

**ТЕРЕСВИНСКОЕ-II ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 июля 2015 г. с  $K_p=11.1$ ,  $MSH=3.4$ ,  $I_0=6$** **(Закарпатье, Украина)****Р.С. Пронишин<sup>1</sup>, Б.Г. Пустовитенко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Институт геофизики имени С.И. Субботина Национальной Академии наук Украины,  
г. Львов, [pronrom@gmail.com](mailto:pronrom@gmail.com)<sup>2</sup>ГАУ «Крымский Республиканский Центр оценки сейсмической и оползневой опасности, технического  
обследования объектов строительства», г. Симферополь, [bpustovitenko@mail.ru](mailto:bpustovitenko@mail.ru)

**Аннотация.** Рассмотрены инструментальные и макросейсмические данные Тересвинского-II землетрясения 19 июля 2015 г. с энергетическим классом  $K_p=11.1$ ,  $MSH=3.4$ . Землетрясение произошло в сейсмоактивной Тячево-Сигетской зоне Закарпатья в верхней части земной коры и вызвало сотрясения с интенсивностью 6 баллов в эпицентральной зоне вблизи села Тересва. Приведены данные решения механизма очага, распределения интенсивности, параметров наиболее сильных повторных толчков. Высвобождение сейсмической энергии продолжалось в течение 35 дней. За это время зарегистрировано 306 землетрясений в широком энергетическом диапазоне. Исследованы пространственно-временные и энергетические свойства сложной последовательности Тересвинских землетрясений 2015 года. Описана тектоника и историческая сейсмичность данного района.

**Ключевые слова:** землетрясение, механизм очага, интенсивность, зона афтершоков, миграция, закон повторяемости, упругая деформация, сеймотектоника.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.28

**Для цитирования:** Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г. Тересвинское-II землетрясение 19 июля 2015 г. с  $K_p=11.1$ ,  $MSH=3.4$ ,  $I_0=6$  (Закарпатье, Украина). // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 291–304. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.28

**Введение.** На территории Украины Закарпатье является наиболее сейсмоактивным районом, разделенным на несколько сейсмических зон [1], одной из которых является Тячево-Сигетская (зона В). Эта зона характеризуется монотонным проявлением слабой сейсмической активности, на фоне которой через промежутки времени в 35–50 лет происходят 6–7 балльные землетрясения с большим количеством афтершоков. К таковым относятся последовательности Тересвинских-I землетрясений 1926 г. [2], Углянских – 1979–1980 гг. [3, 4] и Тересвинских-II – 2015 г., описанию которых посвящена данная работа.

Инструментальные данные. 19 июля 2015 г. в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup> в районе села Тересвы произошло сильное ощутимое землетрясение с энергетическим классом  $K_p=11.1$  и интенсивностью 6 баллов в эпицентральной зоне. Землетрясение зарегистрировано всеми региональными сейсмическими станциями Карпатской зоны Украины, а также большим количеством ( $N=300$ ) станций Международной сети на расстояниях до 6700 км [5].

Основные параметры Тересвинского-II землетрясения по данным различных сейсмологических Центров (агентств) приведены в табл. 1, а расположение эпицентра – на рис. 1.

**Таблица 1.** Основные параметры ощутимого Тересвинского-II землетрясения 19 июля 2015 г. в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup> с  $K_p=11.1$  по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	$t_0$ , ч мин с	$\Delta t_0$ , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ N$	$\Delta\varphi$ , км	$\lambda^\circ E$	$\Delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км		
ИГФ	11 30 47.4	0.1	48.04	0.6	23.67	0.5	7.7	0.5	$MSH=3.4/11$ , $ML=3.6/11$	[6]
MOLD	11 30 50.6	4.2	47.96	16.4	23.47	16.4	10.0	10.0	$K_p=10.7/1$ , $MSM=3.8/1$	[7]
EMSC	11 30 47.4	0.13	48.12	4.0	23.64	2.9	2	–	$ML=3.9$	[8]
MOS	11 30 46.3	0.84	48.09	3.7	23.61	5.7	8	–	$m_b=4.4/3$	[9]
ISC	11 30 46.35	0.96	48.11	1.9	23.72	2.0	1.5	6.8	$m_b=3.8/7$	[5]
NEIC	11 30 47.34	2.37	48.13	6.0	23.70	5.2	9.9	6.0	–	[5]
IDC	11 30 47.4	0.61	48.11	8.7	23.58	6.8	0f	–	$ML=3.7/5$	[5]
BUC	11 30 47.0	0.5	48.10	3.4	23.66	2.3	4.6	3.1	$m_l=3.8/25$	[5]
KRSZO	11 30 46.61	0.62	48.09	2.5	23.68	2.8	5.7f	–	$ML=4.1/29$	[5]

Примечание. KRSZO – Geodetic and Geophysical Research Institute, Hungarian Academy of Sciences; MOLD – Институт геологии и сейсмологии Академии наук РМ, Кишинёв; ИГФ – Институт геофизики НАН Украины, Львов.

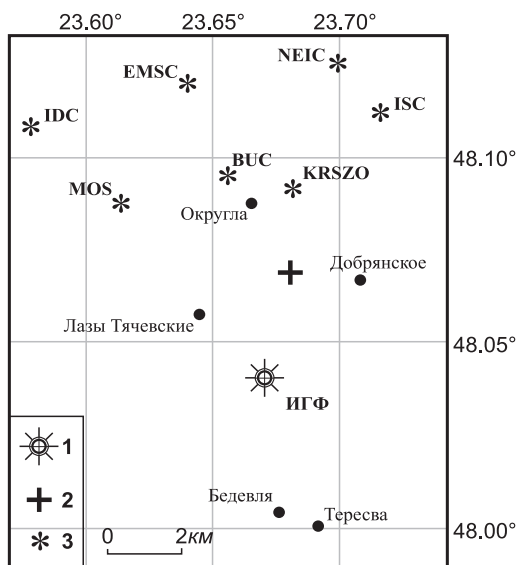


Рис. 1. Положение эпицентра Тересвинского-II землетрясения 19 июля 2015 г. по данным различных агентств

1, 2 – региональные эпицентры по инструментальным и макросейсмическим данным соответственно; 3 – решения других агентств.

