

високими значеннями сумарної намагніченості та інших досліджених магнітометричних параметрів. В той же час ефективна намагніченість є доволі високою як для сірого лісового та чорноземного типу ґрунтового покриву Лісостепової агрокліматичної зони України. Аналіз вертикальних розподілів сумарної намагніченості при різних геоморфологічних ситуаціях і, зокрема, при переході від низовинних до плакорних частин ландшафтних перетинів показує, що будова відповідних генетичних горизонтів відбивається на варіаціях величин сумарної намагніченості та інших магнітних величин. Наймагнітнішими є верхні гумусні генетичні горизонти та ілювіальні горизонти. Підстилаюча ґрунотвірна порода в цілому є немагнітною, що спричиняє наявність додатних величин ефективної намаг-

ніченості. Крім того, на магнетизм ґрунтів впливає ступінь зволоженості дослідних ділянок.

1. Сухорада А.В., Меньшов А.И. Суммарная и эффективная намагнитченность почвенного покрова Украины и ее роль в магнитных съемках будущего // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. К.-2005. С. 278-280.
2. Сухорада А.В., Круглов О.В., Меньшов О.И. Системні дослідження магнітних властивостей орного шару деяких ґрунтів Лівобережжя України // Вісник КНУ Тараса Шевченка, Геологія, випуск 34. К.-2005. С. 45-49.
3. Атлас почв Украинской ССР. Под. ред. Крупского Н.К., Полулана Н.И. К.: Урожай, 1979.- 160 с.
4. Маринич О.М., Ланько А.І., Щербань М.І., Шищенко П.Г. Фізична географія Української РСР. – К.: Вища школа, 1982. – 208 с.
5. Сухорада А.В., Меньшов О.И. Про сучасний розвиток агромагнітометрії в Україні // Матеріали V Міжнародної наукової конференції "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". К.-2004. С.145-146.
6. Sukhorada A. Menshov A. Magnetic properties of the typical Ukraine soils. Results of the investigations // Journal of the Balkan Geophysical Society, Vol. 8, 2005, P.533-537.

Надійшла до редколегії

УДК 550.34

Л.Є. Назаревич, інж.
А.В. Назаревич, канд. фіз.-мат. наук, ст.н.с.

ХАРАКТЕРНІ ЗЕМЛЕТРУСИ БЕРЕГІВСЬКОЇ СЕЙСМОГЕННОЇ ЗОНИ: ОСОБЛИВОСТІ ДЖЕРЕЛА І МАКРОСЕЙСМІЧНОГО ПОЛЯ

На прикладі одного з характерних землетрусів Берегівської сейсмогенної зони в Закарпатті – Берегівського землетрусу 1965 року проаналізовано особливості його джерела, процесів у ньому та частотного складу сейсмічного випромінювання, а також особливості загасання макросейсмічного поля даного землетрусу.

On example of one of typical earthquakes of Beregovo seismic area in Transcarpathians – Beregovo earthquake in 1965 the peculiarities of his source, of processes in him and of frequency composition of seismic radiation and also peculiarities of attenuation of macroseismic field of this earthquake are analyzed.

Вступ. Берегівська сейсмогенна зона є однією з найбільш сейсмоактивних і найкраще вивчених комплексом геолого-геофізичних методів зон у Закарпатті. Нами вже проведено цілий ряд досліджень особливостей геодинамічних процесів у цій зоні за геоакустичними, деформографічними, сейсмологічними та іншими даними ([1-11] та ін.). Зокрема, детальні дослідження проведено по одному з найсильніших у цій зоні за останні 100 років і найкраще вивчених Берегівському землетрусу 24.10.1965 року. На основі комплексного аналізу сейсмологічних, геолого-геофізичних, геодезичних, геоморфологічних даних встановлено [3, 9, 11], що даний землетрус відбувся на Берегівському меридіональному розломі і за механізмом джерела був скидо-розсувного типу з деякою зсувною компонентою (див. також нижче). Враховуючи, що такий механізм джерела узгоджується з встановленою за геологічними та геоморфологічними даними кінематикою розривних порушень у цьому районі, нами зроблено висновок, що такі механізми можуть бути характерними для даної сейсмогенної зони. У даній роботі продовжено розгляд методик та результатів аналізу даних по цьому землетрусу, для якого нами за макросейсмічними даними визначено геометричні та вогнищеві параметри розриву і його просторову локалізацію [9].

Енергетичні характеристики джерела. Порівнюючи визначені за різними методиками енергетичні характеристики даного землетрусу з середньокореляційними залежностями, відзначимо, що величина моментної магнітуди M_W землетрусу, розрахована за формулою Канаморі [12] $M_W = 2/3 \lg M_0 - 10,7$ (де M_0 – сейсмічний момент (розраховується за кореляційною залежністю від енергетичного класу)), становить $M_W = 4,03$. А максимально можлива магнітуда, яка могла б реалізуватись на цьому розриві (у випадку геодинамічної обстановки субгоризонтального стиску і підкидо-зсувного механізми землетрусу), виходячи з наступного співвідношення з роботи Штейнберга і Пономаревої [13]: $\lg L = 0,45 M_S - 1,54$, становить 4,76 (враховуючи,

що визначена за макросейсмічним полем довжина розриву $L = 4$ км (див. нижче)), що є майже на одиницю вище, ніж фактична магнітуда, визначена за максимальною амплітудою S-хвилі ($M_{SH} = 3,7$). Це свідчить про суттєві (порівняно з середньокореляційними характеристиками) особливості Берегівської сейсмогенної зони як щодо тектонічної будови, так і щодо її геодинаміки, і, як наслідок, щодо механізму та параметрів джерела конкретного землетрусу.

