

ГЕОФІЗИКА

УДК 550.832+550.834

А. Назаревич, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.,
ORCID-0000-0002-1989-0790

E-mail: nazarevych.a@gmail.com

Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна

Л. Назаревич, канд. геол. наук, наук. співроб.,

ORCID-0000-0001-8038-9535

E-mail: nazarevych.L@gmail.com

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,
відділ сейсмічності Карпатського регіону,

вул. Ярославенка, 27, м. Львів, 79012, Україна

М. Баштевич, пров. програміст,

E-mail: nbash@ukr.net

Львівський регіональний центр з гідрометеорології,
вул. Чупринки, 58А, м. Львів, 79044, Україна**ВИДІЛЕННЯ МАЛОАМПЛІТУДНИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ АНОМАЛІЙ –
ПРОВІСНИКІВ МІСЦЕВИХ ЗАКАРПАТСЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ
З УРАХУВАННЯМ МЕТЕОТЕРМОПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ***(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)*

Метою статті є представлення методики дослідження і редукції метеотермопружних деформацій із деформографічних даних і результатів виділення, з її застосуванням, малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників місцевих Закарпатських землетрусів.

Вивчення метеотемпературних впливів на дані режимних геофізичних спостережень і розробка способів урахування таких впливів є одним із важливих завдань при проведенні геодинамічного моніторингу. Особливо актуальним це є для деформографічних досліджень.

Методика досліджень полягала у проведенні кореляційного аналізу деформографічних та метеотемпературних даних і редукції виявлених сезонних метеотермопружних деформацій із варіаційних деформографічних рядів. У результаті таких досліджень, зокрема, вивчено кореляцію між температурою повітря і деформаціями масиву порід на пункті спостережень "Мужієво" (Українське Закарпаття) і шляхом редукції виявлених сезонних метеотермопружних деформацій виділено малоамплітудну деформографічну аномалію – провісник місцевого Закарпатського землетрусу з магнітудою $M=3,3$ на епіцентральної відстані 31 км.

Виділена аномалія має амплітуду (у відносних деформаціях) $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ (у порівнянні з величиною сезонних метеотермопружних варіацій $\sim 14 \cdot 10^{-7}$) і є у 5–7 разів більшою за амплітуди різницевої флуктуації ($0,5\text{--}0,7 \cdot 10^{-7}$) між зареєстрованими варіаціями деформацій і "стаціонарною" сезонною метеотермопружною хвилею, "провісникова" тривалість аномалії становить близько 5 місяців.

Практична значущість роботи полягає в тому, що застосування розробленої методики забезпечує редукцію метеотемпературних впливів на порядок і більше і дає можливість пошуків малоамплітудних деформаційних аномалій – провісників землетрусів на фоні термопружних деформацій, що, фактично, у багатьох разів збільшує реальну чутливість і, відповідно, зону геодинамічного та сейсмопрогностичного контролю конкретного пункту деформографічних спостережень.

Ключові слова: сейсмопрогностичні дослідження, деформації порід, метеотемпературний вплив, термопружна деформація, аномалія – провісник землетрусу, Українське Закарпаття.

Постановка проблеми. Одним із важливих завдань при проведенні геодинамічного моніторингу є вивчення метеотемпературних впливів на дані режимних геофізичних спостережень і розробка способів урахування таких впливів. Адже ігнорування цих впливів може спричинити неправильну інтерпретацію реєстрованих варіацій геофізичних полів. Стосовно сейсмопрогностичних досліджень, можлива як, так звана хибна тривога (аномалія, спричинена метеотемпературним впливом, приймається за провісник землетрусу), такі і "пропуск цілі" (аномалія – провісник землетрусу, приймається за спричинену (або маскується) метеотемпературним впливом).

Особливо актуальним це є для деформографічних спостережень. За рахунок високої чутливості деформографічної апаратури (на рівні $10^{-8}\text{--}10^{-9}$ у відносних одиницях, або десятків – сотень нанометрів в абсолютних одиницях) вплив варіацій температури повітря (через її вплив на апаратуру) чи термопружних деформацій масиву порід на результати вимірювань є значним, він перебуває на рівні припливних складових деформацій порід (до сотень нанометрів або до $1\text{--}5 \cdot 10^{-8}$ у відносних деформаціях) для добових варіацій і на рівні тектонічних рухів (до одиниць і десятків мкм або до $5\text{--}20 \cdot 10^{-7}$ у відносних деформаціях) для більш тривалих (від кількох днів до сезонних) змін деформацій, навіть у достатньо добрих умовах спостережень у підземних виробках.

Аналіз останніх досліджень та публікацій за темою роботи. З температурним впливом на результати деформографічних сейсмопрогностичних досліджень дослідники борються вже давно (Латынина і др., 1988). Одним з ефективних способів такої боротьби є заглиблення точок спостережень у межі термостабільного шару – на глибини понад 15–20 м, тобто розташування деформографічної апаратури у гірничих виробках – шахтах і штольнях (Латынина і др., 1988, 1992; Nazarevych et al., 2010). Належне облаштування таких пунктів спостережень (влаштування кількох теплоізоляційних шлюзів на вході) забезпечує у них стабільний температурний режим (добові варіації температури на рівні менше $0,01^\circ\text{C}$, а сезонні – менше $0,5^\circ\text{C}$), що дає змогу мінімізувати безпосередній вплив температури і локальних метеотермопружних впливів на породи і апаратуру до прийнятних величин (Латынина і др., 1988). Але такі готові і незайняті гірничі виробки, придатні для деформографічних спостережень, трапляються дуже нечасто, а спеціальне їх створення є дуже дорогим.