**Механизм очага землетрясения 19 июля** восстановлен с использованием волновых форм по записям станций, окружающих очаг в широком азимутальном створе, что в совокупности со знаками первых вступлений объемных *P*-волн, опубликованных в Международном сейсмологическом центре [5], позволило получить надежное решение механизма очага [11] (табл. 2, рис. 2). Определение двух возможных положений поверхности разрыва и осей главных напряжений, действующих в очаге, проведено по стандартной методике [12].

Таблица 2. Параметры механизма очага Тересвинского-II землетрясения 19 июля в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup>47.4<sup>s</sup> с  $K_p=11.1$

Дата	$t_0$ , ч мин с	$h$ , км	$K_p$	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
				<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
				<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
2015 0719	11 30 47.4	8	11.1	7	13	37	108	52	274	312	62	-47	69	50	-142

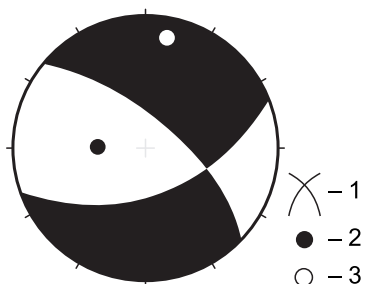


Рис. 2. Диаграмма механизма очага землетрясения 19 июля 2015 г. в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup>47.4<sup>s</sup> в проекции нижней полусферы

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений растяжения и сжатия соответственно; зачернена область волн сжатия.

В соответствии с полученным решением (табл. 2, рис. 2), землетрясение произошло под действием горизонтальных ( $PL_P=7^\circ$ ) сил растяжения, ориентированных близмеридионально ( $AZM_P=13^\circ$ ). Тип подвижки в очаге – сбросо-сдвиг. Обе нодальные плоскости близвертикальны ( $DP_{NP}=50^\circ$  и  $62^\circ$ ) и ориентированы субдиагонально ( $STK_{NP1}=312^\circ$ ,  $STK_{NP2}=69^\circ$ ).

**Пространственно-временные и энергетические свойства Тересвинской серии землетрясений.** Рассматриваемое Тересвинское-II землетрясение 19 июля 2015 г. в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup>47.4<sup>s</sup> является главным толчком в серии взаимосвязанных сейсмических событий района села Тересвы. Оно предварялось форшоками, первый из которых произошел 13 июля в 16<sup>h</sup>40<sup>m</sup>18<sup>s</sup> с энергетическим классом  $K_p=7.9$ , и сопровождалось шлейфом многочисленных афтершоков. За период с 13 июля по 16 августа из этого района зарегистрировано 306 землетрясений в диапазоне энергетических классов  $K_p=4.8\div 11.1$  ( $ML=0.5\text{--}4.1$ ), из которых 80

с надежными параметрами гипоцентров включены в каталог [6]. Остальные 226 землетрясений были зарегистрированы лишь одной станцией «Нижнее Селище», которая расположена от центра очаговой зоны на расстоянии 25 км. По характеру волновых форм и близости разности времен пробега продольных волн ( $ts-tp$ ) эти слабые толчки были также отнесены к серии афтершоков Тересвинского-II землетрясения. На рис. 3 приведен пример сейсмограмм афтершока с известными параметрами очага (рис. 3 а) и зарегистрированного только одной станцией (рис. 3 б).

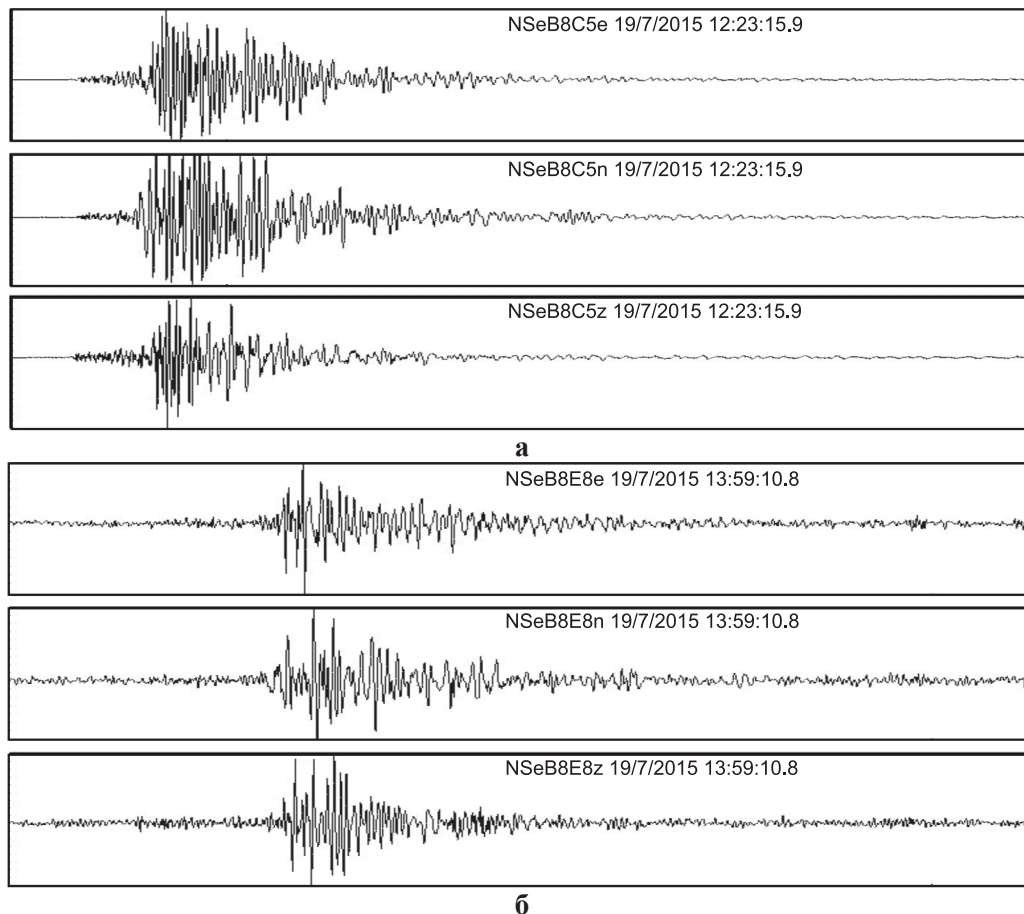


Рис. 3. Примеры записей афтершоков Тересвинского-II землетрясения на станции «Нижнее Селище»

а – 19.07. в  $12^h23^m48.2^s$ ,  $ML=3.0$ ,  $(ts-tp)=3.7$  с; б – 19.07. в  $13^h59^m43.6^s$ ,  $ML=0.9$ ,  $(ts-tp)=3.79$  с.

