

Сейсмічність Карпат у 2022 р.

**С.Т. Вербицький, Р.С. Пронишин, В.І. Прокопишин, О.Т. Стецьків,
І.М. Ніщіменко, І.М. Келеман, Г.А. Герасименюк, 2024**

Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна
Надійшла 1 серпня 2023 р.

За результатами спостережень на сейсмічних станціях Карпатського регіону України у 2022 р. отримано основні параметри 50 землетрусів у діапазоні енергетичних класів: $K_p=5,7\div 13,7$. Наведено параметри сейсмометричної апаратури на діючих сейсмічних станціях. Подано каталог землетрусів, їх розподіл по районах та енергетичних класах, а також наведено карту епіцентрів, графіки виділення сейсмічної енергії та кількості землетрусів у регіоні за місяцями. Коротко схарактеризовано сейсмічність окремих сейсмоактивних районів Карпатського регіону. Загальна виділена енергія в регіоні становила: $\Sigma E=5,06\cdot 10^{13}$ Дж, що вище рівня минулого року — $\Sigma E=3,13\cdot 10^{12}$ Дж. 2022 р. підвищену сейсмічну активність зафіксовано в горах Вранча — 20 землетрусів енергетичного класу $K_p=9,1\div 13,7$. Їх сумарна сейсмічна енергія дорівнювала $\Sigma E=5,06\cdot 10^{13}$ Дж. Вогнища землетрусів Вранча зосереджені на глибині $h=80\div 152$ км (18 подій) та $h=20$ км (2 події). На Закарпатті зареєстровано 10 землетрусів з енергетичним класом: $K_p=5,8\div 8,0$. Їх сумарна сейсмічна енергія — $\Sigma E=2,78\cdot 10^8$ Дж. Найсильніший із землетрусів зафіксовано 28 березня з $K_p=8,0$ о 05 год 01 хв на глибині $h=2,4$ км. Останні сім років Закарпаття перебуває практично у сейсмічному затишші. На території Буковини 2022 р. також зафіксовано зниження сейсмічної активності порівняно з 2021 р. Усього тут зареєстровано 9 землетрусів з енергетичним класом $K_p=6,9\div 8,4$ та сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=8,41\cdot 10^8$ Дж. Вогнища землетрусів розміщуються в земній корі на глибині $h=1,8\div 15,0$ км. У сейсмоактивних районах Південні Карпати, Трансильванія та Бакеу, у 2022 р. було зареєстровано лише по одному землетрусу, тоді як у районі Кришана та Банат не зафіксовано жодної події. Для визначення основних параметрів землетрусів Закарпаття використано регіональний Карпатський годограф, а для землетрусів зони Вранча та інших шести районів — годограф Джефферса—Буллена.

Ключові слова: землетрус, епіцентр, вогнище, сейсмічність, сейсмічна активність, сейсмічна енергія, енергетичний клас, магнітуда, інтенсивність землетрусу, сейсмічна станція, сейсмоактивний район, Карпатський регіон, глибинний розлом.

Вступ. Карпатський регіон поділено на вісім сейсмоактивних районів, займає територію України, Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії і Молдови. Зведена обробка та інтерпретація землетрусів, які фіксуються в регіоні, проводиться у Відділі сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН

України (м. Львів) за даними сейсмостанцій Карпатської мережі ІГФ НАН України і міжнародної мережі спостережень. Визначення основних параметрів землетрусів Карпатського регіону здійснювалось з використанням даних Кримської мережі, сейсмічної служби Молдови, Румунії, Угорщини, Словаччини і Польщі. Комплексну

Citation: Verbytskyi, S.T., Pronyshyn, R.S., Prokopyshyn, V.I., Stetskiy, A.T., Nischimenko, I.M., Keleman, I.M., & Gerasyenyuk, G.A. (2024). The seismicity of the Carpathians in 2022. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 46(1), 52–62. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i1.298660>.

Publisher Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, 2024. This is an open access article under the CC BY-NC-SA license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

обробку даних виконували для території, обмеженої координатами: 45°N — 21°E , $50,5^{\circ}\text{N}$ — 21°E , $50,5^{\circ}\text{N}$ — 25°E , $45,5^{\circ}\text{N}$ — 25°E , $49,5^{\circ}\text{N}$ — 30°E , 44°N — 30°E , 44°N — 25°E , 45°N — 25°E .

Система спостережень. У Карпатському регіоні в 2022 р. функціонувала сейсмологічна мережа інструментальних спостережень, в яку входило 23 стаціонарних сейсмічних станцій: «Львів» (LVV — Лвв), «Ужгород» (UZH — Ужг), «Міжгір'я» (MEZ — Мжг), «Косів» (KSV — Кос), «Моршин» (MORU — Мрш), «Тросник» (TRSU — Трс), «Нижнє Селище» (NSLU — Нсл), «Городок» (HORU — Гор), «Чернівці» (CHRU — Чрн), «Берегове» (BERU — Брг), «Брид» (BRIU — Брд), «Мукачево» (MUKU — Мук), «Рахів» (RAK — Рах), «Королево» (KORU — Кор), «Кам'янець-Подільський» (KMPU — Кмп), «Новодністровськ» (NDNU — Ндн), «Східниця» (SHIU — Схд), «Старуня» (STNU — Стр), «Стужиця» (STZU — Стж), «Холмець» (HOLU — Хлм), «Любешка» (LUBU — Люб), «Бережани» (BRZU — Брж) і Меджибіж (MDZU — Мдж). Станцію «Бережани», яка знаходиться за 50 км на південний захід від м. Тернопіль, було відкрито в серпні 2021 р. Станцію «Меджибіж», розташовану за 30 км на схід від м. Хмельницький, — у жовтні 2021 р. На всіх сейсмічних станціях інструментальні спостереження проводили з використанням цифрової апаратури, створеної у Відділі сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України. Основні параметри апаратури, що фіксувала події, наведено в табл. 1.

