

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАРПАТ В 2012 ГОДУ

© С. Т. Вербицкий, А. Ф. Стасюк, М. В. Чуба, Р. С. Пронишин,
Ю. Т. Вербицкий, И. Н. Келеман

Институт геофизики им. С. И. Субботина Национальной академии наук Украины

Описаны особенности сейсмичности Карпатского региона в 2012 году. Представлен каталог землетрясений, распределение землетрясений по районам и энергетическим классам, приведены графики выделения сейсмической энергии и количества землетрясений в регионе по месяцам. Дана краткая характеристика сейсмичности отдельных сейсмоактивных районов Карпатского региона.

В Карпатском регионе в 2012 году функционировала сейсмологическая сеть инструментальных наблюдений, состоящая из двадцати стационарных сейсмических станций: «Львов» (LVV – Лвв), «Ужгород» (UZH – Ужг), «Межгорье» (MEZ – Мжг), «Косов» (KSV – Кос), «Моршин» (MORS – Мрш), «Тросник» (TRSU – Трс), «Нижнее Селище» (NSLU – Нсл), «Городок» (HORU – Гор), «Черновцы» (CHRU – Чрн), «Берегово» (BERU – Брг), «Брид» (BRIU – Брд), «Мукачево» (MUKU – Мук), «Рахов» (RAK – Рах), «Королево» (KORU – Кор), «Каменец-Подольский» (KMPU – Кмп), «Новоднестровск» (NDNU – Ндн), «Сходница» (SHIU – Схд), «Старуня» (STNU – Стр), «Стужица» (STZU – Стж), и сейсмического павильона «Оноковцы» (ONO – Ужг(п)). Из-за повреждений с июня 2012 г. павильон «Оноковцы» закрыт на ремонт. На всех сейсмических станциях инструментальные наблюдения проводились с использованием цифровой аппаратуры, созданной в Отделе сейсмичности Карпатского региона Института геофизики. Основные параметры регистрирующей аппаратуры приведены в таблице 1. Производство и обработка наблюдений на сейсмических станциях проводилась согласно Инструкции [1].

Для получения динамических параметров на сейсмических станциях использовались амплитудно-частотные характеристики каналов в формате PAZ GSE1. На рис. 1,2 приведены амплитудно-частотные характеристики сейсмических станций «Львов», «Ужгород». Определения динамических характеристик не проведены на сейсмостанциях «Городок», «Оноковцы», «Каменец-Подольский», «Берегово», «Моршин», «Старуня», «Нижнее Селище».

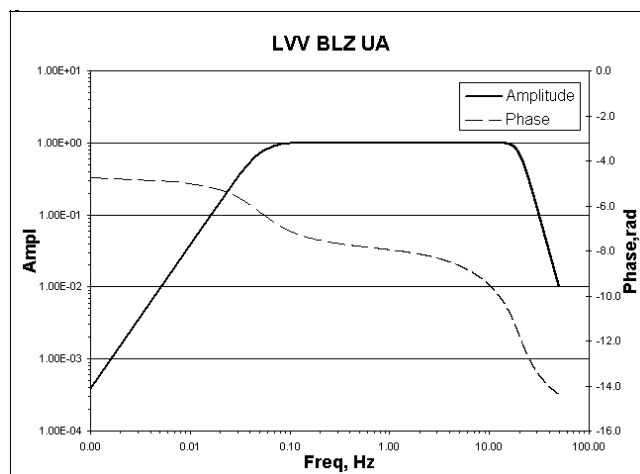


Рис. 1. Амплитудно-частотная характеристика цифровой сейсмической станции «Львов»

С. Т. Вербицкий, А. Ф. Стасюк, М. В. Чуба, Р. С. Пронишин,
Ю. Т. Вербицкий, И. Н. Келеман, 2013.
Сейсмологический бюллетень за 2012 г.

Севастополь, 2013.

