

УДК 550.34.038.4

## ДИНАМІКА ПІСЛЯСЕЙСМІЧНИХ ТЕКТОНІЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ

Д. Малицький, С. Кравець

*Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України,  
вул. Наукова, 3<sup>б</sup>, 79060, Львів, Україна,  
carp@cb-igph.lviv.ua*

Розглянуто результати аналізу деформографічних спостережень, проведених у Закарпатській сейсмоактивній зоні, де наукові дослідження спрямовані на вивчення сучасних тектонічних процесів, зумовлених літосферними та післясейсмічними явищами.

*Ключові слова:* геодинаміка, сейсмологія, деформації, моніторинг небезпечних процесів.

Безперервні моніторингові дослідження за геофізичними полями визначені потребою фундаментальної і прикладної геофізики та геології в достовірних і детальних регіональних даних про поведінку в часі та просторі компонент геофізичних полів згенерованих динамікою земної кори, особливо в сейсмічно активних регіонах. Такі дані також необхідні для оцінки стійкості та надійності важливих і небезпечних геологічних та геотехнічних об'єктів. Сьогодні їх можливо одержати лише під час спостережень сейсмічним, гравіметричним, нахиломірним, деформометричним методами, які є основними (базовими) методами для моніторингових досліджень динамічного режиму земної кори. Інші методи досліджень є допоміжними (електрорезистивний, електротелуричний, магнітний, радіогенний), дискретні методи – геологічні та геодезичні – GPS, ГЛОНАСС.

Як відомо, деформаційно-напружений стан порід земної кори визначають тензорами деформацій та напружень, пов'язаних законом Гука, тобто, знаючи пружні константи порід і поведінку компонент тензора деформацій, можна знайти напруження в масиві та оцінити навантажувальну здатність геосередовища. Однорідний масив має три лінійні і три зсувні незалежні компоненти, для реєстрації яких застосовують деформометри (для лінійних) і нахиломіри (зсувних складових). Однак земна кора є неоднорідною. Цей факт зумовлює необхідність відповідних нахиломірно-деформаційних спостережень та досліджень на спеціально створеній мережі геодинамічних станцій у режимі реального часу. У Закарпатті створення такої мережі розпочато у 80-ті роки ХХ ст. Деформографічні спостереження тут проводять понад 30 років. Системний науковий підхід та наполегливість науковців дала змогу отримувати якісну геофізичну інформацію.

Якісні результати в минулому зумовлюють необхідність активізації геодинамічних досліджень в Україні, зокрема, у Закарпатській сейсмоактивній зоні на базі Карпатського прогностичного геодинамічного полігона (КПГП), де застосовано широкий комплекс геофізичних методів та приділяють велику увагу режимним деформаційним спостере-

женням (рис. 1). На полігоні також провадять моніторинг геомагнітних та геоелектричних полів, оскільки вони є безпосередніми індикаторами геотектонічних процесів у земній корі і в них провідникові ефекти землетрусів повинні виявлятися насамперед.