Обробка спостережень на сейсмічних станціях здійснювалась згідно з Інструкцією [Інструкція..., 1982].

Для отримання динамічних характеристик на сейсмічних станціях використовували амплітудно-частотні характеристики каналів у форматі PAZ GSE1.

Результати спостережень. Цифровий спосіб реєстрації сейсмічних коливань має високу роздільну здатність і широкий динамічний діапазон. При обробці та інтерпретації цифрових записів можливе застосування різноманітних фільтрів, а та-

кож корекції на характеристику приладів. Це дає можливість фіксувати досить слабкі землетруси. Цифрове представлення записів дозволяє зберігати їх безпосередньо в базі даних.

При обробці та інтерпретації цифрових записів для більш надійного виділення нечітких або зашумлених сейсмічних фаз застосовується лінійний фільтр Баттерворта (0,5—15 Гц). Вибір параметрів фільтра залежить від якості (співвідношення сигнал/шум) і спектральної характеристики сигналу, який досліджується.

Для розрахунку енергетичних характеристик сейсмічних подій спектр сигналу коригується на амплітудно-частотну характеристику приладу, сигнал також приводять до одиниць руху ґрунту (мкм, мкм/с). Для цього використовують розраховані для кожного сейсмічного каналу амплітудно-частотну характеристику і чутливість на відлік (мкм/с).

Для визначення основних параметрів (часу виникнення, координат і глибин вогнищ, нев'язки визначень і динамічних характеристик землетрусів Карпатського регіону) використовувались дані Кримської мережі, сейсмічних служб Молдови, Румунії, Словаччини, Польщі та Угорщини.

При комплексній обробці землетрусів на станціях визначалися енергетичні параметри зареєстрованих сейсмічних подій.

Для місцевих землетрусів енергетичний клас (K_p) визначався за номограмою Раутиан [Раутиан, 1964], а локальна магнітуда — за максимальною амплітудою коливань ґрунту A за Ріхтером $ML = \lg(A_{z \max}) - \lg(A_0)$.

Для землетрусів району Вранча магнітуда визначалася за поперечною хвилею за формулою $M_{SH} = \lg A_S + 1,32 \lg(\Delta) + 0,8$ (Δ в км) [Інструкція..., 1982], розрахований енергетичний клас — за рівнянням Т.Г. Раутиан [Раутиан, 1960] $K_p = 1,8M_{SH} + 4,0$.

На всіх сейсмостанціях як енергетичні параметри сейсмічних подій визначалася магнітуда за довжиною (D) запису із застосуванням формули А.С. Маламуда [Маламуд, 1974] $MD = 2,671 \lg(D) + 1,65$ (D у хв) і розрахований енергетичний клас KD — за формулою Т.Г. Раутиан [Раутиан, 1960] $KD = 1,8MD + 4,0$.

Таблиця 1. Апаратура та технічні характеристики цифрових сейсмічних станцій у 2022 р.

Номер	Назва станції (рік заснування)	Н, м	Координати		Апаратура			
			φ°, N	λ°, E	Тип апаратури	Динамічний діапазон	Частотний діапазон	Чутливий відлік, мкм/с
1	Львів LVV (1899)	320	49,820	24,031	Guralp CMG-40T	140	0,03—12	$0,8 \cdot 10^{-9}$
2	Моршин MORU (1978)	260	49,124	23,876	DAS-05 CM3	120	0,2—15	—
3	Ужгород UZH (1934)	160	48,629	22,291	DAS-05 СКД	120	0,2—15	$1,05 \cdot 10^{-9}$
4	Міжгір'я MEZ (1961)	460	48,514	23,514	DAS-05 СКД	120	0,02—15	$9,6 \cdot 10^{-10}$
5	Тросник TRSU (1987)	120	48,095	22,957	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	$2,05 \cdot 10^{-10}$
6	Нижнє Селище NSLU (1987)	250	48,198	23,457	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	—
7	Рахів RAK (1956)	460	48,036	24,173	DAS-05 СКД	120	0,02—15	$4,98 \cdot 10^{-10}$
8	Косів KSV (1961)	450	48,314	25,065	DAS-04 СКД	120	0,02—15	$6,64 \cdot 10^{-10}$
9	Чернівці CHRU (1907)	300	48,298	25,922	DAS-05 СКД	120	0,02—15	$1,27 \cdot 10^{-9}$
10	Городок HORU (1991)	340	49,214	26,426	DAS-05 CM-3	120	0,2—15	—
11	Королево KORU (1998)	160	48,157	23,134	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	$1,05 \cdot 10^{-10}$
12	Мукачево MUKU (1999)	125	48,454	22,687	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	$1,17 \cdot 10^{-10}$
13	Берегове BERU (2000)	160	48,234	22,646	DAS-05 CM-3	120	0,2—15	—
14	Брід BRIU (2000)	180	48,338	23,020	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	$1,85 \cdot 10^{-10}$
15	Кам'янець- Подільський KMPU (2005)	121	48,563	26,460	DAS-05 СКД	120	0,02—15	—
16	Новодністровськ NDNU (2006)	242	48,595	27,366	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	$3,04 \cdot 10^{-10}$
17	Східниця SHIU (2006)	600	49,225	23,359	DAS-05 CM-3	120	0,2—15	$6,98 \cdot 10^{-10}$
18	Старуня STNU (2007)	391	48,710	24,502	DAS-05 CM-3	120	0,2—15	—
19	Стужиця STZU (2011)	385	49,016	22,623	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	$1,84 \cdot 10^{-10}$
20	Холмець HOLU (2014)	134	48,527	22,384	DAS-05 CM-3KB	120	0,2—15	—
21	Любешка LUBU (2019)	355	49,599	-24,378	DAS-05 CM-3KB	120	0,03—12	$1,84 \cdot 10^{-10}$
22	Бережани BRZU (2021)	292	49,4572	24,9511	DAS-05 CM-3KB	120	0,03—12	$1,84 \cdot 10^{-10}$
23	Меджибіж MDZU (2021)	276	49,4370	27,4122	DAS-05 CM-3KB	120	0,03—12	$1,84 \cdot 10^{-10}$