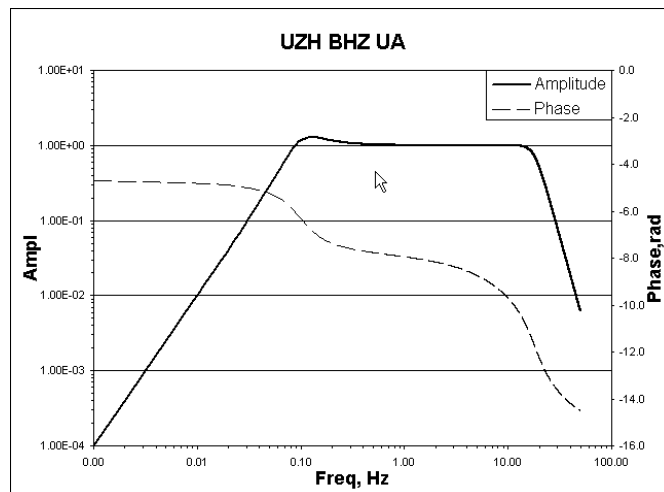


Рис.2. Амплитудно-частотная характеристика цифровой сейсмической станции «Ужгород»

Общая оценка имеющихся данных за последние годы позволяет сделать вывод, что цифровой способ регистрации сейсмических колебаний обладает высокой разрешающей способностью и более широким динамическим диапазоном.

При обработке и интерпретации цифровых записей могут быть использованы различные фильтры, а также коррекция за характеристику аппаратуры. Всё это даёт возможность регистрации более слабых землетрясений по сравнению с аналоговым методом. Кроме того, цифровое представление записей позволяет сохранять их непосредственно в базе данных.

При обработке и интерпретации цифровых записей для более надёжного выделения нечётких или зашумленных сейсмических фаз используется полосовой фильтр Баттерворта (0.5 Гц – 15 Гц). Выбор параметров фильтра зависит от качества (соотношение сигнал-шум) и спектральной характеристики изучаемого сигнала.

Для расчета энергетических характеристик сейсмических событий производится корректировка спектра сигнала за амплитудно-частотную характеристику аппаратуры, а также приведение сигнала к единицам движения грунта (*мкм*, *мкм/сек*). Для этого используются рассчитанные для каждого сейсмического канала амплитудно-частотная характеристика и чувствительность на отсчёт (*мкм/сек*).

При комплексной обработке землетрясений на станциях определялись энергетические параметры зарегистрированных сейсмических событий – K_p и MSH . Для близких землетрясений рассчитывалась локальная магнитуда m_l . На всех сейсмостанциях в качестве энергетических характеристик сейсмических событий определялась магнитуда и энергетический класс по длительности колебаний (MD).

Для определения основных параметров: времени возникновения, координат и глубин очагов, невязок определений и динамических характеристик землетрясений Карпатского региона – дополнительно использовались данные Крымской сети, сейсмических служб Молдовы, Польши, Словакии, Румынии, Болгарии и Венгрии.

Основные параметры землетрясений определялись с помощью программы НУРО [2]. Входными данными являются: дата землетрясения, географические координаты сейсмических станций и времена вступлений сейсмических волн P и S на этих станциях. Для расчетов используются соответствующие годографы, заданные в табличном виде. Программа выполняет расчёт координат, времени возникновения землетрясения и оценку точности результата, как среднеквадратического отклонения по координатам эпицентра и времени в очаге. Учитывая особенности распространения сейсмических волн в Карпатском регионе, для определения основных параметров

землетрясений Северо-Западного района **№1** используется региональный Карпатский годограф [3, 5], а для очагов зоны Вранча **№2** и остальных – годограф Джеффриса-Буллена [4].

