

КАРПАТЫ

*С.Т. Вербицкий¹, Р.С. Пронишин¹, М.В. Чуба¹, А.Ф. Стасюк¹, И.Н. Келеман¹,
И.А. Гаранджа¹, Ю.Т. Вербицкий¹, И.И. Илиеш², И.В. Алексеев², Н.А. Симонова²*

¹Отдел сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины,
г. Львов, pronrom@gmail.com

²Лаборатория сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы,
г. Кишинёв, kis-seismo@mail.ru

Сейсмические наблюдения в Карпатском регионе проводились в 2011 г. так же, как и ранее, начиная с 1995 г. [1], силами двух организаций из двух государств: Отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины и Лаборатории сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы. Каждая организация имеет свою сеть наблюдений и центр обработки данных – во Львове [2] и Кишинёве соответственно [3]. Итоговое обобщение всех совместных материалов традиционно осуществляется во Львове.

Сеть станций в Карпатском регионе Украины. В 2011 г. продолжала функционировать сейсмологическая сеть инструментальных наблюдений, состоящая до мая из 19-ти стационарных сейсмических станций [4, 5]. В Закарпатье вблизи г. Ужгород с 17 мая начали проводиться инструментальные наблюдения на сейсмической станции «Стужица» с использованием цифровой автоматической станции DAS-05 и датчика СМ-3КВ [6].

Развитие сети сейсмических наблюдений в Карпатском регионе Украины можно условно разделить на три периода:

1. 1961–1999 гг.: период аналоговых наблюдений. В этот период сеть насчитывала до 8 сейсмических станций с аналоговой регистрацией.

2. 2000–2003 гг.: период смешанных аналогово-цифровых наблюдений. В этот период сеть насчитывала 9–12 сейсмических станций, половина из которых была переведена на цифровую регистрацию.

3. 2004–2011 гг.: период цифровых наблюдений. В этот период сейсмическая сеть насчитывала 12–20 станций с цифровой регистрацией.

Изменение чувствительности сети демонстрируют графики повторяемости землетрясений на рис. 1, из которого видно, что в период 1961–1999 гг. чувствительность сети ограничивалась магнитудой $M \approx 2.2/K_p = 8.0$, в период 2000–2003 гг. – $M \approx 2.0/K_p = 7.6$ и в период 2004–2011 гг. – $M \approx 1.5/K_p = 6.6$.

Незначительное повышение чувствительности в период 2000–2003 гг. по сравнению с предыдущим периодом объясняется тем, что основные усилия по развитию сети были направлены на расширение площади наблюдений, а не на сгущение сети.

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 Приложении [6].

Методика обработки в Карпатском регионе Украины. Обработка наблюдений на сейсмических станциях проводилась согласно Инструкции [7]. Общая оценка имеющихся данных

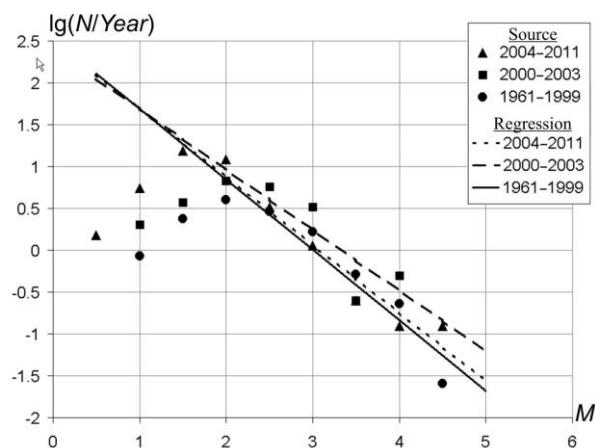


Рис. 1. Графики повторяемости землетрясений Карпатского региона Украины за три периода развития сейсмической сети

за последние 10 лет позволяет сделать вывод, что цифровой способ регистрации сейсмических колебаний обладает высокой разрешающей способностью дискретизации сейсмической записи и более широким динамическим диапазоном.

