

УДК 550.348.(477.8)

## СЕЙСМИЧНОСТЬ КАРПАТ в 2018–2019 гг.

С.Т. Вербицкий<sup>1</sup>, Р.С. Пронишин<sup>1</sup>, В.И. Прокопишин<sup>1</sup>, А.Т. Стецькив<sup>1</sup>, И.М. Нищименко<sup>1</sup>,  
И.Н. Келеман<sup>1</sup>, Г.А. Герасименюк<sup>1</sup>, Н.Я. Степаненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Отдел сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины,  
г. Львов, [pronrom@gmail.com](mailto:pronrom@gmail.com)

<sup>2</sup>Лаборатория сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы,  
г. Кишинёв, [kis-seismo@mail.ru](mailto:kis-seismo@mail.ru)

**Аннотация.** В статье описаны сейсмические наблюдения в Карпатском регионе в 2018–2019 гг., которые проводились, как и ранее, двумя организациями из двух государств: в Украине – отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины и лабораторией сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы. На территории Украины работали 21 стационарная цифровая станция и три временные в районе г. Стебника Дрогобычского района Львовской области с центром обработки во Львове, в Молдове – одна аналоговая и шесть цифровых 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 2018–2019 гг. составило  $N_{\Sigma}=99$  в диапазоне  $K_r=4.5-13.6$  с интервалом глубин гипоцентров  $h=0.4-157.5$  км и суммарной сейсмической энергией  $\Sigma E=4.2 \cdot 10^{13}$  Дж. Из них 36 землетрясений с глубинами  $h=7-157.5$  км расположены в зоне Вранча. Максимальное землетрясение в горах Вранча зарегистрировано 28 октября 2018 г. с  $K_r=13.6$  и  $h_{rp}=150.6$  км. Эпицентральная зона подверглась сотрясениям с интенсивностью 4 балла. Землетрясение ощущалось населением на территории Румынии, Болгарии, в Одесской области Украины (г. Измаил) и в Молдове с интенсивностью 2–3 балла. В Предкарпатье и Закарпатье все землетрясения – более слабые. Для Закарпатья их энергетический класс находится в диапазоне  $K_r=5.5-7.9$ , а глубина – в пределах  $h=0.6-8.0$  км; для Предкарпатья (Львовская область) –  $K_r=4.5-7.3$ , а глубина –  $h=0.4-2.0$  км. Наиболее сильным событием Буковины в 2018–2019 гг. было ощутимое землетрясение, которое произошло в районе г. Новоднестровска 24 марта 2018 г. с  $K_r=9.4$  и магнитудой  $MSH=2.4$  на глубине  $h=1$  км. Оно ощущалось с интенсивностью 4 балла в с. Ломачинцы Сокирянского района Черновицкой области. В целом в Северо-Западном районе, в сейсмоактивной зоне Вранча и в Буковине в 2018–2019 гг. наблюдалось понижение уровня сейсмичности по сравнению с таковым в 2016–2017 гг., а в районе № 8 уровень сейсмичности практически не изменился.

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

**Для цитирования:** Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецькив А.Т., Нищименко И.М., Келеман И.Н., Герасименюк Г.А., Степаненко Н.Я. Сейсмичность Карпат в 2018–2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 39–47. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.02>. EDN: ZUVSZJ

**Введение.** Сейсмические наблюдения в Карпатском регионе проводились в 2018–2019 гг., как и в прошлые годы [1, 2], силами организаций из двух государств: отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины (ИГФ НАНУ) и лабораторией сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы (ИГиС АНМ). 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. Карпатский регион ограничен координатами:  $51^{\circ}\text{N}-21^{\circ}\text{E}$ ,  $51^{\circ}\text{N}-25^{\circ}\text{E}$ ,  $49.5^{\circ}\text{N}-25^{\circ}\text{E}$ ,  $49.5^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{E}$ ,  $44^{\circ}\text{N}-30^{\circ}\text{E}$ ,  $44^{\circ}\text{N}-25.5^{\circ}\text{E}$ ,  $45^{\circ}\text{N}-25.5^{\circ}\text{E}$ ,  $45^{\circ}\text{N}-21^{\circ}\text{E}$  и разделен на восемь районов, которые включают в себя части территорий Украины, Молдовы, Польши, Словакии, Венгрии и Румынии.

**Сейсмические станции.** В Карпатском регионе в 2018–2019 гг. сейсмологическая сеть инструментальных наблюдений ИГФ НАНУ состояла из 21 стационарной станции и трех временных. Из них 16 станций находятся в подчинении Карпатской опытно-методической сейсмологической партии (КОМСП) отдела сейсмичности, а пять – в подчинении Карпатской опытно-методической геофизической партии (КОМПГ) этого же отдела. Поэтому в Приложении 1 в списке станций Карпат для каждой из них в отдельной графе указан код партии – КОМСП или КОМПГ соответственно.

Кроме того, при интерпретации цифровых записей использованы данные временных сейсмических станций «Стебник-3, 4 и 5» (Стб3, Стб4, Стб5), открытых в г. Стебнике Дрогобычского

района Львовской области последовательно в октябре 2017 г. (Стб3) и в августе 2019 г. – (Стб4, Стб5). На всех сейсмических станциях инструментальные наблюдения проводились с использованием цифровой аппаратуры DAS(-03, -04, -05), созданной в Отделе сейсмичности Карпатского региона ИГФ НАНУ. Основные параметры регистрирующей аппаратуры приведены в Приложении 1. Дополнительно для определения параметров – времени возникновения, координат и глубин очагов с невязками их 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, Словакия, Румынии, Болгарии и Венгрии). Производство и обработка наблюдений на сейсмических станциях проводилась согласно Инструкции [3].