Зміщення в джерелі. Аналізуючи співвідношення між зміщеннями у джерелі і розмірами розриву, нами використано встановлені Штейнбергом [14] залежності величини зміщення в джерелі D від довжини розриву L для розривів з різним типом механізму джерела, які описуються такими формулами:

$$\lg D = 0,79 \lg L - 1,3 \quad \text{– для зсувів;} \quad (1)$$

$$\lg D = 0,44 \lg L - 0,42 \quad \text{– для підкидо-насувів;} \quad (2)$$

$$\lg D = 0,52 \lg L - 0,35 \quad \text{– для скидів.} \quad (3)$$

Таким чином, величини зміщення D в джерелі Берегівського землетрусу 1965 року (при наведених вище визначених за макросейсмічним полем геометричних параметрах розриву) для зсуву становила 6 0,92 см, для підкидо-насуву – 0,15 см, а для скиду – 0,7 см.

Але, як показано нами раніше [3], розрив у джерелі Берегівського землетрусу 1965 року був складним. Так, за даними повторного нівелювання, під час землетрусу один з розділених сейсмогенуючим Берегівським меридіональним розломом блоків фундаменту (блок Берегівського горсту) піднявся на 1,5 мм (підкид), а інший (блок Берегівської депресії) опустився на 2 мм (скид). Отже, сумарна амплітуда взаємних вертикальних зміщень у джерелі становила 3,5 мм. З іншого боку, за проведеними нами за магнітудою та геометричними параметрами розриву визначеннями [9], загальні зміщення в джерелі цього землетрусу становили 4,9 мм. Тоді горизонтальна складова цих зміщень, враховуючи відому величину вертикальної, дорівнює 3,43 мм (зсув). Це якісно узгоджується з макросейсмічними даними,

оскільки під час землетрусу було зафіксовано горизонтальні коливання окремих споруд (спостережної вишки на прикордонній заставі). Порівнявши отримані дані про складові зміщень у джерелі Берегівського землетрусу з наведеними вище кореляційними залежностями (формули (1-3)), розрахуємо парціальний вклад кожного простого механізму в сумарний ефект зміщення. Отримаємо: 22% для зсуву; 29% для скиду; 49% для підкиду. Тоді парціальні складові зміщень (за кореляційними формулами (1-3)) становлять 0,154, 0,261 і 0,0735 мм відповідно, а сумарне зміщення в джерелі за цими визначеннями становить 0,4885 мм, що тільки на 0,0015 мм або на 0,3 % відрізняється від визначень за магнітудою та макросейсмічним полем.

Частотний склад сейсмічного випромінювання.

Досліджуючи особливості сейсмічного випромінювання джерела Берегівського землетрусу, що є дуже важливим з точки зору інженерної сейсмології для проектування і будівництва в таких сейсмонезбезпечних районах, нами проведено оцінки характерних періодів (частот) та тривалості сейсмічних коливань. Враховуючи, що за даними ГСЗ (профіль РП-17 [15]) на глибинах 3-5 км (верхня частина фундаменту – зона локалізації джерела) швидкість Р-хвиль у цьому районі V_p становить 5,6 км/с, швидкість S-хвиль $V_s=3,3$ км/с, а радіус розрахованої нами еквівалентної за площею розриву кругової дислокації для моделі Брюна $R_0=1,64$ км, з відомих рівнянь [16] ($\lg R_0=0,33 + \lg T_0^P$ і $\lg R_0=0,1 + \lg T_0^S$, де T_0^P і T_0^S характерні періоди Р-і S-хвиль відповідно) знаходимо характерні періоди (частоти) сейсмічних коливань Берегівського землетрусу 1965 року, які за даними розрахунків становили для Р-хвиль 0,78 с, а S-хвиль – 1,3 с. В той же час оцінки характерних періодів Р-і S-хвиль даного землетрусу за середньокореляційними спектрами землетрусів різного класу/магнітуди (світові дані З.І.Арановича і А.Я.Меламуда [17]) дають значення T_0^P і T_0^S 0,59 с і 0,74 с відповідно. Порівняльний аналіз цих величин показує, що значення характерних періодів сейсмічних хвиль (особливо S-хвиль) Берегівського землетрусу були суттєво нижчі, ніж в середньому для землетрусів такої магнітуди. Ці висновки добре кореспондуються як з встановленими нами загальними особливостями сейсмічності Закарпаття [6], так і з розшифрованими нами раніше механізмом даного землетрусу [3], а також узгоджуються з макросейсмічними даними по цьому землетрусу. Щодо першого твердження, то нами вже раніше встановлено, що землетруси Закарпаття характеризуються помітно нижчими частотами та довгими тривалостями сейсмічних коливань, ніж за середньосвітовими даними. Щодо другого твердження, то відомо, що землетруси з переважною скидо-зсувною компонентою відбуваються в умовах геомеханічного режиму відносного розтягу гірських порід і характеризуються порівняно низькочастотним сейсмічним випромінюванням, а саме такий механізм нами встановлено для Берегівського землетрусу 1965 року. І щодо останнього твердження, то з будівельної механіки і сейсмостійкого будівництва відомо, що для того, щоб коливання споруд в горизонтальній площині досягли помітної амплітуди, необхідні достатньо низькі (близько 1 Гц і нижче) частоти збуджуючих сейсмічних коливань, а саме таку ситуацію ми маємо у випадку Берегівського землетрусу 1965 року. Також помічено, що землетруси з порівняно великою (відносно середньої кореляційної залежності) площею розриву (підвищеним еквівалентним радіусом дислокації), а тим більше, ще з порівняно

невеликим скинутим напруженням характеризуються відносно більш низькочастотним сейсмічним випромінюванням, а саме це встановлено нами стосовно розриву в джерелі даного землетрусу.

