

ЗВ'ЯЗОК ЗЕМЛЕТРУСІВ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ  
ТА ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ ІЗ СОНЯЧНОЮ АКТИВНІСТЮ

© Л.Є. Назаревич, О.В. Кендзера, А.В. Назаревич, 2011

*Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна*  
*Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна*  
*Карпатське відділення Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна*

A correlation of perceptible ( $M \geq 3$ ) earthquakes of Carpathian region of Ukraine and adjoining territories of Slovakia, Hungary and Romania with solar activity (sunspot numbers) is studied. An estimation of this correlation for four phases of 11-year sun's activity cycle is carried out. It is shown that correlation exists and is mostly revealed for maximum and minimum phases of sun's activity cycle. A retrospective analysis of earthquake probabilistic prognosis efficiency on phases of sun's activity cycle was carried out and it shows that in time interval of maximum and minimum of sun's activity the greatest number of local earthquakes is happened what can be an additional qualitative criterion for probabilistic prognosis of those earthquakes.

**Keywords:** earthquakes, magnitude, sunspot number, forecast, Carpathian region of Ukraine.

**Вступ.** Серед усіх природних катастроф на земній кулі землетруси займають одне з перших місць за руйнівною дією, кількістю людських жертв і матеріальними збитками. Передбачити, а отже, попередити землетруси на сьогодні наука поки що не може. Проте вивчення процесів, пов'язаних з підготовкою землетрусів, і розробка методів прогнозування зможуть суттєво зменшити їх катастрофічні наслідки.

Відомо, що Карпатський регіон належить до найактивніших у сейсмічному відношенні територій України [1–3]. Загалом для регіону характерні здебільшого землетруси невеликої сили, гіпоцентри яких зосереджені в земній корі на порівняно невеликих глибинах. І хоча сильніші місцеві землетруси з  $M = 2,5$ – $4,7$  відбуваються не часто, однак через малу глибину вогнищ вони спричиняють руйнування та матеріальні збитки в епіцентральных зонах. На територію Закарпаття також впливають сильніші землетруси з прилеглих територій Словаччини ( $M = 3,7$ – $5,4$ , р-н Гуменне), Угорщини ( $M = 3,8$ – $5,2$ , зона Мішкольц–Ньїредьхаза) та Румунії ( $6,2$ – $6,8$ , р-н Орадя) [1]. За історичними даними, на території Карпатського регіону України відомі землетруси з інтенсивністю струшувань в епіцентрі від 6–7 (р-ни міст Берегове, Тячеве (с. Угля), Сторожинець та ін.) до 7–8 балів (р-н м. Свалява) за шкалою MSK-64 [1]. Тому знаходження додаткових прогностичних критеріїв і статистично значущих кореляційних зв'язків місцевої сейсмічної активності з різними геофізичними процесами становить практичний інтерес і є актуальним завданням для регіональної сейсмології.

**Постановка задачі.** У статті як одну з імовірних причин підвищення сейсмічної активності в Карпатському регіоні в певні роки розглянуто вплив космічних чинників, а саме сонячної активності (СА), яка характеризується числами Вольфа.

На сьогодні багато уваги різні дослідники, наприклад, А. Ситінський, А. Гусєв, Ю. Калінін, І. Ананьїн, Ю. Серафімова, В. Хаїн [4–12], приділяють вивченню впливу космічних чинників на сейсмічну активність різних регіонів світу. Так, у публікаціях А. Ситінського [4, 5] не тільки відзначена, а й статистично підтверджена залежність загальної сейсмічності Землі та сейсмічності деяких сейсмоактивних регіонів від фази 11-річного циклу СА. За даними В. Хаїна і Е. Халілова [12], 11- і 22-річні цикли СА безпосередньо впливають на хід земних процесів, у тому числі на сейсмічність. Вивченню статистичних зв'язків між параметрами СА і сейсмічної активності присвячено роботи Ю. Буланже, І. Гріббіна, Ф. Мачадо [13–15] та ін. Аналіз цих робіт дає можливість зробити такі узагальнення: 1) зв'язок між сейсмічністю Землі та 11-річними циклами СА існує і є статистично значущим; 2) сейсмічна активність окремих регіонів також помітно пов'язана з циклами СА; 3) найвищий рівень сейсмічної активності Землі припадає на максимум і мінімум 11-річного циклу СА.

