

Сейсмічність Карпат у 2023 році

*Р.С. Пронишин, Б.Є. Купльовський, В.І. Прокопишин, О.Т. Стецьків,
І.М. Ніщіменко, І.М. Келеман, Г.А. Герасименюк, А.Я. Батюк, 2024*

Відділ сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики
ім. С.І. Субботіна НАН України, Львів, Україна
Надійшла 29 липня 2024 р.

За результатами спостережень на сейсмічних станціях Карпатського регіону України у 2023 р. отримано основні параметри 81 землетрусу в діапазоні енергетичних класів $K_p=5,8\div 13,7$. Наведено параметри сейсмометричної апаратури на діючих сейсмічних станціях. Представлено каталог землетрусів, їх розподіл по районах та енергетичних класах, наведено карту епіцентрів, графіки виділення сейсмічної енергії та кількості землетрусів у регіоні по місяцях. Подано коротку характеристику сейсмічності окремих сейсмоактивних районів Карпатського регіону. Загальна виділена енергія в регіоні становить $\Sigma E=9,06\cdot 10^{13}$ Дж, що дещо вище рівня минулого року: $\Sigma E=5,06\cdot 10^{13}$ Дж. Цього року підвищена сейсмічна активність спостерігалася в трьох сейсмоактивних районах. Так в Північно-Західному районі було зафіксовано 19 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,7\div 13,7$. Їх сумарна сейсмічна енергія становила $\Sigma E=5,02\cdot 10^{13}$ Дж. Найсильнішими в цьому районі були землетрус, що відбувся 9 жовтня о 18 год 23 хв на території Словаччини, неподалік від м. Гуменне, з $K_p=13,7$ і інтенсивністю в епіцентрі 8 балів, а також землетрус на території Закарпаття, в районі с. Довге, 3 січня о 13 год 28 хв з магнітудою $MSH=3,1$, $K_p=10,7$ на глибині $h=9,6$ км та інтенсивністю в епіцентрі близько 5 балів. У Південних Карпатах було зареєстровано 29 землетрусів з $K_p=8,8\div 13,0$ на глибині 2—35 км із сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=3,72\cdot 10^{13}$ Дж. Третім, цього року, за сейсмічними проявами, після тривалого сейсмічного затишшя, активізувався район Крішана. Тут відбулося вісім землетрусів з $K_p=7,6\div 12,3$ з сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=2,56\cdot 10^{12}$ Дж. Вогнища землетрусів були в земній корі на глибинах $h=2,0\div 15,1$ км. Цього року менш активним порівняно з минулим роком був район Вранча. За весь рік зафіксовано 19 подій з $K_p=8,4\div 11,5$, сумарна сейсмічна енергія яких дорівнює $\Sigma E=6,41\cdot 10^{11}$ Дж. На території Буковини цього року також спостерігається зниження активності порівняно з 2022 р. Усього тут зареєстровано чотири землетруси з енергетичним класом $K_p=5,8\div 7,8$ з сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=1,05\cdot 10^6$ Дж. Вогнища землетрусів розміщуються в земній корі на глибинах $h=1,1\div 5$ км. У районі Бакеу у 2023 р. було зареєстровано лише два слабких землетруси, а в районі Трансильванії не зареєстровано жодного. Для визначення основних параметрів землетрусів Закарпаття використано регіональний Карпатський годограф, а параметрів землетрусів зони Вранча та інших шести районів — годограф Джефріса—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 поділений на території України, Польщі, Словаччини, вісім сейсмоактивних районів, він займає Угорщини, Румунії і Молдови. Зведена об-

Citation: Pronyshyn, R.S., Kuplovskiy, B.E., Prokopyshyn V.I., Stetskiy A.T., Nischimenko I.M., Keleman, I.M., Gerasymenyuk, G.A., & Batiuk, A.Ya. (2024). The seismicity of the Carpathians in 2023. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(5), 82—92. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i5.309221>.

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/>).

робка і інтерпретація землетрусів, які фіксуються в регіоні, виконується у Відділі сейсмічності Карпатського регіону Інституту геофізики (ІГФ) НАН України (м. Львів) за даними сейсмостанцій Інституту і міжнародної мережі спостережень. Основні параметри землетрусів Карпатського регіону визначено з додатковим використанням даних сейсмічних служб Молдови, Румунії, Угорщини, Словаччини і Польщі. Комплексну обробку даних здійснено для території, обмеженої координатами: 45°N—21°E, 50,5°N—21°E, 50,5°N—25°E, 45,5°N—25°E, 49,5°N—30°E, 44°N—30°E, 44°N—25°E, 45°N—25°E.

Система спостережень. У Карпатському регіоні в 2023 р. функціонувала сейсмологічна мережа інструментальних спостережень, до якої входять 23 стаціонарні сейсмічні станції: «Львів» (LVV — Лвв), «Ужгород» (UZH — Ужг), «Міжгір'я» (MEZ — Мжг), «Косів» (KSV — Кос), «Моршин» (MORS — Мрш), «Тросник» (TRSU — Трс), «Нижнє Селище» (NSLU — Нсл), «Городок» (HORU — Гор), «Чернівці» (CHRU — Чрн), «Берегове» (BERU — Брг), «Брід» (BRIU — Брд), «Мукачєво» (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). Станція «Бережани», яка знаходиться в 50 км на південний захід від м. Тернопіль, була відкрита в серпні 2021 р. Станція «Меджибіж» відкрита у жовтні 2021 р. і розташована в 30 км на схід від м. Хмельницький. На всіх сейсмічних станціях інструментальні спостереження проводилися з використанням цифрової апаратури, створеної у Відділі сейсмічності Карпатського регіону ІГФ НАН України. Основні параметри апаратури, яка фіксувала події, наведено в табл. 1.