Часові параметри процесу в джерелі. Аналізуючи часові параметри процесу в джерелі (час випромінювання джерела і час спорювання розриву), що також є важливою для сейсмостійкого будівництва характеристикою землетрусу, встановлено таке. Час випромінювання джерела Берегівського землетрусу 1965 року розраховувався двома способами: перший спосіб – кореляційно за магнітудою [18] ($\lg T=0,13M - 0,20$), другий – за довжиною розриву [19] ($T=0,14L + 0,71$). Обидва способи показали досить добру збіжність результатів – при першому способі час випромінювання джерела становив 1,9 с, при другому – 1,27 с. Знайшовши швидкість спорювання розриву ($C=3,12 + 0,208L - 0,0028L^2$) $C = 3,82$ км/с, констатуємо, що вона співвідноситься з швидкістю поширення S-хвилі в фундаменті земної кори даного району і становить 0,68 V_p , що є характерним для переважної більшості корових землетрусів. Зокрема, на близькості швидкості спорювання розривів землетрусів Чорноморського регіону до швидкості поширення S-хвиль у фундаменті земної кори вказує Б.Г.Пустовітенко [19]. Отже, виходячи з визначеної швидкості спорювання та геометричних розмірів розриву, знаходимо за формулою $T=L/C$ час спорювання розриву в джерелі Берегівського землетрусу 1965 року, який становив 1,05 с.

Загальні характеристики макросейсмічного поля. Наступним кроком наших досліджень став більш детальний аналіз особливостей загасання макросейсмічного поля досліджуваного землетрусу. Але спочатку наведемо короткий огляд попередньо отриманих нами загальних результатів аналізу макросейсмічного поля даного землетрусу. Макросейсмічний епіцентр його знаходився в районі північно-західного схилу горбогір'я безпосередньо під північно-центральною частиною м. Берегове, інтенсивність струшувань в епіцентрі (за макросейсмічними даними) досягла 6,5 балів [20]. На першому етапі дослідження макросейсмічного поля нами на основі визначених за макросейсмічними даними (анкети опитування населення про відчуття та зафіксовані під час землетрусу ефекти, а також результати обстеження пошкоджень споруд) величин бальності струшувань у різних пунктах, та знятих з детальної топографічної карти координат цих пунктів була побудована просторова модель і карта-схема макросейсмічного поля [8, 9] з кроком 0,5 бала (див. рис. 1), яка була потрібна також для визначення зазначених вище фізичних та геометричних параметрів вогнища землетрусу. При цих побудовах використано сучасні ГІС-технології і програмний пакет "Surfer", що дозволило забезпечити об'єктивність отриманих результатів за рахунок використання об'єктивних вхідних даних (координат пунктів та величин бальності в них) та об'єктивних методик побудови просторового розподілу поля (за мінімумом похідної).

Результати цих досліджень показують, що макросейсмічне поле даного землетрусу має складний просторовий характер. Для визначення можливих причин цього нами з використанням елементів ГІС-технологій шляхом масштабування і суміщення зображень проведено порівняння структури макросейсмічного поля з тектонічною будовою земної кори цього району (за даними В.В.Глушка та С.С.Круглова [21]). Як видно з рис. 1, складна просторова структура макросейсмічного поля землетрусу помітно корелює з дрібноблоковою структурою району Берегівського горбогір'я. Зок-

рема, найбільшій інтенсивності струшувань ґрунту відзначено вздовж Берегівського меридіонального розлому, який розділяє блок Берегівського горсту і блок депресії. Отже, виходячи з цього, можна обґрунтовано вважати, що даний землетрус приурочений до зони вказаного розлому. В плані макросейсмічного поля яскраво видно і вплив розривних порушень нижчих

рангів субкарпатського простягання на характер ізольованій 6,5- 6- і 5-бальної зон. Проведені побудови дали змогу також більш детально проаналізувати особливості просторового розподілу макросейсмічного впливу даного землетрусу на території м. Берегове та сусідніх населених пунктів [8].