Таблица 1. Аппаратура и технические характеристики цифровых сейсмических станций

№	Название станции (год открытия)	H, м	Координаты		А п п а р а т у р а			
			φ°, N	λ°, E	Тип аппаратуры	Динамический диапазон	Частотный диапазон	Чувствит. отчет (м/с)
1	Львов LVV (1899)	320	49.820	24.031	DAS-04	120	0.02–15	1.47*10 ⁻⁹
					СД-1			
					Guralp	140	0.03–12	0.8*10 ⁻⁹
					CMG-40T			
2	Моршин MORS (1978)	260	49.124	23.876	DAS-05	120	0.2–15	–
					СМЗ			
3	Ужгород UZH (1934)	160	48.629	22.291	DAS-04	120	0.2–15	1.05*10 ⁻⁹
					СКД			
4	Оноковцы ONO (1963)	168	48.664	22.333	DAS-03	120	0.02–5	–
					СКМ-3			
5	Межгорье MEZ (1961)	420	48.543	23.498	DAS-05	120	0.02–15	9.6*10 ⁻¹⁰
					СКД			
6	Тросник TRSU (1987)	120	48.095	22.957	DAS-05	120	0.2–15	2.05*10 ⁻¹⁰
					СМ-3КВ			
7	Нижнее Селище NSLU (1987)	250	48.198	23.457	DAS-05	120	0.2–15	–
					СМ-3КВ			
8	Рахов RAK (1956)	460	48.036	24.173	DAS-04	120	0.02–15	4.98*10 ⁻¹⁰
					СКД			
9	Косов KSV (1961)	450	48.314	25.065	DAS-04	120	0.02–15	6.64*10 ⁻¹⁰
					СКД			
10	Черновцы CHRU (1907)	300	48.298	25.922	DAS-05	120	0.02–15	1.27*10 ⁻⁹
					СКД			
11	Городок HORU (1991)	340	49.214	26.426	DAS-05	120	0.2–15	–
					СМ-3			
12	Королево KORU (1998)	160	48,157	23.134	DAS-05	120	0.2–15	1.05*10 ⁻¹⁰
					СМ-3КВ			
13	Мукачево MUKU (1999)	125	48.454	22.687	DAS-05	120	0.2–15	1.17*10 ⁻¹⁰
					СМ-3КВ			
14	Берегово BERU (2000)	160	48.234	22.646	DAS-05	120	0.2–15	–
					СМ-3			
15	Брид BRIU (2000)	180	48.338	23.020	DAS-05	120	0.2–15	1.85*10 ⁻¹⁰
					СМ-3КВ			
16	Каменец-Подольский KMPU (2005)	121	48.563	26.460	DAS-05	120	0.02–15	–
					СКД			
17	Новоднестровск NDNU (2006)	242	48.595	27.366	DAS-04	120	0.2–15	3.04*10 ⁻¹⁰
					СМ-3КВ			
18	Сходница SHIU (2006)	600	49.225	23.359	DAS-05	120	0.2–15	6.98*10 ⁻¹⁰
					СМ-3			
19	Старуня STNU (2007)	391	48.710	24.502	DAS-05	120	0.2–15	–
					СМ-3			
20	Стужица STZU (2011)	385	49.016	22.623	DAS-05	120	0.2–15	1.84*10 ⁻¹⁰
					СМ-3КВ			

Примечание: На всех сейсмических станциях регистрация событий проводилась по всем трем компонентам: N-S; E-W; Z.

Всего в 2012 году сейсмическими станциями Карпатского региона Украины зарегистрировано 88 землетрясений энергетического класса $K_p = 5.3 \div 12.3$. Для всех событий определены основные параметры. На карте (рис. 3.) изображены эпицентры

землетрясений, которые зарегистрированы в сейсмоактивных районах Карпатского региона.

Результаты обработки сейсмических событий представлены в Каталоге и Подробных данных о землетрясениях Карпатского региона за 2012 год (см. настоящий сборник, таблицы 2 и 3).

