

Рис. 4. Вплив величини магнітуду на різницю часу приходу Р-хвиль, що моделюються нейронною мережою для с/с «Сквира», «Одеса», «Полтава», і такого, що визначається згідно з годографом Джеффріса-Буллена, для землетрусів з магнітудою 4 і 6 (Рис. 4а і 4 б) при глибині джерела 30 км

Пояснення феномену впливу величини магнітуду на нев'язку модельованих і глобальних годографів не лежить на поверхні і можна лише припустити вплив механізму джерела, особливості тракту розповсюдження пружних хвиль або ж обмеженість навчальної множини і неврахування при конструванні глобальних годографів такого параметру землетрусів, як магнітуда [7,8]. Проте, стає зрозумілою необхідність використання локального годографа для обробки записів с/с «Одеса», і в разі доведення природності начал цього феномену, він заслуговує подальшого дослідження.

1. Jeffreys H. and Bullen, K.E., Seismological Tables, British Association for the Advancement of Science, London, 1940 2. Seismological Tables. (Edited by B. L. N. Kennet) // Research School of Earth Sciences Australian National University, Canberra 1991. 3. Leach R.R., J., F.U. Dovia, E.S. Vergilio. Yield estimation using bangpass-filtered seismograms: Preliminary results Using Neural Networks with $m_p(P_s)$, Short-time, Long-time, and Coda energy Measurements. // Bull. Sism. Soc. Amer. - Vol. 87. - N 2, 1993. 4. Лазаренко М.А., Корольов В.О. Метод нейронних мереж у задачах сейсмичного районування. // Геоінформатика, -2004, №4. 5. Chen C, H Chen, Universal Approximation to Nonlinear Operators by Neural Networks with Arbitrary Activation Function and its Application to Dynamical Systems, Neural Networks, 6, - 1995. 6. Лазаренко М.А., Горасименко О.А. Використання нейронних мереж для побудови годографів сейсмічних хвиль. // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. - Вип. 30. - 2004 7. Буллен К.Е. Введення в теоретичну сейсмологію. Москва, 1966. 8. Kanamori H., Lokationg Earthquakes with Amplitude: Application to Real-Time Seismology. // Bull. Seism. Soc. Am., Vol 83, N1, -1993.

Надійшла до редакції 11.02.08.

УДК 525.62 : 551.24

А. Назаревич, канд. фіз.-мат. наук

ДЕФОРМАЦІЙНІ ПРОВІСНИКИ ВІДЧУТНИХ ВИНОГРАДІВСЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ ЗАКАРПАТТЯ:

АНАЛІЗ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ОЦІНКА ВЕЛИЧИН ДЕФОРМАЦІЙ У ВОГНИЩІ

Наведено аналіз даних деформаційних спостережень, проведених у 1986-1990 рр. на пункті "Мужівєво" у Закарпатті і описано характеристики виділеної аномалії – деформаційного провісника Виноградівських землетрусів 1989 р. За амплітудами виділеної аномалії та відповідними методиками оцінено величини деформацій у вогнищевій зоні та зміцень по розриву.

The analysis of data of extensometric (strainmetric) observations, carried out in 1986-1990 on the "Muzhjevo" point in Transcarpathians, is presented and characteristics of selected anomaly – deformation precursor of Vynogradivsk earthquakes of 1989 are described. After amplitudes of selected anomaly and proper methods the value of deformations in a source area and displacements on the break are estimated.

Вступ. Деформографічні дослідження в Українському Закарпатті проводяться вже на протязі більше 20 років [1-10]. Вони були розпочаті за ініціативою О.Г. Юркевич та при активній участі відомого вченого-деформографіста,

професора ОІФЗ РАН (Росія) Л.О. Латиніної з метою вивчення деформаційних процесів у літосфері Закарпаття та прилеглих територій Словаччини, Угорщини та Румунії – північно-східного сектора Карпато-Балканського регіону, одного з найбільш активних та цікавих за своєю геодинамікою і сейсмічністю регіонів альпійського складчастого поясу Європи [7]. Метою цих досліджень є вивчення геодинаміки літосфери регіону шляхом досліджень деформаційних процесів у контрольованих масивах порід і виявлення процесів, пов'язаних, зокрема, з підготовкою місцевих землетрусів [10; 11], враховуючи те, що Закарпаття є одним з найбільш сейсмічно активних регіонів України [7, 12]. Деформографічні дослідження у Закарпатті зосереджені в районах міст Берегове (рис. 1) і Королево, що зумовлено важливістю даних районів, як ключових у тектонічній структурі літосфери субрегіону, а також наявністю тут придатних для таких досліджень підземних виробок. Підчас цих досліджень отримано цікаві дані про деформаційні процеси в масивах порід кори регіону, ці дані наведено та проаналізовано в ряді робіт [1-7]. Але в процесі розвитку досліджень з'являються нові погляди на характер, фізичну природу та походження тих чи інших варіацій, нові підходи та методику аналізу, що дозволяє виділяти малоамплітудні (з відхиленням менше 3σ) аномалії та давати їм геодинамічне трактування. Прикладом такого нового погляду є проведений нами і наведений нижче аналіз деформаційних процесів у масивах порід, зареєстрованих підчас досліджень на деформографічній станції "Берегове-1" ("Мужівго") у 1986-1990 рр.