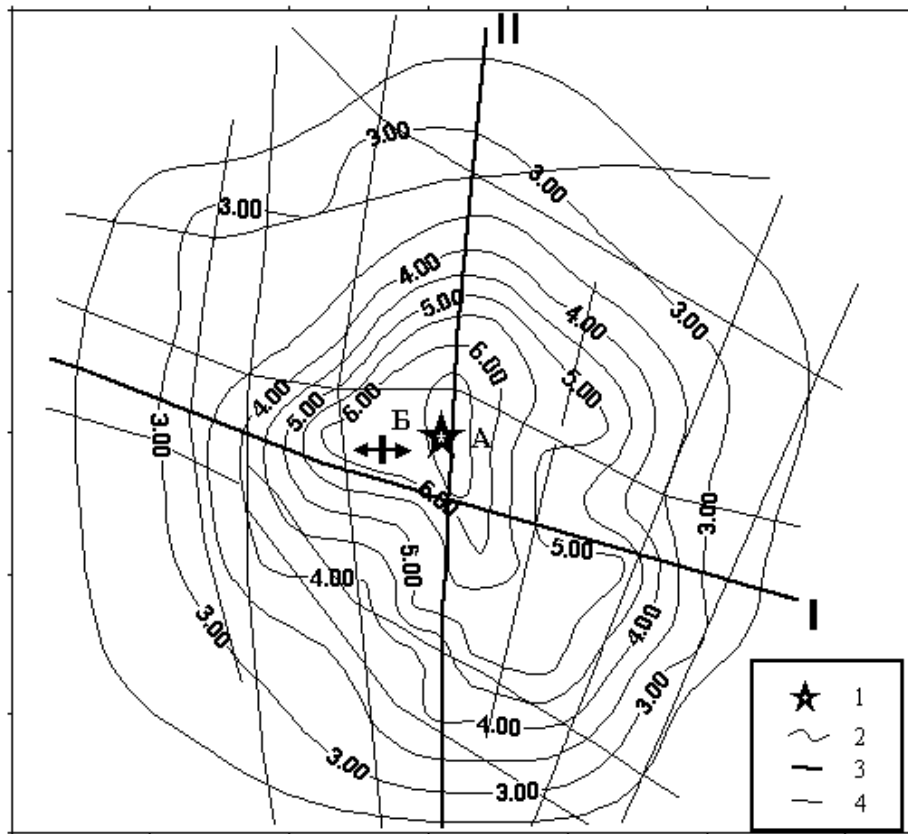


Рис. 1. Макросейсмічне поле Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. на фоні розломної тектоніки фундаменту (тут: А – блок Берегівського горсту; Б – блок Берегівської депресії; 1 – епіцентр землетрусу, 2 – ізосейсти макросейсмічного поля зі значеннями бальності; 3 – основні розломи (I – Припаннянський, II – Берегівський меридіональний); 4 – розломи нижчого рангу (стрілками показано місце спостереження та напрям поляризації горизонтальної компоненти макросейсмічного поля)).

Проведеним аналізом підтверджено, що зона максимальних 6,5-бальних струшувань (південна, центральна-східна та північна частина м. Берегове, західна частина с. Чопівка та південна окраїна с. Іванівки) знаходиться безпосередньо в зоні Берегівського меридіонального розлому, ускладненого тут субпаралельними розривними порушеннями нижчого рангу, а 6,5-бальна і 6 бальна ізосейсти (після редукції локальних впливів) мають вигляд витягнутих еліпсів, великі півосі яких орієнтовані у напрямку простягання даного розлому, що прямо вказує на просторову приуроченість гіпоцентру Берегівського землетрусу 1965 р до цього розлому та на помітну горизонтальну протяжність джерела. Неспівпадіння макросейсмічного епіцентру (під центрально-північною частиною м. Берегове) з інструментальним епіцентром ($\varphi=48,2^{\circ}$, $\lambda=22,60^{\circ}$) Берегівського землетрусу також є одним з фактів, що відображає значну горизонтальну протяжність джерела землетрусу. На постійну активність Берегівського меридіонального розлому вказують і ряд геофізичних даних [1-5, 10], а також землетруси невеликого класу, які зареєстровані протягом останніх років у зоні вказаного розлому [8].

Аналізуючи далі просторову структуру плейсто-сейсової області макросейсмічного поля, зауважимо,

що просторова конфігурація 6- і 5-бальних ізосейст свідчить про досить складний характер розриву, можливо, ускладненого меншим додатковим боковим розривом субкарпатського простягання в зоні зчленування Берегівського меридіонального та Припаннянського субкарпатського розломів, збудженням опірюючих розривних порушень та іншими факторами. Просторові особливості нижчих ізосейст добре корелюють з складною дрібноблоковою структурою фундаменту цього району і показують ступінь сейсмічного збудження окремих блоків та ступінь екранування сейсмічних хвиль окремими розломами. Макросейсмічні дані про характеристики хвильового поля свідчать також про наявність помітної горизонтальної складової сейсмічних коливань зі схід-західною поляризацією, яка поширювалась в західному напрямі від Берегівського розлому по нормалі до нього (див. рис. 1).

Далі за параметрами макросейсмічного поля та інтерпретаційними методиками Н.В.Шебаліна [22] нами визначені геометричні параметри розриву в джерелі Берегівського землетрусу 1965 року та фізичні характеристики джерела, ці результати частково вже описані раніше [8, 9, 11]. Тут лише вкажемо коротко на найосновніші з них, які будуть потрібні нам для дальших досліджень. Так, довжина розриву в горизонтальній площині становить $4,0 \pm 0,2$ км,

орієнтація вздовж Берегівського меридіонального розлому, вертикальний розмір – $2,12 \pm 0,1$ км, орієнтація субвертикальна, глибина фокуса півеліпса верхньої частини розриву – $3,60 \pm 0,1$ км, а нижньої – $5,01 \pm 0,1$ км.