Інший підхід до вирішення цієї проблеми – проведення температурного моніторингу на пункті деформографічних спостережень з подальшим дослідженням і редукцією виявлених метеотемпературних впливів. Часто цей підхід використовується разом з першим, зокрема і нами, при проведенні деформографічних досліджень у Закарпатті (Назаревич, 2006, 2008, 2010, 2011а, 2011б,

2012, 2013; Назаревич та Назаревич, 1999; Назаревич та Мукіта, 2010). Але оскільки шляхи проникнення температурних впливів є різні – на масив порід (від денної поверхні через породи і через повітря у гірничу виробку у зону деформографів), на апаратуру, то задача редукції таких впливів є нетривіальною і вимагає у кожному випадку своїх підходів з урахуванням конкретних умов досліджень.

Для порівняння зазначимо, що метеотемпературні впливи і термопружні деформації, поряд з іншими факторами, враховуються також і при відомих найновіших дослідженнях гравітаційних хвиль за допомогою комплексів LIGO (Lazer..., 2018), позаяк вимірювальні системи у них є фактично аналогами суперчутливих лазерних інтерферометрів-деформографів (Nazarevych et al., 2010). Значно полегшується це завдання тут тим, що шукані гравітаційні хвилі лежать у діапазоні звукових частот, де термопружні деформації, внаслідок інерційності теплових процесів, є малими.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми. Оскільки термопружні деформації (особливо, сезонна складова) генеруються по всій площі приповерхневих шарів порід, прилеглих до пунктів спостережень, на глибинах 1–5–10 м, тобто там, де амплітуда сезонної температурної хвилі ще досить велика (10–4–2 °C відповідно), а самі породи вже досить консолідовані і передають такі деформації значно далі (на десятки і сотні метрів в глибоку масиву порід), ніж проникає сама метеотемпературна хвиля (до 15–20 м), задача їх врахування є актуальною навіть для досить глибоко (на 50–100 м від денної поверхні) розташованих у гірничих виробках пунктів спостережень і водночас непростою (Латынина и др., 1988; Nazarevych et al., 2010; Назаревич, 2011а). Тим більше, така задача є актуальною для даних деформографічного пункту "Мужієво" у Закарпатті (заглибленого всього на 15–20 м) (Латынина и др., 1992; Назаревич, 2011а, 2011б), де дані локального температурного моніторингу під час проведення деформографічних досліджень відсутні.

Дослідження на пункті "Берегове-1" ("Мужієво") проводились Л.О. Латыніною та І.М. Байсаровичем (Латынина и др., 1992). Сама деформографічна станція (географічні координати $\varphi=48,2^\circ$, $\lambda=22,7^\circ$) розташовувалась у розвідувальній штольні № 22 (Латынина и др., 1992; Назаревич, 2011а, 2011б), на південному схилі гори Мужіївської (Великої Берегівської) у підніжжі її вершинного купола, за 3 км на південний схід від м. Берегове (рис. 1). Тут були встановлені 2 горизонтальні кварцових деформографи завдовжки 28 м (азимут 37°) і 12 м (азимут 73°), розташовані у відокремленому від решти штольні відсіку завдовжки близько 150 м.

Від входу у штольню цей відсік відділявся трьома перегородками з дверима (термошлюзами), для мінімізації метеотемпературних впливів на результати вимірювань (Латынина и др., 1992). Відстань до денної поверхні у місці встановлення деформографів становила понад 15 м, що разом з обладнанням шлюзів забезпечило відносно добре нівелювання прямого впливу сезонних коливань температури повітря та земної поверхні на результати вимірювань деформацій масиву порід. Але за рахунок термопружних деформацій, генерованих приповерхневими (на глибинах 0,2–5 м) шарами консолідованих порід південного схилу гори Мужіївської, все ж таки рівень сезонних варіацій напружено-деформованого стану масиву порід у зоні розташування деформографів був значний (рис. 2). Тому раніше (див. Назаревич и др., 2007; Назаревич та Назаревич, 2008; Назаревич, 2010, 2011) на записах деформацій цього пункту нам вдалося виділити тільки виразний провісник Виноградівського землетрусу 1989 р. (рис. 2). Саме відсутність напрацьованих методичних підходів щодо врахування,

зокрема, сезонних метеотемпературних впливів на результати деформографічних досліджень у Закарпатті була перешкодою для виділення можливих малоамплітудних (з амплітудами менше таких впливів) деформографічних провісників місцевих землетрусів (див. Латынина и др., 1988, 1992; Назаревич, 2006, 2008, 2010, 2011а, 2011б, 2012, 2013).

Постановка завдання. Враховуючи все сказане вище, нами було поставлено завдання провести аналіз та врахування метеотемпературних впливів на дані деформографічних спостережень на прикладі даних пункту "Мужієво" ("Берегове-1"), зокрема, з метою спробувати виділити за рахунок вивчення та редукції таких впливів можливий деформаційний провісник Виноградівських землетрусів 1988 р. (рис. 1), з використанням підходів напрацьованих і задіяних раніше для аналізу різних геофізичних даних (Назаревич, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013). Зокрема, аналіз даних та виділення з використанням ряду таких підходів виразного деформаційного провісника відчутних Виноградівських землетрусів 6.05.1989 р. ($M=2,8/2,4$, $\Delta=23$ км) (рис. 1) представлено нами у (Назаревич и др., 2007; Назаревич та Назаревич, 2008; Назаревич, 2010, 2011) (рис. 2).