Примітка: на всіх сейсмічних станціях фіксація подій відбувалась за трьома компонентами: N-S, E-W, Z.

Усю територія Карпатського регіону поділено на вісім сейсмоактивних районів, межі і номери яких показано на карті епіцентрів землетрусів (рис. 1).

Основні параметри (дата землетрусу, географічні координати сейсмічних станцій, час вступу (виникнення) сейсмічних хвиль P і S на цих станціях) визначались за допомогою програми НУРО [Herrmann, 1979]. Для розрахунку використовували відповідні годографи, зроблені в табличній формі. Програма виконує розрахунок координат, часу виникнення землетрусу і оцінює точність результату як середнє квадратичне відхилення за координатами епіцентру і часом у вогнищі землетрусу. Враховуючи особливості розповсюдження сейсмічних хвиль у Карпатському регіоні для визначення основних параметрів землетрусів Північно-Західного району (№ 1) застосовувався регіональний Карпатський годограф [Кутас и др., 1999, 2004], а для подій зони Вранча (№ 2) і районів № 3, 5, 7 і 8 — годограф Джефферіса—Буллена [Jeffreys, Bullen, 1940].

Усього в 2022 р. сейсмічними станціями Карпатського регіону України зареєстровано 50 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,7\div 13,7$. Для всіх подій визначено основні параметри. На карті (див. рис. 1) показано епіцентри землетрусів, зафіксовані в сейсмоактивних районах Карпатського регіону. Результати обробки сейсмічних подій наведено в Додатку 1 на сайті журналу (Каталог (табл. 3) і Детальні дані землетрусів Карпат за 2022 р. (табл. 4)).

Відомості про розподіл землетрусів по районах, а також за значеннями енергетичних класів і виділеної сейсмічної енергії, наведено в табл. 2.

Сумарна сейсмічна енергія, яка виділилася в Карпатському регіоні у 2022 р., становила $\Sigma E=5,06\cdot 10^{13}$ Дж, що є вище рівня минулого року — $3,13\cdot 10^{12}$ Дж [Вербицкий и др., 2022]. Найбільша сейсмічна енергія виділилася в районі Вранча (№ 2) — $5,06\cdot 10^{13}$ Дж. Вона є на порядок вище рівня минулого року — $2,32\cdot 10^{12}$ Дж.

Сумарна сейсмічна енергія в Північно-Західному районі (№ 1) становила $\Sigma E=$

$=6,94\cdot 10^8$ Дж, що є нижче рівня енергії, яка виділилася в 2021 р. — $5,03\cdot 10^9$ Дж [Вербицкий и др., 2022]. Сейсмічна енергія, яка виділилась у Прикарпатті становила $3,51\cdot 10^8$ Дж, у Закарпатті — $2,78\cdot 10^8$ Дж, у Румунії (Мармарош) — $5,01\cdot 10^5$ Дж, у Словаччині — $7,94\cdot 10^5$ Дж, в Угорщині — $6,31\cdot 10^7$ Дж. У районах № 4 і 6 землетрусів не зафіксовано.

Характер активності сейсмічних процесів у регіоні протягом року по місяцях показано на рис. 2 і 3 у вигляді діаграм. Найбільшу кількість землетрусів зафіксовано в березні і в грудні (по сім), а найменшу — в жовтні і листопаді (по два). Найбільше енергії виділилося у листопаді ($5,01\cdot 10^{13}$ Дж).

Сейсмічність Північно-Західного району (№ 1) у 2022 р. проявилася 15 подіями. Цей район найбільш активним був у березні (чотири події). У січні, травні, липні і листопаді не зафіксовано жодного землетрусу (див. рис. 3). У районі Вранча (№ 2) зареєстровано 22 події. Активним район був упродовж майже всього року (крім червня та серпня). У лютому, жовтні і листопаді в зоні Вранча зареєстровано по одній події.

Також землетруси були зафіксовані в районі № 3 — Південні Карпати (одна подія), у районі № 5 — Буковина (дев'ять подій), у районах № 7 — Трансільванія і № 8 — Бакеу (по одній події). Ще один землетрус зареєстровано в Молдові, яка знаходиться в межах Карпатського регіону, але не потрапляє до жодного з виділених сейсмоактивних районів.

Район № 1. Північно-Західний. У цьому районі зареєстровано 15 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,7\div 8,4$ із сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=6,94\cdot 10^8$ Дж.

Прикарпаття представлено двома подіями із сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=3,51\cdot 10^8$ Дж. Перший землетрус відбувся 21 лютого в м. Великі Мости Львівської області з $K_p=8,4$ і магнітудою $MSH=2,0$, а другий — 18 березня в районі м. Долина з $K_p=8,0$ і магнітудою $MSH=1,7$.