При обработке и интерпретации цифровых записей для более надежного выделения нечетких или зашумленных сейсмических фаз используется полосовой фильтр Баттерворта $\Delta f=0.5-15$ 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 (мм, мм/с). Для этого используются рассчитанные для каждого сейсмического канала амплитудно-частотная характеристика и чувствительность на отсчет (мм/с). Все это дает возможность регистрации более слабых землетрясений по сравнению с аналоговым методом. Кроме того, цифровое представление записей позволяет сохранять их непосредственно в базе данных.

Для получения динамических характеристик на всех сейсмических станциях использовались амплитудно-частотные характеристики каналов в формате PAZ GSE1.

При комплексной обработке землетрясений на станциях определялись энергетические параметры зарегистрированных сейсмических событий – K_p и $MSHA$. На всех сейсмических станциях в качестве характеристики величины землетрясений использованы магнитуда и длительность (D) записи, пересчитанная по формулам в энергетический класс K_p .

Для мелких землетрясений, согласно [8], энергетический класс K_p определялся по номограмме Т.Г. Раутиан [9]; для глубоких землетрясений района Вранча магнитуда по поперечной S -волне рассчитывалась по формуле из [7]:

$$MSHA = \lg A_{\max} + 1.32 \lg (\Delta, \text{км}) + 0.8 \quad (1)$$

и расчетного из магнитуды MLH по поверхностным волнам энергетического класса K_p по уравнению Т.Г. Раутиан из [10]:

$$K_p = 4.0 + 1.8 MLH. \quad (2)$$

В качестве пересчетных в энергетический класс параметров на всех сейсмических станциях определялась магнитуда Md по длительности τ колебаний на записи по формуле из [11]:

$$Md = 1.65 + 2.67 \lg \tau, \text{ мин} \quad (3)$$

с последующим пересчетом в энергетический класс Kd по длительности записи по уравнению (2) в предположении возможности его применения и к классам Kd :

$$Kd = 4.0 + 1.8 Md.$$

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

Основные параметры землетрясений определялись с помощью программы НУРО [12]. 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. Для определения основных параметров землетрясений Северо-Западного района № 1 используется региональный Карпатский годограф [13, 14], а для очагов зоны Вранча № 2 и остальных используется годограф Джеффриса-Буллена [15].

Сейсмологическая сеть республики Молдова состоит из пяти цифровых станций: «Кишинёв», «Малые Милешты», «Леово», «Сороки» и «Джурджулешты» и одной аналоговой станции «Кишинёв», параметры которых даны в Приложении [16] к наст. ежегоднику.

Обработка аналоговых сейсмограмм Молдовы велась также согласно Инструкции о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях единой системы сейсмических наблюдений СССР [7]. По станции «Кишинёв» определялись следующие энергетические параметры: магнитуда по максимальной фазе продольных волн MPV , магнитуда по максимальной фазе поперечных волн MSM , магнитуда по длительности колебаний Md , класс землетрясения по палетке Т.Г. Раутиан [9].

Определение параметров землетрясений по цифровым записям проводилось сначала в автоматическом режиме, затем кинематические данные уточнялись с помощью программы SeisGram2K [17] и рассчитывалась магнитуда по длительности колебаний M_d , где длительность записи отсчитывалась от начала записи до того момента, когда запись землетрясения сравнивалась с фоном колебаний.

Далее определялись параметры очагов землетрясений Вранча с помощью программы HYPOS [12], разработанной в Институте геологии и сейсмологии АН Республики Молдова. Для учета особенностей распространения сейсмических волн в Карпатском регионе в программе используется региональный годограф [18]. Использование программы дает расчет координат гипоцентра, времени возникновения землетрясения и оценку точности результата как среднеквадратическое отклонение по координатам эпицентра и времени в очаге. Глубина очага оценивается с точностью $\delta h = \pm 10$ км.

По данным сети [6] сейсмических станций Молдовы, в 2011 г. зарегистрировано 55 землетрясений [19]. Из них 37 землетрясений зарегистрировано из района Вранча на глубинах от 60 до 160 км. Остальные 18 событий имеют очаги в земной коре на глубине $h=10-30$ км.

Только 17 из 37-ми землетрясений района Вранча были зарегистрированы Карпатской сетью сейсмических станций Украины. Их параметры несколько отличаются между собой, т.к. при обработке землетрясений принимало участие разное количество станций.