Результати. Отже, предметом нашого дослідження стали дані деформографічних спостережень (Латынина и др., 1992) на розташованому в одній з розвідувальних штоль на території Мужіївського золото-поліметалічного родовища (Берегівське горбогір'я у Закарпатті) пункті "Мужієво" ("Берегове-1") (Назаревич, 2011а, 2011б) за 1986–1990 рр. (рис. 1). У цей період у Виноградівській сейсмоактивній зоні відбулися відчутні місцеві землетруси – 4.12.1988 р. і 6.05.1989 р. (з афтершоком) (Костюк та ін., 1997) (рис. 1). Другий із цих землетрусів супроводжувався дуже виразною геоакустичною аномалією (Вербицький та Назаревич, 2005), що, власне, і спричинило нашу увагу до деформографічних даних за цей період, коли ці дані були опубліковані авторами досліджень у відкритому доступі (Латынина и др., 1992; Вербицький та Назаревич, 2005). У результаті проведеного аналізу нами було виділено і досліджено аномалію – провісник землетрусу 6.05.1989 р. (рис. 2) (Назаревич и др., 2007; Назаревич та Назаревич, 2008; Назаревич, 2010, 2011а, 2011б), подібну за характером та часово-амплітудними параметрами до відповідної геоакустичної аномалії (Вербицький та Назаревич, 2005). У той же час, стосовно попереднього відчутного ($M=3,3$), хоч і трішки дальшого ($\Delta=31$ км) землетрусу 4.12.1988 р. (Костюк та ін., 1997), такої аномалії відмічено не було (знову ж подібно, як і у геоакустичних даних).

І все ж, при уважнішому розгляді на графіку деформації (рис. 2) можна помітити певні збурення ходу сезонної деформації у другій половині 1988 р. Але вони могли бути пов'язані з особливістю сезонної метеотемпературної хвилі, тому без детального кореляційного аналізу деформографічних та температурних даних робити якісь висновки тут не було можливим.

Для проведення такого аналізу нами залучено дані про зміни температури повітря та поверхні ґрунту на розташованій близько до пункту спостережень (на відстані 3 км) метеостанції "Берегове" (рис. 1) за 1986–90 рр. (рис. 3, а).

З цих даних за результатами спектрального аналізу виділено сезонну температурну хвилю і проведено її кореляційний аналіз з деформографічними даними. Методики такого аналізу з використанням різних пакетів програм напрацьовувались нами раніше для аналізу геоакустичних, деформографічних та геотермічних даних і вже представлені у ряді публікацій (Вербицький та Назаревич, 2005; Назаревич и др., 2007; Назаревич та Назаревич, 2008; Назаревич, 2008, 2010, 2011а, 2011б; Назаревич та ін., 2015; Nazarevych et al., 2010) та ін. За

результатами цього аналізу (з урахуванням трендової та сезонної складових (див. нижче)) згенеровано модельну "стаціонарну" термопружну деформацію на пункті "Мужієво" (рис. 3, б). Далі шляхом порівняння з фактичними деформаціями порід (рис. 4) виділено малоамплітудну (порівняно з сезонними термопружними деформаціями і з провісником Виноградівських землетрусів 1989 р.) аномалію – провісник Виноградівського землетрусу 1988 р.,

представлену на рис. 4 (загальний вигляд) і рис. 5 (варіаційна складова). Ця варіаційна складова (рис. 5) є різницею між повним рядом деформацій (рис. 4) і модельною "стаціонарною" термопружною деформацією (рис. 3, б) з урахуванням зміни тренду з моменту землетрусу 1989 р. (синій сектор на рис. 4).

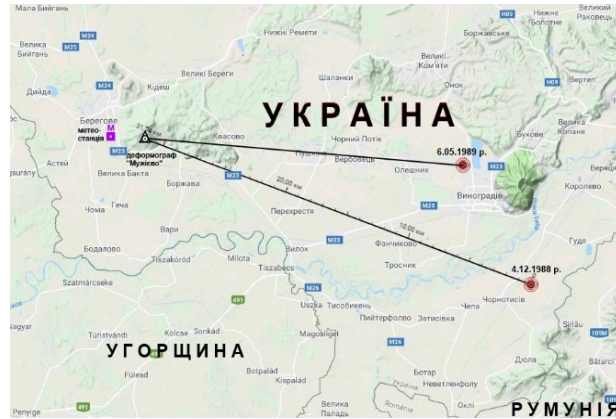


Рис. 1. Локалізація вогнищ відчутних місцевих Виноградівських землетрусів 1988–89 рр. відносно пункту "Мужієво" ("Берегове-1") на фрагменті карти центральної частини південної зони Закарпаття (картооснова Google з рельєфом, показана локалізація вогнищ землетрусів (●), пункту "Мужієво" (▲) та відстані до вогнищ, а також локалізація метеостанції "Берегове" (mM))

