процесів, як можливих індикаторів активізації сейсмічного процесу на Закарпатті та провісників місцевих закарпатських землетрусів [18]. Конкретно малося на увазі проаналізувати хід деформаційних процесів у масиві порід Берегівського горбогір’я в період підготовки виноградівських землетрусів 5–6 травня 1989 р. з магнітудою  $M=2,9$  (05.05.1989 р. о 23 год 37 хв та 06.05.1989 р. о 3 год 26 хв за місцевим часом або 06.05.1989 р. у 2 год 37 хв та 6 год 26 хв за Гринвічем), оскільки на розташованому поблизу (близько 400 м на північний захід і приблизно на 50 м вище по схилу (див. рис. 1)) пункті геоакустичних спостережень “Мужієве” нами було зафіксовано чітку провісникову аномалію тривалістю кілька місяців [7, 14].

**Виділення та аналіз деформаційного провісника виноградівських землетрусів 1989 р.** Уже під час попереднього аналізу деформографічних даних ми звернули увагу на те, що з початку 1989 р. помітно (див. рис. 3) змінився характер деформаційних процесів у зоні встановлення довгого деформографа d1 (азимут  $37^\circ$ , див. рис. 2). Реєстрація деформацій коротким деформографом d2 (азимут  $73^\circ$ ) на той час була відсутня, і можна лише констатувати, що у 1990 р., коли реєстрацію відновили, швидкість деформацій тут помітно зменшилася, порівняно з періодом 1986–1988 рр., з  $\approx 23 \cdot 10^{-7}$  до  $\approx 9,6 \cdot 10^{-7}$  за рік.

Нижче висвітлено результати детального аналізу деформацій, зареєстрованих деформографом d1 (рис. 4, а). За період від 12 червня 1986 р. до

14 листопада 1988 р. (рис. 4, *a*, ділянка часового ряду *a*) зареєстровано характерний хід деформацій, де на фоні показаної пунктиром трендової складової, яка відображує стискання порід величиною  $\approx 10,5 \cdot 10^{-7}$  за рік, чітко проявляються сезонні коливання розмахом близько  $\approx 17,5 \cdot 10^{-7}$ , форма та амплітуда яких практично повторюється з року в рік. Утім уже з другої половини листопада 1988 р. характер деформаційних процесів змінювався, що особливо помітно у разі порівняння фактично зареєстрованого ряду *d1* з уявним рядом *d1'*, який є продовженням з 14 листопада 1988 р. ряду *d1* у припущенні незмінності характеру деформаційних процесів у масивах порід г. Мужієвська (Велика Берегівська) як щодо тренда, так і щодо сезонної складової.

Особливо різким є розходження даних рядів з першої половини лютого. Так, коли за умови незмінності характеру деформаційних процесів у період від початку лютого до перших чисел травня мало би відбуватися різке (до  $(6,5 \div 8,3) \cdot 10^{-7}$  за місяць) стискання контрольованої ділянки масиву порід (див. ряд *d1'* на рис. 4, *a*), насправді спостерігали розширення до  $11 \cdot 10^{-7}$ , які досягають пікових значень у період з другої половини березня до 20-х чисел квітня з деяким подальшим загальним спадом (близько  $1,3 \cdot 10^{-7}$ ) у першій половині травня та подальшим дещо інтенсивнішим спадом (близько  $7,8 \cdot 10^{-7}$ ) аж до другої половини жовтня.

Отже, наведений аномальний (відносно періоду 1986–1988 рр. хід деформацій, який ми приймаємо за фоновий процес) хід деформацій за період з кінця листопада 1988 р. до другої половини літа 1989 р. ми вважаємо за деформаційний провісник виноградівських землетрусів 5–6 травня 1989 р. Цей провісник має традиційний для провідникових аномалій бухтоподібний вигляд. Землетрус відбувався в період початкової частини спаду деформаційної провісникової аномалії, що також є традиційним, тобто часове співвідношення між провісником і землетрусом аналогічне, як і для розглянутої нами в публікаціях [7, 14] геоакустичної аномалії – геоакустичного провісника цього самого землетрусу, зареєстрованого на розташованому за 400 м на північний захід (див. рис. 1) пункті геоакустичних спостережень “Мужієве”.

Для виділення різницевої складової між рядами *d1* і *d1'* ми застосували програмний пакет для обробки часових рядів (автори С.Т. Вербицький та Ю.Т. Вербицький), що дало змогу ще яскравіше виділити деформаційну провісникову аномалію (див. рис. 4, *б* (ряд *d1~*) на фоні показаного пунктиром первинного ряду *d1*). Амплітуда цієї аномалії у виділеному стані досягає  $31,5 \cdot 10^{-7}$ .

Зауважимо також, що з початку 1989 р. принципово змінився характер деформаційних процесів у контрольованій ділянці масиву порід (див. рис. 4, *a*).