Каталог землетрясений Карпат. Всего в 2011 г. сейсмическими станциями Карпатского региона Украины зарегистрировано 109 землетрясений энергетического класса $K_p=5.0-12.7$ [20]. Для всех событий определены основные параметры. На карте (рис. 2) изображены эпицентры землетрясений, которые произошли в сейсмоактивных районах Карпатского региона и вне его.

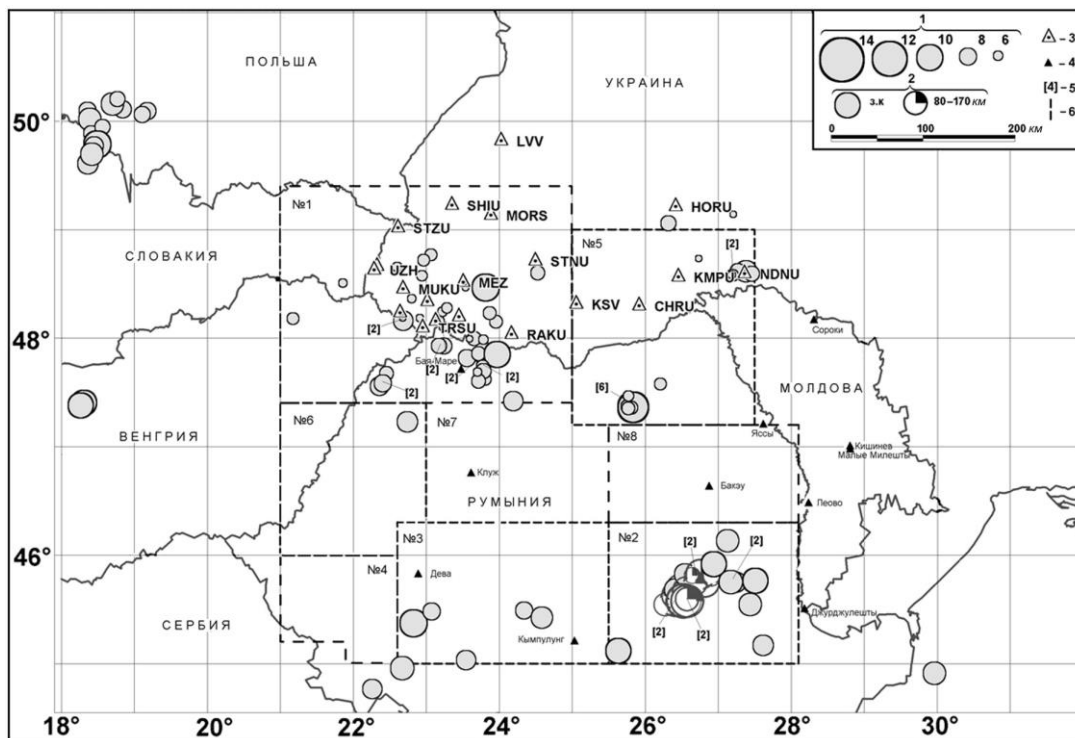


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Карпат за 2011 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина очага h , км; 3, 4 – сейсмические станции Карпатского региона и прилегающих территорий соответственно; 5 – количество землетрясений с одинаковым эпицентром; 6 – сейсмоактивные районы: Северо-Западный (№ 1), Вранча (№ 2), Южные Карпаты (№ 3), Банат (№ 4), Буковина (№ 5), Кришана (№ 6), Трансильвания (№ 7), Бакэу (№ 8).

Сведения о распределении землетрясений по районам, энергетическим классам и величине выделившейся сейсмической энергии приведены в табл. 1. В данную таблицу не вошло 20 землетрясений на территории Польши, Чехии, Венгрии, Румынии и в акватории Черного моря, эпицентры которых расположены за пределами установленных сейсмоактивных зон региона.

Выделившаяся суммарная сейсмическая энергия в Карпатском регионе в 2011 г. составила $\Sigma E=9.37 \cdot 10^{12}$ Дж, что больше уровня энергии в предыдущем году, с $\Sigma E=8.51 \cdot 10^{11}$ Дж [21, 22]. Сейсмическая энергия в районе Вранча (№ 2) составила $\Sigma E=8.08 \cdot 10^{12}$ Дж, что выше уровня энергии прошлого года с $\Sigma E=8.28 \cdot 10^{11}$ Дж.