Рис. 1. Морфологія рельєфу Берегівського горбигір'я (у зіставленні з елементами тектоніки) і розташування населених пунктів та пунктів геофізичних спостережень у цьому районі (I – Припанионський розлом, II – Берегівський меридіональний розлом)

Методика деформографічних досліджень. Наведемо коротко основну інформацію про методику, апаратуру забезпечення та умови організації деформографічних спостережень на деформографічній станції "Берегове-1" ("Мужівго"), що слугуватиме нам основою для подальшого аналізу та висновків.

Деформації в масивах прських порід є одним з найважливіших наслідків діючих тут локальних та регіональних геодинамічних процесів, і одночасно одним з найкращих індикаторів таких процесів. Тому деформаційні процеси здавна інтенсивно вивчаються як в локальному (на певних об'єктах), так і в регіональному (на відповідних територіях) плані. Для таких досліджень використовуються різні методи – геодезичні, деформографічні, нахиломірні, та ін. Порівнюючи між собою ці методи, слід зауважити, що геодезичні дослідження (нівелювання) здебільшого застосовуються для вивчення геодинаміки більших територій, внаслідок порівняно меншої роздільної здатності дозволяють досліджувати деформаційні процеси тільки більшої амплітуди (міліметри і більше), не забезпечують (до останнього часу) вимірювань з необхідною точністю горизонтальних складових деформацій та їх неперервного контролю. Зараз з активним впровадженням GPS-методів ситуація помітно змінюється, але все ж незаперечно перевагою деформографічних досліджень [11] є значно більша чутливість до змін деформацій (10^{-9} - 10^{-11} для інварних та кварцових деформографів і 10^{-9} - 10^{-10} для лазерних інтерферометрів) і значно ширший робочий частотний діапазон (від 0 до десятків Герц), що дозволяє детально досліджувати припливні деформації, криві рухи, власні коливання Землі, інфранізкочастотні сейсмічні хвилі та землетруси [10, 11]. Саме завдяки цьому деформографічні дослідження дозволили отримати дуже важливу інформацію про геодинамічні процеси в різних регіонах Землі і в минулому, і не тільки не втрачають своєї актуальності, а й забезпечують вивчення нових деформаційних ефектів і є одним з фундаментальних методів при сучасних дослідженнях геомеханічного режиму локальних та регіональних тектонічних струк-

тур [1-11], в тому числі і в Карпато-Балканському регіоні [2; 3; 5; 6], до якого належить і Українське Закарпаття.

Принцип дії кварцового деформографа наступний [10; 11] – прилад вимірює стиск або розширення ділянки масиву порід на віддачі, рівній базі приладу (підвищеній горизонтально на спеціальних підвісах кварцової штанзи, яка є еталоном довжини, бо не змінює своєї довжини з часом чи під дією метеофакторів). Один з кінців кварцової штанзи жорстко закріплюється в породи, а вимірювально-реєструюча система вимірює зміщення вільного кінця штанзи відносно породи. Оскільки досліджувані зміни деформацій припливного та тектонічного походження є дуже малими (10^{-5} – 10^{-6}) і вивчаються на фоні різних завад (в першу чергу метеорологічного походження), то для мінімізації впливу метеофакторів (добових та сезонних змін температури і вологості повітря та породи) на результати вимірювань деформографи розміщуються в підземних виробках на глибині десятків метрів від денної поверхні.

Деформографічні дослідження поблизу села Мужівське у Закарпатті.

Деформографічна станція "Берегове-1" ("Мужівське") (географічні координати $\varphi=48,2^{\circ}$, $\lambda=22,7^{\circ}$) знаходилась у розвідувальній шtolьні № 22 на південному схилі гори Мужівської (Великої Берегівської, 3 км на південний схід від м. Берегове) у північній П вершинного купола (рис. 1), складалася з двох горизонтальних кварцових деформографів [1; 2] довжиною 28 м (азимут 37°) і 12 м (азимут 73°) (рис. 2), розташованих у відокремленому від решти шtolьні відкосу довжиною близько 150 м. Від входу в шtolьню цей відік відділений трьома перегородками з дверима (на рис. 2 не показані), що утворюють шtolьню, необхідні для мінімізації метеотемпературних впливів на результати вимірювань [8]. Відстань до денної поверхні в місці встановлення деформографів більше 15 м, що забезпечило спільно з обладнанням шtolьню порівняно добре нівелювання впливу сезонних коливань температури повітря та земної поверхні на результати вимірювань деформацій масиву порід (рис. 3).