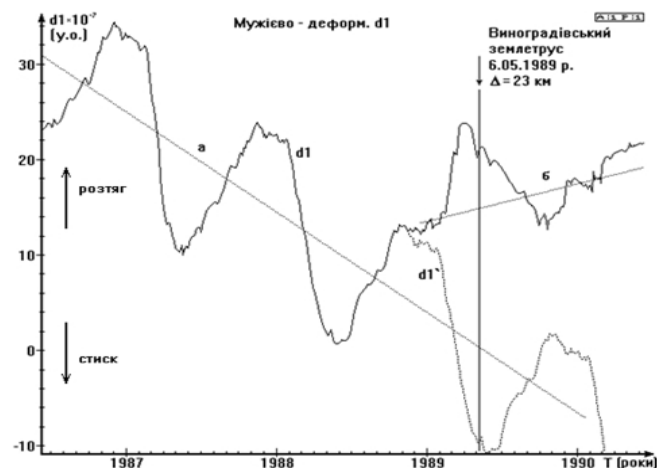


Рис. 2. Результати проведеного раніше (Назаревич и др., 2007; Назаревич та Назаревич, 2008; Назаревич, 2010, 2011а, 2011б) виділення і аналізу деформаційного провісника Виноградівських землетрусів 06.05.1989 р.

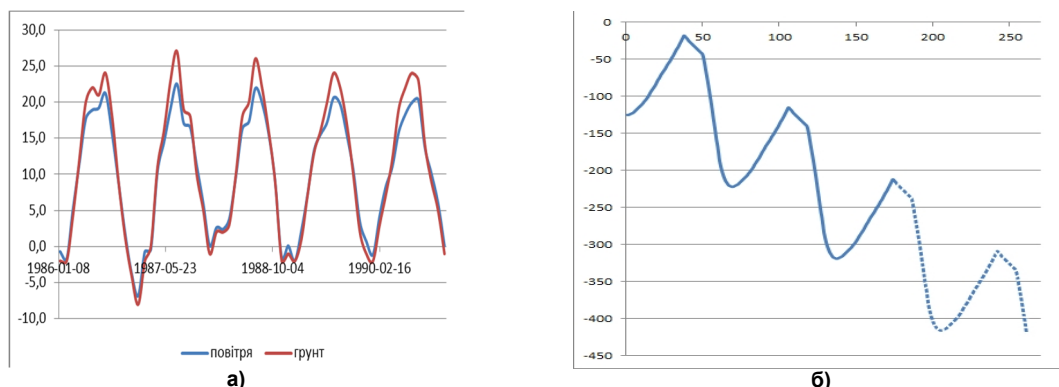


Рис. 3. Середньомісячні значення температури повітря та поверхні ґрунту на метеостанції "Берегове" за 1986–90 рр. (а) та модельна "стаціонарна" термопружна деформація на пункті "Мужієво" (з урахуванням трендової та сезонної складових) (б)

Аналіз результатів. Відзначимо, що величина виділеної аномалії є порівняно малою (див. рис. 4 і 5) – відносна деформація становить $\sim 3 \cdot 10^{-7}$. Порівняно з величиною сезонних метеотермопружних варіацій

($\sim 14 \cdot 10^{-7}$) аномалія є у 5 разів меншою і без детального дослідження і врахування сезонних метеотемпературних впливів виділити її не було можливим.

У той же час, порівняно з варіаціями деформацій відносно згенерованої (з урахуванням трендової та сезонної складових) модельної "стаціонарної" термопружної деформації за попередні 2 роки (липень 1986 р. – червень 1988 р.), величини яких не перевищують у середньому $0,5-0,7 \cdot 10^{-7}$ (рис. 4, 5), така аномалія є у 5–7 разів більшою, тобто виділяється досить надійно (рис. 5) – на рівні значно більше 3σ .

Тривалість аномалії перед землетрусом становила не менше 5 місяців – відхилення від "стаціонарного" ходу деформацій почалися у липні 1988 р., а сам землетрус відбувся 12 грудня 1988 р.

Аналізуючи коротко виділену аномалію порівняно з попередньо виділеною аномалією від землетрусів 1989 р. (рис. 4 і 5), відзначимо таке. Аномалія від землетрусу 1988 р. є у кілька разів менш вираженою. Це стосується як самої аномалії (відносна деформація $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ проти $\sim 13 \cdot 10^{-7}$), так і зміни трендової складової геомеханічного режиму земної кори (для аномалії – провісника землетрусу 1988 р.

зміна тренду помітно не простежується, а для аномалії – провісника землетрусів 1989 р. має місце зміна стиску величиною $\sim 11 \cdot 10^{-7}$ на рік і розтягм величиною $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ на рік). Правда, епіцентрально відстань для землетрусу 1988 р. ($\Delta=31$ км) є у півтора раза більша, ніж для землетрусів 1989 р. ($\Delta=23$ км). Але, з іншого боку, і магнітуда землетрусу 1988 р. ($M=3,3/K=9,9$) є помітно більшою, ніж для землетрусу 1989 р. ($M=2,8/K=9,1$), тобто за енергією ці землетруси різняться майже на порядок.

Така відмінність між розглянутими деформаційними провісниковими аномаліями, як уже зазначалося вище, кореспондується з відмінністю між відображеннями цих же землетрусів у геоакустичних даних – геоакустична аномалія – провісник землетрусів 1989 р., і є дуже виразною, вона виділена і детально проаналізована раніше (Вербицький та Назаревич, 2005; Назаревич, 2007; Назаревич і др., 2007) та ін., а геоакустична аномалія-провісник землетрусу 1988 р. виразно не простежується.

