

СЕЙСМИЧНОСТЬ КАРПАТ в 2015 г.

**С.Т. Вербицкий¹, Р.С. Пронишин¹, В.И. Прокопишин¹, А.Т. Стецкив¹, М.В. Чуба¹,
И.М. Нищименко¹, И.Н. Келеман¹, Н.Я. Степаненко², В.Ю. Карданец², Н.А. Симонова²**

¹Институт геофизики НАН Украины, г. Львов, pronrom@gmail.com

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

Аннотация. В статье описаны сейсмические наблюдения в Карпатском регионе в 2015 г., которые проводились, как и ранее, двумя организациями из двух государств: в Украине – отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины, в Молдове – лабораторией сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы. В Украине работали 20 стационарных цифровых станций с центром обработки во Львове, в Молдове – шесть станций с центром в Кишинёве. Были использованы разные программы, локальные годографы и магнитуды. Сводный каталог землетрясений создан во Львове. Приводятся карта эпицентров и таблица распределения землетрясений разных классов по районам. Суммарное число землетрясений в 2015 г. составило $N_{\Sigma}=164$ в диапазоне $K_p=4.7-12.2$ с интервалом глубин гипоцентров $h=1-160$ км и суммарной сейсмической энергией $\Sigma E=5.38 \cdot 10^{12}$ Дж. Из них 23 землетрясения с глубинами $h=50-160$ км расположены в зоне Вранча. Максимальное землетрясение с $K_p=12.2$ зарегистрировано 24 января в горах Вранча с $h_p=89$ км. В Предкарпатье отмечено девять событий энергетического класса $K_p=4.7-8.9$, суммарная сейсмическая энергия которых составляет $\Sigma E=1.25 \cdot 10^9$ Дж. В Закарпатье наблюдалась повышенная сейсмическая активность. В Тячевском районе была зарегистрирована серия ощутимых землетрясений с афтершоками. Их общее количество составило $N_{\Sigma}=77$. Наиболее сильным было ощутимое землетрясение, которое произошло в районе с. Округла 19 июля в 11^h30^m с $K_p=11.1$. Очаг землетрясения расположен в земной коре на глубине $h=7.7$ км. Землетрясение ощущалось населением в эпицентральной области с интенсивностью 6 баллов. Это землетрясение и пять других ощущалось также на территории северной Румынии. В целом, в Карпатах в 2015 г. наблюдалось понижение уровня сейсмичности по сравнению с таковым в 2013 г. и в 2014 году.

Ключевые слова: Украина, Карпаты, сети станций, ощутимое землетрясение, балльность, сейсмическая энергия, промежуточные землетрясения.

DOI: 0.35540/1818-6254.2021.24.02

Для цитирования: Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецкив А.Т., Чуба М.В., Нищименко И.М., Келеман И.Н., Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю., Симонова Н.А. Сейсмичность Карпат в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С.31–42 doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.02

Введение. Сейсмические наблюдения в Карпатском регионе проводились в 2015 г., как и в прошлые годы [1], силами организаций из двух государств: отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины и лабораторией сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы. Данные подразделения имеют свои сети наблюдений и центры обработки данных во Львове и в Кишинёве соответственно. Обобщение всех совместных материалов и формирование регионального каталога землетрясений Карпат осуществляется во Львове.

Сейсмические станции. В Карпатском регионе (ИГФ НАНУ) в 2015 г. сейсмологическая сеть инструментальных наблюдений осталась такой же, как и в 2014 г. [1]. Суммарное число станций равно 20. Из них 15 станций находятся в подчинении КОМСП – Карпатской опытно-методической сейсмологической партии отдела сейсмичности, а пять – в подчинении Карпатской опытно-методической геофизической партии (КОМГП) этого же отдела. Поэтому в списке станций Карпат в Приложении [2] для каждой из них в отдельной графе указан код партии, КОМСП или КОМГП соответственно.

На всех сейсмических станциях инструментальные наблюдения проводились с использованием цифровой аппаратуры DAS(-03,-04,-05), созданной в Отделе сейсмичности Карпатского региона Института геофизики. Основные параметры регистрирующей аппаратуры приведены в Приложении [2]. 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 и зарубежных сейсмических сетей Карпато-Балканского региона с $\Delta \leq 1000$ км (Польша,

Словакии, Румынии, Болгарии и Венгрии). Производство и обработка наблюдений на сейсмических станциях проводились согласно Инструкции [3].

В Молдове в 2015 г. сейсмические наблюдения велись на шести станциях с цифровой регистрацией: «Кишинёв» (KIS), «Леово» (LEOM), «Сороки» (SORM), «Джурджулешты» (GIUM), «Малые Милешты» (MILM) и «Пуркары» (PURM). Аналоговая запись продолжает вестись на станции «Кишинёв». Список станций Лаборатории сейсмологии ИГиС АН Молдовы, их координаты, перечень и параметры установленной на станциях аппаратуры приводятся в Приложении [4].

Обработка землетрясений. В Карпатском регионе основные параметры землетрясений определялись с помощью программы NYRO [5]. 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: в Северо-Западном районе Карпатского региона – региональный Карпатский годограф [6, 7], а для очагов землетрясений зоны Вранча используется годограф Джеффриса-Буллена. Программа выполняет расчет координат, времени возникновения землетрясения и оценку точности результата как среднеквадратичное отклонение по координатам эпицентра и времени в очаге.

Для получения динамических характеристик на сейсмических станциях использовались амплитудно-частотные характеристики каналов в формате PAZ GSE1. Примеры амплитудно-частотных характеристик для цифровых сейсмических станций «Львов» и «Ужгород» представлены в [8].

Цифровой способ регистрации сейсмических колебаний обладает высокой разрешающей способностью и широким динамическим диапазоном. При обработке и интерпретации цифровых записей могут быть использованы различные фильтры, а также коррекция за характеристику аппаратуры. Это дает возможность регистрировать более слабые землетрясения. Цифровое представление записей позволяет сохранять их непосредственно в базе данных.

При обработке и интерпретации цифровых записей используется полосовой фильтр Баттерворта ($0.5\text{--}15\text{ Гц}$) для более надежного выделения нечетких или зашумленных сейсмических фаз. Выбор параметров фильтра зависит от качества (соотношения сигнал-шум) и спектральной характеристики изучаемого сигнала.

Для расчета энергетических характеристик сейсмических событий производится коррекция 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).

При комплексной обработке землетрясений на станциях определялись динамические параметры зарегистрированных сейсмических событий – энергетический класс K_r и магнитуда M_{SH} . Для близких землетрясений рассчитывалась локальная магнитуда M_L по Рихтеру [9]:

$$M_L = \lg(A_{z_{\max}}) - \lg(A_0). \quad (1)$$

На всех сейсмических станциях в качестве параметров величины сейсмических событий определялись также магнитуда M_d по длительности колебаний и рассчитанный из нее энергетический класс K_d .