На думку А. Ситінського [4, 5], залежність сейсмічності Землі від фаз 11-річного циклу СА має прогностичне значення і на цій основі можна робити довготерміновий імовірнісний прогноз рівня сейсмічності Землі, а також здійснювати прогностичні оцінки для окремих регіонів. Виходячи

з цього, нами поставлено завдання дослідити зв'язок сильніших ( $M \geq 3$ ,  $K \geq 9,4$ ) землетрусів Карпатського регіону України з фазами 11-річного циклу СА і оцінити можливості використання цього зв'язку для середньотермінового прогнозу місцевих землетрусів.

**Методика досліджень.** Використана авторами статті методика досліджень має свої особливості порівняно з методиками, викладеними в інших роботах. Вибір землетрусів з  $M \geq 3$ ,  $K \geq 9,4$  пояснюється тим, що вони супроводжуються помітним макросейсмічним ефектом, тому каталог землетрусів такої величини є достатньо однорідним, зокрема, за доінструментальний період спостережень, коли сейсмічні події фіксували тільки за макросейсмічним ефектом. Інакше кажучи, порівняно з проведенням В.Г. Кузнєцовою зі співавторами у попередні роки подібним дослідженням [16], кількість цих подій є значно більшою (61 подія), ніж у статті [16] кількість землетрусів з  $M \geq 4$ ,  $K \geq 11,2$  (27 подій). Каталог подій з  $M \geq 3$ ,  $K \geq 9,4$  є значно надійнішим і одноріднішим, ніж використаний у другому варіанті досліджень каталог з  $K \geq 7$  ( $M \geq 1,7$ ).

У Карпатському регіоні уперше застосовано новий підхід, запропонований Ю.К. Серафимовою [10], згідно з яким кореляційний аналіз сейсмічності та СА проводять у розрізі окремих фаз 11-річного сонячного циклу. Перевагою такого підходу, на думку його автора, є, з одного боку, певне згладження випадкових флуктуацій даних, а з іншого – підкреслення кумулятивного ефекту для конкретних характерних фаз сонячного циклу. Крім того, виконано ретроспективний аналіз ефективності зазначеного методу для 23 повних 11-річних циклів СА (як прогностичні ознаки розглядали відносні рівні сейсмічної активності в окремі фази 11-річного сонячного циклу) з урахуванням реальної тривалості кожного конкретного циклу.

Нижче викладено вихідні дані для дослідження.

1. Дані щодо сейсмічності, взяті з каталогу землетрусів Карпатського регіону України з магнітудами  $M \geq 3$  [1] з доповненням, частково

уже були проаналізовані у статті [3]. Дані каталогу взято, починаючи з 1780 р. і закінчуючи 2006 р., усього 61 подія.

2. Як міру СА використано середньомісячні та середньорічні значення чисел Вольфа ( $W$ ). Число Вольфа – досить поширений показник активності Сонця, який визначають за формулою [17]

$$W = k(10g + f), \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт, який характеризує прилад спостереження;  $g$  – число груп плям на диску Сонця в день спостережень;  $f$  – число окремих плям.

Зазвичай  $k > 1$ . Для аналізу використано дані про середньомісячні і середньорічні значення чисел Вольфа Королівської обсерваторії Бельгії, розміщені на її веб-сторінці [17]. Розглянуто 23 повні 11-річні цикли СА.

3. Використано також дані щодо дат максимумів і мінімумів окремих циклів СА, які були необхідні для визначення тривалості циклів СА, а також тривалості їх стадій росту та спаду за методикою [10]. При цьому враховано, що СА має циклічні варіації з середнім періодом приблизно 11 років, але тривалість конкретних циклів становить від 8,2 до 15 років.

Для кожного циклу СА за методикою [10] визначали чотири фази цієї активності: мінімуму, росту, максимуму, спаду. Межі фаз визначали так: стадії росту (між мінімальною та максимальною точкою в циклі) і спаду (між максимальною та наступною мінімальною точкою в циклі) СА ділили на чотири однакові частини, фази мінімуму, росту, максимуму і спаду складала з двох сусідніх ділянок поділу (рис. 1). Таким чином, фаза мінімуму складалася з останньої чверті стадії спаду попереднього циклу і першої чверті стадії росту наступного циклу СА. Фаза росту складалася з другої і третьої чвертей стадії росту, фаза максимуму – з останньої чверті стадії росту і першої чверті стадії спаду, фаза спаду – з другої і третьої чвертей стадії спаду СА.