Данная последовательность землетрясений 2015 г. может быть отнесена к мультиплетной, поскольку после каждого сравнительно сильного толчка следовал шлейф более слабых, энергия которых со временем постепенно убывала (рис. 4).

Интервал между землетрясениями в начальный период находился в пределах от 1 до 10 минут, с постепенным увеличением со временем до 60 минут. Очаги 80 землетрясений, представленных в каталоге [6], находились в интервале глубин от 1.1 км до 13.4 км с преобладанием их максимального количества на глубинах от 4 до 6 км.

Из всей совокупности событий наибольшее их количество ( $N=110$ ) произошло 19 июля (рис. 5 а). Их суммарная сейсмическая энергия составила  $\Sigma E=2.28 \cdot 10^{11}$  Дж (рис. 5 б). В дальнейшем количество землетрясений по дням начало быстро уменьшаться и 25.07. произошли лишь два толчка. За этот период затухание числа афтершоков со временем соответствовало степенному закону Омори [13] (рис. 5 а). В двойном логарифмическом масштабе этот процесс затухания можно описать уравнением:

$$\lg N(t)=(2.13 \pm 0.09)-(1.85 \pm 0.17) \lg t \quad (1)$$

с коэффициентом корреляции  $\rho=0.98$ .

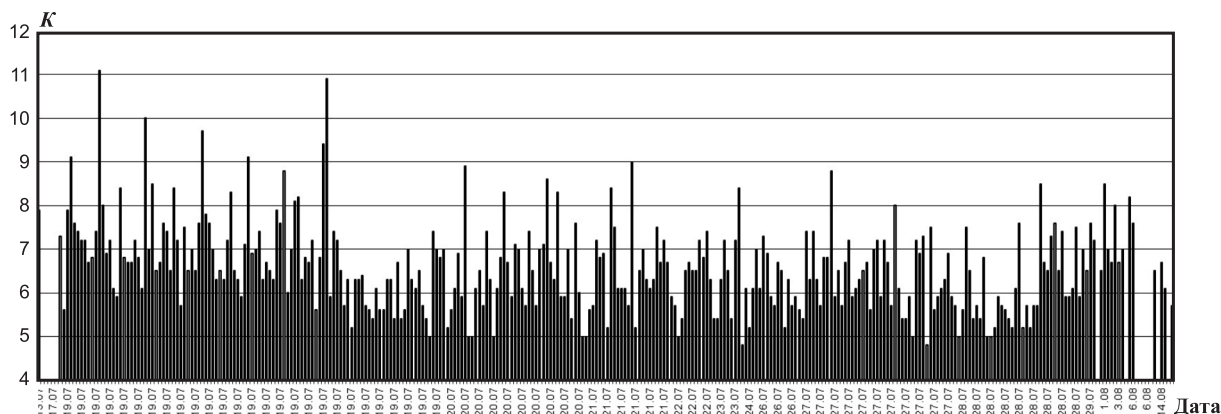


Рис. 4. Распределение во времени 306 Тересвинских землетрясений за период с 13 июля по 16 августа 2015 г.

Полученная высокая скорость изменения интенсивности потока афтершоков ( $p=-1.85$ ) отличается от среднего  $p$  для большинства последовательностей сильных землетрясений Мира [14] и от умеренных – для Крымского региона [15]. Возможно, это связано не только с локальными свойствами геофизической среды в этом районе, но и с потерей части непредставительных слабых толчков, использованных для анализа.

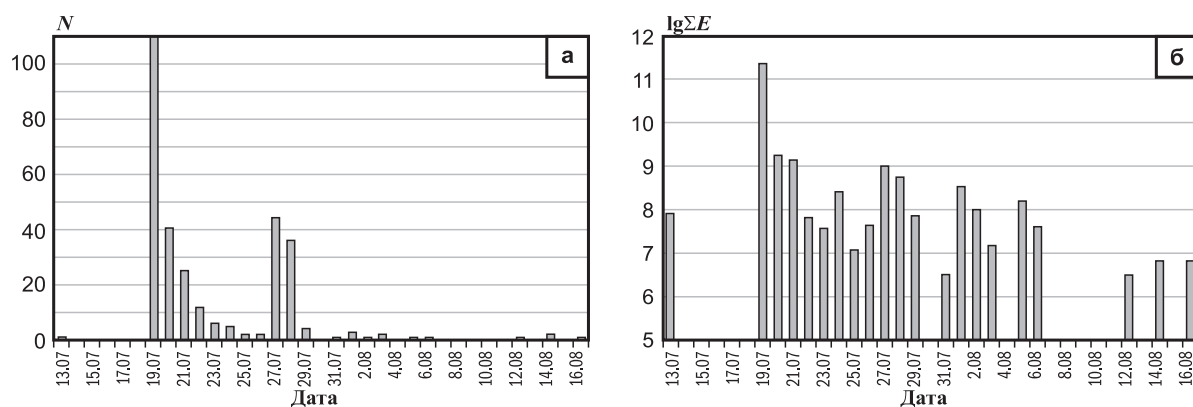


Рис. 5. Распределение количества (а) и суммарной энергии (б) землетрясений в Тересвинской очаговой зоне по дням с 13 июля по 16 августа 2015 г. (суммирование по суткам)

Очередной всплеск количества землетрясений состоялся 27.07. ( $N=44$ ) с последующим монотонным затуханием, которое закончилось 16.08. (рис. 5 а). В целом активизация Тячевской зоны продолжалась 35 дней начиная с 13 июля. За этот период суммарная выделившаяся сейсмическая энергия составила  $\Sigma E=2.34 \cdot 10^{11}$  Дж. Как видно из рисунка 5 б, со временем  $\Sigma E$  также убывала, но не так интенсивно и скачкообразно, как число землетрясений  $N$ .