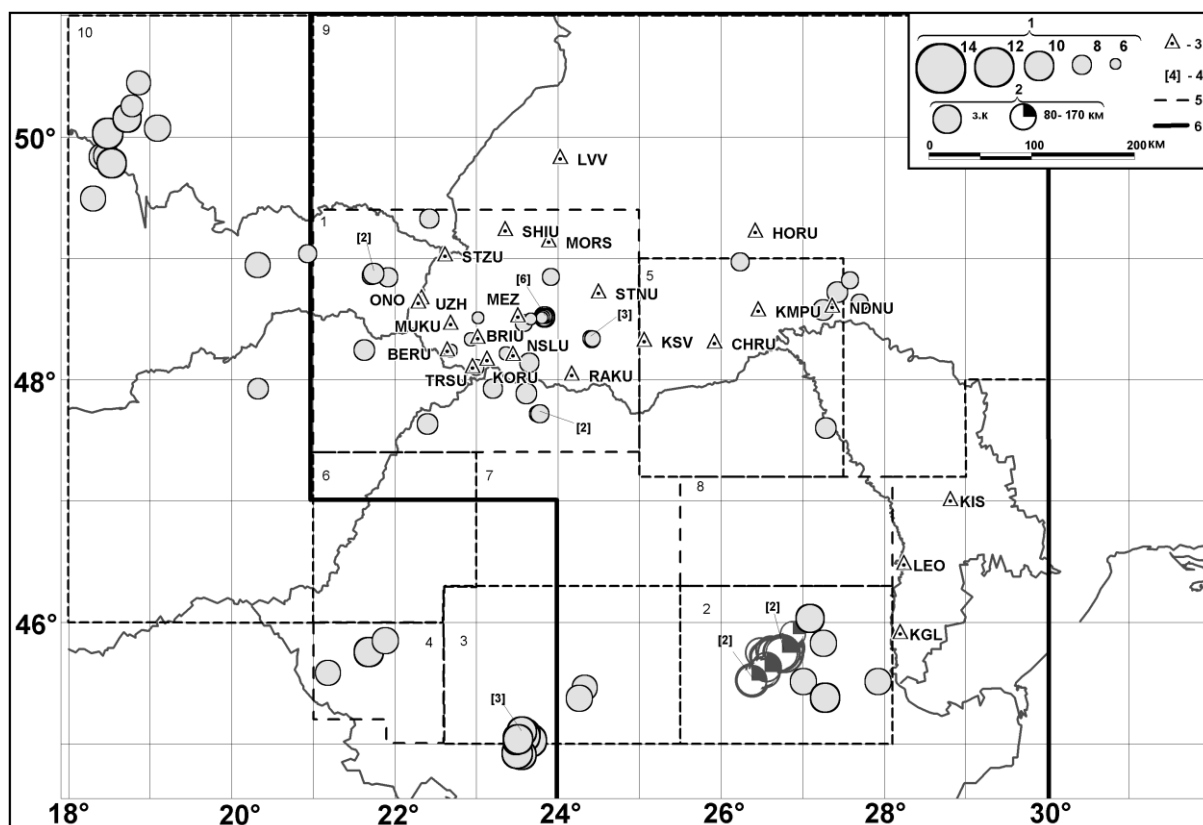


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Карпат: 1 – энергетический класс; 2 – глубина очага, км; 3 – сейсмические станции; 4 – количество землетрясений с одинаковым положением эпицентра; 5 – сейсмоактивные районы: (1) – Северо-Западный; (2) – Вранча; (3) – Южные Карпаты; (4) – Банат; (5) – Буковина; (6) – Кришана; (7) – Трансильвания; (8) – Бакэу; (9) – Северо-Восточный; (10) – Западный; 6 – граница региона

Сведения о распределении землетрясений по районам, энергетическим классам и величине выделившейся сейсмической энергии приведены в таблице 4. В данную таблицу не вошло 13 землетрясений, эпицентры которых расположены за пределами установленного региона на территории Польши, Словакии и Венгрии.