На всіх сейсмічних станціях події фіксували за трьома компонентами: N—S; E—W; Z. Обробку спостережень на сейсмічних станціях здійснювали згідно з Інструкці-

єю [Інструкція ..., 1982]. Для отримання динамічних характеристик на сейсмічних станціях використовували амплітудно-частотні характеристики каналів у форматі PAZ GSE1.

Результати спостережень. При обробці і інтерпретації цифрових записів застосовуються декілька частотних фільтрів, а також корекція на амплітудно-частотну передаточну характеристику приладів. Це дозволяє фіксувати досить слабкі землетруси. Цифрове зображення записів дає можливість зберігати їх безпосередньо в базі даних.

При обробці і інтерпретації цифрових записів для більш надійного виділення нечітких або зашумлених сейсмічних фаз застосовано 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, а також приводять сигнал до одиниць руху ґрунту (мкм, мкм/с). Для цього використовують розраховані для кожного сейсмічного каналу амплітудно-частотну характеристику і чутливість на відгук (з розмірністю швидкості) (мкм/с).

Для визначення основних параметрів: часу виникнення, координат і глибин вогнищ, нев'язки визначень і динамічних характеристик землетрусів Карпатського регіону, використано додатково дані сейсмічних служб Молдови, Румунії, Словаччини, Польщі та Угорщини.

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

Для місцевих землетрусів енергетичний клас (K_p) визначено за номограмою Раутиан [Раутиан, 1964], а локальну магнітуду — за максимальною амплітудою коливань ґрунту A за Ріхтером:

$$ML = \lg(A_{z_{\max}}) - \lg(A_0).$$

Для землетрусів у районі Вранча магні-

Таблиця 1. Апаратура і технічні характеристики цифрових сейсмічних станцій у 2023 р.

Номер	Назва станції (рік заснування)	H, м	Координати		Апаратура			
			φ°, N	Λ°, E	Тип	Динамічний діапазон	Частотний діапазон	Чутливий відлік, мкм/с
1	Львів LVV (1899)	320	49,820	24,031	Guralp CMG-40T	140	0,03—12	0,8·10 ⁻⁹
2	Моршин MORU (1978)	260	49,124	23,876	DAS-05 СМ3	120	0,2—15	—
3	Ужгород UZH (1934)	160	48,629	22,291	DAS-05 СКД	120	0,2—15	1,05·10 ⁻⁹
4	Міжгір'я MEZ (1961)	460	48,514	23,514	DAS-05 СКД	120	0,02—15	9,6·10 ⁻¹⁰
5	Тросник TRSU (1987)	120	48,095	22,957	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	2,05·10 ⁻¹⁰
6	Нижнє Селище NSLU (1987)	250	48,198	23,457	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	—
7	Рахів RAK (1956)	460	48,036	24,173	DAS-05 СКД	120	0,02—15	4,98·10 ⁻¹⁰
8	Косів KSV (1961)	450	48,314	25,065	DAS-04 СКД	120	0,02—15	6,64·10 ⁻¹⁰
9	Чернівці CHRU (1907)	300	48,298	25,922	DAS-05 СКД	120	0,02—15	1,27·10 ⁻⁹
10	Городок HORU (1991)	340	49,214	26,426	DAS-05 СМ-3	120	0,2—15	—
11	Королево KORU (1998)	160	48,157	23,134	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	1,05·10 ⁻¹⁰
12	Мукачеве MUKU (1999)	125	48,454	22,687	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	1,17·10 ⁻¹⁰
13	Берегове BERU (2000)	160	48,234	22,646	DAS-05 СМ-3	120	0,2—15	—
14	Брід BRIU (2000)	180	48,338	23,020	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	1,85·10 ⁻¹⁰
15	Кам'янець-Подільський КМПУ (2005)	121	48,563	26,460	DAS-05 СКД	120	0,02—15	—
16	Новодністровськ NDNU (2006)	242	48,595	27,366	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	3,04·10 ⁻¹⁰
17	Східниця SHIU (2006)	600	49,225	23,359	DAS-05 СМ-3	120	0,2—15	6,98·10 ⁻¹⁰
18	Старуна STNU (2007)	391	48,710	24,502	DAS-05 СМ-3	120	0,2—15	—
19	Стужиця STZU (2011)	385	49,016	22,623	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	1,84·10 ⁻¹⁰
20	Холмець HOLU (2014)	134	48,527	22,384	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,2—15	—
21	Любешка LUBU (2019)	355	49,599	24,378	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,03—12	1,84·10 ⁻¹⁰
22	Бережани BRZU (2021)	292	49,4572	24,9511	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,03—12	1,84·10 ⁻¹⁰
23	Меджибіж MDZU (2021)	276	49,4370	27,4122	DAS-05 СМ-3КВ	120	0,03—12	1,84·10 ⁻¹⁰

туда визначається за поперечною хвилею за формулою [Инструкция ..., 1982]

$$MSH = \lg A_s + 1,32 \lg(\Delta, \text{км}) + 0,8,$$

а енергетичний клас за рівнянням Раутиан [Раутиан, 1960]:

$$K_p = 1,8MSH + 4,0.$$

На всіх сейсмостанціях як енергетичний параметр сейсмічних подій визначали магнітуду за довжиною (D) запису із застосуванням формули Маламуда [Маламуд, 1974]:

$$MD = 2,67 \lg(D, \text{хв}) + 1,65,$$

енергетичний клас KD розрахований за формулою Раутиан [Раутиан, 1960]:

$$KD = 1,8MD + 4,0.$$

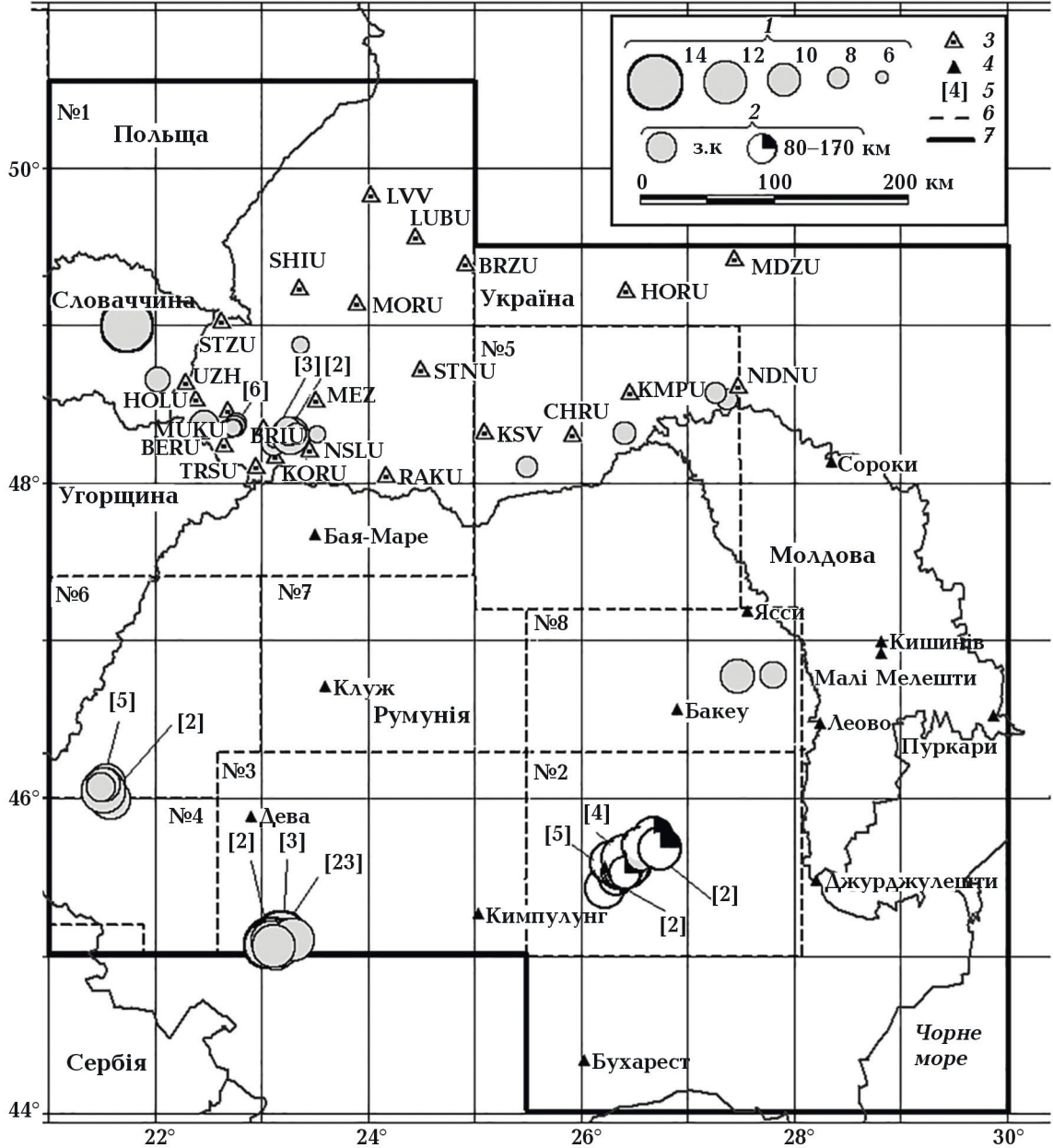


Рис. 1. Карта епіцентрів землетрусів Карпат за 2023 рік: 1 — енергетичний клас; 2 — глибина вогнища, км; 3 — сейсмічна станція; 4 — зарубіжні сейсмічні станції; 5 — кількість землетрусів з однаковими епіцентрами; 6 — межі сейсмоактивних районів (1 — Північно-Західний, 2 — Вранча, 3 — Південні Карпати, 4 — Банат, 5 — Буковина, 6 — Кришана, 7 — Трансільванія, 8 — Бакеу); 7 — межа регіону.

Fig. 1. Map of the epicenters of the Carpathian earthquakes for 2023: 1 — energy class; 2 — focal depth, 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 — Bukovina, 6 — Krishana, 7 — Transylvania, 8 — Bacău); 7 — the border of the region.

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

Основні параметри землетрусів визначали за допомогою програми НУРО [Herrmann, 1979]. Важливими даними є: дата землетрусу, географічні координати сейсмічних станцій, час вступу (виникнення) сейсмічних хвиль P і S на цих станціях. Для розрахунку використано відповідні годографи, задані в табличній формі. Програма виконує розрахунок координат, час виникнення землетрусу і оцінку точності результату як середнє квадратичне відхилення за координатами епіцентру, і часу у вогнищі землетрусу. З огляду на особливості поширення сейсмічних хвиль у Карпатському регіоні для визначення основних параметрів землетрусів Північно-Західного району (№ 1) застосовано регіональний Карпатський годограф [Кутас и др., 1999, 2004], а для подій зони Вранча (№ 2) і районів № 3—№ 8 — годограф Джефріса—Булена [Jeffreys, Bullen, 1940].

Усього в 2023 р. сейсмічними станціями Карпатського регіону України зареєстровано 81 землетрус енергетичного класу $K_p=5,8\div 13,7$. Для всіх подій визначено основні параметри. На карті (зображено

епіцентри землетрусів, що зафіксовані в сейсмоактивних районах Карпатського регіону. Результати обробки сейсмічних подій наведено в Додатку 1 на сайті журналу (Каталог землетрусів Карпат за 2023 р. (табл. 3) і «Детальні дані землетрусів Карпат за 2023 р.» (табл. 4)).