У Закарпатті у 2022 р. зафіксовано 10 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,8\div 8,0$. Їхня сумарна сейсмічна енергія

Т а б л и ц я 2. Розподіл землетрусів за енергетичними класами та сумарна сейсмічна енергія по районах за 2022 р.

Номер району	Район	K_p								Кількість землетрусів	ΣE , Дж
		6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Північно-Західний									15	$6,94 \cdot 10^8$
	Прикарпаття	—	—	2	—	—	—	—	—	2	$3,51 \cdot 10^8$
	Закарпаття	2	5	3	—	—	—	—	—	10	$2,78 \cdot 10^8$
	Румунія, Мармарош	1	—	—	—	—	—	—	—	1	$5,01 \cdot 10^5$
	Словаччина	1	—	—	—	—	—	—	—	1	$7,94 \cdot 10^5$
	Угорщина		1							1	$6,31 \cdot 10^7$
2	Вранча									22	$5,06 \cdot 10^{13}$
	Гори Вранча	—	—	—	4	13	2	—	1	20	$5,06 \cdot 10^{13}$
	Мунтенія	1	—	—	—	1	—	—	—	2	$3,16 \cdot 10^9$
3	Південні Карпати	—	—	—	—	—	1	—	—	1	$6,31 \cdot 10^{10}$
4	Банат	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
5	Буковина									9	$8,41 \cdot 10^8$
	Поділля	—	—	2	—	—	—	—	—	2	$1,13 \cdot 10^8$
	Покуття	—	2	3	—	—	—	—	—	5	$5,38 \cdot 10^8$
	Румунія, Ботошани	—	—	1	—	—	—	—	—	1	$3,16 \cdot 10^7$
	Молдова	—	—	1	—	—	—	—	—	1	$1,58 \cdot 10^8$
6	Крішана	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
7	Трансільванія	—	—	—	1	—	—	—	—	1	$1,58 \cdot 10^9$
8	Бакеу	—	—	1	—	—	—	—	—	1	$1,26 \cdot 10^8$
	Поза зоною	—	—	—	1	—	—	—	—	1	$2,00 \cdot 10^9$
	Всього									50	$5,06 \cdot 10^{13}$

становить $2,78 \cdot 10^8$ Дж, тобто є нижчою, ніж минулого року — $4,08 \cdot 10^9$ Дж [Вербицкий и др., 2022].

Епіцентри землетрусів знаходяться в межах раніше виділених сейсмоактивних зон і прив'язані до Закарпатського і Припаннонського глибинних розломів, які простягаються вздовж Вулканічного хребта. Найбільша кількість землетрусів (дев'ять подій) зафіксовано вздовж Вулканічного хребта зі сторони Закарпатської низовини. По три землетруси зареєстровано в с. Дулово (19 березня з $K_p=7,8$, 28 березня з $K_p=8,0$, 8 квітня з $K_p=7,3$) і два в с. Довге (28 грудня з $K_p=7,3$ і $7,7$). По одному землетрусу зафіксовано 10 березня в районі м. Хуст з $K_p=6,7$, 8 квітня в районі с. Олександрівка з $K_p=6,3$, 30 червня біля

с. Сваляви з $K_p=5,8$ та 22 серпня з $K_p=7,1$ в районі с. Пригідь, яке знаходиться між Вулканічним та Полонинським хребтами. Вогнища всіх закарпатських землетрусів знаходяться на глибинах 2,0—5,6 км і були невідчутними для населення.

Зауважимо, що кількість сейсмічних подій в Закарпатті за останні сім років, після потужної серії землетрусів у 2015 р. у районі м. Тересви, суттєво зменшилася і коливається в межах від 24 до 10 подій за рік (рис. 4).

Сумарна сейсмічна енергія, яка виділилася по роках коливається в межах одного порядку — від $1,7 \cdot 10^8$ до $6,9 \cdot 10^9$ Дж, тоді як за один 2015 р. вона становила аж $2,3 \cdot 10^{11}$ Дж.