В общем, в 2012 году отмечен спад сейсмической активности в Карпатском регионе. Так, выделившаяся суммарная сейсмическая энергия в регионе ($\Sigma E = 7.63 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$) ниже уровня предыдущего года ($\Sigma E = 9.40 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$) [6, 7]. Понижение сейсмической активности в этом году наблюдается также в районе Вранча (№2) ($\Sigma E = 5.37 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$) относительно прошлого года ($\Sigma E = 8.08 \cdot 10^{12} \text{ Дж}$).

Сейсмическими станциями Украины зарегистрировано шесть ощутимых землетрясений в районе Вранча. Землетрясение 10 января ощущалось на территории Румынии силой 4 балла в городе Галац; в Бухаресте, Яссах, Бузэу – 3 балла по шкале MSK-64 [8], а в Республике Молдова – отдельными жителями г. Кишинэу с интенсивностью $I=2$ балла. Ощутимыми также были землетрясения 26 апреля, 06 и 12 июля и 01 октября. Наиболее сильным было землетрясение 01 декабря. Подземные толчки ощущались во многих городах Румынии, также отмечены слабые колебания в столице Болгарии г. София. В г. Кишинэу землетрясение ощущалось с

интенсивностью $I=3$ балла, а в г. Кагул сила толчков достигала $I=3-4$ балла. Землетрясение 07 декабря ощущалось в городе Галац (Румыния) [9–11].

Сейсмическая энергия в Северо-Западном районе (№1) составила $\Sigma E=2.65 \cdot 10^9$ Дж. В Закарпатье наблюдался спад сейсмической активности до уровня $\Sigma E=4.15 \cdot 10^8$ Дж по сравнению с прошлым годом, где $\Sigma E=2.02 \cdot 10^{10}$ Дж [6].

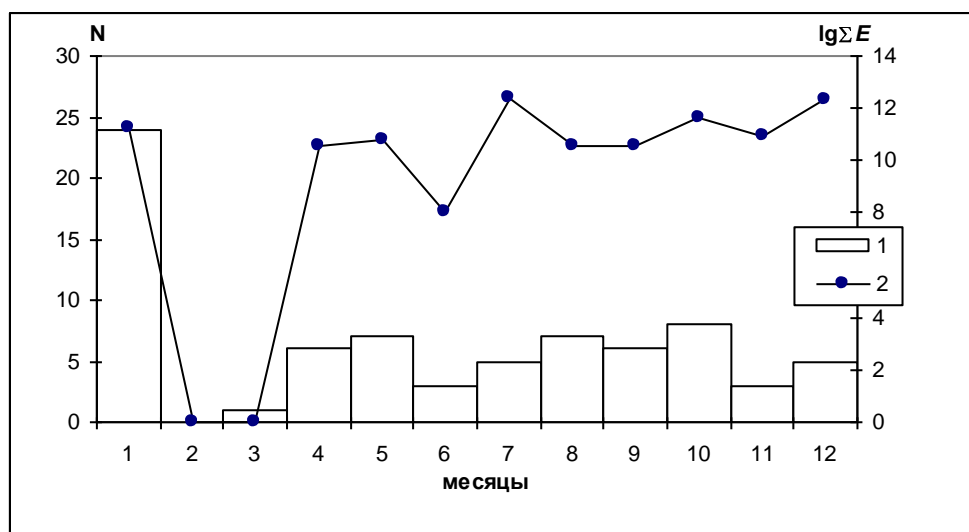


Рис. 4. Распределение количества землетрясений (1) и логарифма выделенной энергии (2) в регионе по месяцам за 2012 год