Відомості про розподіл землетрусів по районах за енергетичними класами і сейсмічною енергією, що виділилася, наведено в табл. 2.

Сумарна сейсмічна енергія, яка виділилася у Карпатському регіоні в 2023 р. становила $\Sigma E=9,06\cdot 10^{13}$ Дж, що є дещо вищою від за рівень минулого року: $\Sigma E=5,06\cdot 10^{13}$ Дж [Вербицький та ін., 2024]. Найбільше сейсмічної енергії виділилося у Північно-Західному районі (№ 1) — $\Sigma E=5,02\cdot 10^{13}$ Дж, і в районі Південних Карпат (№ 3) — $\Sigma E=3,73\cdot 10^{13}$ Дж. Цього року сейсмічна енергія, що виділилася у Північно-Західному районі, на п'ять порядків вища за рівень минулого року: $\Sigma E=6,94\cdot 10^8$ Дж [Вербицький та ін., 2024]. Сейсмічна енергія, що виділилася у Прикарпатті, становить $\Sigma E=1,0\cdot 10^6$ Дж, у Закарпатті — $\Sigma E=5,39\cdot 10^{10}$ Дж, у Словаччині — $\Sigma E=5,01\cdot 10^{13}$ Дж.

Сумарна сейсмічна енергія, яка виділилася в районі Вранча (№ 2), дорівнювала: $\Sigma E=6,41\cdot 10^{11}$ Дж, що на два порядки нижче

Т а б л и ц я 2. Розподіл землетрусів за енергетичними класами та сумарною сейсмічною енергією по районах за 2023 р.

Номер району	Район	K_p									Кількість землетрусів	ΣE , Дж
		6	7	8	9	10	11	12	13	14		
1	Північно-Західний:										19	$5,02\cdot 10^{13}$
	Передкарпаття	1	—	—	—	—	—	—	—	—	1	$1,00\cdot 10^6$
	Закарпаття	5	5	3	2	—	1	—	—	—	16	$5,39\cdot 10^{10}$
	Словаччина	—	—	—	1	—	—	—	—	1	2	$5,01\cdot 10^{13}$
2	Вранча	—	—	1	5	9	4	—	—	—	19	$6,41\cdot 10^{11}$
3	Південні Карпати	—	—	—	9	12	4	1	3	—	29	$3,73\cdot 10^{13}$
4	Банат	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
5	Буковина	2	—	2	—	—	—	—	—	—	4	$1,05\cdot 10^8$
6	Румунія, Кришана	—	—	2	1	1	2	2	—	—	8	$2,56\cdot 10^{12}$
7	Трансільванія	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	0
8	Район Бакеу	—	—	1	1	—	—	—	—	—	2	$4,48\cdot 10^8$
	Усього:	8	5	9	19	22	11	3	3	1	81	$9,06\cdot 10^{13}$

від рівня енергії, яка виділилася у 2022 р.: $\Sigma E=5,06 \cdot 10^{13}$ Дж [Вербицький та ін., 2024]. У 2023 р. дуже активними були Південні Карпати, де відбулося 29 землетрусів з $K_p=9 \div 13$. З 2015 по 2022 р. у цьому районі реєстрували переважно по одному або по два землетруси.

Доволі активним у цьому році був район № 6 (Крішана) в Румунії, який останні 11 років перебував у сейсмічному затишші. Не дуже активною цього року була Буковина, де відбулося лише чотири землетруси. У районах № 4 і 7 землетрусів не зафіксовано.

Характер проявів сейсмічних процесів у регіоні протягом року по місяцях показано на рис. 2 і 3 у вигляді діаграм. Найбільше землетрусів в регіоні зафіксовано в лютому — 19, а найменше в серпні — лише два. Максимум виділеної сейсмічної енергії припадає на жовтень: — $\Sigma E=5,01 \cdot 10^{13}$ Дж, а мінімум — на квітень — $\Sigma E=7,29 \cdot 10^9$ Дж.

Район № 1, Північно-Західний. У цьому сейсмоактивному районі зареєстровано 19 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,7 \div 13,7$ зі сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=5,02 \cdot 10^{13}$ Дж. Цей район був активний протягом року. Найбільше подій зафіксовано в грудні (6 подій). У червні, серпні та листопаді тут не зафіксовано жодного землетрусу (рис. 3).

А. Прикарпаття представлено однією подією з $K_p=6,0$, сейсмічна енергія якої

становить $\Sigma E=1,0 \cdot 10^6$ Дж. Землетрус зафіксовано 23 березня в районі с. Пшонець Львівської області з магнітудою $MSH=0,8$ та глибиною $h=5$ км.

Б. На Закарпатті цього року відбулося 16 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,7 \div 10,7$. Їх сумарна сейсмічна енергія становить $\Sigma E=5,39 \cdot 10^{10}$ Дж. Вона є вищою, ніж у минулому році ($\Sigma E=2,78 \cdot 10^8$ Дж) [Вербицький та ін., 2024]. Вогнища землетрусів розміщуються на глибині $h=3,5 \div 12,1$ км.

Епіцентри землетрусів перебувають у межах раніше виділених сейсмоактивних зон уздовж Вирголат-Гутинської гряди (Вулканічного гірського масиву Вигорлат) і тяжіють до Закарпатського і Припаннонського глибинних розломів. Всі цьогорічні землетруси цього району зафіксовано вздовж Вулканічного хребта з боку Закарпатської низовини. П'ять землетрусів зареєстровано в районі с. Довге: 03.01 з $K_p=10,7$; 04.01 з $K_p=7,8$; 14.04 з $K_p=9,4$, 02.07 з $K_p=8,0$ та 03.07 з $K_p=6,5$, шість — 28 грудня в районі м. Мукачево з $K_p=6,8$; 6,8; 6,1; 5,7; 6,3; 6,6 на глибині від 4 до 4,9 км; три — 14 вересня в районі с. Великий Раковець з $K_p=6,4$; 8,0 і 6,6 та по одному в районі с. Забрідь з $K_p=6,6$ і с. Велика Добронь з $K_p=9,0$. Найсильнішим з них був землетрус, зафіксований в районі с. Довге 3 січня о 13 год 28 хв з магнітудою $MSH=3,1$, $K_p=10,7$ на глибині $h=9,6$ км та з інтенсивністю в епіцентрі біля 5 балів за шкалою MSK-64 [Медведев и др., 1965].