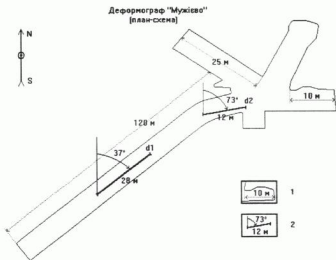


Рис. 2. План-схема пункту деформографічних спостережень "Берегове-1" ("Мужівське") (тут: 1 – контури і розміри частин шtolьні; 2 – деформографи (з зазначенням їх довжин і азимутів відносно лінії північ-південь))

Реєстрація змін деформацій велася безпосередньо в місці встановлення деформографів за допомогою роликovo-дзеркальних фотооптичних систем на фотопалірі. Чутливість до деформацій становила відповідно 4×10^{-9} і 11×10^{-9} на 1 мм запису (у відносних одиницях) [1, 2]. Загальний аналіз результатів проведених тут на протязі 1988-1990 років деформографічних спостережень (рис. 3) дозволив авторам цих робіт Л.О. Латиніній, О.Г. Юркевич та І.М. Байсарович зробити висновок [1-3], що в даному пункті наявний стиск приських порід за середнього швидкістю (у відносних одиницях) $5,5 \times 10^{-7}$ на рік (азимут 37°) і 30×10^{-7} (азимут 73°). На жаль, у зв'язку з переводом Берегово-Мужівського золото-поліметалевого родовища, в одній з розвідувальних шtolьень якого і знаходилась дана деформографічна станція, в режим промислової експлуатації, деформографічні дослідження тут були припинені. З цієї ж причини були припинені і геоакустичні дослідження на розташованому неподалік (рис. 1) геоакустичному пункті "Мужівське".

Нові задачі при аналізі даних деформографічних досліджень у Закарпатті.

Нами звернуто особливу увагу на дані деформографічних досліджень у зв'язку з вивченням геодинамічних процесів у літосфері Закарпаття та пошуком провісників місцевих землетрусів. Конкретно нашу цікавість викликало порівняння деформографічних даних з даними геоакустичних досліджень, які проводились нами в цей же період у вже згаданому розташованому неподалік (див. рис. 1) пункті геоакустичних спостережень [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 зараз на цьому питанні детальніше, оскільки воно вимагає окремого поглибленого розгляду, відзначимо тільки, що деформографічні

та геоакустичних дані добре узгоджуються між собою як на якісному рівні та в часовому розвитку, так і щодо кількисних оцінок.

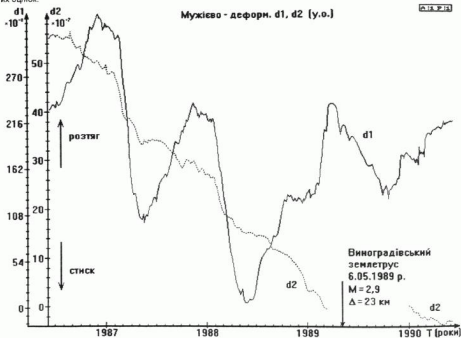


Рис. 3. Деформації гірських порід на пункті спостережень Берегове-1* ("Мужієво") за 1986-1990 рр. в азимутах 37° (d1) та 73° (d2)

Інше важливе питання, на яке ми спробували знайти відповідь – виявлення та дослідження аномальних деформаційних процесів, як можливих індикаторів активізації сейсмічного процесу в Закарпатті та провісників місцевих закарпатських землетрусів [18-23]. Конкретно малось на увазі проаналізувати хід деформаційних процесів у масиві порід Берегівського горбогір'я в період підготовки Виноградівських землетрусів 5-6 травня 1989 р. з магнітудою $M=2,9/2,4$ (5.05.1989 р. о 23 год. 37 хв. та 6.05.1989 р. о 3 год. 26 хв. за місцевим часом або 6.05.1989 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 "Мужієво" нами було зафіксовано чітку провісникову аномалію тривалістю кілька місяців [7, 14].

Виділення та аналіз деформаційного провісника Виноградівських землетрусів 1989 р.

Вже при попередньому аналізі деформографічних даних нами було звернуто увагу на те, що з початку 1989 року помітно (див. рис. 3) змінюється характер деформаційних процесів у зоні встановлення довгого деформографа d1 (азимут 37° , див. рис. 2). Щодо короткого деформографа d2 (азимут 73°), то в цей час, на жаль, реєстрація деформацій тут була відсутня, і можемо лише констатувати, що у 1990 р., коли реєстрація відновилася, швидкість деформацій тут помітно зменшилась, порівняно з періодом 1986-1988 рр., з 23×10^{-7} до $9,6 \times 10^{-7}$ за рік.

Детальний аналіз деформацій, зареєстрованих деформографом d1, показав наступне (рис. 4а).