Сейсмическими станциями Украины зарегистрировано два ощутимых землетрясения из района Вранча. Землетрясение 1 мая в 02^h24^m с $K_p=12.4$, $K_d=12.2$ [20] ощущалось по всей территории Румынии, а также в Республике Молдова (отдельными жителями г. Кишинёв с интенсивностью $I=2-3$ балла по шкале MSK-64 [23]). Наиболее сильное ($K_p=12.7$, $K_d=12.4$) землетрясение произошло 4 октября в 02^h40^m. Подземные толчки были такой интенсивности, что их ощущали даже жители румынской столицы г. Бухарест. Землетрясение ощущалось населением Молдовы в г. Кишинёв с интенсивностью $I=3$ балла, а в г. Кагул интенсивность достигала $I=3-4$ балла [24]. Последний раз землетрясение такой величины было зафиксировано 25.04.2009 г. [25].

Сейсмическая энергия в Северо-Западном районе (№1) составила $\Sigma E=2.94 \cdot 10^{10}$ Дж. В Закарпатье суммарная сейсмическая энергия, равная $\Sigma E=2.02 \cdot 10^{10}$ Дж, заметно возросла по сравнению с ее уровнем в прошлом году с $\Sigma E=5.41 \cdot 10^9$ Дж [21].

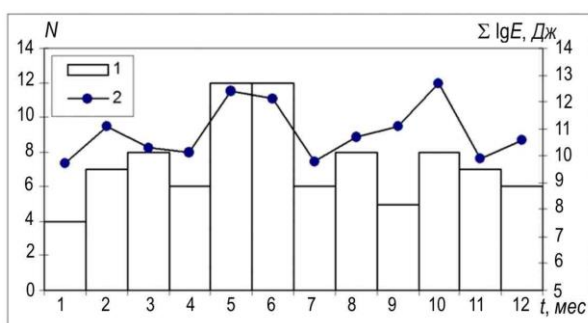


Рис. 3. Распределение в регионе количества землетрясений (1) и логарифма выделенной энергии (2) по месяцам за 2011 г.

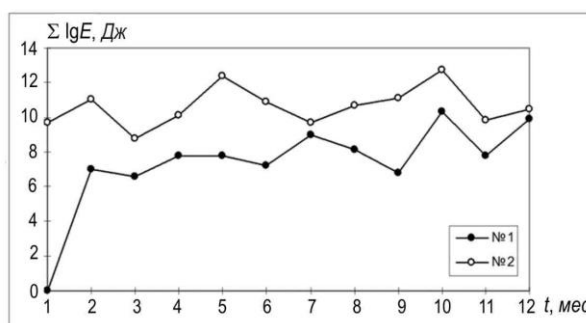


Рис. 4. Распределение логарифма выделенной энергии по месяцам за 2011 г. в Северо-Западном районе (№ 1) и Вранча (№ 2)

Характер активности сейсмических процессов на протяжении года по месяцам в виде диаграмм представлен на рис. 3 и 4. Наименьшее число землетрясений произошло в январе, а наибольшее мае и июне. Сейсмическая энергия в Северо-Западном районе возросла в октябре и декабре, район Вранча был активным на протяжении года. В табл. 1 показаны числа землетрясений и энергия по районам.

Таблица 1. Распределение землетрясений по энергетическим классам и суммарная сейсмическая энергия по районам

	Район	K_p									N_{Σ}	ΣE , Дж
		5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1	Северо-Западный	2	8	20	5	2	1				38	$2.94 \cdot 10^{10}$
2	Вранча				1	6	11	6	1	1	26	$8.05 \cdot 10^{12}$
3	Южные Карпаты					5	1				6	$1.74 \cdot 10^{10}$
4	Банат					1	1				2	$1.10 \cdot 10^{10}$
5	Буковина		3	5	4	2				1	15	$1.26 \cdot 10^{12}$
6	Кришана				1						1	$3.16 \cdot 10^8$
7	Трансильвания										0	0
8	Бакэу										0	0
	Всего	2	11	25	11	14	17	6	2	1	88	$9.37 \cdot 10^{12}$

Рассмотрим сейсмичность в каждом из восьми районов из табл. 1.