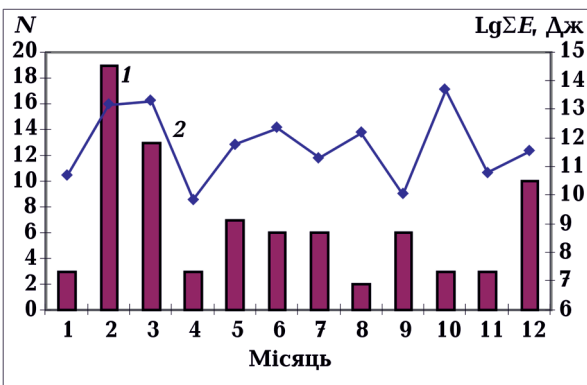


Рис. 2. Розподіл кількості землетрусів (1) і логарифма виділеної енергії (2) в регіоні по місяцях за 2023 р.

Fig. 2. Distribution of the number of earthquakes (1) and the logarithm of the released energy (2) in the region by month for 2023.

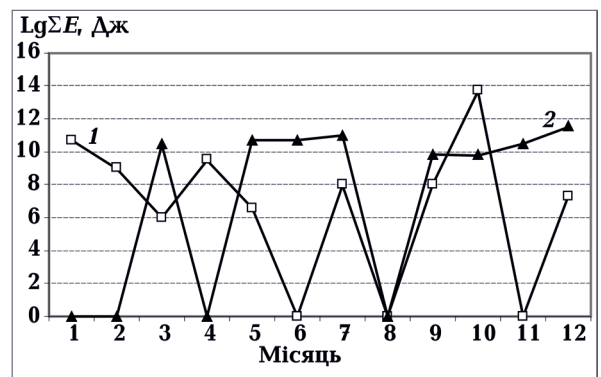


Рис. 3. Розподіл логарифма виділеної енергії по місяцях за 2023 р. у Північно-Західному районі (1) і в районі Вранча (2).

Fig. 3. Distribution of the logarithm of the allocated energy by month for 2023 in the North-West district (1) and in the Vrancea district (2).

Землетрус в основному відчували люди в населених пунктах у радіусі до 20 км від епіцентру: Довге, Хуст, Іршава, Липецька Поляна, Кушниця, Лисичево, Приборжавське, Білки, Бронька, Чертеш, Кошелево, Горінчево, Рокосово, Липовець, Руня, Іза, Березово, Боронява, Імстичево, а також у Виноградіві, яке розташована на відстані 28 км від епіцентру.

Дана серія землетрусів у районі с. Довге мала початок у грудні 2022 р. Тоді відбулося три землетруси: один — 28.12 з $K_p=7,3$ і два — 31.12 з $K_p=7,7$, які можна вважати форшоками до головного поштовху, що відбувся 03.01.2023 р. А чотири землетруси, які виникли після головного поштовху, це його афтершоки (рис. 4).

У межах с. Довге відомі сильні землетруси і в минулому. Останні з них відбулися 03.09.1867 р. з $I_0=5\div 6$ балів; 26.12.1872 р. з $I_0=7$ балів; 25.09.1910 р. з $I_0=4\div 5$ балів; 15.07.1961 р. з $I_0=4$ бали [Новый ..., 1977] та багато інших за інструментальний період спостережень з інтенсивністю від 2 до 3 балів.

Ще один відчутний землетрус, але дещо слабший, було зареєстровано в районі с. Велика Добронь 27 лютого 2023 р. о 01 год 15 хв з $K_p=9,0$, глибина вогнища —

6 км. Деякі мешканці села прокидалися, спочатку чули вибух, а потім відчули тремтіння вікон і дверей, звертали увагу на хитання люстр та коливання, які були подібні до коливань в разі руху важкої машини. У с. Ракошин землетрус теж відчували.

В. Словаччина представлена двома землетрусами енергетичного класу K_p (8,9 і 13,7) із сумарною енергією $\Sigma E=5,01\cdot 10^{13}$ Дж. Ця енергія на вісім порядків вища, ніж минулого року ($\Sigma E=7,94\cdot 10^5$ Дж) [Вербицький та ін., 2024]. Перша подія відбулася 26.04 о 17 год 47 хв у районі с. Сенне, яке розташоване в 11 км на південний захід від м. Михайловці та в 30 км від м. Гуменне, з $K_p=8,9$, $MSH=2,1$ (глибина вогнища $h=8$ км). Друга подія відбулась у межах вулканічного гірського масиву Вигорлат 9 жовтня 2023 р. о 18 год 23 хв 08,43 с між селами Нова Келча і Дяпаловці, в безпосередній близькості від водосховища Домаша та в 20 км на північний захід від м. Гуменного, з магнітудою $MSH=4,8$ і енергетичним класом $K_p=13,7$ на глибині $h=8,8\pm 0,6$ км та координатами: $\varphi=49,0763\pm 1,4$ км, $\lambda=21,7275\pm 1,0$ км. При визначенні координат землетрусу використано дані 14 сейсмічних станцій Карпатської сейсмологічної мережі України та 16 зарубіжних станцій в радіусі 350 км. Згідно з даними Відділу сейсмології Інституту наук про Землю Словацької академії наук землетрус має координати: $\varphi=49,0575\pm 0,8556$ км, $\lambda=21,7173\pm 0,7508$ км і відбувся о 18 год 23 хв 2023 р. 08,9 с з магнітудою $Ml=4,9$ на глибині $7,32\pm 2,02$ км та інтенсивністю в епіцентрі 8 балів за шкалою EMS-98. Як бачимо, параметри землетрусу, що отримані словацькими сейсмологами, не дуже відрізняються від наших визначень.