Все зарегистрированные землетрясения с  $K_p \geq 6.0$ , для которых определены параметры гипоцентров, были сосредоточены в пределах небольшой площади с координатами  $\varphi=47.99^\circ\text{N} \div 48.09^\circ\text{N}$  и  $\lambda=23.59^\circ\text{E} \div 23.75^\circ\text{E}$ , т.е. размером  $12 \times 12$  км, или окружности с радиусом 8–9 км. Рассмотрим пространственное расположение очагов наиболее сильных землетрясений с  $K_p \geq 8.5$  (рис. 6), основные параметры которых получены с наименьшими погрешностями по записям 6–13 ближайших станций региональной сети (табл. 3).

Как видно из рис. 6 а, эпицентральную зону последовательностей Тересвинских землетрясений можно представить в виде эллипса с осями 6.5 км и 4.5 км, с ориентацией большой оси эллипса в северо-восточном направлении ( $Azm=40^\circ \pm 15^\circ$ ). Преимущественно в этом же направлении ( $Azm=38^\circ \pm 10^\circ$ ) происходила и миграция очагов землетрясений. Распределение очагов по глубине вдоль профиля  $OL$  на рис. 6 а также околонуено эллипсом с заглублением в юго-западную часть (рис. 6 б). Можно отметить, что очаги наиболее сильных афтершоков с  $K_p \geq 9.5$  и главного толчка были сосредоточены в юго-западной части очаговой зоны на глубинах более 5 км.

Таблица 3. Каталог серии Тересвинских землетрясений за 2015 г. с  $K_p \geq 8.5$  по данным [6]

№ п/п	Дата, год м д	$t_0$ , ч мин с	$\delta t$ , с	Координаты гипоцентра						$K_p/n$	$ML/n$	$ML$ по [ISC]
				$\varphi^\circ N$	$\delta\varphi$ , км	$\lambda^\circ E$	$\delta\lambda$ , км	$h$ , км	$\delta h$ , км			
1*	2015 07 19	10 56 43.7	0.1	48.04	0.5	23.67	0.4	5.6	0.2	9.1/9	2.4/9	3.1
2	2015 07 19	11 30 47.4	0.1	48.04	0.6	23.67	0.5	7.7	0.5	<b>11.1/10</b>	3.6/11	4.1
3	2015 07 19	12 23 48.2	0.1	48.04	0.5	23.65	0.5	6.7	0.9	<b>10.0/10</b>	3.0/9	3.4
4	2015 07 19	12 32 18.7	0.2	48.04	1.0	23.67	0.5	3.6	0.5	8.5/6	2.0/7	2.5
5	2015 07 19	13 41 53.6	0.1	48.02	0.6	23.67	0.5	5.5	0.2	9.7/13	2.4/13	3.2
6	2015 07 19	15 14 02.7	0.1	48.04	0.4	23.68	0.3	4.5	0.1	9.1/12	2.1/12	2.9
7	2015 07 19	17 55 29.1	–	48.02	1.6	23.70	0.2	6.0	–	8.8/11	1.9/5	–
8	2015 07 19	21 14 20.4	0.1	48.05	0.6	23.70	0.5	5.8	0.2	9.4/6	2.4/9	3.9
9	2015 07 19	21 14 47.2	0.1	48.01	0.5	23.66	0.4	5.5	0.1	<b>10.9/10</b>	3.3/10	3.9
10	2015 07 20	00 26 39.6	0.2	48.04	1.4	23.67	0.7	5.3	0.3	8.9/11	2.1/11	2.8
11	2015 07 20	15 29 14.0	0.1	48.06	0.5	23.70	0.3	4.2	0.1	8.6/9	2.0/8	2.7
12	2015 07 21	03 08 55.3	0.1	48.04	0.3	23.71	0.2	3.6	0.1	9.0/9	2.1/10	2.6
13	2015 07 27	11 15 27.2	0.7	48.02	1.7	23.67	0.7	5.0	–	8.8/9	2.2/9	2.8
14	2015 07 28	01 56 44.7	0.2	48.03	1.5	23.68	0.7	5.0	–	8.5/8	2.1/8	2.5
15	2015 08 01	18 30 23.1	0.1	48.04	0.6	23.69	0.5	6.0	–	8.5/8	1.9/9	–

Примечание. 1\* – форшок.