За період від 12 червня 1986 р. до 14 листопада 1988 р. (рис. 4а, ділянка часового ряду а) реєструється характерний хід деформацій, де на фоні показаної пунктиром трендової складової, яка відображає стиск порід величиною $\approx 10,5 \times 10^{-7}$ за рік, чітко проявляються сезонні коливання розмахом близько $\approx 17,5 \times 10^{-7}$, форма та амплітуда яких практично повторюється з року в рік. Але вже з другої половини листопада 1988 р. характер деформаційних процесів починає змінюватися, що особливо помітно при порівнянні 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 гори Мужієвської (Великої Берегівської) як щодо тренду, 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 мав би відбуватися різкий (величиною до $6,5-8,3 \times 10^{-7}$ за місяць) стиск контролюваної ділянки масиву порід (див. ряд d1' на рис. 4а), насправді маємо у цей час розширення величиною до 11×10^{-7} , які досягають пікових значень в період з другої половини березня до двадятих чисел квітня з деяким наступним загальним спадом (величиною близько $1,3 \times 10^{-7}$) у першій половині травня та подальшим дещо більш інтенсивним спадом (величиною близько $7,8 \times 10^{-7}$) аж до другої половини жовтня.

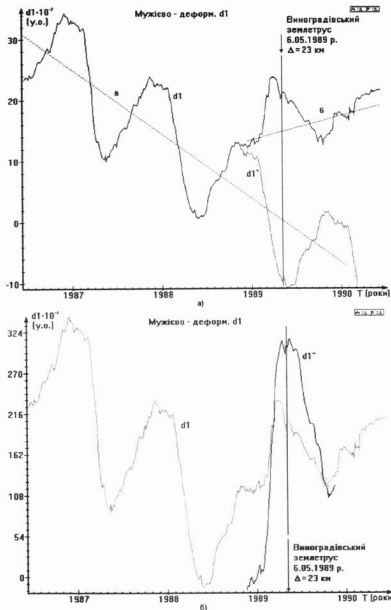


Рис. 4. Результати аналізу часового ряду $d1$ змін деформацій в азимуті 37° на пункті "Мужисво" за 1986-1990 рр. (а) та виділений деформаційний провісник Виноградівського землетрусу 1989 р. (б) (повнення в тексті)

Отже, наведений тут аномальний (у відношенні до 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 провісникових аномалій бухтоподібний вигляд. Землетрус відбувається в період початкової частини спаду дефор-

маційної провісникової аномалії, що також є традиційним, тобто часове співвідношення між провісником і землетрусом аналогічне, як і для розглянутої нами в [7; 14] геоакустичної аномалії – геоакустичного провісника цього ж землетрусу, зареєстрованого на розташованому за 400 м на північний захід (див. рис. 1) пункті геоакустичних спостережень "Мухівсьо".

Для виділення різницевої складової між рядами d_1 і d_1' нами застосовано програмний пакет для обробки часових рядів (автори С.Т. Вербицький та Ю.Т. Вербицький), що дозволило ще більш яскраво виділити деформаційну провісникову аномалію, наведену на рис. 4.6 (ряд d_1') на фоні показаного пунктиром первинного ряду d_1 . Амплітуда цієї аномалії у виділеному стані досягає $31,5 \times 10^{-7}$.

Завершуючи короткий аналіз виділеної провісникової аномалії, вкажемо також на те, що з початку 1989 р. принципово змінився характер деформаційних процесів у контрольованій ділянці масиву порід (див. рис. 4а). Так, якщо раніше тут спостерігався стиск порід величиною $\approx 10,5 \times 10^{-7}$ за рік (рис. 4 а, ділянка а), то в подальшому він змінився розширенням (розтягом) величиною $\approx 4,1 \times 10^{-7}$ за рік (рис. 4 а, ділянка б). Звертає на себе увагу також зміна полярності та зменшення амплітуди сезонної складової на ділянці б ряду d_1 , але робити тут якісь глибокі 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.

Оцінка деформацій у вогнищі Виноградівських землетрусів 5-6.05.1989 р. за параметрами провісникової деформаційної аномалії.

Одними з нових, важливих для досліджень сейсмічності Закарпаття результатів також стали методика та результати оцінки деформацій у вогнищі Виноградівського землетрусу 5-6.05.1989 р. за параметрами провісникової деформаційної аномалії. Для цього нами використано отримані І.П. Добровольським результати математичного моделювання розподілу деформацій в околі збудованої зони – вогнища землетрусу [24], а також результати наших власних досліджень величин розривів у вогнищах Закарпатських землетрусів [25-28].