В Молдове в 2018–2019 гг. сейсмические наблюдения велись на шести станциях с цифровой регистрацией: «Кишинёв» (KIS), «Леово» (LEOM), «Сороки» (SORM), «Джурджулешты» (GIUM), «Малые Милешты» (MILM) и «Пуркары» (PURM), а также комплектом аналоговой аппаратуры на станции «Кишинёв». Список станций лаборатории сейсмологии ИГиС АН М, их координаты, перечень и параметры установленной на станциях аппаратуры приводится в Приложении 2.

**Обработка землетрясений в Карпатском регионе** в 2018–2019 гг. проводилась по той же методике, что и в предыдущие годы [1, 2], согласно Инструкции [3]: были определены основные кинематические параметры (координаты, глубина, время в очаге) землетрясений, а также точности решения по каждому из параметров. Определялись также динамические параметры, характеризующие величину зарегистрированных сейсмических событий, – энергетический класс  $K_p$  и магнитуду  $MSH$  по объемным  $S$ -волнам для всех землетрясений, локальную магнитуду  $ML$  по продольным  $P$ -волнам для близких землетрясений. Важным дополнительным параметром в оценке величины землетрясений всех глубин является магнитуда  $Md$  по общей длительности колебаний на записи и рассчитанный из нее энергетический класс  $Kd$ .

Определение параметров  $K_p$ ,  $MSH$ ,  $ML$  требует знания амплитудно-частотных характеристик каналов регистрации, имеющихся в отделе в формате PAZ GSE1 [4] лишь для пяти станций: «Львов», «Ужгород», «Косов», «Рахов» и «Новоднестровск». На этих станциях определялись:

- для местных землетрясений – энергетический класс  $K_p$  по номограмме Т.Г. Раутиан [5];
- для близких землетрясений – локальная магнитуда  $ML$  – по формуле из [6]:

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

– для землетрясений района Вранча магнитуда  $MSH$  (по горизонтальной составляющей поперечных  $S$ -волн) – по формуле из инструкции [3]:

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

где для промежуточных землетрясений с  $h \geq 70$  км вносилась поправка 0.8 согласно [7]. Затем определялся расчетный энергетический класс по уравнению Т.Г. Раутиан [8]:

$$K_p = 4 + 1.8 \cdot MSH.$$

На всех сейсмостанциях в качестве характеристики величины сейсмических событий использовалась также магнитуда  $Md$  по общей длительности  $\tau$  колебаний на записи, определяемая по формуле из [9]:

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

с последующим пересчетом в энергетический класс  $Kd$  по стандарту [8].

В Молдове для составления каталога использовалась разработанная в Институте геологии и сейсмологии АН Молдовы программа HYPOS, которая вычисляет положение гипоцентра землетрясения по данным о временах вступления  $P$ - и  $S$ -волн на сейсмических станциях Молдовы, Румынии, Украины, России (Крым) (Приложение 4). Классификация землетрясений дана в Приложении 4 по региональным локальным магнитудам  $ML_{\text{рег}}$  и взятым из [10] локальным магнитудам  $ML_{\text{BUC}}$  агентства Румынии BUC с указанием числа  $n$  станций.

Традиционно в каталоге Карпат (Приложение 3), помимо магнитуд  $MSH$ ,  $ML$ ,  $Md$  и классов  $K_p$ ,  $Kd$ , приведены магнитуды  $ML_{\text{рег}}$ , взятые из каталога Молдовы (Приложение 4), магнитуды  $MS$  и  $MPSP$  – из Сейсмологического бюллетеня [11],  $M_s$  и  $m_b$ ,  $ML_{\text{BUC}}$ , моментные магнитуды  $M_w$  и сейсмические моменты  $M_0$  агентств GCMT, MED, GFZ – из ISC [12].