Щоб визначити кількість подій, які потрапляють у кожен фазу циклу СА, ми зіставили по-



Рис. 1. Схема виділення чотирьох фаз в 11-річних циклах сонячної активності

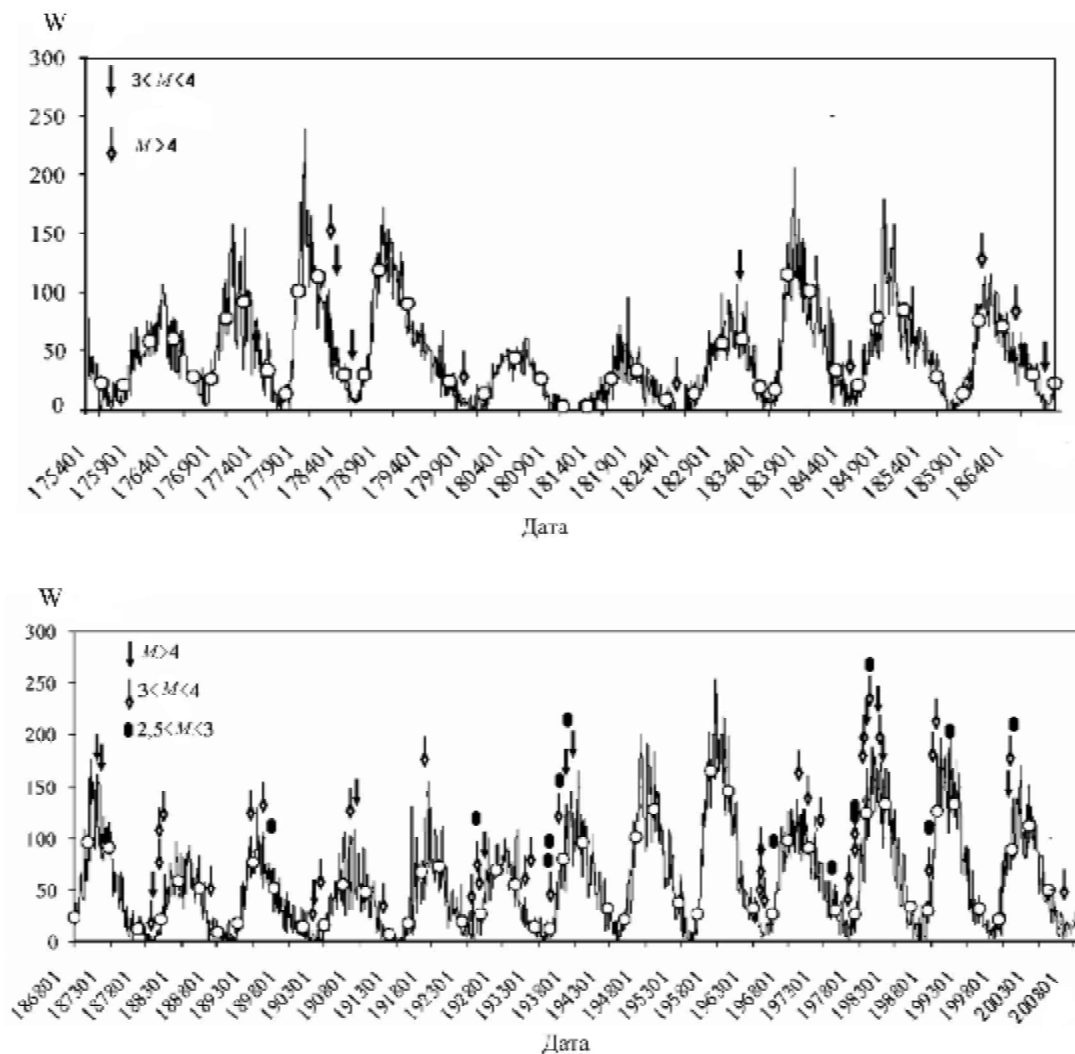


Рис. 2. Зіставлення сильніших землетрусів Карпатського регіону України з фазами 11-річних циклів сонячної активності

ділений у такий спосіб ряд середньомісячних значень чисел Вольфа з датами відповідних землетрусів Карпатського регіону України (рис. 2). Такий аналіз дав змогу: 1) виявити статистичний зв'язок між моментами виникнення сильних землетрусів і чотирма виділеними фазами циклів СА; 2) ретроспективно оцінити ефективність імовірного прогнозування цих землетрусів у конкретні фази циклу.