Район № 1, Северо-Западный. В этом сейсмоактивном районе зарегистрировано 38 землетрясений с $K_p=5.2-10.3$.

а) В Закарпатье отмечено 19 землетрясений с $K_p=5.3-10.3$. Эпицентры землетрясений находятся в пределах ранее выделенных сейсмоактивных зон и приурочены к Закарпатскому и Припаннонскому глубинным разломам, расположенным вдоль Выгорлат-Гутинского вулканического хребта.

Вдоль вулканического хребта эпицентры землетрясений расположены в районе с. Раково (20 марта в 23^h45^m с $K_p=6.5$), г. Свалява (14 апреля в 00^h35^m с $K_p=7.0$), с. Долгое (23 ноября в 03^h46^m с $K_d=6.3$) и два в районе г. Хуст (16 августа в 12^h06^m с $K_p=7.0$ и 11 ноября в 13^h23^m с $K_p=7.3$) [20].

В пределах Полонинского хребта зарегистрированы два землетрясения в районе г. Воловец (24.05 в 14^h23^m с $K_p=6.5$ и 06.07 в 14^h11^m с $K_p=6.5$) и два – в районе г. Межгорье (19.04 в 07^h43^m с $K_p=6.0$ и 02.10 в 10^h14^m с $K_p=10.3$).

Вдоль Верхнетисенской впадины зарегистрировано четыре землетрясения: в районе г. Тячев (15 мая в 03^h08^m с $K_p=6.9$), в районе г. Рахов (24 июня в 11^h59^m с $K_p=6.9$), в районе с. Тересва два землетрясения (22 июня в 11^h36^m с $K_p=7.1$ и 29 декабря в 02^h25^m с $K_p=6.8$) [20].

В пределах Закарпатской низменности вблизи г. Берегово 10 августа в 05^h40^m зарегистрировано землетрясение с $K_p=7.8$, которое ощущалось населением с интенсивностью $I_i=3$ балла. Повторное событие отмечено 13 августа в 22^h02^m с $K_p=6.3$ с такими же координатами. Еще одно очень слабое землетрясение в этом районе было зарегистрировано 28.12 в 18^h02^m с $K_p=5.3$ вблизи с. Чёрный Поток.

Два землетрясения, произошедшие 4 октября в 12^h25^m с $K_p=7.9$ и 14 ноября в 05^h03^m с $K_p=7.5$, зарегистрированы в районе с. Дубовое (горный массив Свидовец). В 2010 г. в этом районе было отмечено три события [21].

Наиболее сильным ($K_p=10.3$, $MSH=3.5$) событием Закарпатья было ощутимое Колочавское землетрясение 2 октября 2011 г. в 10^h14^m в Межгорском районе. Его зарегистрировали 17 сейсмических станций Карпатского региона. Для определения основных параметров использовались данные Крымской сети, сейсмических служб Словакии, Румынии, Болгарии, Молдовы, Польши и Венгрии. Параметры определялись с помощью программы НУРО [12], используя региональный Карпатский годограф [13]. Очаг землетрясения расположен в земной коре на глубине $h=9.1$ км. Координаты инструментального эпицентра землетрясения получены по данным 12-ти сейсмических станций и составляют $\varphi=48.50^\circ N$ и $\lambda=23.81^\circ E$ [20]. В ближайшем населенном пункте Колочава, который находится от эпицентра на расстоянии 9 км, землетрясение ощущалось с интенсивностью $I_i=4-5$ баллов. Эпицентр землетрясения находится в горах, где никто не проживает. По произведенным расчетам интенсивность в эпицентре могла составлять около 5 баллов. Более подробная информация об этом землетрясении представлена в отдельной статье наст. ежегодника [26].

б) Сейсмическая активность Предкарпатья представлена одним слабым ($K_p=7.0$) землетрясением 25 мая в 09^h15^m с $h=5.3$ км, локализованным в районе г. Надворная и зарегистрированным 12-ю сейсмическими станциями.