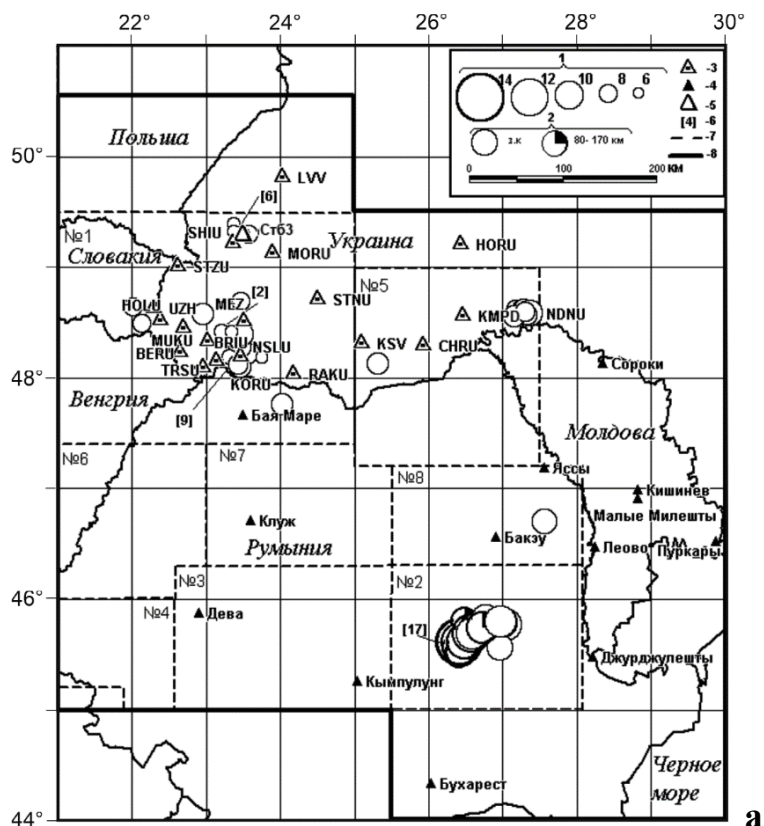
**Каталог землетрясений и карта эпицентров.** Всего в 2018–2019 гг. сейсмическими станциями Карпатского региона Украины локализовано 99 землетрясений (48 в 2018 г. и 51 – в 2019 г.), из них 71 мелких с  $h=0.4\text{--}75.8$  км и 28 – с промежуточной глубиной очага  $h=116.0\text{--}157.5$  км (Приложение 3). Минимальную глубину ( $h_{\min}=0.4$  км) имеет толчок 23 августа 2019 г. в  $13^{\text{h}}20^{\text{m}}$  с  $Kd=5.3$  на территории Предкарпатья в районе г. Дрогобыча Львовской области, максимальную ( $h_{\max}=157.5$  км) – землетрясение Вранча с  $Kp=13.6$ , произошедшее 28 октября 2018 г. в  $00^{\text{h}}38^{\text{m}}$ . В пределах пяти традиционных районов Карпат – Северо-Западном (№ 1), Вранча (№ 2), Буковины (№ 5), Кришана (№ 6), Бакэу (№ 8) – в региональном каталоге локализованы 98 землетрясений, а одно – вне районов, с  $\varphi=50.06^{\circ}\text{N}$ ,  $\lambda=24.96^{\circ}\text{E}$ . В остальных трех районах – Южные Карпаты (№ 3), Банат (№ 4) и Трансильвания (№ 7) – землетрясений, согласно Приложению 3, не было.

К региональному каталогу есть два дополнения – Приложение 4 и Приложение 5. Первое прислано из Молдовы и содержит 284 землетрясения (68 мелких с  $h=2\text{--}75$  км и 216 – с промежуточной глубиной очага  $h=77\text{--}152$  км). Другое составлено в *ред.* по данным ISC [12] с  $ML_{\text{BUC}} \geq 2.4$  и включает 17 событий (пять мелких с  $h=13\text{--}26$  км и 12 – с промежуточной глубиной очага  $h=120\text{--}158$  км), которых нет в Приложениях 3 и 4. Почти все землетрясения из Приложений 4 и 5 локализованы в районе Вранча № 2.

Параметры 37 землетрясений, которые определены украинскими (Приложение 3) и молдавскими (Приложение 4) службами, имеют незначительные отличия, поэтому за окончательный вариант каталога этих землетрясений принят каталог, составленный львовскими сейсмологами, т.к. в их обработку было включено намного больше сейсмических станций. Остальные, более слабые, землетрясения из данного района приведены в Приложении 4 только по данным Молдовы.

Еще три Приложения к региональному каталогу созданы в *ред.* и содержат: 22 решения механизма очагов для пяти землетрясений (Приложение 6), сведения о макросейсмическом эффекте для семи землетрясений (Приложение 7) и список из 155 населенных пунктов, в которых они ощущались (Приложение 8).

На карте (рис. 1 а, б) изображены эпицентры землетрясений с классификацией по энергетическим классам  $Kp$  или  $Kd$  (при отсутствии  $Kp$ ).



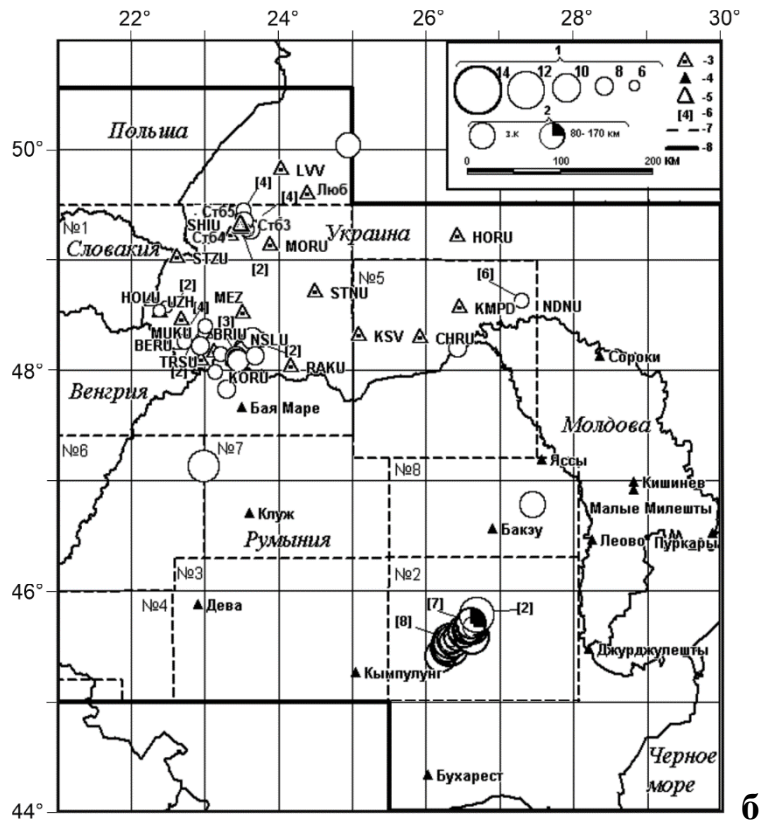


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Карпат за 2018 г. (а) и 2019 г. (б)

1 – энергетический класс  $K_p$  или  $K_d$  (при отсутствии  $K_p$ ); 2 – глубина гипоцентра  $h$ , км; 3, 4 – сейсмическая станция Карпатского региона и прилегающих территорий соответственно; 5 – временные сейсмические станции; 6 – количество землетрясений с одинаковым эпицентром; 7 – граница сейсмоактивного района: № 1 – Северо-Западный, № 2 – Вранча, № 3 – Южные Карпаты, № 4 – Банат, № 5 – Буковина, № 6 – Кришана, № 7 – Трансильвания, № 8 – Бакзу; 8 – граница региона Карпаты.