Задачу ретроспективної оцінки ефективності ми розв'язували за методикою А.А. Гусева [5]. Коефіцієнт ефективності прогнозу оцінювали за формулою

$$J = \frac{P_i}{P_n}, \quad (2)$$

де  $P_i$  – імовірність виникнення землетрусів у конкретні фази сейсмічного циклу (мінімуму, росту, максимуму і спаду);  $P_n$  – середня ймовірність виникнення землетрусів.

Однак фази окремих циклів мають різну тривалість у часі, крім того, фази спаду здебільшого довші за фази росту. Через це у формулі (2) у

знаменник уведено параметр, який характеризує відносну тривалість фаз ( $t/T$ ), де  $t$  – сумарна тривалість конкретної фази циклу СА;  $T$  – сумарна тривалість усіх фаз СА. Під час визначення  $t$  і  $T$  як сумарної тривалості неповні фази циклів не враховували.

Отже, формула (2) набуває вигляду

$$J = \frac{N_\phi}{N_s \frac{t}{T}}, \quad (3)$$

де  $N_\phi$  – кількість землетрусів, які відбулися в конкретній фазі сонячного циклу;  $N_s$  – загальна кількість землетрусів.

У формулі (3) знаменник вказує на середнє число землетрусів за час  $t$ , якщо відсутній зв'язок між виникненням землетрусів і фазою циклу СА. Таким чином, ефективність  $J$  у формулі (3) показує, у скільки разів кількість землетрусів у конкретній фазі є більшою за ту кількість землетрусів, які потрапили б у цю фазу випадково. У разі випадкового потрапляння землетрусів у фази циклів СА  $J \leq 1$ . Отже, значення  $J \leq 1$  свідчать про відсутність статистичного зв'язку

між моментом виникнення землетрусу і певною фазою циклу СА. За значень  $J > 1$  можна говорити про наявність такого зв'язку.

**Аналіз результатів.** Отримані результати ретроспективної оцінки ефективності прогнозування землетрусів у певні фази циклу СА подано в таблиці. Досліджену групу з 61 землетрусу було проаналізовано сукупно, а потім розділено на дві підгрупи – землетруси з магнітудою  $M > 4$  та з магнітудою  $3 < M < 4$ . Аналіз даних таблиці показав, що у двох підгрупах землетрусів коефіцієнт ефективності  $J > 1$  у фазах максимуму (2,72 і 1,40 відповідно) і мінімуму (1,04 і 1,2 відповідно). Загалом у землетрусів з магнітудою  $M \geq 3$  коефіцієнт  $J = 1,15$  у фазі мінімуму та  $J = 1,75$  у фазі максимуму. Отже, простежується помітний статистичний зв'язок між виділеними фазами сонячного циклу і сильнішими землетрусами регіону, і цей зв'язок може бути використаний для прогнозування сейсмічної активності в регіоні (див. таблицю).

Цікавими виявилися результати порівняльного аналізу землетрусів Карпатського регіону України з магнітудами  $2,5 < M < 3$  з виділеними фазами СА за описаною вище методикою (див. таблицю). Спостерігається помітно інша картина:  $J > 1$  у фазах росту і максимуму. Зазначимо, що дослідження були проведені з використанням даних сейсмологічних бюлетенів починаючи з 1955 р. (див. бібліографію в [3]), оскільки в каталозі [1], за винятком кількох подій з  $M = 2,7-2,9$ , наведено лише дані щодо землетрусів з  $M \geq 3$ .

Виконано також порівняльний аналіз землетрусів у конкретних сейсмоактивних зонах з виділеними фазами СА. У цьому випадку до обробки залучали землетруси, дати виникнення яких були у різних фазах 11-річного циклу СА. Аналіз показав таке: землетруси Мукачівської зони тяжіють до фази спаду СА, Берегівської – до фази мінімуму, Виноградівської зони – до фази росту. Причому останній землетрус Берегівської зони (2006 р.), який не увійшов до загальної обробки, також збігається з фазою мінімуму СА. За даними деформографічних спостережень, цьому району притаманний стиск в антикарпатському напрямку, а за даними В. Хаїна [12], саме в мінімумі СА відбуваються землетруси в таких зонах. За його ж дослідженнями, черговий максимум сейсмічної та вулканічної активності з

підвищеною інтенсивністю прогнозується в таких зонах на період 2012–2015 рр.