Методика оцінки полягала в наступному. За встановленою нами раніше кореляційною залежністю між магнітудою/класом місцевого землетрусу і довжиною розриву в його джерелі ($L = 1,665 \times 10^{0,2M-2}$ [25-28]) визначено довжину розриву для основного з Виноградівських землетрусів 5-6 травня 1989 р. Далі за відомими співвідношеннями між довжиною розриву L і розмірами вогнищової зони L' [29-34] визначено лінійні розміри збудованої зони (зони вогнища) – її еквівалентний радіус R_0 . Наступний крок – визначено величини ξ та η (відносні відстані реєстрації деформаційного провісника ($\xi = \Delta/R_0$, $\eta = \Delta/R_0$, де Δ – відстань від пункту реєстрації провісника до епіцентру землетрусу)). Далі за даними І.П. Добровольського [24] (див. рис. 5) визначено коефіцієнт загасання деформацій $K_{\xi, \eta}$ для даної відносної відстані ξ (η) і за ним та величиною провісникової аномалії *d визначено (так би сказати, "зворотним ходом") повну величину деформації *D у вогнищевій зоні. На завершальному етапі враховано отримані за різними даними [33-36] співвідношення повної деформації *D у вогнищевій зоні та її сейсмодислокаційної складової *D_s (коефіцієнт сейсмодислокаційної ефективності) і на їх основі отримано оцінки зміщення по розриву для даного землетрусу.

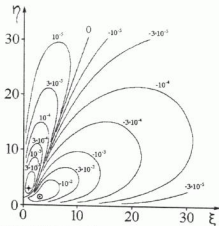


Рисунок 5. Розподіл деформацій в околі збудованої зони – вогнища землетрусу (за І.П. Добровольським [24]). По осях відкладені відносні відстані ξ і η від центру збудованої зони в одиницях її радіуса R_0 : $\xi = L/R_0$, $\eta = l/R_0$

Підставивши у зазначені формули фактичні дані по сильнішому з Виноградівських землетрусів 5-6.05.1989 р. ($M=2,9$; $K=9,1$; $\Delta=23$ км, $^*d=11 \times 10^{-7}=30,8$ мм), отримаємо:

$$L = 1,665 \times 10^{0,2M-2} = 1,1 \text{ км};$$

$$L' = 3L = 3,3 \text{ км};$$

$$R_0 = L'/2 = 1,65 \text{ км};$$

$$\xi = \Delta/R_0 = 14, \quad \eta = \Delta/R_0 = 14$$

$$K_{\xi, \eta} = 10^{-3} \text{ (див. рис. 5);}$$

$$^*D = ^*d/K_{\xi, \eta} = 30,8 \text{ мм};$$

$$^*D_s = 0,05-0,2 \cdot ^*D = 1,54-6,16 \text{ мм (в середньому } ^*D_s = 3,08 \text{ мм).}$$

Визначену величину сейсмодислокаційної складової деформації (зміщення по розриву) $*D_{\text{в}}=3,08$ мм можна було б віднести до сумарного ефекту 2-х землетрусів – основного з $M=2,9$ і $K=9,1$ ($L=1,1$ км) і афтершоку з $M=2,4$ і $K=8,4$, для якого $L=0,8$ км. Але, оскільки ці дві події відбулися практично в одному і тому ж місці, то можна вважати, що визначене $*D_{\text{в}}=3,08$ мм відноситься до основного поштовху, а афтершоком відбулася дорозрядка напружень і деформацій по вже створеному підчас основного землетрусу розриву (став видимим сумарний коефіцієнт сейсмодислокаційної ефективності), і різниця магнітуд даних подій відповідає різниці скинутих напружень і зміщень по розриву. Причиною такої різниці, очевидно, є суттєво більша еквівалентна міцність порід у зоні майбутнього розриву перед першим землетрусом і суттєво менша – після нього (у першому випадку пружну енергію запасала тріщинувата зона, у другому – уже наявний новостворений розрив за рахунок тертя між його бортами).

До цього зазначимо, що отримана нами оцінка величини зміщення по розриву у вогнищі Виноградівського землетрусу 5-6.05.1989 р. $*D_{\text{в}}=3,08$ мм є середньою для всього розриву. Враховуючи спостережувану у різних сейсмоактивних регіонах Землі велику неоднорідність напружено-деформованого стану, механічних характеристик та зміщень різних ділянок бортів сейсмогенних розривів [33-37], можна припускати, що в деяких локальних ділянках розриву у джерелі даного землетрусу взаємні зміщення бортів могли бути у кілька разів більшими. Це ж стосується і особливостей просторового розподілу повної деформації у вогнищевій зоні.

Завершуючи коротко дане дослідження, вкажемо, що отримані тут оцінки $*D_{\text{в}}=3,08$ мм добре узгоджуються з аналогічними результатами проведених нами досліджень по інших зарепаратських землетрусах, де використовувалися інші методи та інші вихідні дані. Так, за даними визначені вогнищеві параметри порівняно сильнішого Березівського землетрусу 1965 р. ($M=3,7$), проведених на основі аналізу його макросейсмічного поля, отримано зміщення в його джерелі (на глибині $H=4,3$ км) $*D_{\text{в}}=4,9$ мм [38], а геодезичні дані (результати повторного нівелювання через сейсмогенеруючий Березівський меридіональний розлом) дали величину взаємних вертикальних зміщень бортів цього розлому (по земній поверхні) величиною 3,5 мм [38; 39].