В результате были определены основные параметры (координаты, глубина, время в очаге, энергетический класс, магнитуда) 164 очагов [10] землетрясений, а также точности решения по каждому из параметров. Как отмечено выше, производство и обработка наблюдений на сейсмических станциях проводились согласно Инструкции [3].

В Молдове использовалась та же Инструкция [3]. Величина землетрясений оценивалась по Молдавской сети сейсмических станций магнитудой MPV по максимальной фазе продольных волн, магнитудой MSM по максимальной фазе поперечных волн, магнитудой M_d по длительности колебаний и, лишь по станции «Кишинёв», энергетическим классом K_r по палетке Т.Г. Раутиан [11, 12].

Определение параметров землетрясений по цифровым записям проводилось сначала в автоматическом режиме, затем кинематические параметры уточнялись с помощью программы SeisGram2K [13]. В автоматическом режиме рассчитывалась для близких землетрясений локальная магнитуда M_L , а при ручном просмотре цифровых записей определялась магнитуда по длительности колебаний M_d , где длительность записи отсчитывалась от начала записи до того момента, когда запись землетрясения сравнивалась с фоном колебаний.

Локализация очагов землетрясений, записанных в Молдове, производилась с помощью программы HYPOS [14], разработанной в Институте геологии и сейсмологии АН РМ. Исходным материалом для вычисления положения гипоцентра является информация о времени вступления P - и S -волн на сейсмических станциях сети Молдовы. По разности $t_S - t_P$ вычисляется эпицентральное расстояние для каждой станции, затем задаются предположительные координаты очага, рассчитываются расстояния от предполагаемого эпицентра, определяется разница между наблюдаемым и расчетным расстояниями, т.е. ошибки, которые в дальнейшем минимизируются. Процедура повторяется до тех пор, пока не будет достигнута заданная точность. Для учета особенностей распространения сейсмических волн в Карпатском регионе в программе используется региональный годограф для глубин от 10 до 160 км с шагом 10 км [15]. Программа выполняет расчет координат гипоцентра, времени возникновения землетрясения и оценку точности результата как среднеквадратичное отклонение по координатам эпицентра и времени в очаге. Глубина очага оценивается с погрешностью $\delta h = \pm 10$ км. Суммарное число обработанных в Молдове землетрясений равно $N_{\Sigma} = 42$, из них 14 мелких с $h = 10 - 30$ км и 28 – глубоких с $h = 70 - 150$ км [16]. 29 землетрясений из 42 представлены в обоих каталогах [10] и в [16], а 13 – только в [16].

Каталог землетрясений. Результаты обработки сейсмических событий Карпатского региона представлены в региональном каталоге землетрясений [10]. Всего в 2015 г. сейсмическими станциями Карпатского региона Украины локализовано 164 землетрясения, из них 142 мелких с $h = 1 - 35$ км и 22 глубоких – с $h = 80 - 154$ км. Минимальную глубину ($h_{\min} = 1$ км) имеют несколько толчков в районе Стебника Львовской области и один толчок в районе Тячева на Закарпатье с $K_p = 7.5$. Максимальную глубину $h_{\max} = 154.2$ км в каталоге имеет землетрясение Вранча, произошедшее 14 января в 03^h10^m с $K_p = 10.2$ [10]. Все землетрясения ($N = 164$) в региональном каталоге [10] локализованы в пределах пяти традиционных районов Карпат: Северо-Западном № 1, Вранча № 2, в Южных Карпатах № 3, Буковине № 5 и Бакэу № 8. В остальных районах: Банат № 4, Кришана № 6 и Трансильвания № 7 землетрясений, согласно каталогу [10], не было.

Для получения динамических характеристик на сейсмических станциях «Львов», «Ужгород», «Косов», «Рахов» и «Новоднестровский» использовались амплитудно-частотные характеристики каналов в формате PAZ GSE1 [17].

Согласно [1], на этих станциях определялись следующие энергетические параметры зарегистрированных сейсмических событий:

- для местных землетрясений – энергетический класс K_p по номограмме Т.Г. Раутиан [11],
- для землетрясений района Вранча – магнитуда, определенная по горизонтальной составляющей поперечных S -волн по формуле из [3]:

$$MSH = \lg A_{\max} + 1.32 \cdot \lg(\Delta, \text{ км}) + 0.8,$$

где поправка +0.8 вносится для промежуточных землетрясений с $h \geq 70$ км по [18].

На остальных станциях, для которых в данное время нет надежных амплитудно-частотных характеристик, в качестве характеристики величины сейсмических событий использовалась магнитуда M_d по длительности τ колебаний на записи по формуле из [19]:

$$M_d = 1.65 + 2.67 \cdot \lg(\tau, \text{ мин})$$

с последующим пересчетом в энергетический класс K_d по [12]:

$$K_d = 4 + 1.8 M_d.$$

Таким образом, величина землетрясений в региональном каталоге [10] характеризуется энергетическими классами K_p и K_d , локальными магнитудами ML , магнитудами MPV , MSH по максимальным амплитудам продольных, поперечных волн и магнитудами M_d по общей длительности колебаний на записи.

Кроме того, традиционно в каталоге Карпат [10] приведены магнитуды MSM , взятые из каталога Молдовы [16], магнитуды MS и $MPSP$ из Сейсмологического бюллетеня [20], M_s и m_b , m_{BUS} , M_w (GCMТ, MED, NEIC) – из бюллетеня ISC [21].

В 2015 г. три землетрясения из области Вранча и одно из Предкарпатья ощущались на территории Молдовы [22]. Их эпицентры локализованы на глубинах от 50.6 до 142 км [10]. Все четыре землетрясения (19 января, 24 января, 16 марта и 29 марта), описанные в отдельной статье

настоящего ежегодника, ощущались на территории Румынии, охватив свыше 20 населенных пунктов [23].

В Украине собраны описания землетрясения 19 июля с $h=7.7$ км в 25 населенных пунктах в [24]. Сводный макросейсмический эффект, описанный в Приложении [25], основан на сведениях в 60 населенных пунктах [26].

К региональному каталогу [10] в Приложениях есть два дополнения, одно по данным Молдовы [16], другое – из ISC [27]. Для 12 землетрясений найдены параметры механизмов очагов, которые также приведены в Приложении [28].