Так, якщо раніше тут спостерігалось стискання порід величиною  $\approx 10,5 \cdot 10^{-7}$  за рік (рис. 4, *a*, ділянка **a**), то в подальшому воно змінилося розширенням (розтягом) величиною  $\approx 4,1 \cdot 10^{-7}$  за рік (рис. 4, *a*, ділянка **б**). Звертає на себе увагу також зміна полярності та зменшення амплітуди сезонної складової на ділянці **б** ряду  $d_1$ , але робити тут якісь глибші висновки через порівняно невелику (трохи більше року) тривалість ряду спостережень без залучення додаткової, в першу чергу метеорологічної, інформації та нових методик аналізу ми вважаємо передчасним.

**Висновки.** Щодо особливостей деформаційних процесів наші висновки є такими:

1. Деформаційні процеси в контрольованій зоні масиву порід г. Мужієвська за розглянутий період (1986–1990) характеризуються переважанням стиску порід (див. рис. 3).
2. Розглянуті деформаційні процеси мають різну інтенсивність у різних, причому дуже близько (порядку 50 м) розташованих ділянках масиву (див. рис. 2–4, порівняння рядів  $d_1$  і  $d_2$  на ділянці **a** рис. 4, *a*), причому ці відмінності наявні і у трендовій складовій, і в сезонних варіаціях.
3. Розглянуті деформаційні процеси змінюються в часі як за величиною, так і за характером (стиск змінюється розтягом), причому такі зміни відбуваються у кожній невеликій ділянці масиву по-своєму, досить відмінно від розташованих поряд інших ділянок масиву (див. рис. 2–4, порівняння рядів  $d_1$  і  $d_2$  на ділянці **б**, рис. 4, *a*), хоча досить синхронно у часі.
4. Виявлені помітні зміни деформаційних процесів у масиві порід г. Мужієвська відбулися в період активізації місцевого сейсмотектонічного процесу на Закарпатті, а саме в період підготовки виноградівських землетрусів 5–6 травня 1989 р. з магнітудою  $M=2,9$  (землетруси відбулися на відстані 23 км від пункту реєстрації деформацій).
5. Зміни деформаційних процесів у масиві порід г. Мужієвська, які ми називаємо деформаційним провісником виноградівських землетрусів 5–6 травня 1989 р., розпочалися за 5 місяців до майбутніх землетрусів (див. рис. 4), що близько до значень, отриманих за результатами аналізу геоакустичного провісника цих самих землетрусів [7, 14].
6. Зміни деформацій за даними деформографа  $d_1$  носили якісний характер (стиск змінився розтягом) і становили близько  $11 \cdot 10^{-7}$  відносно біжучої трендової складової ряду  $d_1$  (див. рис. 3) і  $31,5 \cdot 10^{-7}$  (ряд  $d_1^{\sim}$  на рис. 4, *б*) відносно уявного ряду  $d_1'$  (див. рис. 4, *a*), який є продовженням ряду  $d_1$  у припущенні незмінності характеру деформаційних процесів щодо як тренду, так і сезонної складової.
7. Після землетрусів змінився характер деформаційних процесів у масиві порід г. Мужієвська: за даними деформографа  $d_1$  середньорічний



стиск величиною  $\approx 10,5 \cdot 10^{-7}$  змінився розтягом величиною  $\approx 4,1 \cdot 10^{-7}$ , за даними деформографа d2 середньорічний стиск з  $\approx 23 \cdot 10^{-7}$  зменшився до  $\approx 9,6 \cdot 10^{-7}$ .

Слід зауважити, що висновки, наведені у п. 2, 3, 6 та 7, а також результати аналізу особливостей геодинаміки заходу Закарпаття [19–21] змушують з великою обережністю узагальнювати встановлені у конкретних пунктах спостережень і у конкретні періоди часу особливості деформаційних процесів у контрольованих масивах порід на більшій території та довші часові інтервали і потребують у кожному випадку підтвердження правомірності таких узагальнень фактичними даними чи іншою додатковою геолого-геофізичною, геодезичною, геоморфологічною інформацією.

Отже, Берегівське горбогір'я, і особливо г. Мужієвська (Велика Берегівська) є геодинамічно активною зоною, геомеханічно тісно пов'язаною з земною всього цілого Закарпаття, що власне і дало можливість зареєструвати [7, 13–17] чіткі провісникові аномалії, пов'язані з підготовкою місцевих землетрусів у сусідніх сейсмоактивних зонах Закарпаття. Ще раз наголосимо, що, як і для інших методів геодинамічного моніторингу, для деформографічного методу базовим є принцип: дослідження у геодинамічно активних зонах – ключ до ефективного моніторингу та надійного прогнозу.