Слід зазначити, що землетруси відбувалися не в усіх 11-річних циклах СА, а тільки в 15 з 23 циклів. На нашу думку, це може бути пов'язане як з певною неоднорідністю згаданого каталогу, особливо з 1780 до 1880 р., так і з впливом інших чинників, у тому числі загальної тектонічної активності Землі та різноманітних регіональних тектонічних процесів, а також з нівелювальним впливом інших космічних об'єктів і з певною інерційністю реагування Землі на зовнішні збурення.

Очевидно, що варіації СА, які відображаються числами Вольфа (зменшення до мінімуму і збільшення до максимуму) не є єдиним чи найповнішим індикатором змін СА як фактора впливу на виникнення землетрусів, хоча значення параметра  $J$  для двох фаз в усіх досліджених групах землетрусів з  $M \geq 3$  є статистично значущим. Цей сонячно-земний зв'язок зумовлений комплексом чинників: раптовими спалахами на Сонці, зміною параметрів сонячного вітру та міжпланетного магнітного поля тощо [4], інтенсивність яких змінюється у фазі мінімуму та максимуму СА. Крім того, В. Хаїн вважає [12], що підвищення СА, яке супроводжується різким посиленням напруженості магнітного поля Сонця, в свою чергу, індукує кільцеві струми в різних шарах Землі (астеносфера та літосфера), а далі ці струми зумовлюють нагрівання мантії, збільшення її пластичності і, як наслідок, прискорення конвективних потоків. Прискорений рух конвективних потоків приводить до додаткового збільшення температури верхньої мантії та астеносфери, їх теплового розширення, до відносної інтенсифікації спредингу, за якого відбувається розширення земної кори. І навпаки, із зменшенням СА виникає стискування Землі, яке супроводжується відносною інтенсифікацією процесів субдукції. Різниця в часі від моменту підвищення СА до процесу інтенсифікації спредингу становить 5–7 років, що пов'язано з інерційністю проходження процесів у Землі. Вказаний проміжок часу спричиняє запізнення пульсації Землі на півперіод відносно 11-річного циклу СА.

Такі висновки дають змогу припустити, що періодичність активізації Сонця досить складним чином впливає на періодичність геодинамічних

Фази СА	Тривалість фаз СА, місяців	Землетруси							
		$M \geq 3$		$M > 4$		$3 < M < 4$		$2,5 < M < 3$	
		Кількість / %	$J$	Кількість	$J$	Кількість	$J$	Кількість	$J$
Мінімуму	664	17/28	<b>1,15</b>	4	<b>1,04</b>	13	<b>1,2</b>	0	–
Росту	556	9/15	0,72	0	–	9	0,99	7	<b>2,88</b>
Макимуму	696	27/44	<b>1,75</b>	11	<b>2,72</b>	16	<b>1,40</b>	4	<b>1,32</b>
Спаду	834	8/13	0,43	1	0,21	7	0,52	1	0,27

процесів як на Землі в цілому, так і в окремих (особливо геодинамічно активних) регіонах.

**Спектральний аналіз рядів.** Для дослідження інтегрального зв'язку 11-річного циклу СА з місцевою сейсмічністю проведено спектральний аналіз (перетворення Фур'є) рядів чисел Вольфа і кількості землетрусів Карпатського регіону України та прилеглих територій за 1961–2004 рр. (рис. 3). У результаті показано, що у спектрі повторюваності землетрусів регіону проявились різкі піки на періодах: 2,7; 3,0; 3,9–4,2; 4,8; 7,9–10,5; 21–31–63 роки. Трохи меншою є спектральна інтенсивність повторюваності землетрусів на періодах 5,2 і 6,25 року. Періоди, менші від 2,7 року, до уваги не брали, тому що в цьому діапазоні значно зменшується надійність побудови спектра (періодограми), оскільки вхідними даними є ряди річних значень кількості землетрусів.

Спектр чисел Вольфа набагато простіший – основна спектральна складова з періодом 9–10,5 року за амплітудою в 4–5 разів перевищує решту піків. Ці менші піки проявляються на періодах 3,3; 4,2; 5,2; 6,26; 15,6; 31–63 роки. Значення періодів у спектрі чисел Вольфа добре узгоджуються з даними інших авторів. Так, В. Хаїн та Е. Халілов [12] за результатами дослідження спектрів рядів чисел Вольфа та кількості землетрусів методами ковзаючих середніх у вікнах певної довжини, а також

методом максимальної ентропії виявили характерні піки на періодах 5,6; 8,4; 11,2; 14; 22 роки. За аналізом світових землетрусів ці автори отримали такі значення характерних періодів сейсмічної активізації: 6, 8, 10–11, 15, 18, 22 роки.