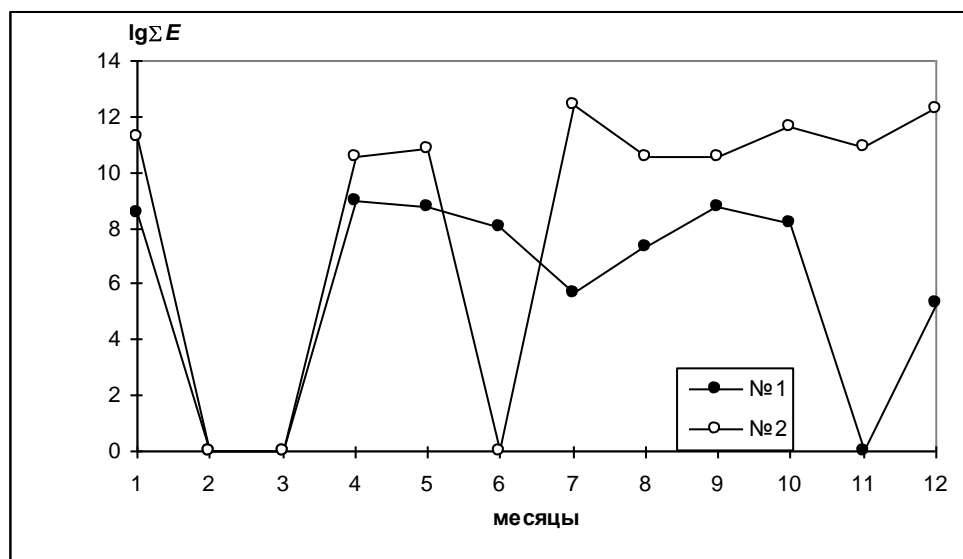


Рис. 5. Распределение логарифма выделенной энергии по месяцам за 2012 год в Северо-Западном районе (№1) и в районе Вранча (№2)

Характер активности сейсмических процессов на протяжении года по месяцам в виде диаграмм представлен на рисунках 4 и 5. Наибольшее количество землетрясений произошло в январе.

Таблица 4. Распределение землетрясений по энергетическим классам и суммарная сейсмическая энергия по районам

	Район	Энергетический класс K_p								К-во зем-ний	$\Sigma E, Дж$
		5	6	7	8	9	10	11	12		
1	Северо-Западный									28	$2.65 \cdot 10^9$
	а) Закарпатье	1	5	4	4					14	$4.15 \cdot 10^8$
	б) Предкарпатье		2	2						4	$7.92 \cdot 10^7$
	в) Румыния, Мармарош			2	3					5	$6.21 \cdot 10^8$
	г) Восточная Словакия				2	1				3	$7.07 \cdot 10^8$
	д) Восточная Венгрия					1				1	$7.94 \cdot 10^8$
	е) Польша			1						1	$3.16 \cdot 10^7$
2	Вранча									25	$5.37 \cdot 10^{12}$
	а) горы Вранча					2	9	5	4	20	$5.34 \cdot 10^{12}$
	б) Предкарпатский прогиб						5			5	$3.03 \cdot 10^{10}$
3	Южные Карпаты					2	6	4	1	13	$2.24 \cdot 10^{12}$
4	Банат					1	2			3	$1.89 \cdot 10^{10}$
5	Буковина									6	$4.58 \cdot 10^8$
	а) Буковина – Подолье	1		2	2					5	$2.51 \cdot 10^8$
	б) Румыния				1					1	$2.07 \cdot 10^8$
	Всего:	2	7	11	12	7	22	9	5	75	$7.63 \cdot 10^{12}$

Район №1. Северо-Западный. В данном сейсмоактивном районе зарегистрировано 28 землетрясений энергетического класса $K_p=5.3 \div 8.9$.

В *Закарпатье* отмечено 14 землетрясений энергетического класса $K_p=5.3-8.3$. Эпицентры землетрясений локализованы в пределах ранее выделенных сейсмоактивных зон и приурочены к Закарпатскому и Припаннонскому глубинным разломам. Пространственно тяготеющие к Выгорлат-Гутинскому вулканическому хребту эпицентры землетрясений находятся в районе г. Свалява, г. Хуст, с. Брид.

В пределах Закарпатской низменности 8 января зарегистрировано землетрясение вблизи г. Виногородово и 9 июня – вблизи г. Берегово.