в) Северная часть Румынии (Мармарошский массив) представлен 16-ю землетрясениями с суммарной энергией $\Sigma E=9.22 \cdot 10^9$ Дж. Из них два близких (4.5 км) события (25 мая в 12^h12^m с $K_p=7.1$ и в 12^h14^m – с $K_p=6.9$) произошли в районе г. Турья; четыре события (19 апреля в 13^h02^m с $K_p=6.8$, 21 апреля в 19^h09^m с $K_p=7.7$, 19 мая в 10^h25^m с $K_p=6.8$ и 13 сентября в 12^h39^m с $K_p=6.8$) – в районе Бая-Маре; три события (17 февраля в 19^h28^m с $K_d=7.0$, 26 июля в 20^h43^m с $K_p=9.0$ и 4 августа в 0054 с $K_p=7.8$) – в западной части Мармароша (район Карей). Эпицентр одного землетрясения находится в районе горы Циблеш. В восточной части массива (район Сигет) зарегистрировано четыре землетрясения: 26 мая в 12^h09^m с $K_p=7.3$, 6 июля в 09^h04^m с $K_p=7.2$, 25 октября в 12^h40^m с $K_p=7.0$ и, самое сильное ($K_p=9.0$) из них, 17 декабря в 12^h21^m.

г) В Восточной Словакии в районе Прешовских гор зарегистрировано одно землетрясение 25 марта в 21^h15^m с $K_p=6.0$.

д) В Восточной Венгрии (Среднедунайская низменность), юго-восточнее г. Мишкольц, зарегистрировано одно событие (27 июля в 05^h42^m с $K_p=7.0$).

Район № 2, Вранча. В сейсмоактивном районе Вранча в Румынии сетью сейсмических станций Украины зарегистрировано 26 землетрясений с $K_p=8.4-12.7$, суммарная сейсмическая

энергия которых составляет $\Sigma E=8.05 \cdot 10^{12}$ Дж. При определении координат очагов этих землетрясений были использованы данные сейсмических станций Румынии, Словакии, Венгрии, Польши, Молдовы и Крыма.

а) горы Вранча – всего отмечено 19 землетрясений, выделившаяся в их очагах суммарная энергия составляет $\Sigma E=8.03 \cdot 10^{12}$ Дж. Очаги 17-ти событий сосредоточены в зоне глубокофокусных землетрясений в горном массиве Вранча на глубине $h=85-157$ км, а очаги двух событий (16 февраля в $22^{\text{h}}10^{\text{m}}$ с $K_p=8.4$ и 19 декабря в $20^{\text{h}}38^{\text{m}}$ с $K_p=9.5$) расположены в земной коре на глубине $h=8$ и 6 км соответственно. Эпицентры землетрясений сориентированы по линии с северо-востока на юго-запад.

В 2011 году лишь два глубоких события (1 мая в $02^{\text{h}}24^{\text{m}}$ с $K_p=12.4$ и 4 октября в $02^{\text{h}}40^{\text{m}}$ с $K_p=12.7$ [20]) проявились макросейсмически на территории Молдовы. Они описаны в отдельной статье наст. ежегодника [27]. Интенсивность их не превышала 4 баллов.

б) Предкарпатский прогиб представлен шестью землетрясениями с очагами в земной коре. Их суммарная сейсмическая энергия равна $\Sigma E=1.94 \cdot 10^{10}$ Дж. Очаги трех из них (28 марта в $22^{\text{h}}40^{\text{m}}$ с $K_p=8.8$, 9 июня в $21^{\text{h}}08^{\text{m}}$ с $K_p=9.5$ и 4 июля в $18^{\text{h}}42^{\text{m}}$ с $K_p=9.7$) расположены вблизи г. Одобешты.

в) В районе Нижнедунайской низменности, в Мунтении, 26 января в $23^{\text{h}}57^{\text{m}}$ зарегистрировано одно землетрясение с $K_p=9.7$. Для определения его координат использовались данные 41-й сейсмической станции.

Район № 3, Южные Карпаты. К этому району отнесены шесть землетрясений, зарегистрированных 6 февраля в $21^{\text{h}}35^{\text{m}}$ с $K_p=9.1$, 24 марта в $11^{\text{h}}02^{\text{m}}$ с $K_p=8.6$, 25 марта в $15^{\text{h}}12^{\text{m}}$ с $K_p=10.0$, 19 мая в $00^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $K_p=9.4$, 14 ноября в $23^{\text{h}}07^{\text{m}}$ с $K_p=9.3$ и 30 декабря в $07^{\text{h}}30^{\text{m}}$ с $K_p=9.1$ [20]. Их суммарная сейсмическая энергия составляет $\Sigma E=1.74 \cdot 10^{10}$ Дж. Очаги всех землетрясений расположены в земной коре на глубине $2-14$ км.