Порівнявши наведені дані, зазначимо таке. Пік повторюваності землетрусів на періодах 7,9–10,5 року відповідає піку чисел Вольфа на періодах 9–10,5 року. Це об'єктивно вказує на суттєвий кореляційний (а можливо, і фізичний) зв'язок між цими явищами. Додатковим свідченням на користь цього є кореляція спектрів СА та сейсмічності на періодах 5,2 і 6,25 року.

Встановлена також кореляція між піками сейсмічності Карпатського регіону і даними стосовно світової сейсмічності на періодах 6,25; 7,9–10,5 року і 6, 8, 10–11 років відповідно. Це вказує на об'єктивність результатів аналізу сейсмічності, проведеного для Карпатського регіону. Вивчення природи та походження цих піків потребує подальших досліджень.

З огляду на те, що під час визначення чисел Вольфа не враховуються конкретні фізичні процеси, які відбуваються в глибинах Сонця і навколо нього, а також конкретні можливі механізми впливу СА на планету Земля (магнітосферний, іоносферний, атмосферний, океанічний, літосферний, астеносферний тощо та їх комбінації), вста-

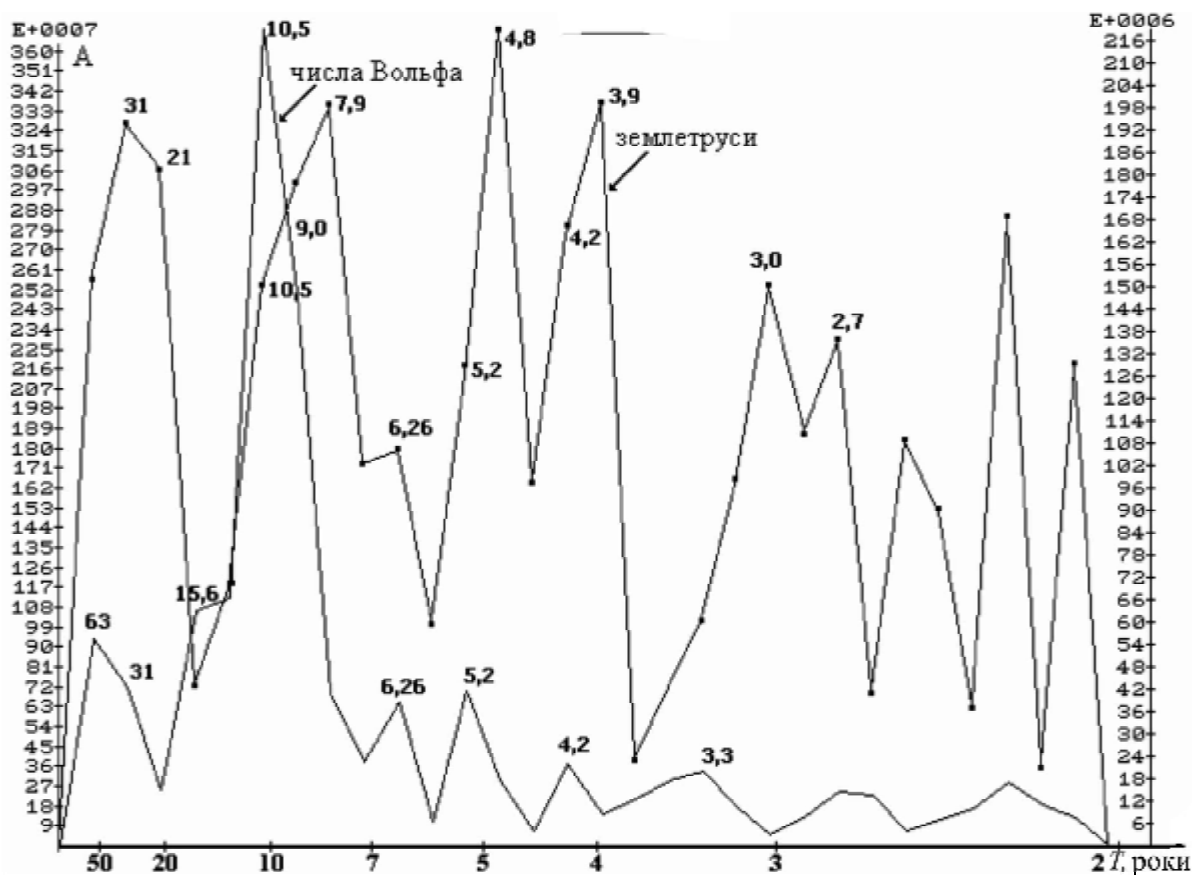


Рис. 3. Спектри (періодограми) варіацій сонячної активності (чисел Вольфа) і сейсмічної активності (кількість землетрусів) за 1961–2004 рр. у Карпатському регіоні України (шкала X – спектральний період варіацій, у роках; шкали Y – в умовних одиницях)

новлений зв'язок між фазами 11-річних циклів СА і сейсмічністю може слугувати лише якісним (імовірнісним) прогностичним критерієм, який слід використовувати у комплексі з іншими методами прогнозування землетрусів.