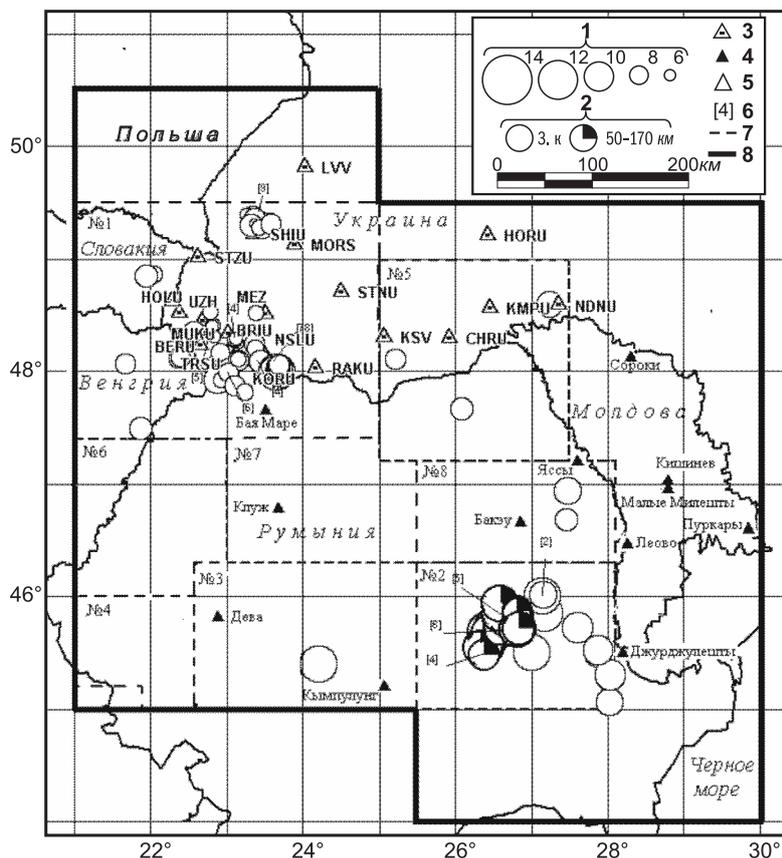


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Карпат за 2015 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3, 4 – сейсмическая станция Карпатского региона и прилегающих территорий соответственно; 5 – количество землетрясений с одинаковым эпицентром; 6 – граница сейсмоактивных районов: Северо-Западный № 1, Вранча № 2, Южные Карпаты № 3, Банат № 4, Буковина № 5, Кришана № 6, Трансильвания № 7, Бакэу № 8; 7 – граница региона Карпаты.

Карта эпицентров. На карте (рис. 1) изображены эпицентры землетрясений, которые произошли в сейсмоактивных районах Карпатского региона, с классификацией по энергетическим классам K_p , к которым приводились по описанным выше формулам все другие характеристики величины землетрясений, используемые в каталоге [10]. Наибольшая плотность эпицентров землетрясений с очагом в земной коре, с $h=0.9-21.6$ км, наблюдалась в Северо-Западном районе № 1, а глубоководных, с $h=50.6-152.2$ км, – в районе Вранча № 2 [10].

Как отмечено выше, наблюдаются три асейсмичных района, где по данным каталога [10] землетрясений не было – это Банат № 4, Кришана № 6 и Трансильвания № 7 (рис. 1). Асейсмична также территория Молдовы, которая не является районом Карпатского региона, но расположена ближе Львова к очаговой зоне глубоких землетрясений Вранча в Румынии (рис. 1) и потому испытывает сотрясения от наиболее сильных из них. Характер таких сотрясений описывается ежегодно в отдельных статьях выпусков журнала.

Статистики сейсмичности в 2015 г. Сведения о распределении землетрясений по энергетическим классам и величине выделившейся сейсмической энергии по районам и вне их приведены в (табл. 1).

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

| | Район | Энергетический класс K_p | | | | | | | | N_{Σ} | ΣE , Дж |
|---|-----------------------|----------------------------|----|----|----|----|----|----|----|--------------|----------------------|
| | | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | |
| 1 | Северо-Западный | – | – | – | – | – | – | – | – | 125 | $2.41 \cdot 10^{11}$ |
| | а) Закарпатье | 4 | 15 | 44 | 31 | 8 | 2 | 2 | – | 106 | $2.34 \cdot 10^{11}$ |
| | б) Предкарпатье | 1 | 1 | 4 | 2 | 1 | – | – | – | 9 | $1.25 \cdot 10^9$ |
| | в) Румыния, Мармарош | – | – | 2 | 1 | – | 1 | – | – | 4 | $4.20 \cdot 10^9$ |
| | г) Восточная Словакия | – | – | 1 | – | 1 | – | – | – | 2 | $5.26 \cdot 10^8$ |
| | д) Восточная Венгрия | – | – | 1 | 1 | 2 | – | – | – | 4 | $7.67 \cdot 10^8$ |
| 2 | Вранча | – | – | – | – | – | – | – | – | 33 | $3.88 \cdot 10^{12}$ |
| | а) горы Вранча | – | – | – | – | 5 | 13 | 7 | 3 | 28 | $3.85 \cdot 10^{12}$ |
| | б) район Браила | – | – | – | – | 1 | – | – | – | 1 | $1.26 \cdot 10^9$ |
| | в) район Галац | – | – | – | – | 1 | 3 | – | – | 4 | $2.79 \cdot 10^{10}$ |
| 3 | Южные Карпаты | – | – | – | – | – | – | – | 1 | 1 | $1.26 \cdot 10^{12}$ |
| 5 | Буковина | – | – | – | 2 | 1 | – | – | – | 3 | $8.20 \cdot 10^8$ |
| 8 | Бакэу | – | – | – | – | 2 | – | – | – | 2 | $1.89 \cdot 10^9$ |
| | Всего: | 5 | 16 | 52 | 37 | 22 | 19 | 9 | 4 | 164 | $5.38 \cdot 10^{12}$ |

Выделившаяся суммарная сейсмическая энергия в Карпатском регионе в 2015 г. составила $\Sigma E = 5.38 \cdot 10^{12}$ Дж, что почти на два порядка ниже соответствующего уровня ($\Sigma E = 2.11 \cdot 10^{14}$ Дж) сейсмической энергии в 2014 г. [1]. Распределение суммарной энергии и числа землетрясений в регионе по месяцам показано на рис. 2.

Максимальное количество сейсмической энергии, равное $\Sigma E = 3.88 \cdot 10^{12}$ Дж, выделилось в районе Вранча (№ 2) (рис. 3), что намного ниже уровня энергии в 2014 г. ($\Sigma E = 2.11 \cdot 10^{14}$ Дж). Сейсмическая энергия Северо-Западного района (№ 1) повысилась на два порядка ($\Sigma E = 2.41 \cdot 10^{11}$ Дж вместо $\Sigma E = 2.8 \cdot 10^9$ Дж в 2014 г.) [1].