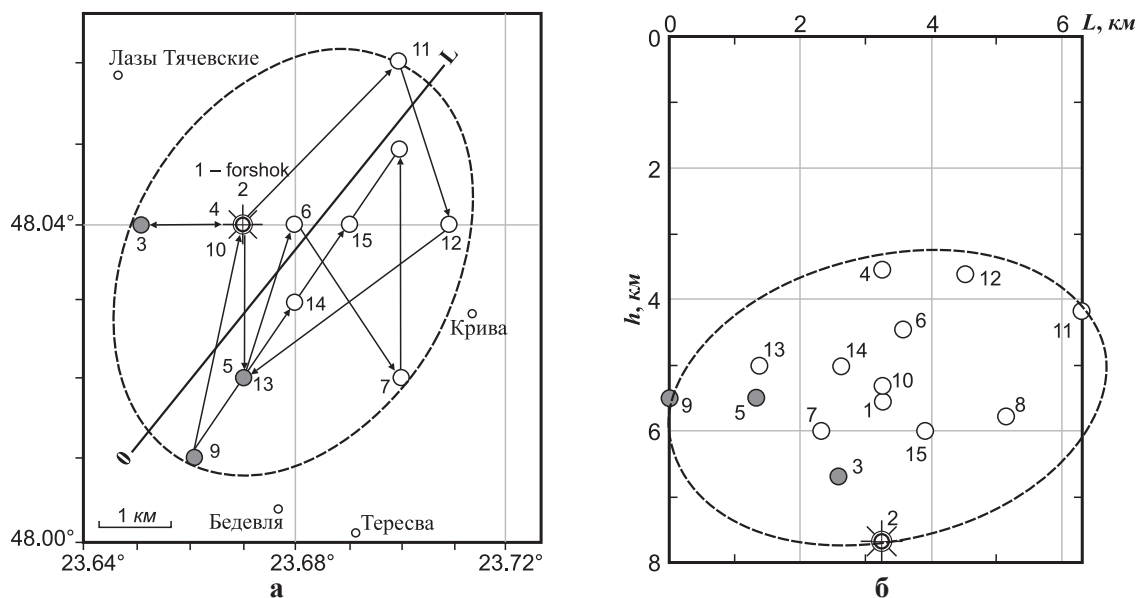


Рис. 6. Пространственное расположение очагов наиболее сильных афтершоков с  $K_p \geq 8.5$  Тересвинского-II землетрясения 19 июля 2015 г. на плоскости (а) и по глубине вдоль большой оси эллипса  $OL$  (б)

Темными кружками отмечены гипоцентры наиболее сильных толчков с  $K_p \geq 9.5$ . Цифры – порядковый номер по табл. 3.

**Закон повторяемости землетрясений  $N(K)$**  в очаговой зоне серии Тересвинских землетрясений 2015 г., рассмотрен в сравнении с таковым для Тячево-Сигетской зоны Закарпатье за длительный период инструментальных наблюдений (1961–2014 гг.) по представительным для этого района землетрясениям с  $K_p \geq 7$  и  $K_p \geq 8$  соответственно (рис. 7). Методом наименьших квадратов с использованием ортогональной регрессии получены логлинейные зависимости с высоким коэффициентом корреляции  $\rho=0.99$ :

$$\lg N_{\Sigma} = -(0.47 \pm 0.03) \cdot K_p + (5.41 \pm 0.25) \quad \text{– для очаговой зоны 2015 г.} \quad (2)$$

$$\lg N_{\Sigma} = -(0.51 \pm 0.02) \cdot K_p + (6.20 \pm 0.20) \quad \text{– для зоны В [1] за 1961–2014 гг.} \quad (3)$$

Из приведенных уравнений видно, что закон повторяемости землетрясений в период разгрузки напряжений в очаговой зоне в 2015 г. (2) практически не был нарушен и по параметру  $\gamma$  отличался от долговременного в пределах погрешности определяемых величин (3) [1].

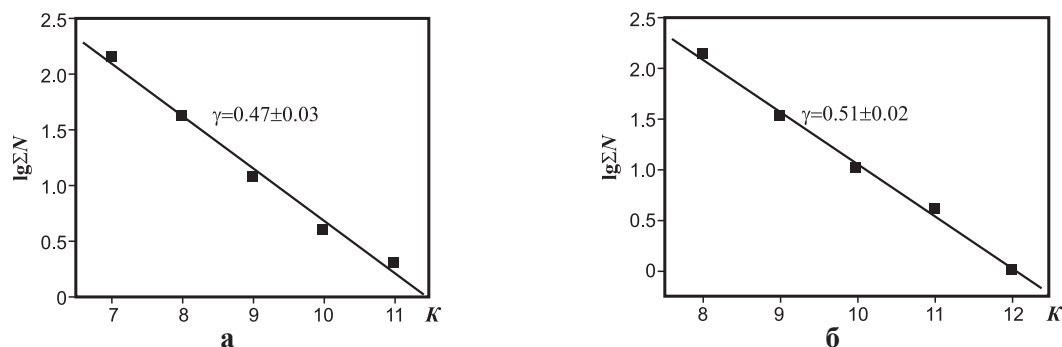


Рис. 7. Графики повторяемости представительных землетрясений последовательностей: а) Тересвинских землетрясений 2015 г.; б) Тячево-Сигетской зоны за период 1961–2014 гг.

**Развитие сейсмического процесса в Тячево-Сигетской зоне** Закарпатья (зона В в [1]), где произошла данная серия землетрясений, наглядно можно представить также в виде временного хода высвобождения суммарной энергии землетрясений, пропорциональной снятой упругой деформации – графика Беньюффа [16, 17]. График построен в виде функции  $E^{2/3}=f(t)$ . Осреднение энергии  $E^{2/3}$  выполнено по каждому году (рис. 8).

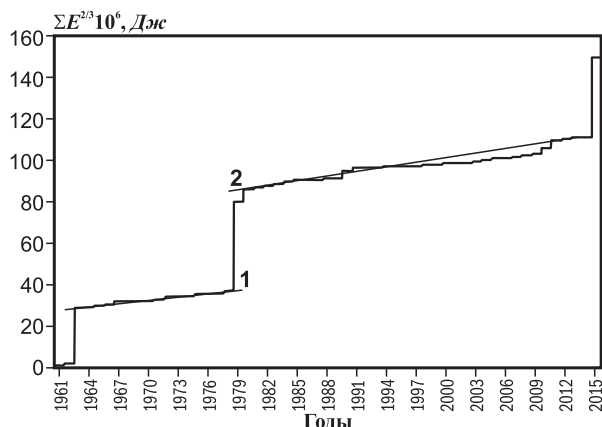


Рис. 8. График изменений во времени накопленной суммы величин  $E^{2/3}$  для Тячево-Сигетской зоны Закарпатья (зона В) за 1961–2015 гг.

Средняя скорость деформации за весь рассмотренный период составила:  $V=2.8 \cdot 10^6$  Дж/год. Можно отметить (рис. 8) два относительно «спокойных» этапа снятия деформаций: 1964–1978 гг. при скорости  $V_1=0.58 \cdot 10^6$  Дж/год (рис. 8, прямая линия 1) и 1980–2014 гг. с  $V_2=0.71 \cdot 10^6$  Дж/год (рис. 8, прямая 2). Оба эти этапа закончились сбросом накопленных деформаций в виде серии ощутимых Углянских-I землетрясений 1979 г. [4, 18] и Тересвинских-II – 2015 года.