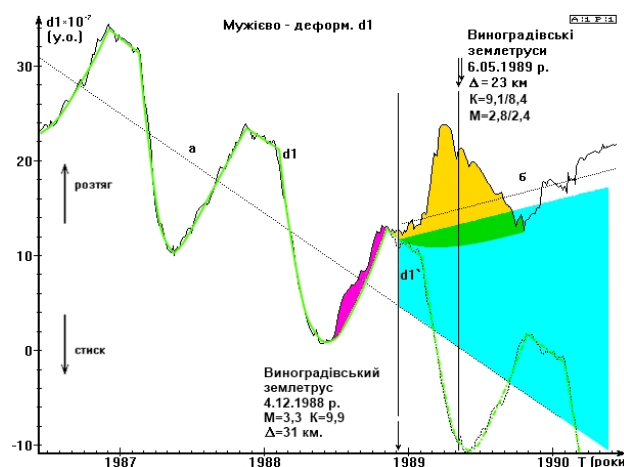


Рис. 4. Виділення (з урахуванням сезонних метеотермопружних деформацій) малоамплітудної деформаційної аномалії – провісника Виноградівського землетрусу 04.12.1988 р. (пояснення – у тексті). Показана також виділена нами раніше (Назаревич, 2007, 2008, 2010а, 2010б; Назаревич та Назаревич, 2008; Назаревич і др., 2007) аномалія – провісник Виноградівського землетрусу 06.05.1989 р.

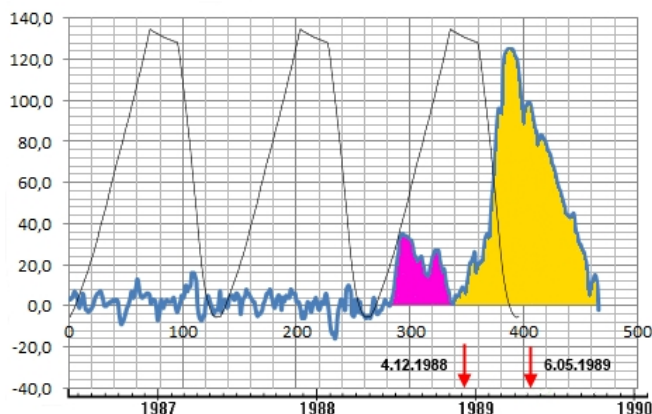


Рис. 5. Виділені деформаційні аномалії (варіаційні складові) – провісники Виноградівських землетрусів 04.12.1988 р. (відмічена рожевим) і 06.05.1989 р. (відмічена жовтим) на фоні сезонних хвиль деформацій (шкала деформацій в умовних одиницях, інші пояснення – у тексті)

Очевидно, відмінність між аномаліями – провісниками землетрусів 1988 і 1989 років спричинена, в основному, особливостями геомеханіки їх вогнищевих зон, відмінностями механізмів цих землетрусів і відмінностями будови земної кори на трасах "вогнище – пункт спостережень", зокрема ймовірним впливом наявного тут поперечного до простягання Закарпатського прогину і траси поширення деформацій до пункту спостережень від вогнища землетрусу 1988 р. Виноградівського

глибинного розлому та супутніх дрібніших розломів фундаменту (Назаревич та Назаревич, 2008). Всі ці питання вимагають подальшого детального і комплексного аналізу, у т. ч. й із залученням елементів математичного моделювання вказаних особливостей.

Щодо "провісникової" тривалості, то обидві аномалії подібні – вони почалися приблизно за 5 місяців до відповідних сейсмічних подій: перша – у липні 1988 р., а сам землетрус відбувся 12 грудня 1988 р.; друга – у грудні 1988 р., а сам землетрус відбувся 6 травня 1989 р. Але постсейсмічна

тривалість аномалії 1989 р. є значно більшою (також порядку 5 місяців після землетрусу (рис. 5)), у той час як аномалія 1988 р. закінчилась ще перед "своїм" землетрусом. Правда, тут можливо мало місце перекриття початком аномалії 1989 р. "хвоста" аномалії 1988 р., але об'єктивно встановити це не вдається можливим.

Висновки. Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що розроблена методика дослідження і врахування метеотемпературних впливів на геофізичні (зокрема, деформографічні) дані дає змогу ефективно враховувати (редувати на порядок і більше) метеотермопружні деформації і за рахунок цього виділяти з деформографічних даних малоамплітудні (на рівні у кілька разів менше амплітуд сезонних термopружних деформацій) деформаційні аномалії – провісники землетрусів. Можливості виділення таких аномалій фактично у кілька разів збільшують реальну чутливість і/або зону контролю конкретного пункту деформографічних спостережень, даючи змогу виявляти деформаційні провісникові аномалії на тих же, що й раніше, епіцентральных відстанях від значно слабших землетрусів і на значно більших відстанях від землетрусів такої ж, як раніше, магнітуди. Це значно підвищує ефективність (враховуючи згадані вище обмеження методичного і економічного характеру) та результативність деформографічних сейсмоніторингових та інженерно-геофізичних досліджень і моніторингу, саме у цьому полягає головне практичне значення представлених підходів та методик.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямі – використання напрацьованих підходів і методик для детального дослідження деформографічних даних за останні роки по режимній геофізичній станції "Берегове" у Закарпатті (Назаревич, 2011, 2012, 2013; Назаревич і др., 2011, 2015; Назаревич та Микита, 2010; Мицик та ін., 2011; Nazarevych et al., 2010), з використанням результатів вже спеціального локального температурного моніторингу, зокрема, даних контрольного температурного каналу сучасної цифрової деформографічної апаратури (Назаревич, 2011; Назаревич і др., 2011, 2015; Мицик та ін., 2011), будуть висвітлені у наступних публікаціях.