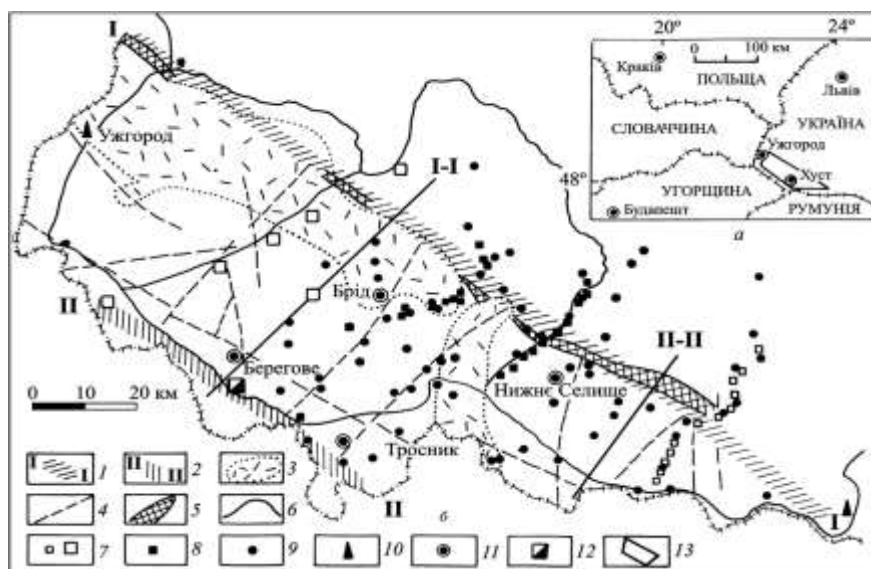


Рис. 1. Карпатський геодинамічний прогностичний полігон: *a* – схема розташування полігона; *b* – мережа станцій і пунктів геофізичних спостережень; 1 – Закарпатський глибинний розлом; 2 – Припаннонський глибинний розлом; 3 – Вигорлат-Гутинське вулканічне пасмо; 4 – розломи донеогенового фундаменту Закарпатського прогину; 5 – Пенінська зона; 6 – лінії повторного нівелювання; 7 – вікові універсальні репери; 8 – репери для комплексних (геомагнітних і геодезичних) спостережень; 9 – пункти вікового ходу; 10 – сейсмічні станції; 11 – режимні геофізичні станції; 12 – штольня ст. Берегове; 13 – полігон. I-I – азимут вимірювального плеча штангового деформографа.

Загалом в Україні лінійні деформометри сьогодні діють тільки на трьох геодинамічних станціях: один – штанговий кварцовий у м. Королеве (КПГП Закарпаття, дві компоненти), другий – лазерний на геофізичній станції Берегове (рис. 1, 12) (КПГП Закарпаття, дві компоненти), третій – лазерний на станції Херсонес (Крим).

Берегівське горбогір'я у Закарпатському сейсмогенерувальному регіоні з проявами зсувів, карстів та інших небезпечних геодинамічних явищ за рівнем безпеки зачислено до семібальної сейсмічної зони. Це зумовлює необхідність надійного безперервного моніторингу тут основних геофізичних полів, особливо деформаційного режиму [1–4].

Відповідно до тематики і напрямів досліджень Карпатського відділення Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАНУ, які корелюють з державними (Програма функціонування і розвитку національної системи сейсмічних спостережень та підвищення безпеки проживання населення у сейсмонебезпечних регіонах, Постанова Кабінету Міністрів України № 699 від 28.06.1997 р., 1998–2005 рр.) і академічними (Моніторинг навколишнього середовища і безпеки України, Постанова БВНЗ НАНУ № 23 від

23.05.2006 р.; 2007–2011 рр.) науково-технічними програмами, розроблено та впроваджено лазерний датчик (“реєстратор”), який дає змогу зафіксувати зміщення між двома точками на рівні  $5 \times 10^{-8}$  м у смузі частот 0–100 Гц. Динамічний діапазон нового датчика:  $D = 20 \lg(1/5 \times 10^{-5}) = 20 \lg(20\ 000) = 86$  дБ в інтервалі переміщень 0–1 000 мкм. Для виконання моніторингових спостережень на сучасному рівні реалізовано комп’ютерно-цифрову систему реєстрації.

Сьогодні на станції Берегове в безперервному режимі працює сучасний вимірювальний комплекс, у складі якого, крім деформометра, функціонує багатоканальна термометрична система й інші допоміжні блоки. Застосування багатоканального синхронного контролю температури в різних точках масиву породи, у якій розміщена штольня, дає змогу дослідити поширення температурних хвиль і деформацій гірських порід, що в цьому разі виникають. Такі дослідження необхідні для розробки ефективних методик зменшення впливу метеорологічних чинників на якість геотектонічних досліджень, особливо тих, які супроводжують місцеві землетруси і тому є обов’язковими.