У північній частині Румунії (Марма-

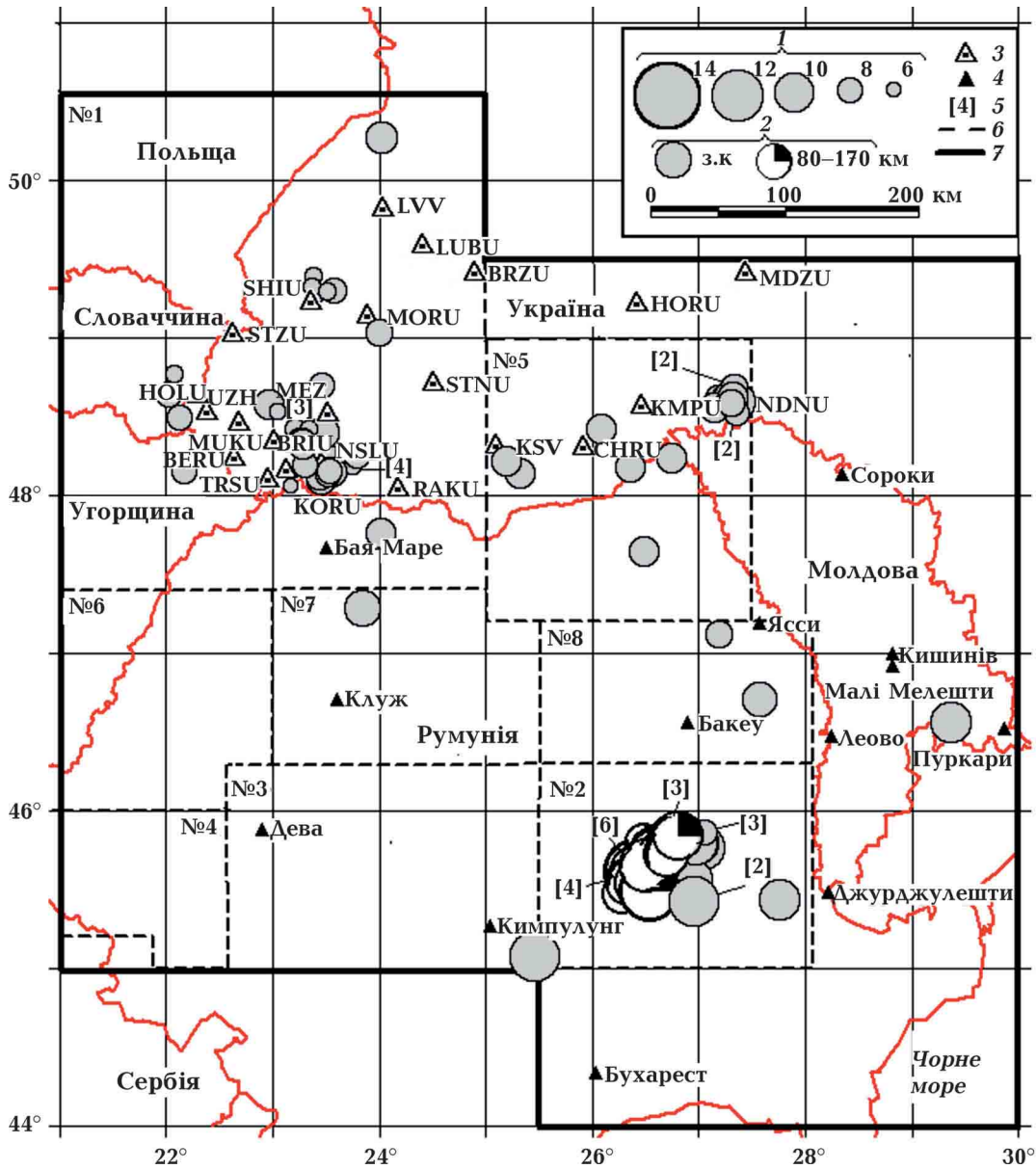


Рис. 1. Карта епіцентрів землетрусів Карпат за 2022 р.: 1 — енергетичний клас, 2 — глибина вогнища в км, 3 — сейсмічна станція, 4 — зарубіжні сейсмічні станції, 5 — кількість землетрусів з однаковими епіцентрами, 6 — межі сейсмоактивних районів (1 — Північно-Західний, 2 — Вранча, 3 — Південні Карпати, 4 — Банат, 5 — Буковина, 6 — Крішана, 7 — Трансільванія, 8 — Бакеу), 7 — межа регіону.

Fig. 1. Map of the epicenters of the Carpathian earthquakes for 2022: 1 — energy class, 2 — focal depth in km, 3 — seismic station, 4 — foreign seismic stations, 5 — number of earthquakes with the same epicenters, 6 — boundaries of seismically active areas (1 — North-Western, 2 — Vrancea, 3 — Southern Carpathians, 4 — Banat, 5 — Bukovyna, 6 — Krishana, 7 — Transylvania, 8 — Bacău), 7 — the border of the region.

рошський масив) зафіксовано лише один землетрус 8 вересня з $K_p=5,7$ і сейсмічною енергією $5,01 \cdot 10^5$ Дж.

Словаччина у 2022 р. також представлена одним землетрусом з $K_p=6,1$ та енергією $7,94 \cdot 10^5$ Дж. Подія зафіксована 2 червня в

Східнословачській низовині поблизу м. Михайлівці.

На території Угорщини 24 жовтня зареєстровано одну подію о 05 год 19 хв з магнітудою $MSH=1,6$ і $K_p=7,8$ в районі Середньодунайської рівнини.

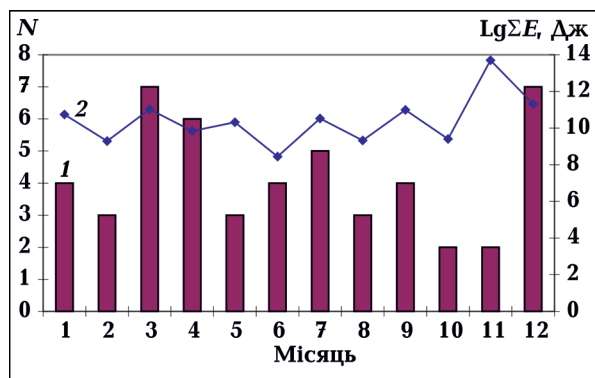


Рис. 2. Розподіл кількості землетрусів (1) і логарифма виділеної енергії (2) у регіоні по місяцях за 2022 р.

Fig. 2. Distribution of the number of earthquakes (1) and the logarithm of the released energy (2) in the region by month for 2022.

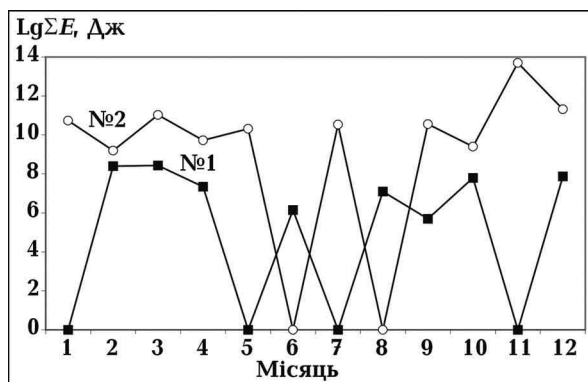


Рис. 3. Розподіл логарифма виділеної енергії по місяцях за 2022 р. в Північно-Західному районі (№ 1) і в районі Вранча (№ 2).