Висновки. Виходячи з наведеного аналізу деформографічних даних, можна зробити ряд важливих методичних висновків стосовно проведення деформографічних спостережень (які в даній роботі ми не розглядатимемо) і висновків щодо особливостей деформаційних процесів у масивах порід гори Мужівської та їх зв'язку з деформаціями у вогнищевій зоні даного землетрусу та з сейсмотектонічним процесом у Закарпатті.

Щодо особливостей деформаційних процесів наші висновки є такими:

1. Деформаційні процеси в контрольованій зоні масиву порід гори Мужівської за розглянутий період (1965-1990 рр.) характеризуються переважанням стиску порід (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 $d1$ і $d2$ на ділянці а за рис. 4а), причому ці відмінності наявні і у трендовій складовій, і в сезонних варіаціях.

3. Розглянуті деформаційні процеси змінюються в час 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 порід інших ділянок масиву (див. рис. 2-4, порівняння рядів $d1$ і $d2$ на ділянці б за рис. 4а), хоча досить синхронно у часі.

4. Виявлені помітні зміни деформаційних процесів у масиві порід гори Мужівської відбулися в період активізації місцевого сейсмотектонічного процесу в Закарпатті, а саме в період підготовки Виноградівських землетрусів 5-6 травня 1989 р. з магнітудою $M=2,9$ (землетрус відбувся на відстані 23 км від пункту реєстрації деформацій).

5. Зміни деформаційних процесів у масиві порід гори Мужівської, які ми називаємо деформаційним провісником Виноградівських землетрусів 5-6 травня 1989 р., розпочалися за 5 місяців до майбутніх землетрусів (рис. 4), що близьке до значень, отриманих за результатами аналізу геоакустичного провісника цих же землетрусів (див. [7; 14]).

6. Зміни деформацій по деформографу $d1$ носили якісний характер (стиск змінюється розтягом) і становили за величиною близько 11×10^{-7} відносно біжучої трендової складової ряду $d1$ (рис. 3) і $31,5 \times 10^{-7}$ (ряд $d1'$ на рис. 4б) відносно уявного ряду $d1'$ (рис. 4а), який є продовженням ряду $d1$ у припущенні незмінності характеру деформаційних процесів як щодо тренду, так і щодо сезонної складової.

7. Після землетрусів змінився характер деформаційних процесів у масиві порід гори Мужівської: по деформографу $d1$ середньорічний стиск зменшився до $\approx 10,5 \times 10^{-7}$ змінюється розтягом величиною $\approx 4,1 \times 10^{-7}$, по деформографу $d2$ середньорічний стиск з $\approx 23 \times 10^{-7}$ зменшився до $\approx 9,6 \times 10^{-7}$. Відзначимо, що зміни деформацій по обох деформографах за абсолютною величиною дуже близькі між собою – $14,6 \times 10^{-7}$ по довгому деформографу $d1$, і $13,4 \times 10^{-7}$ по короткому деформографу $d2$, відхилення між цими значеннями становить $1,2 \times 10^{-7}$, тобто менше 10%.

8. Проведена нами за даними про величину провісникової аномалії та відповідними методами оцінка величин деформацій у вогнищевій зоні ($*D_{\text{в}}=30,8$ мм) та зміщень по розриву ($*D_{\text{р}}=3,08$ мм) для даного землетрусу ($M=2,9$) разом з даними досліджень інших місцевих землетрусів показує, що ці величини для відігнаних зарепаратських землетрусів з $M=2,9-3,7$ становлять в середньому порядку кількох сантиметрів і кількох міліметрів відповідно, що підтверджується також іншими незалежними методами і даними [38].

Крім перелічених висновків, які безсередньо випливають з аналізу наведеного нами матеріалу, можна зробити ще ряд важливих висновків щодо більш загальних питань геодинаміки літосфери досліджуваного регіону, але це потребує залучення до порівняльного аналізу значно ширшого об'єму різної геолого-геофізичної інформації і виходить за рамки даної роботи. Тут вкажемо тільки на те, що факти, наведені нами у висновках 2, 3, 6 та 7, а також результати проведеного нами у роботах [40-42] аналізу особливостей геодинаміки заходу Закарпаття змушують з великою обережністю проводити узагальнення встановлених у конкретних пунктах спостережень і у конкретні періоди часу особливостей деформаційних процесів у контрольованих масивах порід на більшій території та довші часові інтервали і вимагають у кожному випадку підтвердження правомірності таких узагальнень фактичними даними чи іншою додатковою геолого-геофізичною, геодезичною, геоморфологічною інформацією.