**Макросейсмические данные.** Специальное маршрутное макросейсмическое обследование территории не проводилось. Данные о последствиях землетрясения собраны по телефонным опросам, интернет-изданиям, актам обследования домов (данные сельсоветов), со-

общений отдельных респондентов. Обработка собранных сведений проводилась в соответствии с методическими рекомендациями [19]. В связи с тем, что не было проведено непосредственного массового опроса населения на большой территории, зона сейсмических воздействий ограничена только наибольшей интенсивностью: от 6 до 4 баллов по шкале MSK-64 [19] на расстояниях до 27 км (табл. 4).

Таблица 4. Макросейсмические данные о Тересвинском-II землетрясении 19 июля 2015 г. в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup> с  $K_p=11.1$ ,  $ML=3.6$ ,  $h=7.7$  км.

№ п/п	Населенный пункт	Координаты		$\Delta$ , км
		$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	
<b>6 баллов</b>				
1	Округла	48.088	23.666	5.3
2	Добрянское	48.068	23.708	4.2
3	Лазы Тячевские	48.058	23.645	2.7
<b>5 баллов</b>				
4	Крива	48.028	23.714	3.5
5	Бедевля	48.004	23.676	4.0
6	Тересва	48.001	23.691	4.5
7	Терново	48.068	23.732	6.0
8	Ольховцы	48.099	23.739	8.5

№ п/п	Населенный пункт	Координаты		$\Delta$ , км
		$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	
9	Тячев	48.011	23.585	8.0
<b>4–5 баллов</b>				
10	Ольховцы Лазы	48.126	23.698	9.5
11	Нересница	48.117	23.769	11.3
12	Угтя	48.152	23.630	13.0
13	Колодное	48.165	23.598	15.0
14	Великая Уголька	48.196	23.654	17.0
15	Кричево	48.192	23.568	18.5
16	Копашнево	48.216	23.482	24.0
17	Нижнее Селище	48.200	23.447	24.0

№ п/п	Населенный пункт	Координаты		$\Delta$ , км
		$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	
18	Драгово	48.237	23.540	24.0
19	Кичирелы	48.254	23.540	25.0
20	Хустец	48.244	23.488	26.5
<b>4 балла</b>				
21	Ганычи	48.125	23.807	13.5

№ п/п	Населенный пункт	Координаты		$\Delta$ , км
		$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	
22	Солотвино	47.956	23.871	18.0
23	Стеблевка	48.091	23.422	19.5
<b>Не ощущалось</b>				
24	Хуст	48.181	23.298	32.0
25	Усть-Черная	48.320	23.938	37.0

**6 баллов.** Первые слабые колебания жители села Округла заметили 19 июля в 10<sup>h</sup>56<sup>m</sup> после службы в церкви. Через 36 минут в 11<sup>h</sup>30<sup>m</sup> произошел мощный толчок, после которого в домах под ногами «как будто что-то взорвалось и сильно потрясло», начали трескаться стены и падать штукатурка.

По словам директора школы с. Округла, колебания длились около 10 секунд и сопровождались сильным гулом. В двух корпусах школы, в каждом классе и кабинетах, образовались многочисленные трещины в стенах и потолке (рис. 9), которые после повторного ночного толчка в 21<sup>h</sup>14<sup>m</sup> стали больше размером и заметны снаружи. «Земля вздрогнула так сильно, что жители в ужасе, схватив детей, выбегали из домов, ведь оставаться в домах было опасно: качалась мебель, звенела посуда, падали люстры, со стен летела штукатурка, на стенах образовались трещины». Последствия землетрясения в виде трещин в стенах и в месте стыковки стен и потолка были отмечены почти в каждом домохозяйстве. Сельчане целыми семьями ночевали во дворе в машинах или под открытым небом. В одном из домов упала очень большая дымовая труба. Повреждения были в домах не только в центре села, но и на окраине, в приселке Черная Вода [20].



**Рис. 9.** Примеры трещин и обвала штукатурки в с. Округла:  
а – на потолочном перекрытии; б – в стене и в месте стыка стен и потолка

Аналогичные повреждения получила школа в с. Добрянское, «сместился навес над центральным входом в школу, во многих классах образовались трещины, со стен отпала штукатурка». Сильно пострадал также старый корпус школы, построенный еще в 20-х годах прошлого века. Здесь вылетела часть окна, а трещины в корпусе столовой видны и снаружи. В некоторых домах штукатурка на стенах потрескалась, как яичная скорлупа. 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. Ночью люди спали во дворе [20].

В остальных населенных пунктах Тячевского района макросейсмические данные были получены путем телефонного опроса в сельсоветах населенных пунктов. Так, в с. Лазы-Тячевские в сельский совет поступило 37 актов обследования домов, в которых появились трещины. Было слышно, как «гудели горы». Дома «дрожали», двери открывались, люди были очень напуганы, выбегали из домов.

**5 баллов.** В населенных пунктах Крива, Бедевля, Тересва, Терново, Ольховцы и Тячев людям показалось, «как будто взорвался газ», был слышен подземный гул, дрожали люстры, звенела посуда в сервантах, дрожали стены, земля уходила из-под ног, люди были напуганы, выходили из домов, боялись ложиться спать, некоторые спали во дворе. В некоторых домах были замечены небольшие трещины в штукатурке.

**4–5 баллов.** В остальных населенных пунктах: Ольховцы-Лазы, Нересница, Угля, Колодное, Великая Уголька, Кричево, Копашнево, Нижнее Селище, Драгово, Кичерелы, Хустец, – люди слышали подземный гул, а затем последовал «взрыв», качались люстры, ощущали «колебания дома», звенела посуда, трещин в домах не заметили, некоторые люди выходили из домов.

**4 балла.** В населенных пунктах Ганычи, Стеблевка, Солотвино был слышен подземный гул, «немного потрясло», звенела посуда.

В г. Хусте и с. Усть-Черная землетрясение *не ощущалось*.