Список використаних джерел

- Вербицький, Т., Гнип, А., Малицький, Д., Назаревич, А., Вербицький, Ю., Ігнатишин, В., Новотна, О., Нарівна, М., Ярема, І. (2003). Мікросейсмічні і деформаційні дослідження в Закарпатті: результати та перспективи. *Геофіз. журнал*, 23, 3, 99–112.
- Вербицький, Т., Ігнатишин, В., Латиніна, Л., Юркевич, О. (1998). Сучасні деформації земної кори Березівської горстової зони. *Геодинаміка*, 1, 118–120.
- Вербицький, Т.З. Назаревич, А.В. (2005). Деформографічні і геоакустичні дослідження у Закарпатті. У кн.: Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. За ред. В.І. Старостенка. Київ: Наук. думка, 113–131.
- Костюк, О. Сагалова, Е., Руденська, І., Пронишин, Р., Кендзера, О. (1997). Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1091–1990 роки. *Праці НТШ. Львів*, 1, 121–137.
- Латиніна, Л.А. Юркевич, О.І., Байсарович, І.М. (1992). Результати деформационных измерений в районе Берегово. *Геофиз. журнал*, 14, 2, 63–67.
- Латиніна, Л.А. Жаринов, Н.А., Крамер, М.В., Савин, И.В., Широков, И.А. (1988). Методические рекомендации по исследованию деформационных предвестников землетрясений. Москва: ИФЗ АН СССР.
- Мицик, Б.Г. Назаревич, А.В., Баштевич, М.В., Назаревич, Р.А. (2011). Безконтактні ємнісні вимірювачі мікропереміщень у деформографічних геофізичних дослідженнях. *Відбір і обробка інформації*, 35(111), 69–76.
- Назаревич, А. (2006). Деформографічні дослідження в районі м. Берегового на Закарпатті. *Праці НТШ. Львів. Геофізика*, XVII, 129–139.
- Назаревич, А. Назаревич, Л. (1999). Оптоелектронний вимірювальний канал до кварцевого деформографа. *Геодинаміка*, 1(2), 116–120.
- Назаревич, А.В. (2008). Деформаційні провісники відчутних Виноградівських землетрусів Закарпаття: аналіз деформаційних процесів та оцінка величин деформацій у вогнищі. *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 45, 23–30.
- Назаревич, А.В. (2010). Геофізичні провісники деяких відчутних закарпатських землетрусів як відображення процесів формування вогнищевих зон. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 274–285.
- Назаревич, А.В. (2011а). Деформографічний метод у дослідженнях сейсмотектонічних процесів у вогнищевих зонах землетрусів Закарпаття. *Геодинаміка*, 1(10), 134–146.
- Назаревич, А.В. (2011б). Методико-апаратні проблеми моніторингових геофізичних досліджень та шляхи їх розв'язання (на прикладі геофізичного сейсмоніторингового моніторингу в Закарпатті). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 55, 57–60.

Назаревич, А.В. (2012). Деформационные предвестники землетрясения Украинского Закарпатья, их связь с геомеханикой литосферы и оценка деформаций в очаговой зоне. *Проблемы сейсмологии в Узбекистане*, 9, 41–44.

Назаревич, А.В. (2013). Відображення локального, регіонального та глобального сейсмотектонічного процесу у деформаціях порід активних тектонічних структур і прогноз землетрусів. *Геодинаміка*, 2(15), 244–246.

Назаревич, А.В. Бокун, О.М., Назаревич, Л.Є. (2015). Структура, динаміка і сейсмотектоніка скидових зон (за результатами фізичного моделювання та польових досліджень). Частина 2: Польові дослідження. *Геодинаміка*, 2(19), 55–71.

Назаревич, А.В. Латынина, Л.А., Назаревич, Л.Е. (2007). Геоакустические и деформационные предвестники землетрясений Украинского Закарпатья. *Материалы докладов Международной геологической конференции "Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов"*. Казань, 13–16 ноября 2007 г., 1, 250–254.

Назаревич, А.В. Микита, А.Ю. (2010). Метеотемпературні поля в масивах порід (як фактор впливу на результати деформографічних спостережень на РГС "Берегове" у Закарпатті). *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 286–299.

Назаревич, А.В. Назаревич, Л.Є. (2008). Деформаційні провісники закарпатських землетрусів: методи виділення та результати аналізу. *Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики*, 311–320.

Назаревич, А.В. Календа, П., Мыцык, Б.Г. (2011). Аппаратурное обеспечение и некоторые результаты деформографических и наклонотомных наблюдений на РГС "Берегово" в Украинском Закарпатье. *Геодинаміка*, 2(11), 213–215.

Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory LIGO. (2018). Retrieved from <https://www.advancedligo.mit.edu/>

Nazarevych, A., Nazarevych, L., Nasonkin, V., Boborykina, O. (2010). Extensometric researches in Ukraine: methods, instruments, results. *Geophys. Journal*, 32, 4, 121–123.