Особливості загасання макросейсмічного поля. Наступним кроком наших досліджень стало порівняння характеристик макросейсмічного поля даного землетрусу з світовими статистичними даними. Для опису зміни бальності з відстанню використано побудоване за світовими даними рівняння макросейсмічного поля Блейка-Шебаліна [22]:

$$(I = bM - v \lg R + c), \quad (4)$$

де функція загасання поля з віддаленням від епіцентру задається коефіцієнтом загасання v і логарифмом гіпоцентральної відстані R . Результати проведених розрахунків для двох глибин джерела (3,5 і 5 км) з використанням стандартного значення коефіцієнта v ($v=3,5$) подано на рис. 2 (криві 1 і 2) у порівнянні з фактичними даними (крива 5), визначеними за середніми радіусами відповідних ізосейст. Порівнюючи ці дані, бачимо, що загасання макросейсмічного поля Берегівського землетрусу з відстанню відбувалося значно швидше, ніж це передбачено стандартною моделлю поля (формула (4)). Шляхом підбору коефіцієнта v встановлено, що найкраще (в середньому) співпадіння розрахункових і спостережених даних (враховуючи також нижні ізосейсти) має місце при $v=6,5$ для глибини джерела 5 км. (криві 3 і 5 на рис. 2).

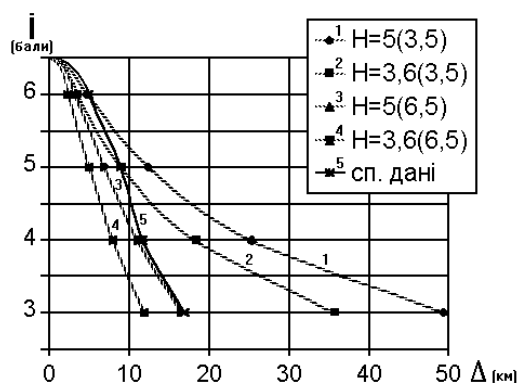


Рис. 2. Усереднені графіки загасання з відстанню макросейсмічного поля Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. (1-4 – розрахункові значення для різних глибин джерела H і коефіцієнтів загасання v (пояснення в тексті), 5 – спостережені інтенсивності).

Враховуючи отримані результати, нами було поставлено завдання дослідити детальніше в цьому напрямку особливості макросейсмічного поля даного землетрусу, зокрема, просторовий розподіл коефіцієнта v . Для цього спочатку з використанням формули (4) було отримано значення даного коефіцієнта для відповідних ізосейст по основних азимутах (0° , 90° , 180° , 270° (див. рис. 3)), а потім і по проміжних (з кроком 45°) та деяких інших характерних радіусах. Діапазон розкиду отриманих значень v також показаний на рис. 3. Аналізуючи на якісному рівні отримані дані, бачимо, що з віддаленням від епіцентру коефіцієнт v зростає, що відповідає загальному правилу. Але проводячи аналіз з кількісного боку, слід зазначити, що практично всюди середні, а тим більше максимальні значення v значно перевищують його середньостатистичну світову величину 3,5 (див. рис. 3). Фактично, близько до середніх світових закономірностей по v є тільки крива його мінімальних значень, та й то лише від епіцентру до ізосейст 4-4,5 балів. Це все поряд з наведеним на рис. 2 порівняльним аналізом самого макросейсмічного поля

даного землетрусу ще раз беззаперечно свідчить про значно сильніше загасання його з відстанню, порівняно з середньосвітовими закономірностями. Встановлення причин такого аномального загасання макросейсмічного поля даного землетрусу вимагає комплексного тектонофізичного та геомеханічного аналізу численних геолого-геофізичних даних і є завданням для подальших досліджень. Тут же проведемо просторовий аналіз коефіцієнта v , користуючись всіма отриманими, в тому числі показаними на рис. 3 результатами.

Просторовий розподіл коефіцієнта v для макросейсмічного поля Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. нами побудований також з використанням сучасних ГІС-технологій і програмного пакету "Surfer", що дозволило забезпечити об'єктивність отриманих результатів за рахунок використання об'єктивних вхідних даних (відповідних координатам пунктів та величинам бальності в них значень v) та об'єктивних методик побудови просторового розподілу (згладжування сплайном за мінімумом похідної). Отриманий розподіл показаний на рис. 4 на фоні розломної тектоніки фундаменту даного району. Аналізуючи його, можемо констатувати, що даний розподіл добре корелюється з розломно-блоковою тектонікою району і яскраво характеризує особливості сейсмічного випромінювання та загасання сейсмічних струшувань у різних напрямках. Так, енергія випромінювання джерела в основному поширювалась у другому та четвертому (рахуючи за годинникову стрілку від північного напрямку) квадрантах і була особливо спрямованою у 3-х напрямках: на північ (вздовж Берегівського розлому, переважно по західному його борту), на південь-південь-схід (також майже вздовж Берегівського розлому, але по протилежному – східному його борту) і на захід. Максимальні загасання поля (v до 6,5-7) зафіксовані у східному і південно-західному напрямках безпосередньо у вогнищевій зоні, всього за 3-4 км від епіцентру, а також на дещо більшій (6-7 км) відстані у північно східному та північно-західному напрямках, причому в останньому напрямку зона аномально високих ($v \geq 5,5$) загасань має найбільшу площу та найбільшу ($v \geq 7$) абсолютну величину. Детальний аналіз отриманої складної картини просторового розподілу коефіцієнта v для макросейсмічного поля Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. та її можливих причин є предметом окремого дослідження, тут лише ще раз підкреслимо очевидне: цей розподіл добре корелюється з розломно-блоковою тектонікою даного району, причому в першу чергу саме з блоковою структурою, оскільки окремі розломи на різних ділянках то помітно екранують поширення макросейсмічного поля (є геомеханічними бар'єрами), то зовсім не відчуваються ним.