Землетрус відчувався в радіусі 200 км від епіцентру. Відстань від епіцентру землетрусу до державного кордону з Україною становить приблизно 50—60 км. Землетрус відчувався мешканцями на території України в Закарпатській області (Ужгород, Мукачево) з інтенсивністю $I=4\div 5$ балів за шкалою MSK-64. З розповідей людей вони втрачали рівновагу, хитало наче в човні. У Львові, Новояворівську, Золочеві та Чер-

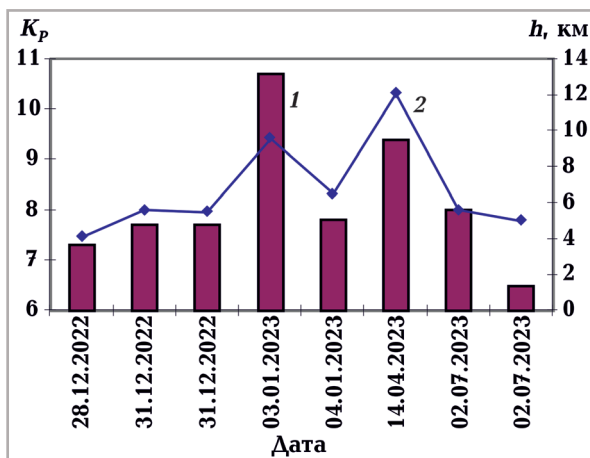


Рис. 4. Розподіл землетрусів з району с. Довгого 2022—2023 рр. за енергетичним класом K_p та глибиною вогнища h .

Fig. 4. Distribution of earthquakes from the region of the village of Dovhogo for 2022—2023 according to the energy class of the K_p and the depth of foci h .

вонограді мешканці відчували поштовхи та легкі коливання. Землетрус також відчувався у Польщі (Підкарпатське воєводство) з інтенсивністю $I=3\div 4$ бали, Румунії (Сату-Маре), Угорщині, Чехії (Острава, Трубско) з $I=2\div 3$ бали. В останнє такий сильний землетрус тут відбувся 23.12.1778 р. на глибині 8 км з інтенсивністю в епіцентрі $I_0=8$ балів, який супроводжувався одним форшоком 19 грудня з інтенсивністю $I_0=6$ балів і повторним поштовхом 06.04.1779 р. з інтенсивністю 7 балів [Новый ..., 1977]. Землетрус 23.12.1778 р. тоді відчувався фактично на всьому заході України, у Польщі, Словаччині та Чехії. Зона, в якій відбувся цей землетрус, була доволі активною у 1780, 1785, 1890, 1914 та 1941 рр. Пізніше вона перебувала у сейсмічному затишші аж до 2023 р. Тут мали місце лише землетруси з енергетичним класом $K_p=6\div 8$.

Район № 2, Вранча. Гірський масив Вранча — це зона давньої вулканічної діяльності, яка розміщується на ділянці стикування Південних і Східних Карпат. Землетруси зони Вранча впливають на всю територію України. Район Вранча був сейсмоактивним протягом року. Мережею сейсмічних станцій Карпатського регіону України тут було зареєстровано 19 землетрусів з $K_p=8,4\div 11,5$, сумарна сейсмічна енергія яких становить $\Sigma E=6,41\cdot 10^{11}$ Дж. Найбільша кількість землетрусів зафіксована в березні — 6, а найменша, по одному — в травні і листопаді. У січні, лютому, квітні та серпні тут не відбулося жодного землетрусу (рис. 3). 18 вогнищ землетрусів зосереджені на глибині $h=107\div 152$ км, один землетрус відбувся в земній корі гірського масиву Вранча на глибині $h=13$ км. Епіцентри землетрусів зорієнтовані вздовж лінії з північного сходу на південний захід. При визначенні координат вогнищ цих землетрусів були враховані дані сейсмічних станцій Румунії, Словаччини, Угорщини, Польщі, Болгарії, Молдови. Цього року район був менш активним порівняно з минулим — 22 події з $\Sigma E=5,06\cdot 10^{13}$ Дж [Вербицький та ін., 2024].

Протягом року в даній зоні зафіксовано ще вісім доволі сильних коливань зем-

ної кори — 12.03, 20.05, 17.06, 07.07, 26.11, 03.12, 09.12, 24.12 з енергетичним класом $K_p=10,1\div 11,5$ і магнітудою $MSH=2,9\div 4,4$.

Район № 3, Південні Карпати, розміщується між перевалом Передял і ущелиною Залізні Ворота. Останні роки тут фіксували по одному або по два землетруси, а в деякі роки не було жодного. У цьому році район Південних Карпат був надзвичайно сейсмоактивним. Тут зафіксовано 29 корових землетрусів на глибині $h=2\div 35$ км з енергетичним класом $K_p=8,8\div 13,0$ і сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=3,72\cdot 10^{13}$. Події зареєстровані в районі г. Вилкан (група гір Ретезат—Годяну). Цей район був активним протягом року. Найбільшу кількість землетрусів зареєстровано в лютому (17 подій) і в березні (6 подій). У січні, травні, жовтні та грудні в Південних Карпатах не зафіксовано жодного землетрусу. Найсильніші та відчутні події було зафіксовано 13 лютого о 14 год 58 хв з енергетичним класом $K_p=12,7$ і магнітудою $MSH=3,9$ та 14 лютого о 13 год 16 хв з енергетичним класом $K_p=13,0$ і магнітудою $MSH=4,5$. Ці землетруси відчувались населенням Сербії, Болгарії, Косово з інтенсивністю $I=3$ бали, Туреччини, Македонії, Боснії і Герцеговини та Албанії з $I=2\div 3$ бали.