References

- Kostyuk, O., Sagalova, E., Rudenska, I., Pronyshyn, R., Kendzera, O. (1997). Catalogue of earthquakes in the Carpathian region for the period 1091-1990. *Proceedings of the SSS (Shevchenko Scientific Society)*. Lviv, 1, 121-137. [In Ukrainian]
- Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory LIGO. (2018). Retrieved from <https://www.advancedligo.mit.edu/>
- Latynina, L.A., Jurkevich, O.I., Bajsarovich, I.M. (1992). Results of deformation measurements in Beregovo area. *Geophys. journal*, 14, 2, 63-67. [In Russian]
- Latynina, L.A., Zharinov, N.A., Kramer, M.V., Savin, I.V., Shirokov, I.A. (1988). Methodical recommendations for studies of deformation precursors of earthquakes. Moscow: IFZ AS USSR. [In Russian]
- Mytsyk, B.G. Nazarevych, A.V., Bashtevych, M.V., Nazarevych, R.A. (2011). Microdisplacement noncontact capacitive measuring sensors in extensometers geophysical researches. *Sampling and processing of information*, 35(111), 69-76. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A. (2006). Deformation studies in Beregovo area in Transcarpathians. *Proceedings of the SSS (Shevchenko Scientific Society)*. Lviv. *Geophysics*, XVII, 129-139. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V. (1999). Optical-electronic measuring channel to the quartz deformograph. *Geodynamics*, 1(2), 116-120. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V. (2008). Deformation precursors of tangible Vynogradiv earthquakes in Transcarpathians: analysis of deformation processes and estimation of deformation in the course. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 45, 23-30. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V. (2010). Geophysical precursors of some perceptible transcarpathian earthquakes as a reflection of sources areas forming processes. *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, 274-285. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V. (2011). Extensometric method on study of seismotectonic processes in source areas of Transcarpathians earthquakes. *Geodynamics*, 1(10), 134-146. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V. (2011). Methodological-apparatus problems of monitoring geophysical researches and ways of their solution (on an example of geophysical seismoprostnastic monitoring in Transcarpathians). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 55, 57-60. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V. (2012). Deformation precursors of earthquake in Ukrainian Transcarpathians, their relationship with geomechanics of lithosphere and evaluation of deformations in the focal zone. *Problems of seismology in Uzbekistan*, 9, 41-44. [In Russian]
- Nazarevych, A.V. (2013). Reflection of local, regional and global seismotectonic processes in deformations of rocks of active tectonic structures and earthquake prognosis. *Geodynamics*, 2(15), 244-246. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V., Bokun, A.N., Nazarevych, L.Ye. (2015). Structure, dynamics and seismotectonics of faulting zones (by results of physical modelling and field studies). Part 2: Field studies. *Geodynamics*, 2(19), 55-71. [In Ukrainian]
- Nazarevych, A.V., Kalenda, P., Mycyk, B.G. (2011). Hardware and some results of extensometric and tiltmetric observations in RGS "Beregovo" in Ukrainian Transcarpathians. *Geodynamics*, 2(11), 213-215. [In Russian]
- Nazarevych, A.V., Latynina, L.A., Nazarevych, L.E. (2007). Geoacoustic and deformation precursors of earthquakes of Ukrainian Transcarpathians. *Proceedings of International Geological Conference "The Changing Geological Environment: Space-Time Interactions of Endogenous and Exogenous Processes"*. Kazan, November 13-16, 2007, 1, 250-254. [In Russian]
- Nazarevych, A.V., Mykyta, A.Yu. (2010). Meteoheothermal fields in the rocks massifs (as a factor of influence on the results of extensometric observations in RGS "Beregovo" in Transcarpathians). *Theoretical and applied aspects of geoinformatics*, 286-299. [In Ukrainian]

Nazarevych, A.V., Nazarevych, L.Ye. (2008). Deformation precursors of Transcarpathian earthquakes: extracting methods and analysis results. *Theoretical and applied problems of geoinformatics*, 311-320. [In Ukrainian]
 Nazarevych, A., Nazarevych, L., Nasonkin, V., Boborykina, O. (2010). Extensometric researches in Ukraine: methods, instruments, results. *Geophys. journal*, 32, 4, 121-123.
 Verbytskyi, T., Gnyr, A., Malitskiy, D., Nazarevych, A., Verbytskyi, Y., Ignatyshyn, V., Novotna, O., Narivna, M., Yarema, I. (2003). Microseismic

and deformation studies in Transcarpathians: results and outlooks. *Geophys. Journal*, 25, 3, 99-112. [In Ukrainian]

Verbytskyi, T., Ihnatyshyn, V., Latynina, L., Yurkevych, O. (1998). Recent deformation in the Earth's crust of Beregov horst zone. *Geodynamics*, 1, 118-120. [In Ukrainian]

Verbytskyi, T.Z., Nazarevych, A.V. (2005). Deformation and geoaoustic studies in Transcarpathians. In: "Studies of modern geodynamics of Ukrainian Carpathians". Ed. V.I. Starostenko. Kyiv: Naukova dumka, 113-131. [In Ukrainian]

Надійшла до редколегії 06.03.18

A. Nazarevych, Cand. Sci (Phys.-Math.), Assoc. Prof., Senior Researcher,
 ORCID-0000-0002-1989-0790,
 E-mail: nazarevych.a@gmail.com
 Carpathian Branch of Subbotin name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
 3b Naukova Str., Lviv, 79060, Ukraine
 L. Nazarevych, Cand. Sci (Geol.), Researcher,
 ORCID-0000-0001-8038-9535,
 E-mail: nazarevych.L@gmail
 Subbotin name Institute of Geophysics of NAS of Ukraine,
 Department of Seismicity of the Carpathian Region,
 27 Yaroslavenko Str., Lviv, 79012, Ukraine
 N. Bashtevych, Leading programmer,
 E-mail: nbash@ukr.net
 Lviv Hydrometeorology Centre.
 58A Chupryni Str., Lviv, 79044, Ukraine

SELECTION OF SMALL-AMPLITUDE DEFORMATION ANOMALIES – PRECURSOR OF LOCAL TRANSCARPATHIAN EARTHQUAKES WITH TAKING INTO ACCOUNT THE METEOTHERMOELASTIC DEFORMATIONS

The purpose of the article is to present a methodology of studies and reduction of meteorothermoelastic deformations from extensometers data and the results of selection with its application of small amplitude deformation anomalies – precursors of local Transcarpathian earthquakes.