Підсумовуючи, можна зробити загальний висновок про те, що Березівське горбогір'я і особливо гора Мужівська (Велика Березівська) є геодинамічно активною зоною, геомеханічно тісно пов'язаною з земною корою цілого Закарпаття, що власне і дозволило зареєструвати підчас проведених тут деформографічних та геоакустичних [7; 13-23] досліджень чіткі провісникові аномалії, пов'язані з підготовкою місцевих землетрусів у сусідніх сейсмоактивних зонах

Закарпаття. Найновішим підтвердженням сучасної активності цієї зони є 2 відчутних землетруси, що відбулися тут у 2008 році [43].

У руслі наведених результатів ще раз підкреслимо, 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.

- Латынина Л.А., Юрєвич О.И., Байсарєвич И.М. Результаты деформационных измерений в районе Берегово. // Геофиз. журн. – 1992. – 14, № 2. 2. Латынина Л.А., Байсарєвич И.М., Брыльш Л., Варо П., Юрєвич О.И. Деформационные измерения в Карпато-Балканском регионе. // Физика Земли. – 1993. – № 1. 3. Латынина Л.А., Вербицкий Т.З., Иванчишин В.В. О деформационных процессах в северо-восточной части Карпато-Балканского региона. // Физика Земли. – 1995. – № 4. 4. Вербицкий Т.З., Иванчишин В., Латынина Л., Юрєвич О. Сучасні деформації земної кори Бергєвської гороної зони. // Геодинаміка. – 1998. – № 1. 5. Латынина Л.А., Варо П., Варо Т., Вербицкий Т.З., Юрєвич О.И. Современное декарпато-Балканского региона. // ДАН. – 1998. – № 1. 6. Варо П., Вербицкий Т.З., Латынина Л.А., Брыльш Л., Ментли Д., Сажєвич-Карос Д., Елерє П.И., Гусєва Т.В., Иванчишин В.В. Геоинженерные деформации земной кори в Липовом Панноском бассейне по эвекстонометрическим данным и неотектоника региона. // ДАН. – 1998. – № 1. 7. Варо П., Вербицкий Т.З., Латынина Л.А., Брыльш Л., Ментли Д., Сажєвич-Карос Д., Елерє П.И., Гусєва Т.В., Иванчишин В.В. Геоинженерные деформации земной кори в Карпато-Балканском регионе. // Наука и технология в России. – 2002. – № 7 (58). 7. Вербицкий Т.З., Назарєвич А.В. Деформографічний і геодинамічний дослідження у Закарпатті. // В кн.: Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. Гід рєд. В.І. Гєрєвського. – Київ, – 2005. 8. Назарєвич А.В. Деформографічне дослідження в районі м. Берегово на Закарпатті. // Праць НТШ, Т.ХVII, Геофізика. – Львів, – 2006. 9. Назарєвич А.В. Сейсмографічне дослідження в районі м. Берегово на Закарпатті. // Proceedings XXVIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association. Serbiya and geomechanics of Ukrainian Carpathians region. // Proceedings XXVIII-th congress of the Carpathian-Balkan geological association. Serbiya. 3-6, 2006, Belgrade, Serbia. – Belgrade, – 2006. 10. Назарєвич А.В., Краєв М.В., Савиш І.В., Шдрєво І.А. Методические рекомендации по исследованию деформационных предельности землетрясений. – Москва, 1988. 12. Костюк О., Савалова С., Рубинская Я., Проничев Р., Кендєво О. Каталог землетрусов Карпатского региона за 1981-1990 годы. // Праць НТШ. – Львів, – 1997. – Т. 1. 13. Вербицкий Т.З., Бойко Б.Д. Геоэвекстонометрический предельности закарпатского землетрясения 5 октября 1983 г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1986. – № 4. 14. Назарєвич А.В. Экспериментальное исследование спектрально-частотной структуры вариаций параметр пружины хвля в массивах горных пород. Автореф. дис. канд. фіз.-мат. наук. – К., – 1997. 15. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Геодинаміка і особливості сейсмогеотектонічного процесу Бергєвської гороної зони (Закарпаття). // Геодинаміка. – 2000. – № 1 (3). 16. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Геодинаміка і тріщинчатість порідних масивів (на прикладі Бергєвської гороної зони в Закарпатті). // Наук. вєст. НГУ. – 2001. – № 4. 17. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Нєлінійна пружність і неконформність пружних порід (доповнення та застосування для геодинамічного моніторингу). // Вісн. Київ ун-ту, Сер. Геологія. – 2002. – Вип. 23-24. 18. Назарєвич А.В. Параметричне сейсмогеодинамічне і деформационне предельности землетрясений Українського Закарпаття // Проблеми оцінки сейсмічної небезпечності, сейсмічного ризику і прогнозу землетрясений. Матер. Міжнарод. конф. Ташкент, 2004. – Т. 2004. 19. Назарєвич А.В., Латынина Л.А., Назарєвич Л.Є. Геоэвекстонометрические и деформационные предельности землетрясений Украинского Закарпаття. // Изменения геологической среды: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Матер. Міжнарод. конф. Казань, 2007. – К., 2007. – Т. 1. 20. Назарєвич А.В. Геодинаміка і особливості деформационних процесів та екологічного стану середовища: GPS і GIS-технології: XII міжнар. наук.