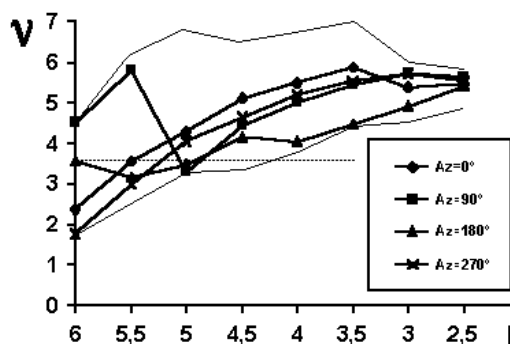


Рис. 3. Графіки зміни коефіцієнта загасання v макросейсмічного поля Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. по основних азимутах (тонкими лініями показані межі зміни v для різних азимутів, а штрих-пунктиром – середнє значення v (3,5) для стандартної моделі макросейсмічного поля Блейка-Шебаліна).

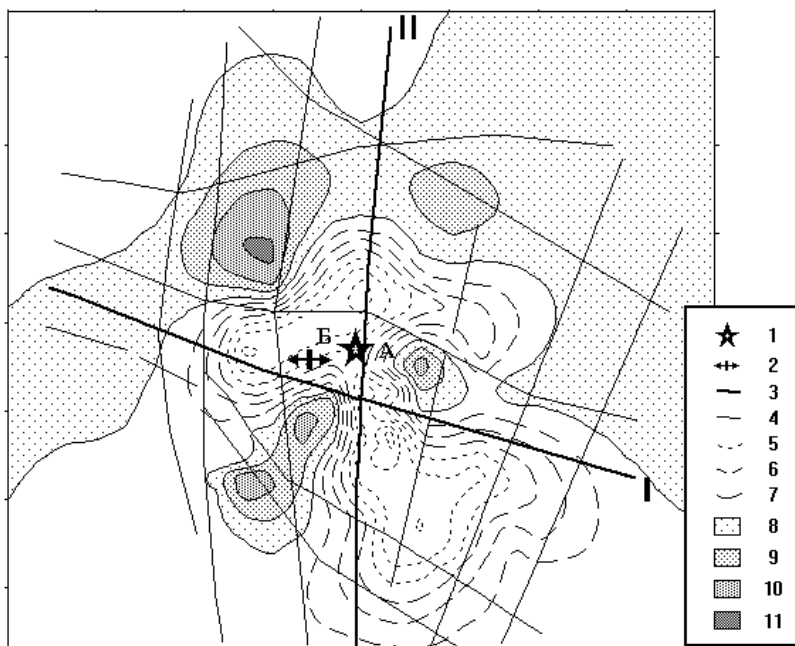


Рис. 4. Просторовий розподіл коефіцієнта загасання в макросейсмічному полі Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. на фоні розломної тектоніки фундаменту (тут: А, Б, 1-4 – умовні позначення, як на рис. 1; 5-7 – ізолінії коефіцієнта загасання v (5 – для $v=2, (2,5), (3), (3,5)$; 6 – для $v=4, (4,5), (5)$; 7 – для $v=5,5, (6), (6,5), (7)$); 8-11 – зони з особливо високими значеннями v (8 – $v=5,5 \div 6$, 9 – $v=6 \div 6,5$, 10 – $v=6,5 \div 7$, 11 – $v \geq 7$)).

Висновки

З викладеного можна зробити наступні висновки:

- Використання при аналізі макросейсмічного поля сучасних ГІС-технологій дозволяє отримати значно більш детальну та об'єктивну його картину, ніж при "ручних" побудовах.

- Визначення за макросейсмічним полем локалізації та геометричних параметрів розриву забезпечує можливість вивчення процесів розривоутворення у вогнищі та надійне визначення сейсмогенних розривних порушень.

- Розрахунки з врахуванням фактичної геометрії розриву забезпечують визначення максимально наближених до реальних вогнищевих параметрів джерела землетрусу, що дає дуже важливу інформацію про характер та кількісні характеристики процесів у вогнищевій зоні, про частотний склад сейсмічного випромінювання та тривалість процесу спорювання розриву в джерелі.

- Порівняння фактичних величин магнітуди землетрусу з середньокореляційними значеннями, визначеними за геометричними параметрами розриву для різних механізмів джерела дозволяє зробити важливі висновки про особливості геомеханіки вогнищевій зоні.

- Використання для аналізу особливостей макросейсмічного поля картини просторового розподілу коефіцієнта загасання v дозволяє чітко проявити напрямки концентрації випромінювання сейсмічної енергії джерела та зони підвищеного і зниженого загасання сейсмічних хвиль.

- Використання зазначених методик до аналізу макросейсмічного поля Берегівського землетрусу 24.10.1965 р. дозволило отримати надійну інформацію про локалізацію та геометрію розриву в його джерелі, фізичні параметри вогнища та процесів у ньому, особливості випромінювання, поширення та загасання сейсмічних хвиль в зоні макросейсмічних проявів цього землетрусу, та про особливості поведінки окремих розривних порушень і навіть окремих їх ділянок, а також тектонічних блоків у досліджуваній зоні. Зокрема, встановлена різна поведінка різних ділянок одних і тих же розломів відносно макросейсмічного поля свідчить про їх різний геомеханічний режим на цих ділянках і певним чином корелює з глибиною фундаменту

блоків кори та з встановленою за взаємним зміщенням горизонтів кінематичною взаємодією конкретних блоків, що контактують між собою по цих ділянках розломів.