На обеих картах заметная плотность коровых эпицентров наблюдалась в Северо-Западном районе № 1. Глубины  $h$  их очагов варьируют в диапазоне от 0.4 до 8 км [Приложение 3]. Наиболее часто толчки регистрировались в слое с  $h$  от 1.1 до 2 км ( $N=23$ ) и редко (по одному толчку) – в слое  $h=7-8$  км. Но наибольшая плотность очагов наблюдалась в зоне Вранча, в районе № 2, где преимущественны очаги в промежуточном слое от  $h=76$  км до  $h=157.5$  км. Согласно Приложению 3 и картам эпицентров, асейсмичными в 2018 г. были четыре района: Южные Карпаты (№ 3), Банат (№ 4), Кришана (№ 6) и Трансильвания (№ 7) (рис. 1 а), а в 2019 г. – три района – № 3, № 4 и № 7 (рис. 1 б). Асейсмичной является также вся территория Молдовы (рис. 1), которая не является районом Карпатского региона, но расположена ближе Львова к очаговой зоне промежуточных землетрясений Вранча в Румынии и потому часто испытывает сотрясения от наиболее сильных из них.

**Статистики сейсмичности в 2018–2019 гг.** Сведения о распределении землетрясений в каталоге (Приложение 3) по энергетическим классам и величине выделившейся сейсмической энергии по районам и вне их границ приведены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение землетрясений по энергетическим классам и суммарная сейсмическая энергия по районам за 2018–2019 гг.

№ р-на	Название района	Энергетический класс										$N_{\Sigma}$	$\Sigma E$ , Дж		
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14				
1	Северо-Западный	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	49	$1.10 \cdot 10^9$
	а) Предкарпатье	8	5	3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16	$4.42 \cdot 10^7$
	б) Закарпатье	–	11	12	5	–	–	–	–	–	–	–	–	28	$5.00 \cdot 10^8$
	в) Восточная Словакия	–	–	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	$3.00 \cdot 10^7$
	г) Мармарош (Румыния)	–	1	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	3	$5.22 \cdot 10^8$

№ р-на	Название района	Энергетический класс										$N_{\Sigma}$	$\Sigma E$ , Дж
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
2	Вранча	–	–	–	–	14	16	4	1	–	1	36	$4.19 \cdot 10^{13}$
3	Южные Карпаты	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Банат	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
5	Буковина	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	10	$2.65 \cdot 10^9$
	а) Покутье	–	–	1	–	–	–	–	–	–	–	1	$1.58 \cdot 10^7$
	а) Подолье	–	2	4	2	1	–	–	–	–	–	9	$2.63 \cdot 10^9$
6	Кришана (Румыния)	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	1	$1.00 \cdot 10^{11}$
7	Трансильвания	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
8	Бакэу	–	–	–	–	1	1	–	–	–	–	2	$4.38 \cdot 10^9$
	Вне районов	–	–	–	–	1	–	–	–	–	–	1	$7.94 \cdot 10^8$
	Всего:	8	19	23	8	17	17	5	1	0	1	99	$4.20 \cdot 10^{13}$

Выделившаяся в Карпатском регионе суммарная сейсмическая энергия за 2018–2019 гг. составила  $4.11 \cdot 10^{13}$  Дж в 2018 г. и  $9.15 \cdot 10^{11}$  Дж – в 2019 г., в сумме –  $\Sigma E = 4.20 \cdot 10^{13}$  Дж, что почти на порядок ниже суммарной энергии в 2016–2017 гг. ( $2.92 \cdot 10^{14}$  Дж [2]).

Распределение суммарной энергии и числа землетрясений в регионе по месяцам показано на рис. 2. Наибольшее число землетрясений ( $N=11$ ) произошло в августе 2019 г., а наименьшие числа толчков отмечены в феврале 2018 г. ( $N=1$ ) и в октябре 2019 г. ( $N=1$ ).

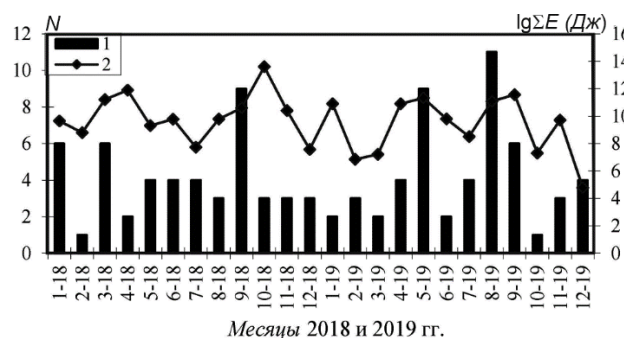


Рис. 2. Распределение количества землетрясений (1) и логарифма выделенной сейсмической энергии (2) во всем регионе по месяцам за 2018–2019 гг.