Fig. 3. Distribution of the logarithm of the allocated energy by month for 2022 in the North-West district (No. 1) and in the Vrancea district (No. 2).

Район № 2. Вранча. Гірський масив Вранча — це зона давньої вулканічної діяльності, яка розташована на стику Південних та Східних Карпат. Землетруси зони Вранча мають свій вплив на всю територію України. У 2022 р. мережею сейсмічних станцій Карпатського регіону України тут було зареєстровано 22 землетруси з $K_p=6,3\div 13,7$, сумарна сейсмічна енергія яких становила $5,06\cdot 10^{13}$ Дж. При визначенні координат вогнищ цих землетрусів було враховано дані сейсмічних станцій Румунії, Словаччини, Угорщини, Польщі, Болгарії, Молдови і Криму. Сейсмічними станціями зафіксовано три сильних землетруси, поштовхи яких відчували мешканці Румунії, Молдови, України і Болгарії.

У горах Вранча зафіксовано всього 20 землетрусів енергетичного класу $K_p=9,1\div 13,7$ із сумарною енергією $5,06\times 10^{13}$ Дж. Вогнища глибокофокусних землетрусів зосереджені в гірському масиві Вранча на глибині 80—152 км (18 подій) і в земній корі на глибині 20 км (дві події). Епіцентри землетрусів зорієнтовані вздовж лінії з північного сходу на південний захід. Найбільш сильну і відчутну подію зафіксовано 3 листопада о 04 год 50 хв ($K_p=13,7$, $MSH=4,9$, $h=149$ км). Інтенсивність в епіцентрі становила $I=4\div 5$ балів за шкалою MSK-64 [Медведев и др., 1965]. Землетрус відчувався населенням на території Румунії, Молдови (м. Кагул, м. Кишинів,

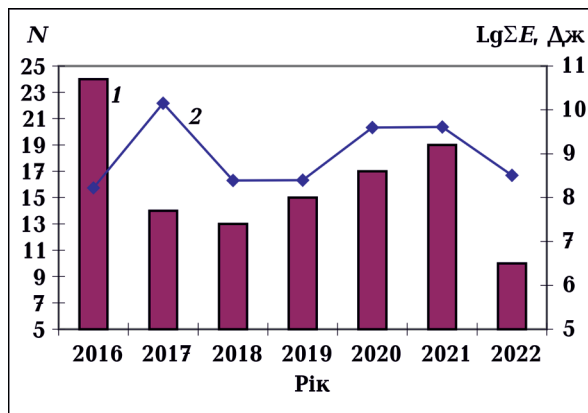


Рис. 4. Розподіл кількості землетрусів (1) і логарифма виділеної енергії (2) в Закарпатті по роках.

Fig. 4. Distribution of the number of earthquakes (1) and the logarithm of the released energy (2) in the Transcarpatian by year.

м. Тираспіль), на півдні України в Одеській області (3 бали), а також в Чернівецькій та Хмельницькій областях і в Болгарії (м. Софія) з інтенсивністю 2 бали. Крім того було зареєстровано ще два дещо слабші землетруси. Один з них стався 16 січня о 13 год 43 хв ($K_p=10,3$, $MSH=3,6$). Інтенсивність в епіцентрі становила 3 бали. Його також відчували мешканці Ізмаїльського району Одеської області ($I=2$ бали). Другий землетрус відбувся 17 грудня о 05 год 42 хв ($K_p=11,3$, $MSH=4,1$, $h=152$ км, $I=3$ бали). Він також відчувався на півдні України в

Одеській області з $I=2$ бали.

Район Мунтенія (східна і південна частина Румунії між р. Дунай, р. Олт і Карпатами) представлений двома землетрусами, які розташовані в земній корі. Сумарна енергія, яка виділилась становила $3,16 \cdot 10^9$ Дж. Один з них зафіксовано 10 січня о 21 год 18 хв ($K_p=9,5$, $MSH=2,9$, $h=10$ км) у Нижньодунайській низовині (район м. Галац), другий — 12 липня о 00 год 34 хв ($K_p=6,3$, $MSH=1,4$, $h=44$ км) у районі м. Фокшани.

Протягом року в цій зоні зареєстровано ще дев'ять сильних коливань земної кори (07.01, 18.01, 14.03, 11.05, 04.07, 13.07, 17.07, 11.09, 13.09) з енергетичним класом $K_p=10,0 \div 11,0$ і магнітудою $MSH=2,6 \div 3,8$.

Район № 3. Південні Карпати. Район знаходиться між перевалом Передял і ущелиною Залізни Ворота. У 2022 р. у цьому сейсмоактивному районі зареєстровано тільки один землетрус 18 вересня о 17 год 55 хв ($K_p=10,8$, $MSH=3,1$, $h=25$ км). Подію зафіксовано в районі гірського масиву Бучеджі.

Район № 5. Буковина. Знаходиться в зоні підвищеного сейсмічного ризику, що охоплює все Буковинське Прикарпаття, Хотинську височину, Сучавське плато та Північнорумунське плато. Тут зареєстровано дев'ять землетрусів із сумарною сейсмічною енергією $8,41 \cdot 10^8$ Дж. Вогнища землетрусів знаходяться в земній корі на глибині 1,8—15 км. У 2022 р. спостерігається зменшення, порівняно з 2021 р., сейсмічної активності на території, яка прилягає до р. Дністер у Чернівецькій області.