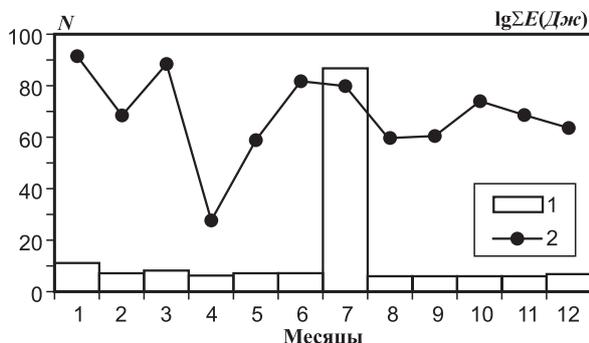


Рис. 2. Распределение количества землетрясений (1) и логарифма выделенной энергии (2) во всем регионе по месяцам за 2015 г.

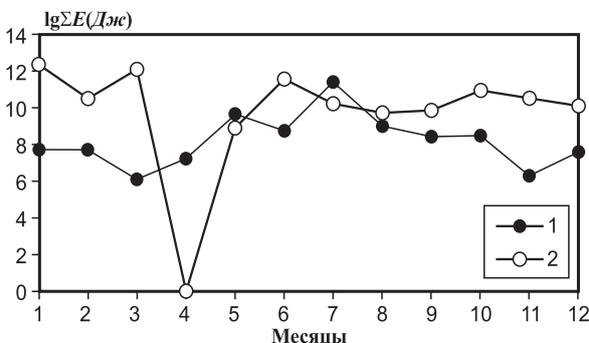


Рис. 3. Распределение логарифма выделенной энергии по месяцам за 2015 г. в Северо-Западном районе (№ 1) и в районе Вранча (№ 2)

Наибольшее число землетрясений ($N=87$) в регионе произошло в июле (рис. 2), а наименьшее ($N=6$) – в апреле, августе, сентябре, октябре и ноябре.

Район Вранча (№ 2) был активным с января по март и с мая по декабрь (рис. 3). Сейсмичность Северо-Западного района (№ 1) в 2015 г. представлена 125 событиями (рис. 1).

Сейсмическими станциями Украины зарегистрировано семь ощутимых землетрясений на территории Румынии (19 и 24 января, 16 и 29 марта, 29 июня, 29 сентября, 29 декабря [10, 16, 25] и более шести в Закарпатье. Что касается Закарпатья, наиболее полная информация представлена о главном Тересвинском землетрясении 19 июля в $11^{\text{h}}30^{\text{m}}$ с $K_p=11.1$ [29]. Еще более шести землетрясений ощущалось 19 июля в с. Округла. Это информация от директора школы с. Округла, которая представлена в интернете: «Как рассказал директор школы, первые толчки в с. Округла были ощутимы 19 июля около $13^{\text{h}}00^{\text{m}}$. Они продолжались весь день и ночь, аж до 5 часов утра» [30, 31]. В последующие дни жители сел тоже ощущали толчки. Определить точно, когда, какое землетрясение и с какой интенсивностью ощущалось, невозможно, поскольку макросейсмическое обследование на месте не проводилось.

Ниже приведен анализ сейсмической обстановки в 2015 г. в каждом из пяти районов, где в 2015 г. произошли землетрясения.

Северо-Западный (район № 1). В этом сейсмоактивном районе зарегистрировано 125 землетрясений в диапазоне энергетических классов $K_p=4.7-11.1$ с суммарной сейсмической энергией $\Sigma E=2.41 \cdot 10^{11}$ Дж.

а) В *Закарпатье* отмечено 106 землетрясений с $K_p=5.1-11.1$ и энергией $\Sigma E=2.34 \cdot 10^{11}$ Дж. Эпицентры землетрясений находятся в пределах ранее выделенных сейсмоактивных зон и приурочены к Закарпатскому и Припаннонскому глубинным разломам, расположенным по обе стороны от Выгорлат-Гутинского вулканического хребта. Наблюдалась повышенная сейсмическая активность в Тячево-Сигетской сейсмоактивной зоне как по количеству землетрясений, так и по уровню выделившейся сейсмической энергии. Эпицентры землетрясений размещены в пограничной с Румынией части Закарпатья. По историческим данным [32], в августе 1926 г. в этом районе произошла серия землетрясений, максимальное из которых, 10.08.1926 г., имело интенсивность $I_0=7$ баллов. В 1990 г. было отмечено семь землетрясений в районе пгт Тересва. Одно из них, которое произошло 09.12.1990 г. в 03^h39^m с $K_p=9.1$, ощущалось населением с интенсивностью $I=4$ балла [33].

В июле 2015 г. зарегистрирована серия землетрясений в районе пгт Тересва. Основные параметры удалось определить для 77 землетрясений. Более шести из них ощущались населением на территории Закарпатья и Румынии (Марамурешти). Наиболее сильное зарегистрировано 19 июля в 11^h30^m с $K_p=11.1$ и $MSH=3.4$. Очаг землетрясения расположен в земной коре на глубине $h=7.7$ км [10]. Землетрясение ощущалось в населенных пунктах Округла, Добрянское, Терново, Нересница, Кривое, Тячево, Тересва и других с интенсивностью $I=3-6$ баллов [31] по шкале MSK-64 [34]. Землетрясение ощущалось многими людьми, некоторые люди испытывали испуг, выходили во двор, ощущали дрожание домов, мебели, было замечено движение незакрытых дверей и окон. Был слышен подземный гул, который напоминал движение большой грузовой машины. При определении основных параметров использованы данные 53 сейсмических станций. Землетрясение было зарегистрировано сейсмическими станциями Карпатского региона Украины, Румынии, Словакии, Венгрии, Молдовы и Крыма. Эпицентры подземных толчков находятся на расстоянии 25 км от самой близкой сейсмической станции «Нижнее Селище» и 7 км от г. Тячево. Кроме того, в июле и августе, по характеру записи, предположительно из Тячевской зоны, было зарегистрировано 229 очень слабых событий только на одной сейсмической станции «Нижнее Селище». По записям данной станции невозможно было определить координаты очага. Поэтому эти события не были включены в каталог. Более детальная информация о данной серии землетрясений, а также механизм очага наиболее сильного землетрясения 19 июля, представлены в отдельной статье настоящего ежегодника [35].