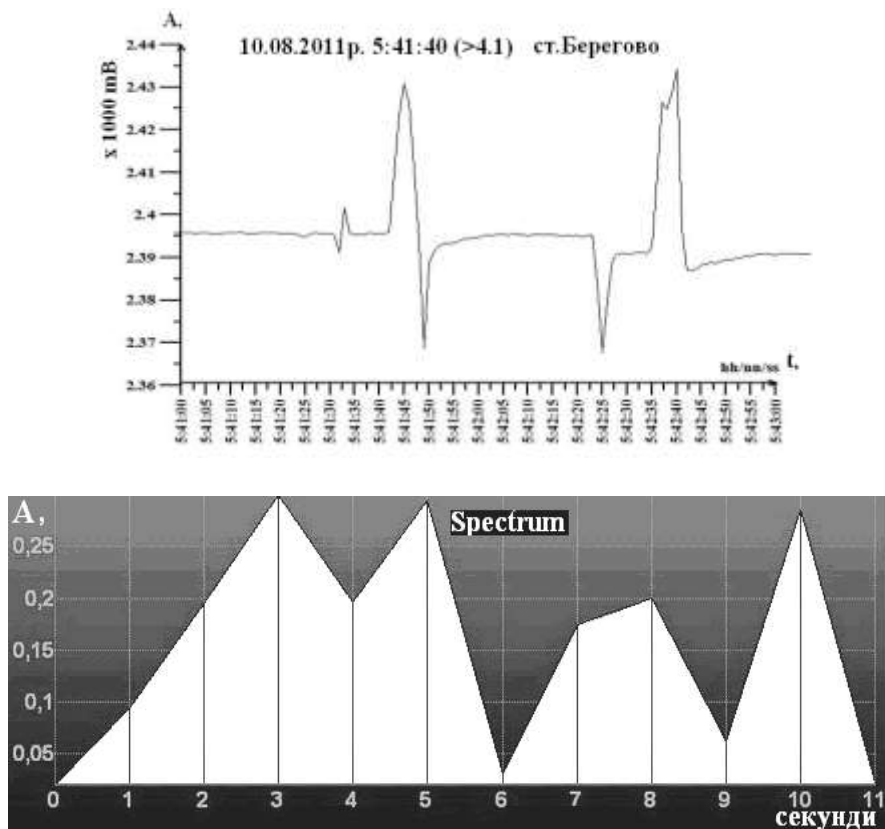


Рис. 2. Фрагмент спостереження деформацій під час сильного землетрусу в Закарпатті 10 серпня 2013 р. (> 4,1 за Ріхтером) та спектральний склад переміщень у контрольованому масиві породи в секундах.

На підставі аналізу результатів багатоканальних досліджень температурного режиму вимірювальної камери станції Берегове і навколишнього середовища виконано відповідні інженерні роботи, що привело до зменшення впливу варіацій температури на деформаційні спостереження в кілька разів.

За новою комп'ютерно-цифровою технологією в комплексі зі спостереженнями деяких метеорологічних параметрів виконано довготривалі вимірювання. Одержані матеріали мають не тільки апаратно-методичне, а й самостійне наукове значення для вивчення геодинаміки регіону та його сейсотектонічного режиму.

Як приклад, розглянемо деякі результати аналізу рядів деформаційних спостережень за 2007–2012 рр. Тривалі безперервні спостереження дали змогу простежити розвиток у часі процесу руйнування й обвалу гірських порід покрівлі штольні, а також порівняти записи сейсмічних подій деформометром і сейсмометрами СМ-3 під час сейсмічної активізації. За матеріалами рядів спостережень досліджено також сезонні деформації: вони порівняно великі й, очевидно, переважно метеорологічного походження. На записах часто з'являються імпульсні збурення, що свідчить про утворення тріщин у породах.

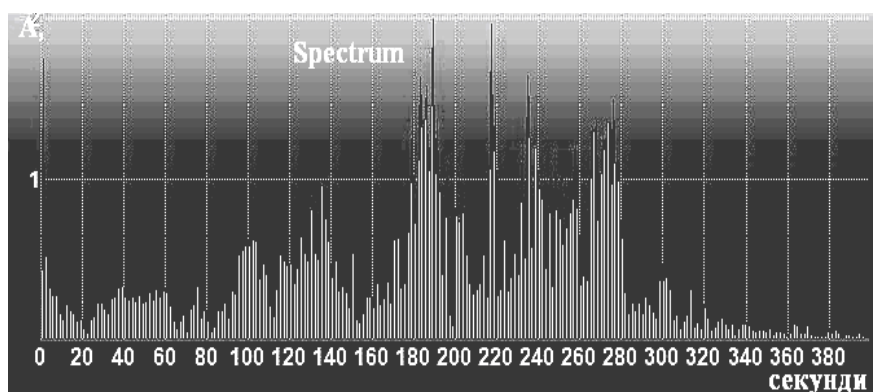
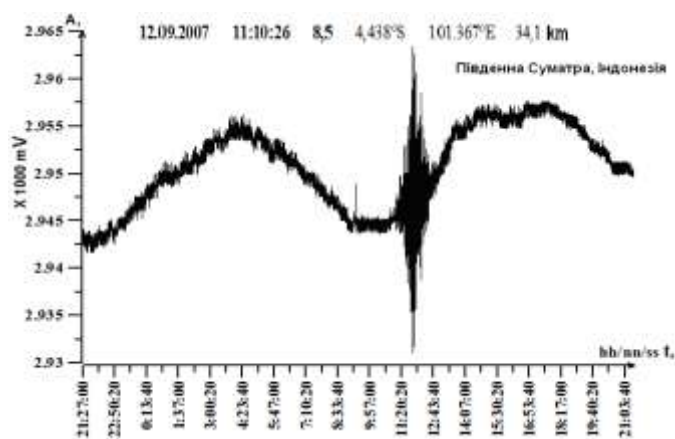