The studies of meteorothermal influences on the data of geophysical observations regime and the development of ways to taking into account such influences is one of the important tasks in conducting of geodynamic monitoring. This is especially relevant for extensometers studies.

The research methodology consist of conducting a correlation analysis of extensometer and meteorothermoelastic data and reduction of selected seasonal meteorothermoelastic strains from variational deformations time series. As a result of those researches, in particular, the correlation between the temperature of air and deformations of the rocks massif at the "Muzhievo" observation point (Ukrainian Transcarpathians) was studied. The reduction of selected seasonal meteorothermoelastic strains was carried out and a low amplitude deformation anomaly – the precursor of the local Transcarpathian earthquake with a magnitude $M=3.3$ at an epicenter distance of 31 km is identified.

Selected anomaly has an amplitude (in relative deformations) $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ (in comparison with the value of the seasonal meteorothermoelastic variations $\sim 14 \cdot 10^{-7}$), it is 5-7 times greater than the amplitude of difference fluctuations ($0.5-0.7 \cdot 10^{-7}$) between the registered variations of deformations and the "regular" seasonal meteorothermoelastic wave. The "precursor" duration of the anomaly is about 5 months.

The practical significance of the work consists, in particular, in the fact that the application of the developed technique provides reduction of meteorothermal influences and allows the search of low-amplitude deformation anomalies – precursors of earthquakes against the background of thermoelastic deformations. This, in fact, many times increases the actual sensitivity and, respectively, the zone of geodynamic and seismoprognostic control of concrete point of extensometers observations.

Keywords: seismoprognostic studies, deformation of rocks, meteorothermal influence, thermoelastic strain, anomaly – precursor of earthquake, Ukrainian Transcarpathians.

А. Назаревич, канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотр.,
 ORCID-0000-0002-1989-0790,
 E-mail: nazarevych.a@gmail.com
 Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
 ул. Научная, 3-б, г. Львов, 79060, Украина
 Л. Назаревич, канд. геол. наук, науч. сотр.,
 ORCID-0000-0001-8038-9535,
 E-mail: nazarevych.L@gmail.com
 Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,
 Отдел сейсмичности Карпатского региона,
 ул. Ярославенко, 27, г. Львов, 79012, Украина
 Н. Баштевич, вед. программист,
 E-mail: nbash@ukr.net
 Львовский региональный центр по гидрометеорологии,
 ул. Чупрынки, 58А, г. Львов, 79044, Украина

ВЫДЕЛЕНИЕ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ АНОМАЛИЙ – ПРЕДВЕСТНИКОВ МЕСТНЫХ ЗАКАРПАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ С УЧЕТОМ МЕТЕОТЕРМОУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Целью статьи является представление методики исследования и редукции метеотермоупругих деформаций на основе деформографических данных и результатов выделения, с ее применением, малоамплитудных деформационных аномалий – предвестников местных закарпатских землетрясений.

Изучение метеотемпературных воздействий на данные режимных геофизических наблюдений и разработка способов учета таких воздействий является одной из важных задач при проведении геодинамического мониторинга. Особенно актуальным это является для деформографических исследований.

Методика исследований заключалась в проведении корреляционного анализа деформографических и метеотемпературных данных и редукции выявленных сезонных метеотермоупругих деформаций из вариационных деформографических рядов. В результате таких исследований изучена корреляция между температурой воздуха и деформациями массива пород на пункте наблюдений "Мужиево" (Украинское Закарпатье) и путем редукции выявленных сезонных метеотермоупругих деформаций выделена малоамплитудная деформационная аномалия – предвестник местного Закарпатского землетрясения с магнитудой $M=3.3$ на эпицентральной расстоянии 31 км.

Выделенная аномалия имеет амплитуду (в относительных деформациях) $\sim 3 \cdot 10^{-7}$ (по сравнению с величиной сезонных метеотермоупругих вариаций $\sim 14 \cdot 10^{-7}$), она в 5-7 раз больше амплитуды разностных флуктуаций ($0.5-0.7 \cdot 10^{-7}$) между зарегистрированными вариациями деформаций и "стационарной" сезонной метеотермоупругой волной, "предвестниковая" продолжительность аномалии составляет около 5 месяцев.

Практическая значимость работы заключается, в частности, в том, что применение разработанной методики обеспечивает редукцию метеотемпературных воздействий на порядок и более и дает возможность поисков малоамплитудных деформационных аномалий – предвестников землетрясений на фоне термоупругих деформаций, что фактически во много раз увеличивает реальную чувствительность и, соответственно, зону геодинамического и сейсмопрогностического контроля конкретного пункта деформографических наблюдений.

Ключевые слова: сейсмопрогностические исследования, деформации пород, метеотемпературное влияние, термоупругая деформация, аномалия – предвестник землетрясения, Украинское Закарпатье.