Наибольшая активность проявилась в январе, где на протяжении месяца зарегистрировано шесть событий в с. Колочава Межгорского района. Наиболее сильным из них было землетрясение 10 января 2012 года в 12 ч 12 мин 55 сек с $K_p=8.3$ и магнитудой $MSH=1.9$. Для определения его основных параметров использовались данные сейсмических служб Словакии и Румынии. Параметры определялись с помощью программы НУРО [2], используя региональный Карпатский годограф [3]. Очаг землетрясения расположен в земной коре на глубине $h=5.8$ км. Координаты землетрясения получены по данным 24 сейсмических станций и составляют $\varphi=48.54^\circ N$ и $\lambda=23.84^\circ E$. Эпицентр данного землетрясения расположен на 4 км севернее ощутимого землетрясения 02 октября 2011 года. Поскольку инструментальный эпицентр находится в горах, то интенсивность в эпицентре можно оценить только по формуле макросейсмического поля [12]:

$$I_0 = 1.5M - 3.5 \lg h + 3.0,$$

согласно которой I_0 не превышает 3 балла по шкале MSK-64 [8].

Ближайший населенный пункт с. Колочава в Межгорском районе находится от эпицентра на расстоянии 10–12 км, где землетрясение ощущалось с интенсивностью около 2–3-х баллов. Некоторые жители заметили легкое раскачивание висячих предметов, тихий шум и очень слабое дребезжание оконного стекла. Данные об

ощущаемости землетрясения в других, близлежащих к эпицентру населенных пунктах, отсутствуют.

Сейсмическая активность **Предкарпатья** обусловлена четырьмя событиями с суммарной энергией $\Sigma E = 7.92 \cdot 10^7$ Дж. Одно событие произошло 31 мая с $K_p = 7.4$ в районе с. Ангеливка, три события зарегистрированы в районе г. Яремче.

Северная часть Румынии (Мармарошский массив) представлена пятью землетрясениями с суммарной энергией $\Sigma E = 6.21 \cdot 10^8$ Дж. Одно землетрясение зарегистрировано 05 января в западной части Мармароша (район Карей). В районе Бая-Маре произошло два события 19 апреля и 19 июня и два – 6 и 18 сентября.

В **Восточной Словакии** зарегистрировано три землетрясения с суммарной энергией $\Sigma E = 7.07 \cdot 10^8$ Дж. Два из них произошло в районе г. Вранов и одно – в районе г. Гуменное.

В **Восточной Венгрии** (Среднедунайская низменность), юго-восточнее г. Мишколец зарегистрировано одно землетрясение 18 апреля с $K_p = 8.9$.

В **юго-восточной Польше** (Низкие Бескиды) 15 октября зарегистрировано одно событие с $K_p = 7.5$.

Район №2. Вранча. Сетью сейсмических станций Украины здесь зарегистрировано 25 землетрясений с $K_p = 8.7 \div 12.3$. Их суммарная сейсмическая энергия составляет $\Sigma E = 5.37 \cdot 10^{12}$ Дж. При определении координат очагов этих землетрясений были учтены данные сейсмических станций Румынии, Словакии, Венгрии, Польши, Молдовы и Крыма.

Горы Вранча – всего отмечено 20 землетрясений, выделившаяся суммарная энергия которых составляет $\Sigma E = 5.34 \cdot 10^{12}$ Дж. Их очаги сосредоточены в зоне глубокофокусных землетрясений в горном массиве Вранча на глубине $h = 80\text{--}160$ км. Эпицентры землетрясений сориентированы по линии с северо-востока на юго-запад.

В 2012 году шесть из этих землетрясений проявились макросейсмически на территории Молдовы [9]. Их интенсивность не превышала 3-х баллов. Данные об этих землетрясениях представлены в отдельной статье настоящего сборника.