Район № 4, Банат (Румыния). В марте в этом регионе зарегистрировано два довольно сильных события – 14 марта в $09^{\text{h}}13^{\text{m}}$ с $K_p=10.0$ и 25 мая $12^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $K_p=9.0$. Их суммарная сейсмическая энергия составляет $\Sigma E=1.10 \cdot 10^{10}$ Дж.

Район № 5, Буковина.

а) Подолье-Буковина.

В этом районе зарегистрировано восемь землетрясений с суммарной энергией $\Sigma E=6.92 \cdot 10^8$ Дж.

Эпицентры пяти землетрясений (14 января в $16^{\text{h}}27^{\text{m}}$ с $K_p=8.8$, 22 февраля в $22^{\text{h}}39^{\text{m}}$ с $K_p=6.9$, 26 февраля в $16^{\text{h}}57^{\text{m}}$ с $K_p=7.1$, 20 марта в $05^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $K_p=5.9$ и 23 июня в $21^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $K_p=7.3$) компактно сгруппированы в Черновицкой области и расположены вблизи г. Новоднестровск. Следует заметить, что в этом году, как и в предыдущие годы, продолжается активизация сейсмичности вблизи Днестровского водохранилища. Все землетрясения возникли на малой глубине, которая колеблется от 1 до 6 км. В Хмельницкой области, вблизи г. Каменец-Подольский, 2 января в $07^{\text{h}}36^{\text{m}}$ зарегистрировано событие с $K_p=6.3$; 15 мая в $21^{\text{h}}52^{\text{m}}$ в районе с. Виньковцы – с $K_p=6.3$; и 18 июля в $01^{\text{h}}48^{\text{m}}$ вблизи г. Городок с $K_p=7.2$.

б) Румыния-Сучава.

В этом районе зарегистрирована серия из семи землетрясений с суммарной энергией $\Sigma E=1.26 \cdot 10^{12}$ Дж. Одно событие с $K_p=7.8$ было отмечено 31 января в $21^{\text{h}}05^{\text{m}}$ вблизи г. Сучава. Очаги землетрясений сосредоточены в земной коре. Их координаты незначительно отличаются друг от друга. Наиболее сильное из них было зарегистрировано 24 июня в $13^{\text{h}}08^{\text{m}}$ с энергетическим классом $K_p=12.1$ и магнитудой $MSH=3.9$. При определении его параметров привлекались данные 32-х станций, глубина была фиксированная ($h=10$ км), использовался годограф Джеффриса-Буллена [15]. Интенсивность сотрясений, по данным Румынского Института физики земли, составляла 4.5 балла ММ [28, 29].

Район № 6, Кришана (Румыния). В этом районе зарегистрировано одно событие 29 сентября в $12^{\text{h}}46^{\text{m}}$ с $K_p=8.5$.

В районах № 7, Трансильвания (Румыния) и № 8 Бакэу (Румыния) в 2001 г. землетрясения не зарегистрированы.

Вне региона, на территории Польши, Чехии и Венгрии, Карпатской сетью сейсмических станций зарегистрировано 20 землетрясений. Из них в Польше (Силезия) – девять, в Чехии – восемь и в Венгрии – три довольно сильных события (29 января в $17^{\text{h}}41^{\text{m}}$ с $K_p=11.4$, 11 июля в $06^{\text{h}}05^{\text{m}}$ с $K_p=9.8$ и 1 ноября в $23^{\text{h}}56^{\text{m}}$ с $K_p=10.5$). Суммарная сейсмическая энергия, которая вы-

делилась здесь, составляет $\Sigma E = 3.61 \cdot 10^{11}$ Дж. Еще два землетрясения вне региона произошли 14 марта в $09^{\text{h}}13^{\text{m}}$ с $K_p = 10.0$ и 25 марта в $12^{\text{h}}01^{\text{m}}$ с $K_p = 9.0$ на территории Румынии и одно (4 мая в $10^{\text{h}}43^{\text{m}}$ с $K_p = 10.5$, $h = 10$ км) – в северо-западной части Чёрного моря. Последнее было зарегистрировано сейсмическими станциями Карпат и Крыма, а также Румынии и Молдовы. Все землетрясения, которые произошли вне региона, внесены в каталог [20].