Рис. 3. Добовий запис і землетрус на Суматрі 12 вересня 2007 р. (8,5 за Ріхтером) на фоні півдобових припливних хвиль і його спектральний склад у секундах.

Для пошуку можливих провісників землетрусів вивчено хід деформацій перед, під час і після місцевих землетрусів та виконано порівняльний аналіз рядів деформаційних і сейсмічних спостережень. Виявлено кілька цікавих явищ, що їх не записують сейсмометри: бухто- та столоподібні аномальні деформації [2]. Зроблено припущення, що столоподібні аномалії можна трактувати як можливий провісниковий ефект місцевих сейсмічних подій.

Крім дослідження динаміки післясейсмічних деформацій Закарпатської сейсмоактивної зони (рис. 2), апаратура дає змогу вивчати поверхневі хвилі та власні коливання Землі в наднизькому частотному діапазоні (від 0 Гц), згенеровані сильними (4–9 балів) світовими землетрусами (Японія, Індонезія, Чилі, Китай, Південна Австралія та ін.) (рис. 3, 4). Сейсмічна активність у цих регіонах дуже висока. Виділення сейсмічної енергії відбувається в усьому розрізі аж до мантийних покладів на глибини близько 700 км.

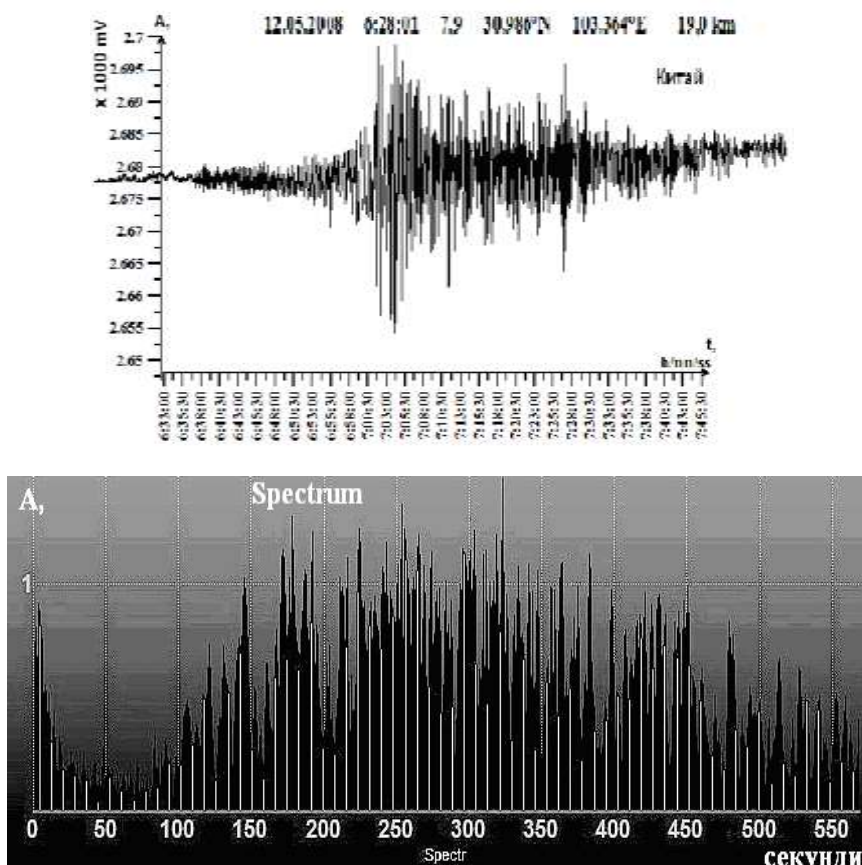


Рис. 4. Фрагмент спостереження далекого (Китай) сильного (7,9 за Ріхтером) землетрусу та його спектральний склад у секундах, зафіксовано деформографом на станції Берегове.