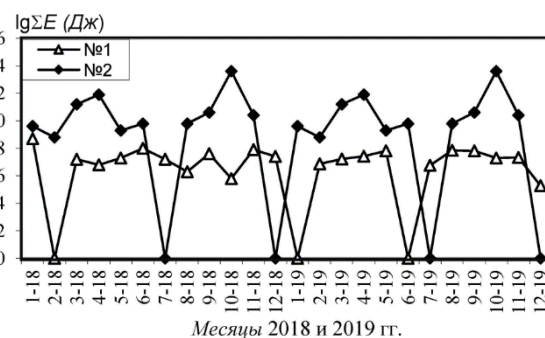


Рис. 3. Распределение логарифма выделенной энергии по месяцам за 2018–2019 гг. в Северо-Западном районе (№ 1) и в районе Вранча (№ 2)

Согласно рис. 3, район Вранча (№ 2) был активным на протяжении 2018–2019 гг. за исключением июля и декабря как в 2018 г., так и в 2019 году.

**Анализ сейсмичности в 2018–2019 гг.** Ниже приведен анализ сейсмической обстановки в 2018–2019 гг. в каждом из пяти районов, где произошли землетрясения.

**Северо-Западный район № 1.** Сейсмичность Северо-Западного района, включающего Закарпатье, Предкарпатье, Восточную Словакию и Мармарошский массив Северной Румынии, представлена в 2018–2019 гг. 49 событиями с  $K_p=4.5–7.9$  (Приложение 3) с суммарной сейсмической энергией  $\Sigma E=1.10 \cdot 10^9$  Дж (табл. 1).

а) В Закарпатье отмечено 28 землетрясений с  $K_p=5.5–7.9$ ,  $\Sigma E=5.0 \cdot 10^8$  Дж. Очаги землетрясений находятся на глубинах  $h=0.6–8.0$  км. Большинство землетрясений имели магнитуду меньше 2.0. 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. Эпицентры расположены вблизи следующих населенных пунктов: 13 – в районе с. Нижнее Селище; три – с. Брид; по два события в районе с. Долгое, г. Берегово и г. Ужгорода; по одному – в районах г. Свалява, пгт Королёво и сел Новоселица, Широкое, Перечин, Угля. Наиболее сильные из них зарегистрированы в 2018 г.: 27 июня в  $08^h28^m$  с  $K_d=7.8$ ,  $h=2$  км в районе с. Широкое и 8 ноября в  $14^h28^m$  с  $K_p=7.9$ ,  $h=3.2$  км в районе г. Свалява.

б) В *Предкарпатье* отмечено 16 событий с  $K_p=5.2-7.3$ ,  $\Sigma E=4.42 \cdot 10^7$  Дж. Все очаги расположены, как и в прошлые годы [1, 2], в Дрогобычском районе Львовской области. Их эпицентры находятся вблизи следующих городов: Стебник ( $N=7$ ), Дрогобыч – 5, Борислав – 2, Трускавец – 2. Наиболее сильным из них, с  $K_p=7.3$ ,  $MSH=1.2$ , было приповерхностное ( $h=1.7$  км) землетрясение в районе г. Стебника, зафиксированное 27 сентября 2018 г. в 16<sup>h</sup>02<sup>m</sup>. Очаги всех событий расположены на глубинах от 0.4 до 2.0 км. Как известно, в данном районе находится ряд субвертикальных мелких разломов в верхних слоях земли, на которых могут накапливаться напряжения, что, в свою очередь, будет приводить к возникновению землетрясений разной величины.

в) *Восточная Словакия*. Здесь в 2018 г. зарегистрированы два толчка – 16 июля в 01<sup>h</sup>54<sup>m</sup> с  $K_d=7.0$  и 5 сентября в 01<sup>h</sup>25<sup>m</sup> с  $K_p=7.3$ ,  $\Sigma E=3.00 \cdot 10^7$  Дж. Очаги возникли на глубинах 5 и 4 км соответственно.

г) *Мармарошский массив*. Северная часть Румынии в 2018 г. представлена одним землетрясением за 24 января в 02<sup>h</sup>58<sup>m</sup> с  $K_p=8.7$ ,  $MSH=1.9$ , а в 2019 г. двумя – 3 октября в 18<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $K_p=7.3$ ,  $MSH=1.4$  и 26 ноября в 23<sup>h</sup>51<sup>m</sup> с  $K_p=6.1$ ,  $MSH=1.0$ . Их суммарная сейсмическая энергия составляет  $\Sigma E=5.22 \cdot 10^8$  Дж. Очаги землетрясений расположены на глубинах  $h=2-6$  км.

**Район Вранча № 2** расположен в Румынии, где сеть сейсмических станций Карпатского региона Украины зарегистрировано 36 землетрясений с  $K_p=8.5-13.6$  и суммарной энергией  $\Sigma E=4.19 \cdot 10^{13}$  Дж. Из них семь мелких, с  $h=7-74$  км, остальные – с промежуточными глубинами от 75.8 км до 157.5 км (Приложение 3). При определении координат очагов этих землетрясений были учтены также данные сейсмических станций Румынии, Словакии, Венгрии, Польши, Болгарии, Молдовы и Крыма. Заметных из них (с  $K_p > 11$ ) – четыре: три в 2018 г. (14 марта с  $K_p=11.2$  и  $h=157$  км, 25 апреля с  $K_p=12.0$  и  $h=154$  км, 28 октября с  $K_p=13.6$  и  $h=157$  км) и одно – в 2019 г. (3 сентября с  $K_p=11.4$ ,  $h=128$  км). Все эти четыре землетрясения подробно описаны в отдельной статье настоящего выпуска журнала [13].