#### Висновки.

1. Встановлено зв'язок між виділеними фазами 11-річного циклу СА і моментами виникнення сильних землетрусів з  $M \geq 3$  Карпатського регіону. Найбільш виразно він проявляється для фаз максимуму та мінімуму 11-річного циклу СА.
2. Ретроспективний аналіз ефективності прогнозу сильних землетрусів з  $M \geq 3$  за чотири фази циклу СА показав, що ефективність прогнозування для фаз максимуму і мінімуму циклу СА становить відповідно 1,75 і 1,15.
3. Встановлений зв'язок між моментами виникнення землетрусів і виділеними фазами циклу СА може слугувати додатковим якісним чинником під час прогнозування сильних землетрусів у Карпатському регіоні України.
4. У спектрі повторюваності землетрусів регіону (перетворення Фур'є) проявились різкі піки на періодах 2,7; 3,0; 3,9–4,2; 4,8; 7,9–10,5; 21–31–63 роки та слабші піки на періодах 5,2 і 6,25 року.
5. Спектр чисел Вольфа (перетворення Фур'є) є характерним – основна спектральна складова з періодом 9–10,5 року за амплітудою в 4–5 разів перевищує всі інші піки з періодами 3,3; 4,2; 5,2; 6,26; 15,6; 31–63 роки. Ці дані добре узгоджуються з даними інших авторів для періодів 5,6; 8,4; 11,2; 14; 22 роки [12, 18], встановлених методом ковзаючих середніх у вікнах певної довжини, а також методом максимальної ентропії.
6. Встановлено кореляцію між піками сейсмічності Карпатського регіону і світової сейсмічності стосовно землетрусів на періодах 6,25; 7,9–10,5 року і 6, 8, 10–11 років відповідно, що свідчить про об'єктивність результатів аналізу сейсмічності Карпатського регіону.
7. Пік повторюваності землетрусів на періодах 7,9–10,5 року добре збігається з піком чисел Вольфа на періодах 9–10,5, що об'єктивно вказує на суттєвий кореляційний (а можливо, і фізичний) зв'язок між цими явищами. Додатковим свідченням на користь цього є кореляція спектрів СА і сейсмічності на періодах 5,2 і 6,25 року. Вивчення фізичної суті зв'язку СА з активізацією сейсмічності потребує подальшого опрацювання, з урахуванням особливостей напружено-деформованого стану геологічного середовища в конкретних регіонах.

1. Костюк О., Сагалова Є., Руденська І. та ін. Каталог землетрусів Карпатського регіону за 1090–1990 роки //

Праці Наукового товариства імені Шевченка. – Львів. – 1997. – Т. 1. – С. 121–138.