Протягом року в цій зоні зафіксовано ще шість сильних коливань земної кори (15.02, 20.03, 19.06, 18.07, 20.08, 10.11) з енергетичним класом $K_p=10,5\div 13,3$ і магнітудою $MSH=3,0\div 4,2$. Глибина вогнищ цих землетрусів коливалася від 2 до 10 км.

Район № 5, Буковина, розміщується в зоні підвищеного сейсмічного ризику, яка охоплює все Буковинське Прикарпаття, Хотинську височину, Сучавське плато та Північномолдовське плато. У цьому районі в 2023 р. було зареєстровано лише чотири землетруси енергетичного класу $K_p=5,8\div 7,8$ зі сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=1,05\cdot 10^8$ Дж. Вогнища землетрусів розміщуються в земній корі на глибині $h=1,1\div 5,0$ км. У цьому році тут знову спостерігалось зменшення сейсмічної активності порівняно з попередніми роками.

Дві події було зафіксовано поблизу м. Новодністровська Чернівецької області:

21.01.2024 з $K_p=6,2$ і магнітудою $MSH=1,3$ та 27.07.2023 з $K_p=5,8$ і магнітудою $MSH=0,9$. Обидва землетруси мали глибину $h=2$ км. Наступний землетрус відбувся 24.08.2023 поблизу с. Жилівка, недалеко від державного кордону між Україною і Румунією: $K_p=7,6$, $MSH=1,7$ і $h=5$ км. Ще один землетрус зареєстрований 14.11.2023 р. у районі с. Банилів на межі Чернівецької та Івано-Франківської областей з $K_p=7,8$, $MSH=1,5$ на глибині $h=1,1$ км.

Крім того, протягом 2023 р. сейсмічною станцією «Новодністровськ» у районі Дністровського енергокомплексу було зареєстровано 59 сейсмічних подій з $K<5$. Точні координати цих подій встановити неможливо, тому вони не наведені в каталозі землетрусів.

Район № 6, Крішана займає частину території західної Румунії і частину південно-східної Угорщини. Ця територія після тривалого сейсмічного затишшя (остання подія зафіксована в 2011 р.) представлена вісьмома подіями енергетичного класу $K_p=7,6\div 12,3$ зі сумарною сейсмічною енергією $\Sigma E=2,56\cdot 10^{12}$ Дж. Вогнища землетрусів розміщуються в земній корі на глибині $h=2,0\div 15,1$ км. Найбільше подій відбулося у травні — п'ять. Найсильніший землетрус виник 6 червня о 17 год 26 хв з $K_p=12,3$, $MSH=4,1$ і $h=9,9$ км. Його зареєстрували 15 сейсмічних станцій Карпатської сейсмологічної мережі. Ще два землетруси зареєстровано у червні і один — у грудні. Вогнища подій зафіксовані в долині р. Муреш у межах Середньодунайської рівнини.

Район № 8, Бакеу. Сейсмоактивний район Бакеу розміщується на плато Бирлад у східній частині Румунії. Цього року тут спостерігається низька сейсмічна активність. За рік було зареєстровано лише дві події енергетичного класу $K_p=7,7$ і $8,6$ із сумарною сейсмічною енергією $\Sigma K=4,48\cdot 10^8$ Дж. Перший землетрус зафіксовано 28 лютого о 16 год 42 хв з $K_p=8,6$ і магнітудою $MSH=2,3$ на глибині 7,3 км, другий — 18 червня о 15 год 26 хв з $K_p=7,7$ та $MSH=2,8$ на глибині 3 км.

Висновки. Мережею сейсмічних станцій Карпатського регіону в 2023 р. за-

реєстровано 81 землетрус у діапазоні енергетичного рівня $K_p=5,7\div 13,7$. Виділена сумарна сейсмічна енергія становила $\Sigma E=9,06\cdot 10^{13}$ Дж, що дещо вище рівня минулого року — $5,07\cdot 10^{13}$ Дж.

Цього року підвищена сейсмічна активність порівняно з попередніми роками спостерігалась у Словаччині, Південних Карпатах та в Крішані. Закарпаття попередні роки перебувало у сейсмічному затишші. У 2023 р. тут було зафіксовано 16 землетрусів енергетичного класу $K_p=5,7\div 10,7$. Їхня сумарна сейсмічна енергія становила $\Sigma E=5,39\cdot 10^{10}$ Дж і є на два порядки вищою порівняно з такою в 2022 р. Вогнища подій розміщуються на глибинах 3,5—12,1 км. Таке підвищення активності сталося через серію землетрусів в районі с. Довге, максимальний з яких відбувся 3 січня з $K_p=10,7$ на глибині 9,6 км і відчувався мешканцями в радіусі 20 км. Особливої уваги заслуговує землетрус, який відбувся у Словаччині недалеко від м. Гуменне 9 жовтня з $K_p=13,7$ і магнітудою $MSH=4,8$. Землетрус відчували на території України в Закарпатській та Львівській областях. Останній землетрус такої сили тут зафіксовано 23.12.1778 р. з $I_0=8$ балів.

Південні Карпати цього року були дуже сейсмоактивними порівняно з минулими роками. Сумарна сейсмічна енергія 29 землетрусів тут становила $3,72\cdot 10^{13}$ Дж. Після 12-річного сейсмічного затишшя також активізувався район Крішана, в якому відбулося 8 землетрусів з сумарною сейсмічною енергією $2,56\cdot 10^{12}$ Дж.