Согласно собранным *ред.* в Приложении 7 макросейсмическим данным, максимальное событие с  $K_p=13.6$ , произошедшее 28.10.2018 г., вызвало сотрясения на расстояниях до 1500 км на территории девяти государств – Румынии, Болгарии, Молдовы, Украины, Сербии, Турции, Албании, Италии и Германии. Их интенсивность по модифицированной шкале Меркалли [14] составила I–V баллов в Румынии (89 пунктов), II–IV балла в Болгарии (17 пунктов), II–III балла в Молдове (5 пунктов) и до I–III баллов на других территориях. На юге Украины (г. Измаил) и в Молдове оно проявилось с интенсивностью до 4 баллов по шкале MSK-64 [15]. Ощутимы были и три остальных толчка: 14 марта 2018 г. – в 20 населенных пунктах Румынии с интенсивностью I–III балла по шкале Меркалли (ММ) и с сообщениями «ощущалось» из г. Одессы (Украина) и г. Черноморска (Россия); 25 апреля того же года – в 15 пунктах Румынии с  $I_i=I-IV$  балла ММ и в Кишинёве (240 км) – 2 балла MSK-64 и ММ; 3 сентября 2019 г. – с  $I_i=III$  балла ММ в Румынии, в городах Брашове (58 км) и Бухаресте (120 км), и 3 балла MSK-64 в городах Измаиле (196 км) на Украине и Кишинёве (257 км) в Молдове.

Кроме того, в 2019 г. зафиксировано еще семь промежуточных землетрясений с  $MSH$  от 3.3 до 3.7, вызвавших в их эпицентральных зонах сотрясения с интенсивностью около 2 баллов MSK-64 и до III баллов ММ (9 января с  $K_p=10.9$ ,  $h=142.7$  км; 22 мая с  $K_p=10.2$ ,  $h=146.0$  км; 22 июня с  $K_p=10.2$ ,  $h=132.0$  км; 5 августа с  $K_p=10.3$ ,  $h=75.8$  км; 30 августа с  $K_p=10.0$ ,  $h=140.9$  км; 7 сентября с  $K_p=10.9$ ,  $h=136.0$  км; 19 сентября с  $K_p=10.3$ ,  $h=137.8$  км).

**В районе Буковины № 5** в 2018–2019 гг. зарегистрировано десять землетрясений с суммарной энергией  $\Sigma E=2.65 \cdot 10^9$  Дж, из которых девять произошли в 2018 г. в Подолье и одно в 2019 г. – в Покутье. Все очаги землетрясений района Буковины расположены в земной коре на глубине около 2 км. Рассмотрим их более подробно.

В *Подолье* зарегистрировано девять землетрясений с суммарной энергией  $\Sigma E=2.63 \cdot 10^9$  Дж. В 2018 г., как и в предыдущие годы, наблюдалась активизация сейсмичности в Черновицкой и Хмельницкой области на территории, прилегающей к р. Днестр. В Черновицкой области зафиксировано одно землетрясение 10 мая в 11<sup>h</sup>48<sup>m</sup> с  $K_p=7.6$  и  $MSH=1.6$  вблизи с. Берегомет и три землетрясения в районе г. Новоднестровска: 24 марта в 12<sup>h</sup>20<sup>m</sup> с  $K_p=9.4$ ,  $MSH=2.4$ ; 31 мая в 13<sup>h</sup>00<sup>m</sup> с  $K_d=7.0$ ,  $M_d=1.6$ ; 20 июля в 04<sup>h</sup>30<sup>m</sup> с  $K_p=7.6$ ,  $MSH=2.1$ . Землетрясение 24 марта ощущалось в г. Новоднестровске и с. Ломачинцы Украины с интенсивностью 4 балла. В г. Новоднестровске на верхних этажах зданий люди ощущали сильный толчок, колебались люстры, кое-где упала посуда. За счет малой глубины очага ( $h=1$  км) в селах в радиусе 10 км от эпицентра никто



из жителей толчка не ощущал. В Хмельницкой области зарегистрировано два землетрясения в районе с. Куражин 17 января в  $04^h14^m$  с  $K_p=7.2$ ,  $MSH=1.4$  и в  $04^h16^m$  с  $K_d=6.1$ ,  $ML=1.4$ ; одно землетрясение в районе с. Березовка 31 июля в  $23^h47^m$  с  $K_d=6.5$ ,  $Md=1.4$ , а также в районе с. Рудковцы 27 декабря в  $19^h39^m$  с  $K_p=7.1$ ,  $MSH=1.5$ .

В 2019 г. возле с. Куражин Хмельницкой области зафиксировано землетрясение 16 мая в  $22^h45^m$  с  $K_d=6.1$ ,  $ML=1.1$ ,  $h=2$  км.

б) в *Покутье* зарегистрировано лишь одно землетрясение 25 января 2019 г. вблизи с. Новоселица Черновицкой области с  $K_p=7.2$ ,  $MSH=1.5$ ,  $h=5$  км.

В районе № 6 *Кришана* возникло лишь одно событие 1 мая 2019 г. с  $K_p=10.8$ ,  $MSH=3.2$ ,  $h=9.3$  км. При определении координат землетрясения были использованы данные 40 сейсмических станций.

В сейсмоактивном районе № 8 *Бакэу* зарегистрированы два землетрясения, произошедшие 1 ноября 2018 г. в  $02^h33^m$  с  $K_p=8.6$ ,  $MSH=2.4$  и 25 декабря 2019 г. в  $05^h05^m$  с  $K_p=9.6$ ,  $MSH=2.6$ . Оба эпицентра находятся в сейсмоактивном плато Бырлад в восточной Румынии на глубине  $h=2$  км (Приложение 3). При определении их координат учтены данные сейсмических станций Карпатского региона Украины, Румынии и Молдовы.