Спектральний аналіз згенерованих в епіцентрах далеких землетрусів післясейсмічних хвиль дав змогу диференціювати їхні характеристики за глибиною та механізмами, розробити і застосувати методіку для визначення сейсмодислокаційної складової (зміщення по розриву) деформацій та виявляти інші закономірності й застосувати ці результати для вивчення сучасної Закарпатської тектонічної активності. Кількісний підрахунок амплітуд поверхневої хвилі після Індонезійського землетрусу 12 вересня 2007 р., запис якого зображений на фоні півдобових припливних хвиль (див. рис. 3), засвідчив, що переміщення на ґрунті (у районі розташування станції Берегове) становить понад 30 см (порівняно з півдобовим режимом).

Амплітуда місячного припливу в Закарпатті, за висновками відомого вченого професора ОІФЗ РАН (Росія) Л.О. Латиніної, становить  $\approx 0,3$  м [3], або 10–7 відносно довжини вимірювального плеча 26,5 м штанги деформографа. Відповідно підрахована довжина зареєстрованих післясейсмічних поверхневих хвиль досягала 400 км (див. рис. 3, 4). Це свідчить, що сейсмоактивні регіони можуть взаємодіяти та впливати один на одного та, можливо, дуже повільно вмикати землетруси за тисячі кілометрів у інших сейсмоактивних зонах.

Упровадження і використання новітніх інструментальних засобів та підвищення точності деформометричних спостережень зі збільшенням кількості пунктів контролю дасть змогу отримати більше важливої інформації про сучасну тектонічну активність. Це має суттєве значення для дослідження геологічного середовища України.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Кравець С.В.* Деформографічні дослідження в Закарпатті за допомогою лазерного реєстратора / С. Кравець, Д. Малицький // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. геологія. – 2007. – Вип. 42. – С. 92–97.
2. *Кравець С.В.* Аналіз деформографічних спостережень у Закарпатті / С. Кравець, Д. Малицький // Вісн. Київ. ун-ту. Сер. геологія. – 2010. – Вип. 48. – С. 48–52.
3. *Латынина Л. А.* Задачи наземных локальных деформационных измерений / Л.А. Латынина // Напряженно-деформационное состояние и сейсмичность литосферы : [сборник]. – СОРАН, 2003. – С. 25–31.

*Стаття: надійшла до редакції 08.05.2013  
доопрацьована 09.10.2013  
прийнята до друку 04.11.2013*

## **DYNAMICS OF POSTSEISMIC TECTONIC DEFORMATIONS**

**D. Malyckiy, S. Kravets**

*Carpathian branch of Subbotin Institute of geophysics,  
Naukova Street, 3-b, 79060, Lviv, Ukraine,  
e-mail: adm@cb-igph.lviv.ua*

The results of deformographycal measurements carried out on Trans Carpathian seismic zone are analyzed. The aim of research is to study the modern tectonic processes caused by a postseismic activity.

*Key words:* geodynamics, seismology, deformations, monitoring of dangerous processes.

## **ДИНАМИКА ПОСЛЕСЕЙСМИЧЕСКИХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ**

**Д. Малицкий, С. Кравец**

*Карпатское отделение Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины,  
ул. Научная, 3<sup>Б</sup>, 79060, Львов, Украина,  
e-mail: carp@cb-igph.lviv.ua*

Проанализировано некоторые применения результатов деформографических наблюдений в Закарпатской сейсмоактивной зоне, направленных на исследование тектонических процессов, вызываемых современными литосферными и послесейсмическими явлениями.

*Ключевые слова:* геодинамика, сейсмология, деформации, мониторинг опасных процессов.