Вдоль Вулканического хребта расположены эпицентры двенадцати землетрясений. Из них четыре произошли в районе г. Иршава (14 ноября в 23^h11^m с $K_d=5.7$, $h=3$ км; 15 ноября в 00^h32^m с $K_d=5.8$, $h=5$ км, в 04^h00^m с $K_d=5.7$, $h=5$ км и в 04^h08^m с $K_d=5.5$, $h=6$ км), три – в районе г. Хуст (26 июня в 09^h46^m с $K_p=7.2$, $h=2$ км; 4 августа в 10^h12^m с $K_p=7.0$, $h=2$ км; 1 октября в 11^h35^m с $K_p=7.9$, $h=1$ км), четыре – вблизи г. Мукачево (10 марта в 01^h59^m с $K_p=5.9$, $h=6$ км и в 02^h52^m с $K_p=5.6$, $h=2$ км; 14 июня в 11^h43^m с $K_p=8.3$, $h=5$ км; 28 декабря в 20^h26^m с $K_p=6.4$, $h=6$ км) и одно – вблизи с. Нижнее Селище (11 декабря в 11^h49^m с $K_p=6.7$, $h=3.6$ км).

На протяжении года в пределах Закарпатской низменности зарегистрировано по одному событию в с. Батеево, г. Берегово, г. Виноградово и в с. Королево – два. В районе с. Тросник зарегистрировано семь слабых землетрясений. Максимальное из них имело $K_p=7.6$, а минимальное – $K_d=5.4$. Очаги этих землетрясений расположены в одной эпицентральной зоне с событиями, которые произошли в ноябре 2014 г. с $K_p=5.6-8.9$ [1].

б) На протяжении года в *Предкарпатье* отмечено девять событий энергетического класса $K_p=4.7-8.9$, суммарная сейсмическая энергия которых составляет $\Sigma E=1.25 \cdot 10^9$ Дж. Очаги этих землетрясений расположены в земной коре на глубине $h=1-5$ км. Наиболее сильное из них зарегистрировано 5 июля в 11^h07^m с $K_p=8.9$, $MSH=2.1$ в 3.5 км на северо-восток от с. Опака и 3.5 км на юго-запад от с. Ясеница-Сильна Дрогобычского района Львовской области. Землетрясения произошли в том же районе, что и в прошлом 2014 г. в районе Сколевского разлома [1]. Их природа требует дальнейшего детального изучения.

в) Северная часть Румынии (Мармарошский массив) представлена четырьмя землетрясениями с суммарной энергией $\Sigma E = 4.20 \cdot 10^9$ Дж. Ощутимое землетрясение было зарегистрировано 11 мая в 05^h00^m с энергетическим классом $K_p = 9.6$, магнитудой $MSH = 2.6$ и $h = 14.1$ км сейсмическими станциями Карпатского региона Украины, Румынии, Словакии, Венгрии. Землетрясение ощущалось населением на территории Румынии с интенсивностью $I = 3$ балла по шкале MSK-64 [34]. При определении основных параметров использованы данные 38 сейсмических станций. Повторное землетрясение произошло в 06^h40^m с $K_p = 6.6$ и $h = 12.2$ км. Еще два землетрясения в этом районе были зарегистрированы 11 октября в 23^h15^m с $K_p = 8.3$, $h = 3$ км и 20 декабря в 07^h22^m с $K_p = 7.1$, $h = 19.2$ км.

г) В Восточной Словакии 28 мая зарегистрировано два землетрясения: в 02^h39^m с $K_p = 7.4$, $h = 2$ км и в 04^h22^m с $K_p = 8.7$, $h = 5$ км. Суммарная энергия этих землетрясений составляет $\Sigma E = 5.26 \cdot 10^8$ Дж. Эпицентры находятся в сейсмоактивном районе горы Выгорлат. В этом районе 22.01.2002 г. было отмечено ощутимое землетрясение с $K_p = 8.3$ с интенсивностью $I = 3$ балла [36].

д) В Восточной Венгрии (Среднедунайская низменность) зарегистрированы четыре события с суммарной энергией $\Sigma E = 7.67 \cdot 10^8$ Дж: 13 июня с $K_p = 8.5$, $h = 6$ км; 15 июля с $K_p = 7.1$, $h = 5$ км; 19 июля в 21^h46^m с $K_p = 7.6$, $h = 12.3$ км и 16 августа в 01^h39^m с $K_p = 8.6$, $h = 4.7$ км. Их суммарная энергия составляет $\Sigma E = 7.67 \cdot 10^8$ Дж.

В сейсмоактивном районе Вранча (№ 2) в Румынии сетью сейсмических станций Украины зарегистрировано 33 землетрясения с $K_p = 8.9 - 12.2$, суммарная сейсмическая энергия которых составляет $\Sigma E = 3.88 \cdot 10^{12}$ Дж. При определении координат очагов этих землетрясений были учтены данные сейсмических станций Румынии, Словакии, Венгрии, Польши, Молдовы и Крыма. Сейсмическими станциями Украины зарегистрировано семь землетрясений: 19.01 в 23^h53^m, 24.01 в 07^h55^m, 16.03 в 15^h49^m, 29.03 в 00^h44^m, 29.06 в 22^h20^m, 29.09 в 15^h53^m и 29.12 в 18^h56^m, которые ощущались населением на территории Румынии.

а) Горы Вранча – всего отмечено 28 землетрясений. Их выделившаяся суммарная энергия составляет $\Sigma E = 3.85 \cdot 10^{12}$ Дж. Очаги 21 землетрясения сосредоточены в зоне промежуточных событий в горном массиве Вранча на глубине $h = 50 - 160$ км. Четыре землетрясения ощущались населением Молдовы: 19 и 24 января, 16 и 29 марта [22]. Землетрясение 19 января в 23^h53^m произошло в Предкарпатье с $K_p = 10.8$, $h = 50.6 \pm 1.2$ км [10], $t_b = 3.9$ [21] и ощущалось населением в Кагуле с интенсивностью 2 балла [22]. Землетрясение 24 января произошло в горах Вранча с $K_p = 12.2$, $M_w = 4.3$, $h = 100$ км. Оно ощущалось в Кагуле с интенсивностью 3 балла, в Кишинёве – 2 балла. Землетрясения 16 марта с $K_p = 11.6$, $M_w = 4.3$, $h = 124$ км и 29 марта с $K_p = 11.9$, $M_w = 4.5$, $h = 142$ км ощущались в Кагуле с интенсивностью 3–4 балла, в Кишинёве – 2–3 балла [22]. Более детальная информация об ощутимых в Молдове землетрясениях (макросейсмика, механизм очага) представлена в [22, 23, 28].

б) Румыния, район Браила. Здесь отмечено одно землетрясение 8 марта в 06^h03^m с $K_p = 9.1$ и магнитудой $MSH = 2.6$ на глубине $h = 8$ км.