К сожалению, по телефону более подробной и полной информации о проявлении землетрясения в населенных пунктах Тячевского района и на территории Румынии в радиусе 50 км от эпицентра получить не удалось, поэтому предельная дальность зоны ощутимости землетрясения не определена. Карта изосейст (рис. 10) построена только для интенсивностей 6, 5 и 4–5 баллов, при этом две последние изосейсты носят условный характер.

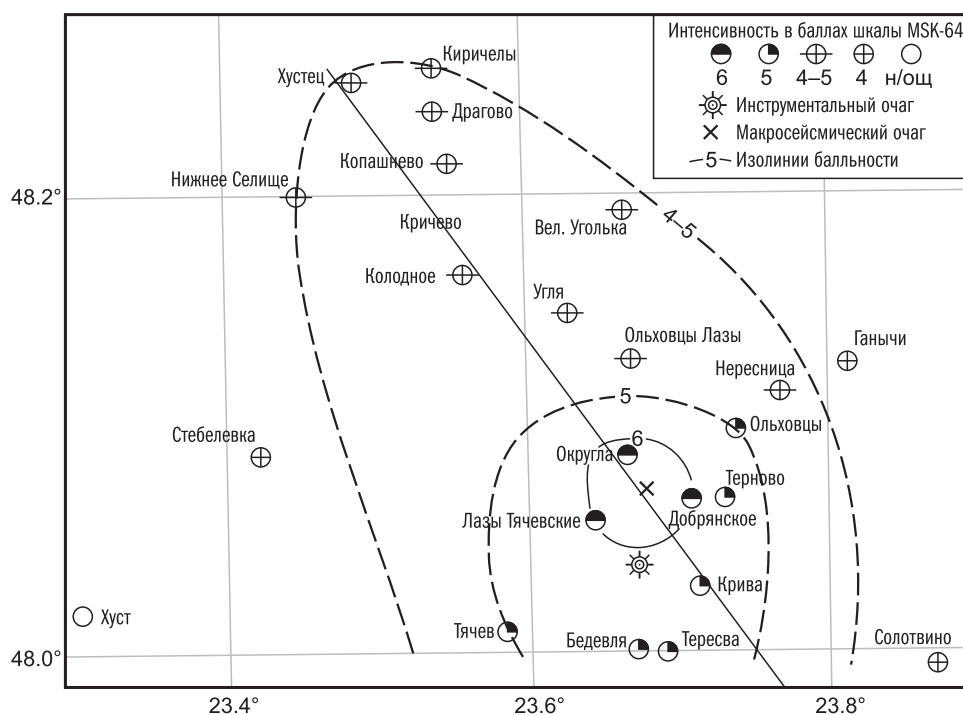


Рис. 10. Карта изосейст Тересвинского-II землетрясения 19 июля в 11<sup>h</sup> 30<sup>m</sup> с  $K_p=11.1$ ,  $M_L=3.6$ ,  $h=7.7$  км

Макросейсмический эпицентр, как центр зоны с максимальной интенсивностью (рис. 10), расположен на 3.5 км севернее инструментального эпицентра и имеет следующие координаты:  $\varphi=48.07^\circ\text{N}$  и  $\lambda=23.68^\circ\text{E}$ . С учетом уравнения макросейсмического поля для Карпатского региона и магнитуды  $M_{SH}=3.4$  получено оценочное значение глубины очага  $h=4$  км. Можно отметить (рис. 10) вытянутость изосейсты с интенсивностью  $I=4-5$  баллов в  $Az_m=320^\circ$ , свидетельствующей об анизотропии затухания сейсмических колебаний в северо-западном направлении, как и при землетрясении 10 августа 1926 г. (см. рис. 12). В северо-восточном направлении отмечен быстрый спад интенсивности с расстоянием, характерный для близповерхностных очагов. Определить протяженность и ориентацию очага по первой изосейсте не представляется возможным, поскольку она имеет круговую форму, околонтурную всего по трем точкам. Тем не менее, сравнивая параметры инструментального и макросейсмического гипоцентров, можно предположить, что разрушение среды шло от начала разрыва (инструментальный гипоцентр,  $h=7.7$  км) в северном направлении снизу вверх, вызвав в этом месте максимальные сейсмические воздействия (макросейсмический гипоцентр,  $h=4$  км).



**Сеймотектоническая позиция.** Области возникновения землетрясений в Закарпатье являются тектонически ослабленные зоны – участки между древними, достаточно консолидированными блоками земной коры с различным направлением и скоростью тектонических перемещений. Наиболее сейсмически активной является юго-западная граница Закарпатского прогиба на участке Хуст-Тересва-Сигет. Здесь наблюдается наложение зон миоценовых и плиоценовых разломов и вулканической активности. Район между реками Тисой, Рекой и Теремлей отличается особой подвижностью, тектоника его очень сложная. Здесь отмечена система продольных, поперечных и диагональных разрывов. Фрагмент карты разломных структур Солотвинской впадины Закарпатского прогиба, где произошла серия землетрясений 2015 г., представлен на рис. 11 по работе [21]. На карту вынесены эпицентры ощутимых землетрясений с интенсивностью  $I \geq 5$  баллов в соответствии с табл. 5 и стереограммы механизмов очагов главных толчков: 22 сентября 1979 г. [18] и 19 июля 2015 года. Землетрясение 19 июля 2015 г. со сбросо-сдвиговой подвижкой было приурочено к диагональной разломной структуре северо-восточного простирания. Землетрясение 22 сентября 1979 г. со сдвиговой подвижкой в очаге [18] произошло в зоне сочленения крупного Пенинского разлома и разрывных структур того же северо-восточного направления.



Рис. 11. Фрагмент карты разломных структур Солотвинской впадины Закарпатского прогиба и смежных территорий [21] с указанием эпицентров ощутимых землетрясений с интенсивностью  $I \geq 5$  баллов из табл. 5

Разломы: 3 – Черноголовский; 4 – Гуцульский; 5 – Пенинский.