Предкарпатский прогиб представлен пятью землетрясениями. Их суммарная сейсмическая энергия равна $\Sigma E = 3.03 \cdot 10^{10}$ Дж. Эпицентры этих землетрясений расположены в земной коре. Землетрясение 07 декабря ощущалось в районе г. Галац.

Район №3. Южные Карпаты. К этому сейсмоактивному району отнесены 13 землетрясений с суммарной сейсмической энергией $\Sigma E = 2.24 \cdot 10^{12}$ Дж. В январе было зарегистрировано 11 землетрясений. Наиболее сильное из них произошло 01 января в 23 ч 57 мин с $K_p = 12.2$. При определении координат использованы данные 40 сейсмостанций. Два события – 03 марта и 23 августа – находятся в районе горы Чибин. Очаги землетрясений расположены в земной коре на глубинах от 1 до 12 км.

Район №4. Банат. Румыния. Здесь зарегистрировано три довольно сильных землетрясения. Их суммарная сейсмическая энергия составляет $\Sigma E = 1.89 \cdot 10^{10}$ Дж.

Район №5. Буковина.

Подолье-Буковина. Зафиксировано пять сейсмических событий с суммарной энергией $\Sigma E = 2.51 \cdot 10^8$ Дж.

Эпицентры двух землетрясений, 22 июля 23 октября, расположены вблизи г. Новоднестровск Черновицкой области, вблизи Новоднестровского водохранилища. В Хмельницкой области 26 мая зарегистрировано событие с $K_p = 7.6$. Два события зарегистрировано в Винницкой области 20 и 27 сентября.

Румыния. Вблизи города Ботошаны 17 августа зарегистрировано землетрясение с $K_p = 8.4$.

Район №10. Западный. Данный район находится за пределами Карпатского региона и охватывает территорию Польши, Словакии и Венгрии. Карпатской сетью сейсмических станций зарегистрировано 13 землетрясений. Суммарная сейсмическая

энергия, которая выделилась в данном районе, составляет $\Sigma E=1.02 \cdot 10^{11}$ Дж. Все землетрясения внесены в Каталог и Подробные данные настоящего сборника.

1. *Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР*. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
2. *Herrmann, R. B.* 1979, "FASTHYPO – a hypocenter location program," Earthquake notes, vol. 50, no. 2.– P. 25–37.
3. *Кутас В. В., Пронишин Р. С., Руденская И. М.* Использование макросейсмических данных при расчете закарпатского годографа *P*- и *S*-волн // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2004. – С. 119–126.
4. *Jeffreys H., Bullen R.* Seismological Tables. – London, 1940. – 84 p.
5. *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.
6. *Вербицкий С. Т., Стасюк А. Ф., Чуба М. В., Пронишин Р. С., Келеман И. М., Гаранджа И. А., Вербицкий Ю. Т.* Сейсмичность Карпат в 2011 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. – Севастополь, НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2011. – С. 24–33.
7. *Чуба М. В., Келеман И. Н., Гаранджа И. А., Стасюк А. Ф., Вербицкий Ю. Т., Нищименко И. М., Плишко С. М., Вербицкая О. Я., Давыдяк О. Д., Олейник Г. И., Симонова Н. А., Бурлуцкая А. М., Евдокимова О. В.* Каталог и подробные данные о землетрясениях Карпатского региона за 2011 год // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. – Севастополь, НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2011. – С. 115–182.
8. *Медведев С. В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).* Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
9. *Степаненко Н. Я., Илиеш И. И., Симонова Н. А., Алексеев И. В.* Сейсмические наблюдения в Молдове в 2012 году // Наст. сборник.–С. 30–34.
10. *Institutul National pentru Fizica Pamantului S.P.* MG-2, Bucuresti–Magurele, Romania, <http://infp.infp.ro/eqsinfo.php>.
11. *EMSC, Earthquake information Euro-Med seismicity.* Real Time Seismicity, <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>.
12. *Шебалин Н. В.* Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.