в) Район Галац. Здесь отмечены четыре землетрясения: 13 марта в 18^h38^m с $K_p = 9.5$ и $h = 2.1$ км, 17 мая в 11^h08^m с $K_p = 8.9$ и $h = 5$ км, 9 июня в 10^h44^m с $K_p = 10.3$ и $h = 17.6$ км, 27 октября в 11^h08^m с $K_p = 9.6$ и $h = 2$ км [10]. Их выделившаяся суммарная энергия составляет $\Sigma E = 2.79 \cdot 10^{10}$ Дж.

Южные Карпаты (район № 3) – юго-восточная часть Карпатской дуги. Здесь зарегистрировано землетрясение 29 декабря в 18^h56^m с энергетическим классом $K_p = 12.1$ и магнитудой $MSH = 3.8$. Согласно информации [37], землетрясение ощущалось населением на территории Румынии с интенсивностью $I = III$ балла ММ [38]. Эпицентр расположен в земной коре на глубине $h = 2$ км. При определении координат очага землетрясения использовались данные сейсмических станций Карпатского региона Украины, Румынии, Словакии, Венгрии, Молдовы и Крыма.

Буковина (район № 5). В этом районе зарегистрировано три землетрясения с суммарной энергией $\Sigma E = 2.51 \cdot 10^9$ Дж.

а) Украина. В Черновицкой области в районе г. Выжница 13 марта в 23^h35^m зарегистрировано землетрясение с $K_p = 8.1$ на глубине $h = 10$ км. В районе Днестровского водохранилища, в Хмельницкой области в районе с. Березивка, 23 апреля зарегистрировано землетрясение в 07^h26^m с энергетическим классом $K_p = 8.8$, магнитудой $MSH = 2.3$ и $h = 2$ км.

б) Румыния, район Сучавы. 07 мая в 21^h42^m здесь зарегистрировано землетрясение с энергетическим классом $K_p = 7.8$, магнитудой $MSH = 2.0$ и $h = 2$ км.

Бакэу (район № 8). В этом районе зарегистрированы два землетрясения: 19 сентября с $K_p=9.1$ и 03 октября с $K_p=8.8$ [10]. Их суммарная энергия составляет $\Sigma E=2.51 \cdot 10^9$ Дж. Эпицентры находятся в сейсмоактивном районе плато Бырлад. Очаги землетрясений расположены в земной коре на глубине 10 км и 15 км соответственно.

Заключение. В заключение следует отметить, что в Карпатах в целом в 2015 г. наблюдалось понижение уровня сейсмичности по сравнению с таковым в 2013 г. и в 2014 году. В трех сейсмоактивных зонах региона (№№ 1, 3 и 8) наблюдалось повышение уровня сейсмичности по сравнению с таковым в 2013 г. и 2014 г., а для сейсмоактивной зоны Вранча № 2 наблюдалось понижение уровня сейсмичности на два порядка. Сейсмичность Буковины осталась почти на прежнем уровне по сравнению с таковой в последние два года.

Параметры землетрясений сейсмоактивного региона Вранча, которые определены украинскими и молдавскими службами, имеют между собой незначительные отличия, поэтому за окончательный вариант каталога следует принять каталог, составленный львовскими сейсмологами.

Особо следует отметить продолжение сейсмической активности очаговой зоны выше 49 параллели, вблизи станции «Схидныця», а также продолжение проявления сейсмической активности в районе водохранилища Днестровской ГАЭС, возможно спровоцированной его заполнением.

Л и т е р а т у р а

1. Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецкив А.Т., Чуба М.В., Нищименко И.М., Келеман И.Н., Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю., Симонова Н.А. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020. – С. 27–37.
2. Пронишин Р.С. (отв. сост.). Цифровые сейсмические станции сети региона Карпаты, работавшие в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
3. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
4. Илиеш И.И. (отв. сост.). Аналоговая и цифровые сейсмические станции сети Республики Молдова, работавшие в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
5. Herrmann R.B. FASTHYPO – a hypocenter location program // Earthquake notes. – 1979. – V. 50, N 2. – P. 25–37.
6. Кутас В.В., Пронишин Р.С., Руденская И.М. Использование макросейсмических данных при расчете закавказского годографа P - и S -волн // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 2004. – С. 119–126.
7. 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.
8. Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Вербицкий Ю.Т., Келеман И.Н., Степаненко Н.Я., Илиеш И.И., Симонова Н.А., Алексеев И.В. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 40–48.
9. Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецкив А.Т., Чуба М.В., Нищименко И.М., Келеман И.Н. Сейсмичность Карпат в 2015 году // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. – Серия «География». – 2016. – Т. 2(68), № 4. – С. 69–78.
10. Чуба М.В. (отв. сост.); Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецкив А.Т., Нищименко И.М., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Плишко С.М., Добротвир Г.А., Вербицкая О.Я., Давыдяк О.Д., Герасименюк Г.А., Гандарова Г.З., Кикеля Л.М., Вербицкая О.С., Симонова Н.А. Каталог землетрясений Карпат за 2015 год // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
11. 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.
12. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
13. Anthony Lomax. SeisGram2K Seismogram Viewer v5.3.4X05 (09Sep2008) (BETA) Copyright © 2000–2008. – URL: <http://www.alomax.net/seisgram>

14. 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. – № 1. – С. 48–52.
15. Алексеев И.В. Программа определения гипоцентра землетрясения HYPOS // Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM. – 2014. – № 2. – С. 24–28.
16. Илиеш И.И., Симонова Н.А. (отв. сост.); Тону Н.А. Дополнение к каталогу землетрясений Карпат по данным Молдовы за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
17. New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP) // GeoForschungs Zentrum. – Potsdam: IASPEI, 2002. – V. 1, N 3. – P. 24.
18. Кондорская Н.В. Инструментальные данные // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 13.
19. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. – М.: АН СССР, 1974. – Т. 2. – С. 180–194.
20. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеismicких станций), 2015. (2021) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015
21. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
22. Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Карданец В.Ю. (отв. сост.). Описание макросейсмических проявлений землетрясений 2015 г. в Молдове // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
23. Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю., Симонова Н.А. Ощутимые в Молдове землетрясения 2015 г.: 24 января с $K_p=12.2$, $M_w=4.3$; 16 марта с $K_p=11.6$, $M_w=4.3$; 29 марта с $K_p=11.9$, $M_w=4.5$ (Румыния–Молдова) // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 267–275, doi: 0.35540/1818-6254.2021.24.26
24. Пронишин Р.С. (отв. сост.). Описание макросейсмических проявлений землетрясений 2015 г. в Украине // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
25. Пронишин Р.С., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Карданец В.Ю. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Карпат в населенных пунктах в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
26. Пронишин Р.С., Пойгина С.Г., Бахтиярова Г.М., Лукаш Н.А. Сведения о пунктах ($n_{\text{пункт}}=60$), для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Карпат за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
27. Левина В.И. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Дополнение к каталогу землетрясений Карпат по данным ISC за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
28. Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю., Пустовитенко Б.Г., Пронишин Р.С. (отв. сост.); Лукаш Н.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Карпат за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
29. Пронишин Р.С. Тересвинские землетрясения 2015 года // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – Симферополь, 2017. – Т. 3 (69), № 4. – С. 139–155.
30. Закарпаття онлайн. (2021). [Site]. – URL: <https://zakarpattya.net.ua/Zmi/142872-Na-Tiachivshchyni-stvoryly-komisiyu-po-likvidatsii-naslidkiv-zemletrusu-VIDEO>
31. Закарпаття онлайн. (2021). [Site]. – URL: <https://zakarpattya.net.ua/Search/Землетрус/Page/1>
32. Костюк О.П., Москаленко Т.П. (отв. сост.), Евсеев С.В., Роман А.А., Сагалова Е.А., Шебалин Н.В. I. Карпаты [1091–1974 гг.; $M \geq 4.5$, $I_0 \geq 5$ (неглубокие землетрясения); $m_{PV} \geq 5.5$, $I_0 \geq 6$ (глубокие землетрясения)] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 36–54.
33. Костюк О.П., Руденская И.М., Москаленко Т.П. Сейсмичность Карпат в 1990 году // Сейсмологический бюллетень Западной зоны сейсмических наблюдений Украины и Молдовы за 1990 год. – Киев: Наукова Думка, 1985. – С. 163–167.
34. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

35. Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г. Тересвинское землетрясение 19 июля 2015 г. в 11^h30^m с $K_R=11.1$, $MSH=3.4$, $h=7.7$ км, $I_0=6$ (Закарпатье, Украина) // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 291–304 doi: 0.35540/1818-6254.2021.24.28
36. Руденская И.М., Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф., Билык Н.Т., Чуба М.В., Келеман И.М., Гаранджа И.А. Сейсмичность Карпат в 2002 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: НПЦ Экокси-Гидрофизика, 2004. – С. 33–39.
37. Search Earthquake Catalog // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
38. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Site]. – URL: <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>

SEISMICITY of the CARPATHIANS in 2015

S.T. Verbitsky¹, R.S. Pronishin¹, V.I. Prokopishin¹, A.T. Stetskiv¹, M.V. Chuba¹,
I.M. Nishchimenko¹, I.N. Keleman¹, N.Ya. Stepanenko², V.Yu. Kardanets², N.A. Simonova²

¹Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, Lviv, pronrom@gmail.com

²Institute of Geology and Seismology, Academy of Sciences of Moldova, Chisinau, kis-seismo@mail.ru

Abstract. The article describes seismic observations in the Carpathian region in 2015, which were carried out, as before, by two organizations from two states: in Ukraine – the Seismicity department of the Carpathian region of the Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, in Moldova – the Seismology laboratory of the Institute of Geology and Seismology of the Academy of Sciences of Moldova. 20 stationary digital stations with a processing center in L'viv and six stations with a center in Chisinau operated in Ukraine and Moldova respectively. Different programs, local hodographs and magnitudes were used. The consolidated catalogue of earthquakes was created in L'viv. The total number of earthquakes in 2015 was $N_{\Sigma}=164$ in the ranges: $\Delta K_R=4.7-12.2$, $\Delta h=1-160$ km. The total seismic energy $\Sigma E=5.38 \cdot 10^{12}$ J. 23 earthquakes with depths $h=50-160$ km were located in the Vrancea zone. The maximum earthquake with $K_R=12.2$ was registered on January 24 in the Vranca mountains with $h_{pp}=89$ km. In the Precarpathian region, nine events with energy classes $K_R=4.7-8.9$ were registered, the total seismic energy of which is $\Sigma E=1.25 \cdot 10^9$ J. Increased seismic activity was observed in Transcarpathia. A series of tangible earthquakes with aftershocks was recorded in the Tyachiv area. Their total number was $N_{\Sigma}=77$. The strongest tangible earthquake occurred in the area of Okrugla village on July 19 with $K_R=11.1$. The earthquake source is located in the Earth's crust at a depth of $h=7.7$ km. The earthquake was felt by the population in the epicentral area with an intensity of $I=6$. In addition, this earthquake, like 5 others, was felt in the territory of northern Romania. In general, a decrease in the seismicity level in the Carpathians in 2015 was observed compared to that in 2013 and 2014.

Keywords: Ukraine, Carpathians, station networks, perceptible earthquake, intensity in balls, seismic energy, intermediate earthquakes.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.02

For citation: Verbitsky, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishin, V.I., Stetskiv, A.T., Chuba, M.V., Nishchimenko, I.M., Keleman, I.N., Stepanenko, N.Ya., Kardanets, V.Yu., & Simonova, N.A. (2021). [Seismicity of the Carpathians in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 31–42 (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.02

R e f e r e n c e s

1. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishin, V.I., Stetskiv, A.T., Chuba, M.V., Nishchimenko, I.M., Keleman, I.N., Stepanenko, N.Ya., Kardanets, V.Yu., & Simonova, N.A. (2020). [Carpathians]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 27–37. (In Russ.).
2. Pronishin, R.S. (2021). [Digital seismic stations in the Carpathian region network operating in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
3. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudeniia na seismicheskikh stantsiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudeniia SSSR* [Instructions on the procedure for the production and processing of observations at seismic stations of the Unified Seismic Observation System of the USSR]. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).
4. Iliyesh, I.I. (2020). [Analog and digital seismic stations of the Republic of Moldova network operating in 2014]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).