Район Вранча цього року був менш активним порівняно з 2022 р. Тут зареєстровано 19 землетрусів енергетичного класу $K_p=8,4\div 11,5$ з $\Sigma E=6,41\cdot 10^{11}$ Дж. Вогнища вранчівських землетрусів розміщуються на глибині 13,2—152 км. Активність у районі Вранча спостерігалась протягом року.

Сейсмічність Буковини у 2023 р. представлена лише чотирма землетрусами. Їхня сумарна сейсмічна енергія становила $1,05\cdot 10^8$ Дж, що є значно нижчою, ніж у 2022 р., — $8,41\cdot 10^8$ Дж.

Дуже низьку сейсмічну активність цього року спостерігали у районі Бакеу, де від-

булося лише два слабких землетруси. У районах № 4 (Банат) і № 7 (Трансільванія) не було зареєстровано жодної сейсмічної події.

Список літератури

- Вербицький С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.І., Стецьків О.Т., Ніщіменко І.М., Келеман І.М., Герасименюк Г.А. Сейсмічність Карпат у 2022 році. *Геофиз. журн.* 2024. Т. 46. № 1. С. 52—62. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i1.298660>.
- Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР.* Москва: Наука, 1982, 273 с.
- Кутас В.В., Пронишин Р.С., Руденская И.М. Использование макросейсмических данных при расчете закарпатского годографа Р- и S-волн. В сб.: *Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год.* Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2004, С. 119—126.
- Кутас В.В., Руденская И.М., Калитова И.А. Карпатский годограф Р- и S-волн и неоднородности литосферы. *Геофиз. журн.* 1999. Т. 21. № 3. С. 45—54.
- Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений. В кн.: *Магнитуда и энергетическая классификация землетрясе-*
- ний,* Т. II. 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.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.* Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шейбалин. Москва: Наука, 1977, 535 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—38. <https://doi.org/10.1785/gssrl.50.2.25>.
- Jeffreys, H., & Bullen, K.E. (1940). *Seismological Tables.* British Association for the Advancement of Science, London, 84 p.

The seismicity of the Carpathians in 2023

**R.S. Pronyshyn, B.E. Kuplovskiy, V.I. Prokopyshyn, A.T. Stetskiv,
I.M. Nischimenko, I.M. Keleman, G.A. Gerasymenyuk, A.Ya. Batiuk, 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 2023, the main parameters of 81 earthquakes in the range of energy classes $K_R=5.8\div 13.7$ 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 observed in the region was $\Sigma E=9.06\cdot 10^{13}$ J, which is slightly higher than the last year's level of $\Sigma E=5.06\cdot 10^{13}$ J. This year, increased seismic activity was observed in three seismically

active areas. Thus, 19 earthquakes of energy class $K_R=5.7\div 13.7$ were recorded in the North-Western region. Their total seismic energy was $\Sigma E=5.02\cdot 10^{13}$ J. The two strongest in this area were the earthquake that occurred on October 9 at 18:23 on the territory of Slovakia, near the town of Humenne, with $K_R=13.7$ at a depth of $h=8.8$ km and intensity at the epicenter of $I_0=8$ points and the earthquake in Transcarpathia, near the village of Dovge, on January 3 at 01:28 with magnitude $MSH=3.1$, $K_R=10.7$ at a depth of $h=9.6$ km and intensity at the epicenter of about 5 points. In the Southern Carpathians, 29 earthquakes with $K_R=8.8\div 13.0$ were registered at a depth of 2—35 km with a total seismic energy of $\Sigma E=3.72\cdot 10^{13}$ J. This year, in terms of seismic activity after a long seismic lull, the Krishan region was the third. There were 8 earthquakes with $K_R=7.6\div 12.3$ with total seismic energy $\Sigma E=2.56\cdot 10^{12}$ J. The foci of earthquakes are located in the earth's crust at depths $h=2.0\div 15.1$ km. This year, compared to last year, the Vrancea district was less active. For the whole year, 19 events with $K_R=8.4\div 11.5$ were recorded, the total seismic energy of which is $\Sigma E=6.41\cdot 10^{11}$ J. In the territory of Bukovyna this year, there is also a decrease in seismic activity compared to 2022. A total of 4 earthquakes with an energy class of $K_R=5.8\div 7.8$ had total seismic energy $\Sigma E=1.05\cdot 10^8$ J. The foci of earthquakes were located in the earth's crust at depths $h=1.1\div 5$ km. Only 2 weak earthquakes were recorded in the Bacau region in 2023, and none in the Banat and Transylvania 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 other six districts.

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, O.T., Nischimenko, I.M., Keleman, I.M., & Gerasymenyuk, G.A. (2024). Seismicity of the Carpathians in 2022. *Geophysical Journal*, 46(1), 52—62. <https://doi.org/10.24028/gj.v46i1.298660> (in Ukrainian).
- Instructions on the procedure for producing and processing observations at seismic stations of the Unified System of Seismic Observations of the USSR.* (1982). Moscow: Nauka, 273 p. (in Russian).
- Kutas, V.V., Pronishin, R.S. & Rudenskaya, I.M. (2004). Thuse 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: IG NASU, KES (in Russian).
- Kutas, V.V., Rudenskaya, I.M., & Kalitova, I.A. (1999). Carpathian locus of *P*- and *S*-waves and inhomogeneity of the lithosphere. *Geophysical Journal*, 21(3), 45—54 (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* (Vol. 2, 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: IGC AS USSR, 11 p. (in Russian).
- Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (1977). *New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from ancient times to 1975*. Moscow: Nauka, 535 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—38. <https://doi.org/10.1785/gssrl.50.2.25>.
- Jeffreys, H., & Bullen, K.E. (1940). *Seismological Tables*. British Association for the Advancement of Science, London, 84 p.