На Поділлі зареєстровано два землетруси із сумарною енергією $1,13 \cdot 10^8$ Дж. Вони відбулися в межах басейну р. Дністер (с. Вільховець і с. Рудківці Хмельницької обл.), яка протікає в зоні тектонічних розломів, що генерують землетруси.

На Покутті зареєстровано п'ять землетрусів із сумарною енергією $5,38 \cdot 10^8$ Дж та енергетичним класом $K_p=6,9 \div 8,4$. Дві події (17 листопада і 23 грудня) зафіксовано поблизу м. Новодністовська Чернівецької області ($K_p=6,9$ і $7,3$ відповідно, $h=2 \div 2,5$ км). Один землетрус відбувся на межі Черні-

вецької та Івано-Франківської областей в районі м. Вижиця 24 квітня ($K_p=8,0$, $MSH=1,9$, $h=5$ км). Ще два землетруси зафіксовано 4 червня в районі с. Тарасівці та 10 серпня в районі с. Колінківці Чернівецької області з $K_p=8,4$ і $8,2$ відповідно.

У районі Ботошани (Румунія) зареєстровано лише один землетрус 9 червня о 17 год 19 хв ($E=3,16 \cdot 10^7$ Дж, $K_p=7,5$, $h=3,2$ км).

На території Молдови зафіксовано один землетрус 26 травня о 20 год 49 хв ($K_p=8,2$, $MSH=1,9$, $h=2,0$ км). Подія відбулася поблизу м. Бричани в межах Північнорумунського плато.

Район № 7. Трансільванія. Знаходиться в центральній частині Румунії і майже повністю оточений горами (Внутрішніми Східними Карпатами, Південними Карпатами та Західними Румунськими Карпатами). У 2022 р. тут зафіксовано одну подію, яка відбулась 24 квітня о 07 год 41 хв ($K_p=9,2$, $MSH=2,2$, $h=0,6$ км). При визначенні координат землетрусу було використано дані 11 сейсмостанцій. Землетрус зафіксовано на межі Трансільванії і Внутрішніх Східних Карпат в горах Лепуш.

Район № 8. Бакеу. Розташований на плато Бирлад в східній частині Румунії. У 2022 р. спостерігалось зниження сейсмічної активності району порівняно з попереднім роком ($\Sigma E=2,54 \cdot 10^{11}$ Дж) [Вербицкий и др., 2022]. За рік було зареєстровано лише одну подію 8 лютого о 00 год 24 хв ($K_p=8,1$, $MSH=1,7$, $E=1,26 \cdot 10^8$ Дж, $h=2$ км).

Одна подія у 2022 р. не попала до жодного із восьми сейсмоактивних районів, але знаходиться в межах Карпатського регіону. Вона зареєстрована 22 серпня о 20 год 44 хв ($K_p=9,3$, $MSH=2,9$, $h=2,0$ км) у південно-східній частині Причорноморської низовини на території Молдови. При визначенні координат землетрусу використано дані 10 сейсмостанцій, зокрема і молдовських.

Висновки. Мережею сейсмічних станцій Карпатського регіону в 2022 р. зареєстровано 50 землетрусів у діапазоні енергетичного рівня $K_p=5,7 \div 13,7$. Сумарна сейсмічна енергія, яка виділилась становила $\Sigma E=5,07 \cdot 10^{13}$ Дж, що на порядок вище рівня

минулого року — $3,13 \cdot 10^{12}$ Дж [Вербицкий и др., 2022].

У Закарпатті було зафіксовано 10 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,8 \div 8,0$. Їхня сумарна сейсмічна енергія становила $2,78 \cdot 10^8$ Дж і є на порядок нижчою порівняно з 2021 р. За останні сім років Закарпаття перебуває практично в сейсмічному затишші. Рівень виділеної енергії по роках коливається в межах від $1,7 \cdot 10^8$ до $6,9 \cdot 10^9$ Дж. Вогнища подій знаходяться на глибинах 2,0—4,8 км. Сейсмічність Буковини у 2022 р. представлена дев'ятьма землетрусами. Їхня сумарна сейсмічна енергія становила $8,41 \cdot 10^8$ Дж, тобто біль-

ше ніж на два порядки нижче ніж у 2021 р.

Найбільше сейсмічної енергії виділилося в районі Вранча. Тут зареєстровано 22 землетруси енергетичного класу $K_p=6,3 \div 13,7$, сумарна сейсмічна енергія яких становила $5,06 \cdot 10^{13}$ Дж. Вогнища вранчівських землетрусів зосереджені на глибинах 20—152 км. Активність у районі Вранча спостерігалась протягом року і є на порядок вищою за рівень 2021 р. У таких сейсмоактивних районах, як Південні Карпати, Трансільванія та Бакеу, у 2022 р. зареєстровано лише по одному землетрусу, а в районах Крішана та Банат не зареєстровано жодного.