**Вне районов** произошло лишь землетрясение 3 декабря 2019 г. в  $21^h25^m$  возле с. Велин Золочевского района Львовской области в 72 км северо-восточнее Львова. Энергетический класс данного землетрясения составляет  $K_p=8.9$ , магнитуда  $MSH=2.4$ , глубина  $h=4.3$  км (Приложение 3). При определении его координат были использованы данные 21 сейсмической станции. Никто из жителей близлежащих населенных пунктов толчка не ощущал.

**Закключение.** На основании описанных в статье особенностей сейсмичности Карпатского региона в 2018–2019 гг. следует отметить, что в районах № 1 (Северо-Западный), № 2 (Вранча), № 5 (Буковина) и № 8 (Бакэу) в этот период наблюдалось некоторое снижение уровня сейсмичности по сравнению с таковым в 2016–2017 гг. В районах № 3 (Южные Карпаты), № 4 (Банат) и № 7 (Трансильвания), согласно Приложению 3, землетрясений не происходило, и только в районе № 6 (Кришана) произошло одно землетрясение с  $K_p=10.8$ .

В подготовке электронных приложений к данной статье принимали участие: Пронишин Р.С., Илиеш И.И., Нищименко И.М., Прокопишин В.И., Стецькив А.Т., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Добротвир Х.В., Вербицкая О.Я., Давыдяк О.Д., Герасименюк Г.А., Гандарова Г.З., Кикеля Л.М., Вербицкая О.С., Олийнык Г.И., Симонова Н.А., Степаненко Н.Я., Тону Н.А., Лукаш Н.А., Бахтиарова Г.М., Пойгина С.Г.

**Электронное приложение** App01\_Carpathians\_2018–2019 (<http://www.gsras.ru/zse/app-26.html>): 1 – Цифровые сейсмические станции сети региона Карпаты, работавшие в 2018–2019 гг.; 2 – Аналоговая и цифровые сейсмические станции сети Молдовы в 2018–2019 гг.; 3 – Каталог землетрясений Карпат за 2018–2019 гг.; 4 – Дополнение к региональному каталогу землетрясений Карпат по данным Молдовы за 2018–2019 гг.; 5 – Дополнение к каталогу землетрясений Карпат по данным ISC за 2018–2019 гг.; 6 – Каталог механизмов очагов землетрясений Карпат за 2018–2019 гг.; 7 – Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Карпат в 2018–2019 гг.; 8 – Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Карпат за 2018–2019 гг.

## Л и т е р а т у р а

1. Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецькив 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.02>
2. Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецькив А.Т., Чуба М.В., Нищименко И.М., Келеман И.Н., Герасименюк Г.А., Степаненко Н.Я. Сейсмичность Карпат в 2016–2017 гг. // Землетрясения Северной Евразии. – 2022. – Вып. 25 (2016–2017 гг.). – С. 35–45. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.02>. EDN: PJAWUM
3. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
4. New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). GeoForschungs Zentrum. – Potsdam: IASPEI, 2002. – V. 1, N 3. – P. 24.
5. 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.

6. Вербицкий С.Т., Пронишин Р.С., Прокопишин В.И., Стецькив А.Т., Нищименко И.М., Келеман И.Н., Герасименюк Г.А. Сейсмичность Карпат в 2018 году // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География». – 2019. – Том 5 (71), № 4. – С. 106–150.
7. Кондорская Н.В. Инструментальные данные // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 13.
8. Раутиан Т.Г. Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9 (176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
9. Маламуд А.С. Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, Т. II // М.: АН СССР, 1974. – С. 180–194.
10. BUC, Institutul National pentru Fizica Pamantului C.P. (2023). // MG-2, Bucuresti–Magurele, Romania [сайт]. – URL: <http://infp.infp.ro/eqsinfo.php>
11. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2018–2019. (2023) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2019/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2019/)
12. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
13. Степаненко Н.Я., Карданец В.Ю. Ощутимые в Молдове землетрясения 2018–2019 гг. (Румыния–Молдова) // Землетрясения Северной Евразии. – 2023. – Вып. 26 (2018–2019 гг.). – С. 264–272. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.23> EDN: JXBMM
14. The Modified Mercalli Intensity Scale. Earthquake Topics // USGS [Web Site]. – URL: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
15. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.

### SEISMICITY of the CARPATHIANS in 2018–2019

S.T. Verbitsky<sup>1</sup>, R.S. Pronishin<sup>1</sup>, V.I. Prokopishin<sup>1</sup>, A.T. Stets'kiv<sup>1</sup>, M.V. Chuba<sup>1</sup>,  
I.M. Nishchimenko<sup>1</sup>, I.N. Keleman<sup>1</sup>, G.A. Gerasymenyuk<sup>1</sup>, N.Ya. Stepanenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of seismicity of the Carpathian region of the Institute of Geophysics,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, [pronrom@gmail.com](mailto:pronrom@gmail.com)

<sup>2</sup>Laboratory of Seismology of the Institute of Geology and Seismology,  
Academy of Sciences of Moldova, Chisinau, [kis-seismo@mail.ru](mailto:kis-seismo@mail.ru)