5. Herrmann, R.B. (1979). FASTHYPO – a hypocenter location program. *Earthquake notes*, 50(2), 25–37.
6. Kutas, V.V., Pronishin, R.S., & Rudenskaya, I.M. (2004). [The use of macroseismic data in the calculation of the Transcarpathian hodograph *P*- and *S*-waves]. *Seismologicheskii byulleten' Ukrainy* [Seismological bulletin of Ukraine for 2002] (pp. 119–1260). Simferopol, Ukraine: IGF NAS CEC Publ., (In Russ.).
7. Kutas, V.V., Rudenskaya, I.M., & Kalitova, I.A. (1999). [Carpathian godograf of *P*- and *S*-waves and lithospheric heterogeneity]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical journal], 21(3), 45–54. (In Russ.).
8. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Stasyuk, A.F., Chuba, M.V., Verbitskiy, Yu.T., Keleman, I.N., Stepanenko, N.Ya., Iliyesh, I.I., Simonova, N.A., & Alekseyev, I.V. (2018). [Carpathians]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 21(2012), 40–48. (In Russ.).
9. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishin, V.I., Stetskiy, A.T., Chuba, M.V., Verbitskiy, Yu.T., Nishchimenko, I.M., & Keleman, I.N. (2016). [Seismicity of the Carpathians in 2015]. *Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Series "Geography"*. [Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series "Geography"], 27(2), 87–96. (In Russ.).
10. Chuba, M.V., Pronishin, R.C., Prokopishin, V.I., Stetskiy, A.T., Nishchimenko, I.M., Keleman, I.N., Garandzha, I.A., Dobrotvir, G.A., Verbitskaya, O.Ya., Davydyak, O.D., Gerasimenyuk, G.A., Stasyuk, M.I., Simonova, N.A., Burlutskaya, A.M., & Yevdokimova, O.V. (2021). [Catalog of the earthquakes of the Carpathians for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
11. Rautian, T.G. (1964). [On the determination of the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Eksperimental'naya seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic. Proceedings of the IFZ SA USSR № 32(199)] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
12. Rautian, T.G. (1960). [Energy of the Earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti. Trudy IFZ AN SSSR, 9(176)*. [Methods of Detailed Study of the Seismicity. Proceedings of the IFZ SA USSR № 9(176)] (pp. 75–114). Moscow, Russia: IFZ AN SSSR. (In Russ.).
13. SeisGram2K Seismogram Viewer v5.3.4X05. Retrieved February 10, 2020, from <http://www.alomax.net/seisgram>
14. Alekseyev, I.V., Roman, A.A., & Simonova, N.A. (2005). [Construction of a regional locus of Vrancea focus based on data from the International Seismological Center]. *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM* [Bulletin of the Institute of Geology and Seismology of the ASM], 1, 48–52. (In Russ.).
15. Alekseyev, I.V. (2014). [Program for determining the hypocenter of the earthquake HYPOS]. *Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM* [Bulletin of the Institute of Geology and Seismology of the ASM], 2, 24–28. (In Russ.).
16. Iliyesh, I.I., Simonova N.A., & Tonu, N.A. (2020). [Additional catalog of Carpathian Earthquakes in 2015 according to Moldova]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
17. Bormann, P. (2002). New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). *GeoForschungs Zentrum. Potsdam: IASPEI*, 1(3), 24 p.
18. Kondorskaya, N.V. (1977). [Tool data]. In *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseny na territorii SSSR s drevnikh vremen* [A new catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 13 p. (In Russ.).
19. Malamud, A.S. (1974). [Use of oscillation duration for energy classification of earthquakes]. *Magnituda i energeticheskaya klassifikatsiya zemletryaseny* [Magnitude and energy classification of earthquakes], 2, 180–194. (In Russ.).
20. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2015. (2021). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015
21. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
22. Stepanenko, N.Ya., Simonova, N.A., & Kardanets, V.Yu. (2021). [Description of macroseismic manifestations of earthquakes in 2015 in Moldova]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
23. Stepanenko, N.Ya., Kardanets, V.Yu., & Simonova, N.A. (2021). [Earthquakes felt in Moldova in 2015: January 24 with $K_R=12.2$, $M_w=4.3$, March 16 with $K_R=11.6$, $M_w=4.3$ and March 29 with $K_R=11.9$, $M_w=4.5$ (Romania-Moldova)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 267–275. (In Russ.). doi: 0.35540/1818-6254.2021.24.26

24. Pronishin, R.S. (2021). [Description of macroseismic manifestations of earthquakes in 2015 in Ukraine]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
25. Pronishin, R.S., Stepanenko, N.Ya., Simonova, N.A., Kardanets, V.Yu., & Lukash, N.A. (2021). [The macroseismic effect of tangible earthquakes in the settlements of the Carpathians in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
26. Pronishin, R.S., Poygina, S.G., Bakhtiarova, G.M., & Lukash, N.A. (2021). [Information about points ($n=60$), for which there is information about macroseismic manifestations of tangible earthquakes of the Carpathians in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
27. Levina, V.I., & Lukash, N.A. (2021). [Supplement to the catalog of earthquakes in the Carpathians according to ISC data for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
28. Stepanenko, N.Ya., Kardanets, V.Yu., Pustovitenko, B.G., Pronishin, R.S., & Lukash, N.A. (2021). [Catalog of focal mechanisms of earthquakes in the Carpathians for 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
29. Pronishin, R.S. (2017). [Teresvinsky earthquakes of 2015]. *Uchenyye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Series "Geography"* [Scientific notes of the Taurida National University named after V.I. Vernadsky. Series "Geography"], 3(4), 139–155. (In Russ.).
30. *Zakarpattya online*. (2021). Retrieved from <https://zakarpattya.net.ua/Zmi/142872-Na-Tiachivshchyni-створили-комісію-по-ліквідації-наслідків-землетрусу-VIDEO>
31. *Zakarpattya online*. (2021). Retrieved from <https://zakarpattya.net.ua/Search/Землетрус/Page/1>
32. Kostyuk, O.P., Moskalenko, T.P., Evseev, S.V., Roman, A.A., Sagalova, E.A., & Shebalin, N.V. (1977). [Carpathians [1091–1974; $M \geq 4.5$, $I_0 \geq 5$ (shallow earthquakes); $m_{pv} \geq 5.5$, $I_0 \geq 6$ (deep earthquakes)]]]. In *Novyyi katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR s drevnikh vremen* [A new catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975] (pp. 36–54). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
33. Kostyuk, O.P., Rudenskaya, I.M., & Moskalenko, T.P. (1985). [Seismicity of the Carpathians in 1990]. *Seysmologicheskii byulleten' Zapadnoj zony seysmicheskikh nablyudenij za 1990 god* [Seismological bulletin of the Western zone of seismic observations of Ukraine and Moldova for 1990] (pp. 163–167). Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (In Russ.).
34. Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Karnik, V. (1965). *Shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [Seismic intensity scale MSK-64]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
35. Pronishin, R.S., & Pustovitenko, B.G. (2021). [Teresva earthquake on July 19, 2015 at 11^h30^m with $K_p=11.1$, $MSH=3.4$, $h=7.7$ km, $I_0=6$ (Transcarpathia, Ukraine)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 291–304 doi: 0.35540/1818-6254.2021.24.28 (In Russ.).
36. Rudenskaya, I.M., Pronishin, R.S., Stasyuk, A.F., Bilyk, N.T., Chuba, M.V., Keleman, I.M., & Garandzha, I.A. (2004). [Seismicity of the Carpathians in 2002]. *Seysmologicheskii byulleten' Ukrainy za 2002* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2002] (pp. 33–39). Simferopol, Ukraine: NPC “Ecosi-Hydrophysics” Publ. (In Russ.).
37. Search Earthquake Catalog. USGS. (2021). Retrieved from: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>
38. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics. USGS. (2021). Retrieved from: <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/mercalli.php>