Список літератури

- Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецкив А.Т., Ницименко И.М., Келеман И.Н., Герасименюк Г.А. Сейсмичность Карпат в 2021 году. *Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И.Вернадского. География. Геология*. 2022. Т. 8. № 4. С. 97—162.
- Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. Москва: Наука, 1982, 273 с.
- Кутас В.В., Руденская И.М., Калитова И.А. Карпатский годограф *P*- и *S*-волн и неоднородности литосферы. *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 3. С. 45—54.
- Кутас В.В., Пронишин Р.С., Руденская И.М. Использование макросейсмических данных при расчете закарпатского годографа *P*- и *S*-волн. В сб.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год*. Симферополь: Изд. ИГ НАНУ, КЭС, 2004. С. 119—126.
- Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений. В кн.: *Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений*. Москва: Изд-во АН СССР, 1974. С. 180—194.
- Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. *Шкала сейсмической интенсивности MSK-64*. Москва: Изд. МГК АН СССР, 1965, 11 с.
- Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений. В сб.: *Методы детального изучения сейсмичности*. Москва: Изд-во АН СССР, 1960, С. 75—114.
- Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км. В сб.: *Экспериментальная сейсмика*. Москва: Изд-во АН СССР, 1964, С. 88—93.
- Herrmann, R.B. (1979). FASTHYPO — a hypocenter location program. *Earthquake Notes*, 50(2), 25—37. <https://doi.org/10.1785/gssrl.50.2.25>.
- Jeffreys, H., & Bullen, R. (1940). *Seismological Tables*. London, 84 p.

The seismicity of the Carpathians in 2022

S.T. Verbytskyi, *R.S. Pronyshyn, V.I. Prokopyshyn, A.T. Stetskiv,
I.M. Nischimenko, I.M. Keleman, G.A. Gerasymenyuk, 2024*

Department of Seismicity of the Carpathian Region of the S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine

According to the results of observations at the seismic stations of the Carpathian region of Ukraine in 2022, the main parameters of 50 earthquakes in the range of energy classes $K_R=5.7\div 13.7$ were obtained. The parameters of seismometric equipment at active seismic stations are given. A catalog of earthquakes, their distribution by regions and energy classes, a map of epicenters, graphs of seismic energy release, and the number of earthquakes in the region by month are presented. A brief description of the seismicity of certain seismically active areas of the Carpathian region is given. The total energy allocated to the region was $\Sigma E=5.06\cdot 10^{13}$ J, which is higher than last year's level of $\Sigma E=3.13\cdot 10^{12}$ J. This year, increased seismic activity was observed in the Vrancea Mountains, where 20 earthquakes of energy class $K_R=9.1\div 13.7$ were recorded. Their total seismic energy was $\Sigma E=5.06\cdot 10^{13}$ J. The foci of the Vrancea earthquakes are concentrated at a depth of $h=80\div 152$ km (18 events) and $h=20$ km (2 events). 10 earthquakes with energy class $K_R=5.8\div 8.0$ were registered in Transcarpathia. Their total seismic energy was $\Sigma E=2.78\cdot 10^8$ J. The strongest was recorded on March 28 with $K_R=8.0$ at 05^h01^m at a depth of $h=2.4$ km. For the past seven years, Transcarpathia has been practically in a seismic lull. On the territory of Bukovyna this year, there is also a decrease in seismic activity compared to 2021. A total of 9 earthquakes with energy class $K_R=6.9\div 8.4$ and total seismic energy $\Sigma E=8.41\cdot 10^8$ J were registered here. The foci of earthquakes are in the earth's crust at a depth of $h=1.8\div 15$ km. In seismically active areas such as the Southern Carpathians, Transylvania, and Bacau, only one earthquake was recorded in 2022, while no event was recorded in the Kryšana and Banat regions. The regional Carpathian hodograph was used to determine the main parameters of earthquakes in Transcarpathia, and the Jeffreys-Bullen hodograph was used for earthquakes in the Vrancea zone and six other regions.

Key words: earthquake, epicenter, origin, seismicity, seismic activity, seismic energy, energy class, magnitude, earthquake intensity, seismic station, seismically active area, Carpathian region, deep fault.

References

- Verbytskyi, S.T., Pronyshyn, R.S., Prokopyshyn, V.I., Stetskiv, A.T., Nischimenko, I.M., Keleman, I.M., & Gerasymenyuk, G.A. (2022). Seismicity of the Carpathians in 2021. *Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky. Geography. Geology*, 8(4), 97—162 (in Russian).
- The instruction about the order of making and processing observations of the USSR.* (1982). Moscow: Nauka, 273 p. (in Russian).
- Kutas, V.V., Rudenskaya, I.M., & Kalitova, I.A. (1999). Carpathian locus of *P*- and *S*-waves and inhomogeneity of the lithosphere. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 21(3), 45—54 (in Russian).
- Kutas, V.V., Pronishin, R.S. & Rudenskaya, I.M. (2004). Use of macroseismic data in the calculation of the Transcarpathian locus of *P*- and *S*-waves. In *Seismological Bulletin of Ukraine for 2002* (pp. 119—126). Simferopol: Ed. of IG NASU, KES (in Russian).
- Malamud, A.S. (1974). The use of the duration of vibrations for energy classification of earthquakes. In *Magnitude and energy classification of earthquakes* (pp. 180—194). Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences (in Russian).
- Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *The scale MSK-64 seismic intensity*. Moscow: Ed. of the IGC AS USSR, 11 p. (in Russian).
- Rautian, T.G. (1960). The energy of earthquakes. In *Methods of detailed study of seismicity* (pp. 75—114). Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences (in Russian).
- Rautian, T.G. (1964). On the determination of energy of earthquakes at distances up to 3000 km. In *Experimental seismicity* (pp. 88—93). Moscow: Publ. House of the USSR Academy of Sciences (in Russian).
- Herrmann, R.B. (1979). FASTHYPO — a hypocenter location program. *Earthquake Notes*, 50(2), 25—37. <https://doi.org/10.1785/gssrl.50.2.25>.
- Jeffreys, H., & Bullen, R. (1940). *Seismological Tables*. London, 84 p.