2. Кендзера О.В., Пронишин Р.С. Сейсмічність Українських Карпат // Дослідження сучасної геодинаміки Українських Карпат / Під ред. В.І. Старостенка. – К.: Наук. думка, 2005. – С. 69–80.
3. Назаревич Л.Є., Стародуб Г.Р. Деякі особливості сейсмічного процесу в Карпатському регіоні України (40 років спостережень) // Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики. – К., 2010. – С. 286–299.
4. Сытинский А.Д. Связь землетрясений с солнечной активностью // Физика Земли – 1989. – № 2. – С. 13–30.
5. Сытинский А.Д. О зависимости глобальной и региональной сейсмичности от фазы 11-летнего цикла солнечной активности // Докл. АН СССР. – 1982. – 265, № 6. – С. 1350–1353.
6. Гусев А.А. Прогноз землетрясений по статистике сейсмичности // Сейсмичность и сейсмический прогноз, свойства верхней мантии и их связь с вулканизмом на Камчатке – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 109–119.
7. Ананьин И.В., Фадеев А.О. О возможных причинах корреляций между изменениями величин сейсмической активности и средними годовыми температурами на поверхности Земли // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. – М.: Янус-К, 2002. – Т. 3. – С. 222–234.
8. Калинин Ю.Д. Солнечная обусловленность длины суток и сейсмической активности. – Красноярск: Ин-т физики СО АН СССР, 1974. – 23 с.
9. Николаев А.В. Проблемы наведенной сейсмичности // Наведенная сейсмичность. – М.: Наука, 1994. – С. 5–15.
10. Серафимова Ю.К. О связи сильных ( $M_w \geq 7,5$ ) землетрясений Камчатки с вариациями чисел Вольфа // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. – 2005. – № 2, вып. 6. – С. 116–122.
11. Хаин В.Е., Гончаров М.А. Геодинамические циклы и геодинамические системы разного ранга и их соотношение и эволюция в истории Земли // Геотектоника. – 2006. – № 5. – С. 3–24.
12. Хаин В.Е., Халилов Э.Н. О возможном влиянии солнечной активности на сейсмическую и вулканическую активность: долгосрочный прогноз // Science Without borders. Transactions of the Int. Acad. of Science N & E. – Vol. 3. – 2007/2008. – SWB, Innsbruck. – 2008.
13. Буланже Ю.Д. Некоторые результаты изучения неприливных изменений силы тяжести // Проблемы расширения и пульсации Земли. – М.: Наука, 1984. – С. 73–84.
14. Gribbim I.K. The next California earthquake. – New York: Walker, 1974. – 136.
15. Machado F.A. A hipotese de uma pulsacao de gravitacao com de il anos // Gareia Orta. Ser. Geol. – 1973. – 1, № 2. – P. 27–35.
16. Кузнецова В.Г., Максимчук В.Ю., Городиский Ю.М. та ін. Дослідження зв'язків сейсмічності Карпат з фазами 11-річного циклу сонячної активності і з магнітними бурями з раптовим початком // Геофіз. журн. – 2005. – 27, № 5. – С. 848–855.
17. <http://side.oma.be/html/sunspot.html>
18. Кузьменко Э.Д., Крыжановский Е.И., Пронишин Р.С. и др. О цикличности карпатских землетрясений и их связи с солнечной активностью // Геофиз. журн. – 2007. – 29, № 4. – С. 66–76.

Надійшла до редакції 14.02.2011 р.

*Л.Є. Назаревич, О.В. Кендзера, А.В. Назаревич*

### **ЗВ'ЯЗОК ЗЕМЛЕТРУСІВ КАРПАТСЬКОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ ТА ПРИЛЕГЛИХ ТЕРИТОРІЙ ІЗ СОНЯЧНОЮ АКТИВНІСТЮ**

Досліджено зв'язок відчутних ( $M \geq 3$ ) землетрусів Карпатського регіону України і прилеглих територій Словаччини, Угорщини та Румунії з варіаціями сонячної активності (числами Вольфа). Оцінку цього зв'язку проведено для чотирьох фаз 11-річних циклів сонячної активності. Показано, що такий зв'язок існує і найбільш значуще проявляється для фаз максимуму і мінімуму. За даними проведеного авторами ретроспективного аналізу ефективності ймовірного прогнозу землетрусів за виділеними фазами 11-річного циклу, в періоди максимуму і мінімуму сонячної активності відбувається відносно більша кількість місцевих землетрусів, що може слугувати додатковим якісним критерієм для ймовірного прогнозування цих землетрусів.

**Ключові слова:** землетрус, магнітуда, числа Вольфа, прогноз, Карпатський регіон України.

*Л.Е. Назаревич, А.В. Кендзера, А.В. Назаревич*

### **СВЯЗЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КАРПАТСКОГО РЕГИОНА УКРАИНЫ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ С СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ**

Исследована связь ощутимых ( $M \geq 3$ ) землетрясений Карпатского региона Украины и прилегающих территорий Словакии, Венгрии и Румынии с вариациями солнечной активности (числами Вольфа). Оценка этой связи проведена для четырех фаз 11-летнего цикла солнечной активности. Показано, что связь существует и наиболее значимо проявляется для фаз максимума и минимума. По данным проведенного авторами ретроспективного анализа эффективности вероятностного прогноза землетрясений по выделенным фазам 11-летнего цикла, в периоды максимума и минимума солнечной активности происходит большее количество местных землетрясений, что может служить дополнительным качественным критерием для вероятностного прогноза этих землетрясений.

**Ключевые слова:** землетрясение, магнитуда, числа Вольфа, прогноз, Карпатский регион Украины.