В загальному застосування комплексу з відомих у сейсмології методик аналізу макросейсмічного поля в оновлених модифікаціях у поєднанні з новими методиками та з сучасними ГІС-технологіями дозволяє отримати нову цікаву та важливу для науки і практики – геодинаміки, тектонофізики та геомеханіки, сейсморайонування, інженерної сейсмології, геоecології інформацію, що проілюстровано нами на прикладі аналізу макросейсмічного поля Берегівського землетрусу 24.10.1965 р.

1. Назаревич А.В. Експериментальне дослідження спектрально-часової структури варіацій параметрів пружних хвиль в масивах гірських порід. Автореф. дис... кандидата фіз.-мат. наук. – Київ, ІГФ. – 1997. – 24 с. 2. Назаревич А.В. Оптимізація методико-апаратного забезпечення мережі геодинамічних спостережень України. // Праці наукового товариства ім. Шевченка. – Львів. – 1997. – С. 148-157. 3. Назаревич А.В., Назаревич Л.Є. Геодинаміка і особливості сеймотектонічного процесу Берегівської горстової зони (Закарпаття). // Геодинаміка. – 2000. – №1 (3). – С. 131-147. 4. А.В. Назаревич, Л.Є. Назаревич. Геодинаміка і тріщинуватість породних масивів (на прикладі Берегівського горбогір'я в Закарпатті). // Науковий Вісник НГАУ. – 2001. – № 4. – С. 23-24. 5. Назаревич А.В., Ковалишин З.І., Назаревич Л.Є. Геодинаміка сейсмоактивних районів Закарпаття за комплексом геофізичних даних. // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка. Геологія. – 2002. – № 23-24. – С. 38-43. 6. Леся Назаревич, Андрій Назаревич. Енергетичні характеристики карпатських землетрусів. // Збірник матеріалів науково-технічного симпозиуму "Геомоніторинг-2002". – Львів. – 2002. – С. 18-21. 7. А.В. Назаревич, Л.Є. Назаревич. Геодинаміка літосфери заходу Закарпаття за комплексом даних. // Геодинаміка. – 2004. – 1 (4). – С. 45-53. 8. А.В. Назаревич, М.В. Баштевич, Л.Є. Назаревич, О.В. Назаревич. Геоінформаційні технології в геофізиці та геомоніторингу. // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – 2004. – Т.1. – С. 190-197. 9. Л.Є. Назаревич, А.В. Назаревич. Вогнищеві параметри Берегівського землетрусу 1965 р. за макросейсмічними даними. // Матеріали V Міжнародної наукової конференції "Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища". 7-9 жовтня, Київ-2004. – Київ. – 2004. – С. 53-55. 10. Вербицький Т.З., Назаревич А.В. Деформографічні і геоакустичні дослідження у Закарпатті. // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат. Під ред. В.І. Старостенка. – Київ: Наук. думка. – 2005. – 254 с. 11. Назаревич Л.Є., Назаревич А.В. Особливості сеймотектонічних процесів в районі Берегівського горбогір'я. // Матеріали VI-ї Міжнародної конференції "Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану геологічного середовища". 6-8 жовтня 2005 р. Київ. – Київ. – 2005. – С. 24-26. 12. Hanks T.C., Kanamori H. A moment-magnitude scale // J. Geophys. Res. – 1979. – 84, № 135. – Р. 2348-2350. 13. Штейнберг В.В., Пономарева О.Н. Параметри очагов сильних землетрясень на експериментальним даним

// Макросейсмические и инструментальные исследования сильных землетрясений. Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука. – 1985. – вып. 26. – С. 165-171. 14. Штейнберг В.В. Об очаге землетрясения, распределении подвижки и сейсмическом излучении. // Вопросы инженерной сейсмологии. – М.: Наука. – 1984. – Вып. 25. – С. 9-17. 15. Чекунов А.В., Ливанова Л.П., Гейко В.С. Глубинное строение и некоторые особенности тектоники Закарпатского прогиба. // Сов. геология. – 1969. – № 10. 16. Пустовитенко Б.Г., Пантелеева Т.А. Спектральные и очаговые параметры землетрясений Крыма. – Киев: Наук. думка. – 1990. – 250 с. 17. Аранович З.И., Меламуд А.Я., Негребецкий С.А. Метрология, принципы построения и функциональные особенности сейсмометрических регистрирующих систем. // Автоматизация сбора и обработки сейсмологической информации. – М.: Радио и

связь. – 1983. – С. 5-20. 18. Пустовитенко Б.Г., Капитанова С.А. Параметры разрывов в землетрясениях Вранча за период 1974-1993 гг. // Сейсмологический бюллетень Украины за 1993 год. – Симферополь – 1996. – С. 65-68. 19. Пустовитенко Б.Г. Сейсмичные процессы в Черноморском регионе та сейсмічна небезпека Криму. Автореф. дис... доктора фіз.-мат. наук. – Київ, ІГФ. – 2003. – 33 с. 20. Василенко Е.М., Иващук А.И., Бокун А.Н., Костюк О.П., Сомов В.И., Скаржевский В.В. Береговое землетрясение 24 октября 1965 г. и его последствия. / Сейсмичность Украины. – К.: Наук. думка. – 1969. – С. 91-102. 21. Тектоническая карта Украинских Карпат. М-Б 1:200000 / Редакторы Глушко В.В., Круглов С.С. 1986. 22. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. – М.: Наука. – 1974. – 53 с.