-техн. симпозіум, 2007, Алушта (Крим). – Львів, 2007. 21. Назарєвич А.В. Геоэвекстонометрические и деформационные предельности оценок закарпатских землетрясений. // Уроки і следствия сильных землетрясений. Сб. матер. міжнарод. конф., Ялта, 2007. – Симферополь, 2007. 23. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є., Латынина Л.А. Деформационные процессы в массивах пород района Берегово в Закарпатті в период активизации местного сейсмогеотектонического процесса. // Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища: Матер. наук. конф. Львів, 2007 р. – Л., 2007. 24. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. – М. – 1991. 25. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Некоторые соотношения между параметрами сейсмічного очага и их использование в изучении сейсмічности Украинского Закарпаття. // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения: Матер. XII міжнарод. конф. Воронеж, 2006. Т. II. – Воронеж, 2006. 26. Назарєвич А.В., Кендєво А., Назарєвич Л.Є. Some aspects of seismicity, geodynamic and peculiarity of seismic risk of Ukrainian Carpathians. // International symposium on seismic risk reduction. 26-27 April 2007, Bucharest, Romania. Proceedings book. – Bucharest. – 2007. 27. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Новые методики в изучении сейсмічности и геодинамики Карпатского региона Украины. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 28. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 29. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 30. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 31. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 32. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 33. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 34. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 35. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 36. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Характеристика сейсмологической информации: тез. докл. II міжнарод. сейсмологической школы, Пермь, 2007. 37. Старостинский В.И., Гейко В.С., Кендєво А.В., Цюпкова Г.А., Бузєвко И.В., Вербицкий С.Т. Катастрофическое землетрясение 26 декабря 2004 г. у берегов Суматры: причины, последствия и уроки. // Геофиз. журн. – 2005. – Том 27, № 6. 38. Назарєвич Л.Є., Назарєвич А.В. Характерні землетруси Бергєвської сейсмогеотектонічної зони: особливості джерела і макросейсмічного поля. // Вісн. Київ. ун-ту, Сер. Геологія. – 2006. – № 38-39. 39. Юрєвич О.И., Волощук Б.И., Зайбюк Н.С. Повторное измерение Береговского землетрясения 24 октября 1965 г. // Сейсмічность Украины. – К., 1969. 40. Назарєвич А.В., Ковалевич З.І. Назарєвич Л.Є. Геодинаміка сейсмічності району Закарпаття за комплексом геофізичних даних. // Вісн. Київ. ун-ту, Сер. Геологія. – 2002. – № 23-24. 41. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є. Геодинаміка літосфери заходу Закарпаття за комплексом даних. // Геодинаміка. – 2004. – 1 (4). 42. Назарєвич А.В., Назарєвич Л.Є., Шеремета П.М. Некоторые черты строения, геодинамики и сейсмічности литосферы Карпатского региона Украины. // Проблеми оцінки сейсмічної небезпечності, сейсмічного ризику і прогнозу землетрясений. Матер. міжнарод. конф., Ташкент, 2004. 43. Проничев Р., Стєпанко А., Вербицкий Т.З., Корєнєво С., Рєва І. Макросейсмічний прояв при Бергєвських землетрусах 15 і 23 листопада 2006 року. // Нові геофізичні технології прогнозування та моніторингу геологічного середовища: Матер. наук. конф., Львів, 2007. – Л., 2007.

Надійшла до редакції 01.02.08.

УДК 550.384

Р. Хоменко, Інж. І. К.

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ УЛЬТРАДЕТАЛЬНИХ МАГНІТОМЕТРИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АРХЕОЛОГІЧНИХ ПАМ'ЯТОК НА ПРИКЛАДІ ЗОЛЬНИХ НАСИПІВ ЗАХІДНОГО БІЛЬСЬКОГО ГОРОДИЩА

В роботі представлено результати використання основних методичних підходів проведення ультрадетальних магнітометричних досліджень для об'єктів археологічного генезису на прикладі слабоманітних утворень – зольних насипів Західного Більського городища.

The results of detailed magnetometric investigations for the objects of archaeological genesis are represented in the paper. Such objects is poor magnetic formations of Belsk settlement.

Використання магнітометричних досліджень, особливо ультрадетальних робіт дає можливість отримати вичерпну інформацію про магнітне поле території досліджень для завдань пошукової археології. У деякій мірі вдається вирішити завдання вивчення структурних особливостей археологічного об'єкту, зокрема планування поселень і окре-