1. Латынина Л.А., Юркевич О.И., Байсарович И.М. Результаты деформационных измерений в районе Берегово // Геофиз. журн. – 1992. – **14**, № 2. – С. 63–67.
2. Латынина Л.А., Байсарович И.М., Брымых Л., Варга П., Юркевич О.И. Деформационные измерения в Карпато-Балканском регионе // Физика Земли. – 1993. – № 1. – С. 3–6.
3. Латынина Л.А., Вербицкий Т.З., Игнатишин В.В. О деформационных процессах в северо-восточной части Карпато-Балканского региона // Там же. – 1995. – № 4. – С. 3–16.
4. Вербицкий Т., Игнатишин В., Латиніна Л., Юркевич О. Сучасні деформації земної кори Берегівської горстової зони // Геодинаміка. – 1998. – № 1. – С. 118–120.
5. Латынина Л.А., Варга П., Варга Т., Вербицкий Т.З., Юркевич О.И. Современные движения Паннонского бассейна по экстензометрическим данным и неотектоника региона // Докл. АН. – 1998. – **360**, № 1. – С. 38–43.
6. Варга П., Вербицкий Т.З., Латынина Л.А., Брымых Л., Ментеш Д., Сзадецки-Кардос Д., Еперне П.И., Гусева Т.В., Игнатишин В.В. Горизонтальные деформации земной коры в Карпатском регионе // Наука и технология в России. – 2002. – № 7 (58). – С. 5–8.
7. Вербицкий Т.З., Назаревич А.В. Деформографічні і геоакустичні дослідження у Закарпатті // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Під ред. В.І. Старостенка. – К.: Наук. думка, 2005. – С. 113–131.
8. Назаревич А. Деформографічні дослідження в районі м. Берегового на Закарпатті // Праці НТШ. – Львів, 2006. – **17**. Геофізика. – С. 129–139.
9. Nazarevych L., Nazarevych A. Seismicity and geomechanics of Ukrainian Carpathians region lithosphere. // Proceed. XVIII-th Congr. of the Carpathian-Balkan geol. assoc. Sept. 3–6, 2006, Belgrade, Serbia. – Belgrade, 2006. – P. 402–403.

10. Назаревич А., Назаревич Л. Оптоэлектронный вимірювальний канал до кварцевого деформографа // Геодинаміка. – 1999. – № 1(2). – С. 116–120.
11. Латынина Л.А., Жаринов Н.А., Крамер М.В., Савин И.В., Широков И.А. Методические рекомендации по исследованию деформационных предвестников землетрясений. – М.: Институт физики Земли АН СССР. – 1988. – 81 с.
12. Костюк О., Сагалова Є., Руденська І., Пронишин Р., Кендзера О. Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1091–1990 роки // Праці НТШ. – Львів, 1997. – Т.1. – С. 121–137.
13. Вербицкий Т.З., Бойко Б.Д. Геоакустический предвестник закарпатских землетрясений 5 октября 1983 г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1986. – № 4. – С. 79–82.
14. Назаревич А.В. Експериментальне дослідження спектрально-часової структури варіацій параметрів пружних хвиль в масивах гірських порід. Автореф. дис. ... канд. фіз.-мат. наук. – К., 1997. – 24 с.
15. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геодинаміка і особливості сеймотектонічного процесу Берегівської горстової зони (Закарпаття) // Геодинаміка. – 2000. – № 1 (3). – С. 131–147.
16. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геодинаміка і тріщинуватість породних масивів (на прикладі Берегівського горбогір'я в Закарпатті // Наук. вісн. НГАУ. – 2001. – № 4. – С. 23–24.
17. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Нелінійна пружність і тензочутливість гірських порід (дослідження та застосування для геодинамічного моніторингу) // Вісн. КНУ ім. Т.Шевченка. Геологія. – 2002. – № 23/24. – С. 33–38.
18. Назаревич А.В. Параметрические сейсмогеоакустические и деформационные предвестники землетрясений Украинского Закарпатья // Материалы междунар. конф. “Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений”. Ташкент, 7–8 окт. 2004 г. – Ташкент, 2004. – С. 109–113.
19. Назаревич А.В., Ковалишин З.І., Назаревич Л.Є. Геодинаміка сейсмоактивних районів Закарпаття за комплексом геофізичних даних // Вісн. КНУ ім. Т.Шевченка. Геологія. – 2002. – № 23/24. – С. 38–43.
20. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геодинаміка літосфери заходу Закарпаття за комплексом даних // Геодинаміка. – 2004. – № 1 (4). – С. 45–53.
21. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є., Шеремета П.М. Некоторые черты строения, геодинамики и сейсмичности литосферы Карпатского региона Украины // Материалы междунар. конф. “Проблемы оценки сейсмической опасности, сейсмического риска и прогноза землетрясений”. Ташкент, 7–8 окт. 2004 г. – Ташкент, 2004. – С. 81–85.