УДК 550.344.094.6: 528.087.4: 004.032.26

М.А. Лазаренко, к.т.н., пров. н. с.
О.А. Герасименко, м. н. с.
Н.М. Остапчук, пров. інж.

ВИЯВЛЕННЯ СЕЙСМІЧНОГО СИГНАЛУ З ДОПОМОГОЮ КОНТРОЛЬОВАНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ

Прямопоточна, багатопотокова, контрольована мережа штучних нейронів пропонується для використання в якості класифікатора для розділення сейсмічного потоку в автоматичному режимі на два класи: шум та нешум. Демонструється практичне застосування алгоритму для обробки однокомпонентних сейсмічних записів.

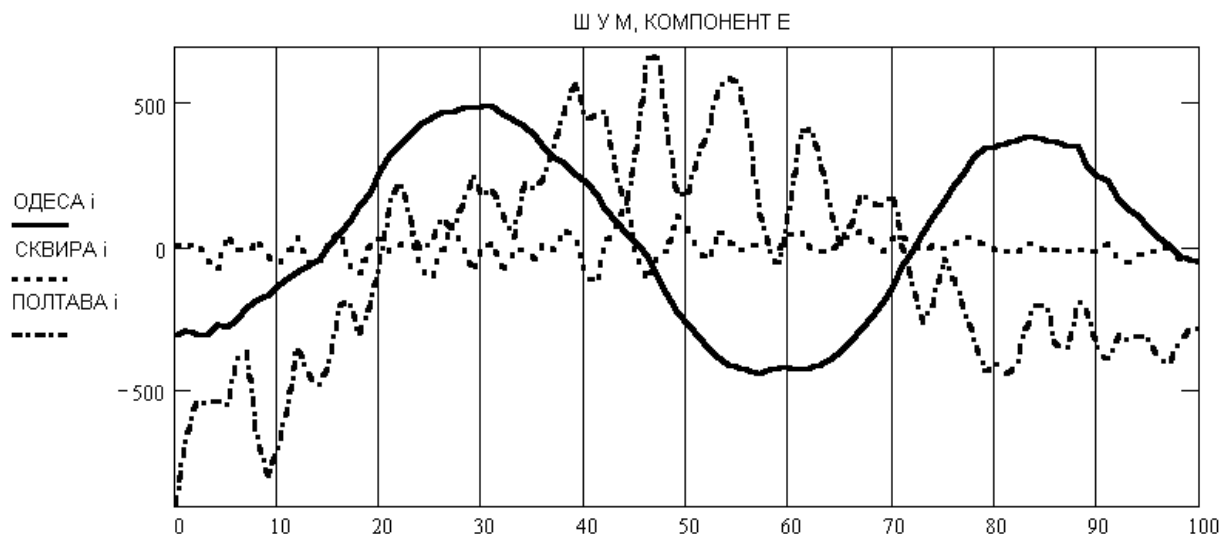
Feedforward, multi-layered, supervised network of artificial neurons is backpropagated to be used as classifier to discriminate automatically the seismic data flow into two classes: noise and not noise. The application of the algorithm to 1D seismic records is illustrated.

Традиційний підхід до пошуку сейсмічного сигналу на сейсмограмі та визначення часу його вступу базується на досвіді оператора, є суб'єктивним і часозатратним. Така практика могла зберігатись за часів аналогової реєстрації, та настання епохи сейсмічного моніторингу з допомогою високо автономних цифрових засобів та вимог швидкого (в коло реальному масштабі часу) визначення координат та магнітуд сейсмічних подій викликають необхідність автоматизації цього процесу. При сучасному рості сейсмічних мереж та формуванні банків даних потреба розпізнавання та виділення сейсмічного сигналу на фоні завад та якомога точнішого визначення моментів вступу різних фаз стає невідкладною.

Не бракує публікацій, котрі присвячені автоматичному виділенню сейсмічного сигналу та вступів фаз хвиль, що використовують як три-, так і однокомпонентні записи; застосовуються алгоритми, що працюють як в часовому, так і в частотному просторах. Але здебільшого це вузькоспеціалізовані підходи, що погано пристосовуються до

різноманіття сейсмологічних умов і звичайно демонструють декларовані можливості на модельних прикладах і обмеженому колі натурних реалізацій. Використовуються практично всі відомі прийоми обробки часових послідовностей, зокрема, техніки хвильового аналізу [1], авторегресії [2], аналізу траєкторій руху частоток у сейсмічній хвилі [3], розпізнавання образів [4], та багато інших, включаючи моделювання окремих етапів алгоритму виділення сигналу на мережах штучних нейронів [5-7].

В сейсмологічній же практиці автоматичного виділення сигналу найчастіше використовується енергетичний підхід, який звичайно здійснюється в алгоритмі слідування за співвідношенням енергій в часових вікнах різної тривалості, що вирізаються з сейсмічної інформації, котра поступає на аналізуючий блок [8]. Якість роботи алгоритму знаходиться у прямій залежності від величини відношення сигнал/шум і в умовах високого рівня шумів (завад) і слабкому (магнітуда, відстань) сейсмічному сигналі дає високий процент пропусків цілі.



ВИБІРКИ З ЧАСТОТОЮ 20 ГЦ

Рис. 1. 5 с запису Е-компоненту сейсмічного шуму, зареєстрованого з частотою вибірки 20 Гц на с/с "Одеса", "Сквира" та "Полтава".