Л и т е р а т у р а

1. Костюк О.П., Руденская И.М., Пронишин Р.С., Симонова Н.А. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 12–14.
2. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 60–66.
3. Илиеш И.И. Сейсмическая сеть Республики Молдова: состояние и перспективы // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы международной конференции. Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2008 г. – С. 87–92.
4. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Алексеев И.В., Илиеш И.И., Карданец В.Ю. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – С. 65–75.
5. Пронишин Р.С. (сост.). Цифровые сейсмические станции сети региона Карпаты, работавшие в 2010 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. – (На CD).
6. Пронишин Р.С. (сост.). Цифровые сейсмические станции сети региона Карпаты, работавшие в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
7. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
8. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.М., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т., Степаненко Н.Я., Алексеев И.В., Симонова Н.А. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 64–72.
9. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстоянии до 3000 км // Экспериментальная сейсмика (Труды ИФЗ АН СССР; № 32(199)). – М.: Наука, 1964. – С. 88–93.
10. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
11. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, Т. II. – М.: Наука, 1974. – С. 180–192.
12. Herrmann R.V. FASTHYPO – a hypocenter location program // Earthquake notes. – 1979. – 50. – N 2. – P. 25–37.
13. 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.
14. Кутас В.В., Руденская И.М., Калитова И.А. Карпатский годограф P и S -волн и неоднородности литосферы // Геофиз. журн. – 1999. – 21. – № 3. – С. 45–54.
15. Jeffreys H., Bullen R. Seismological Tables. – London, 1940. – 84 p.
16. Илиеш И.И. (сост.). Сейсмические станции сети Молдовы в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
17. Anthony Lomax. SeisGram2K Seismogram Viewer v5.3.4X05 (09Sep2008) (BETA) Copyright © 2000–2008. – URL: <http://www.alomax.net/seisgram>.
18. Алексеев И.И., Роман А.А., Симонова Н.А. Построение регионального годографа очага Вранча на основе данных Международного Сейсмологического Центра // Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM. – 2005. – N 1. – С. 48–52.
19. Илиеш И.И., Алексеев И.В., Симонова Н.А. (сост.). Дополнение к региональному каталогу землетрясений Карпат по данным Молдовы за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.

20. Чуба М.В. (отв. сост.), Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф., Вербицкий Ю.Т., Нищименко И.М., Плишко С.М., Вербицкая О.Я., Давыдяк О.Д., Олейник Г.И., Добротвир Х.В., Герасименюк Г.А., Симонова Н.А., Бурлуцкая А.М., Евдокимова О.В. (сост.). Каталог землетрясений Карпат за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
21. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.М., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т. Сейсмичность Карпат в 2010 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2011. – С. 24–33.
22. 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 2010 год // Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2011. – С. 115–182.
23. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
24. Илиеш И.И., Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю. Макросейсмический эффект и механизм очагов Вранчских землетрясений 1 мая и 4 октября 2011 года // Сейсмологический бюллетень Украины за 2011 год. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2012. – С. 71–77.
25. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.М., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т. Сейсмичность Карпат в 2009 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2009 год. – Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2011. – С. 40–45.
26. Пронишин Р.С. Колочавское землетрясение 2 октября 2011 г. с $K_p=10.3$, $MSHA=3.5$, $I_0=5$ (Украина, Закарпатье) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 400–404.
27. Степаненко Н.Я., Илиеш И.И., Карданец В.Ю., Симонова Н.А. Ощутимые в Молдове землетрясения 2011 г.: 1 мая с $M_{W_{MED}}=4.8$, $I_0=5$ и 4 октября с $M_{W_{MED}}=4.7$, $I_0=4$ (Румыния–Молдова) // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 351–358.
28. Institutul National pentru Fizica Pamantului С.Р. MG-2, Bucuresti – Magurele, Romania. – URL: <http://infp.infp.ro/eqsinfo.php>.
29. EMSC, Earthquake information Euro-Med seismicity. Real Time Seismicity. – URL: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>.