**Abstract.** The article describes seismic observations in the Carpathian region in 2018–2019, 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 National Academy of Sciences of Ukraine, in Moldova – the seismology laboratory of the Institute of Geology and Seismology of the Academy of Sciences of Moldova. The monitoring of seismicity was carried out 21 stationary digital and 3 temporary stations of Ukraine with a processing centre in Lviv and six stations of Moldova with a processing centre in Chisinau. The consolidated catalog of earthquakes was created in Lviv. The total number of Carpathian earthquakes in 2018–2019 was  $N_{\Sigma}=99$  in the range  $K_R=4.5-13.6$  within the interval of hypocenter depths  $h=0.4-157.5$  km, with total seismic energy  $\Sigma E=4.2 \cdot 10^{13}$  J. The maximum earthquake with  $K_R=13.6$ ,  $MSH=5.3$  and  $h_{pP}=150.6$  km was registered on October 28, 2018 in the Vrancea zone. The epicentral zone was subjected to shaking with an intensity up to  $I=V$  by MM (Mercally) scale. The earthquake was felt by the population of Romania, Bulgaria, Ukraine, Moldova and other European countries. In the Precarpathian and Transcarpathian regions, all earthquakes were weaker. For Transcarpathia, their energy class was in the range of  $K_R=5.5-7.9$ , and the depths was in the range of  $h=0.6-8.0$  km. The strongest event in Precarpathian was a tangible earthquake that occurred in the Drohobych district of the Lviv region on September 27, 2018 with  $K_R=7.3$  at a depth of  $1.7 \pm 0.9$  km. The strongest event in Bukovina was an earthquake of March 24, 2018 with  $K_R=9.4$ ,  $MSH=2.4$  and  $h=1$  km near Novodnestrovsk city, Ukraine, which was felt by the population of the village of Lomachintsy with an intensity of 4 points. In Novodnestrovsk, the earthquake was felt only on the upper floors. In general, in 2018–2019 there was a slight decrease in the level of seismicity in seismically active areas: № 1 (North-Western), № 2 (Vrancea), № 5 (Bukovina) and № 8 (Bacau), compared with that in the previous period 2016–2017. In areas № 3 (South Carpathians), № 4 (Banat) and № 7 (Transylvania) there was no earthquakes, and in area № 6 (Krishana) only there was one earthquake with  $K_p=10.8$ ,  $MSH=3.2$ .

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

**For citation:** Verbitsky, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishin, V.I., Stets'kiv, A.T., Chuba, M.V., Nishchimenko, I.M., Keleman, I.N., Gerasymenyuk, G.A. & Stepanenko, N.Ya. (2023). [Seismicity of the Carpathians



in 2018–2019]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 39–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.02>. EDN: ZUVSZJ

## References

1. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishin, V.I., Stetskiy, 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: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.02>
2. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishin, V.I., Stetskiy, A.T., Chuba, M.V., Nishchimenko, I.M., Keleman, I.N., Gerasimenyuk, G.A., & Stepanenko, N.Ya. (2022). [Seismicity of the Carpathians in 2016–2017]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 25(2016–2017), 35–45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2022.25.02>. EDN: PJAWUM
3. *Instruktsiia o poriadke proizvodstva i obrabotki nabliudenii na seismicheskikh stantsiakh Edinoi sistemy seismicheskikh nabliudenii SSSR* [The instruction on order of production and processing of observations at seismic stations of the Uniform system of seismic observations of the USSR]. (1982). Moscow, Russia: Nauka Publ., 273 p. (In Russ.).
4. Bormann, P. (2002). New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). *GeoForschungs Zentrum. Potsdam: IASPEI, 1(3)*, 24 p.
5. Rautian, T.G. (1964). [On determining the energy of earthquakes at a distance of 3000 km]. In *Ekspierimental'naiia seismika. Trudy IFZ AN SSSR № 32(199)* [Experimental seismic] (pp. 88–93). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
6. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Prokopishyn, V.I., Stets'kiy, A.T., Nishchimenko, I.M., Keleman, I.N., & Gerasimenyuk, G.A. (2019). [Seismicity of the Carpathians in 2018]. *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"], 5(4), 106–150. (In Russ.).
7. Kondorskaya, N.V. (1977). [Instrumental data]. In *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy 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.).
8. Rautian, T.G. (1960). [Energy of earthquakes]. In *Metody detal'nogo izucheniya seismichnosti (Trudy IFZ AN SSSR, № 9(176))* [Methods of Detail Study of Seismicity] (pp. 75–114). Moscow, Russia: Inst. Fiz. Zemli Akad. Nauk SSSR Publ. (In Russ.).
9. Malamud, A.S. (1974). [The use of the oscillation duration for the energy classification of earthquakes]. In *Magnituda i energeticheskaya klassifikatsiya zemletrjasenij. T. II* [Magnitude and the energy classification of the earthquakes, V. II] (pp. 180–194). Moscow, Russia: USSR Academy of Sciences Publ. (In Russ.).
10. BUC, Institutul National pentru Fizica Pamantului C.P. (2023) MG-2, Bucuresti–Magurele, Romania. Retrieved from <http://infp.infp.ro/eqsinfo.php>
11. GS RAS. (2023). Bulletin of Teleseismic Stations, 2018–2019. Retrieved from [http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic\\_bulletin/2019/](http://www.gsras.ru/ftp/Teleseismic_bulletin/2019/)
12. International Seismological Centre. (2023). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
13. Stepanenco, N.Ya., & Cardanets, V.Yu. (2023). [Earthquakes of 2018–2019 felt in Moldova (Romania – Moldova)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 26(2018–2019), 264–272. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.23> EDN: JXBMAM
14. The Modified Mercalli Intensity Scale. USGS National Earthquake Information Centre. (2023). Retrieved from <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/modified-mercalli-intensity-scale>
15. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).