**Сейсмическая история.** В соответствии с картами сейсмического районирования ОСР-2004 А-В [22], территория Тячевского района относится к зоне с прогнозной интенсивностью 7 баллов для периодов повторяемости 500 и 1000 лет и с наблюдаемой интенсивностью 7 баллов при землетрясениях 26 декабря 1872 г. (с. Долгое) и 5 января 1908 г. (г. Свалява) [23]. В июне-августе 1926 г. в районе с. Тересвы Солотвинской впадины произошел рой из 17 землетрясений, максимальное из которых, 10 августа, имело интенсивность  $I_0=7$  баллов (табл. 5). На рис. 12 представлена карта изосейст данного землетрясения.

Таблица 5. Каталог землетрясений в районе Солотвинской впадины Закарпатского прогиба с  $I_0 \geq 5$  баллов за ранний инструментальный и инструментальный периоды наблюдений до 2014 г.

Дата, гг мм дд	$t_0$ , ч мин с	Координаты гипоцентра			$K$	$M$	$I_0$ , балл	Источник
		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км				
1926 06 27	15 30 00	48.00	23.72	4	9.0	2.8	5	[23]
1926 06 28	20 00 00	48.02	23.71	4	10.1	3.4	6	[23]
1926 08 10	01 10 00	48.02	23.70	5	11.2	4.0	7	[23, 24]
1935 08 22	02 10 00	48.20	23.20	6	10.3	3.5	5–6	[23]
1937 09 14	08 58 00	48.21	23.54	7	11.7	4.3	6–7	[23]
1979 08 23	22 02 04.0	48.14	23.58	4	10.5	3.6	6	[3]

Дата, гг мм дд	$t_0$ , ч мин с	Координаты гипоцентра			$K$	$M$	$I_0$ , балл	Источник
		$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	$h$ , км				
1979 09 22	18 06 12.3	48.14	23.58	4	11.4	4.1	6–7	[3, 4]
1980 07 28	15 57 56.7	48.10	23.56	4*	9.8	3.2	5**	[25]
1980 07 29	02 31 14.4	48.12	23.58	4*	9.8	3.2	5**	[25]
2010 12 14	19 50 13.6	48.21	23.65	11	9.7	3.3	5	[26, 27]

Примечание. \* – преобладающая глубина очагов для этого района; \*\* – расчетная в эпицентральной зоне.



Рис. 12. Карта изосейст Тересвинского-I землетрясения 10 августа 1926 г. в 0 ч 00 мин с  $I_0=7$  баллов по данным [24]

1 – макросейсмический эпицентр землетрясения.

Следующие сильные землетрясения этой зоны произошли: 22.08.1935 г. около с. Чумалево с  $I_0=5-6$  баллов; 14.09.1937 г. в районе с. Драгово с  $I_0=6-7$  баллов; Угрянские землетрясения 23.08.1979 г. с  $I_0=6$  баллов и 22.08.1979 г. с  $I_0=6-7$  баллов и большим количеством афтершоков [3, 4]; Угрянские землетрясения 28.07. и 29.07.1980 г. с  $K_r=9.8$  и расчетной интенсивностью  $I_0=5$  баллов, которые сопровождались большим количеством форшоков и афтершоков ( $N=62$ ); 14.12.2010 г. в районе сел Малая Уголька и Великая Уголька с  $I_0=5$  баллов [26, 27]. Кроме того, за инструментальный период наблюдений после 1979 г. зарегистрированы десятки землетрясений с  $K_r > 9.0$ , часть из которых теоретически могла вызвать сотрясения от 4 до 5 баллов. В целом можно отметить, что в течение последних 35 лет в Тячево-Сигетский зоне наблюдалось общее снижение сейсмической активности. Ранее в 2011 г. [28] было сделано предположение, что возможность возникновения в ближайшее время в Тячевском районе землетрясений с энергетическим классом  $K \geq 11$  и интенсивностью  $I_0 \geq 6$  баллов увеличивается.

**Заключение.** Ощутимое Тересвинское-II землетрясение 19 июля 2015 г. с интенсивностью в эпицентральной зоне 6 баллов произошло в верхней части земной коры Тячево-Сигетской зоны Закарпатского прогиба под действием горизонтальных сил растяжения. В очаге произошел сбросо-сдвиг, обе нодальные плоскости близдиагональные: северо-восточного и северо-западного простиранья. Землетрясение предварялось форшоками и более месяца сопровождалось большим числом повторных толчков. За это время зарегистрировано 306 землетрясений с суммарной выделенной сейсмической энергией  $\Sigma E = 2.34 \cdot 10^{11}$  Дж. Очаговую зону, вмещающую очаги наиболее сильных афтершоков, можно представить в виде эллипсоида размером  $6.5 \times 4.5 \times 4$  км, ориентированного в северо-восточном направлении, как и одна из нодальных плоскостей. В этом же направлении отмечена миграция эпицентров землетрясений с  $K_r \geq 8.5$ .

С учетом решения механизма очага, ориентации большой оси эллипса афтершоков и направления их миграции, а также предшествующей сейсмичности, можно предположить, что активизация сейсмических процессов в Тячево-Сигетской зоне Закарпатье в 2015 г. связана с разрядкой напряжений, накопленных за последние 35 лет в сейсмоструктурных структурах близдиагонального (северо-восточного) простирания. Сейсмические воздействия с интенсивностью 6 баллов при Тересвинском-II землетрясении не превысили прогнозные долговременные значения по нормативным картам ОСР-2004.

Полагая, что в очаговой зоне Тересвинского-II землетрясения 2015 г. произошла полная разгрузка напряжений, можно предположить, что следующий всплеск сейсмической активизации в этом районе можно ожидать не ранее, чем через 20–30 лет.

### Л и т е р а т у р а

1. Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г. Некоторые аспекты сейсмического «климата и погоды» в Закарпатье // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1982. – № 10. – С. 74–81.
2. Евсеев С.В. Землетрясения Украины (Каталог землетрясений Украины с 1000 по 1940 г.). – Киев: АН УССР, 1961. – 75 с.
3. Пронишин Р.С., Скаржевский В.В., Хивренко З.С. Углянские землетрясения в 1979 г. // Сейсмологический бюллетень западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым–Карпаты за 1978–1979 гг.). – Киев: Наукова думка, 1983. – С. 100–125.
4. Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г. Особенности процессов в эпицентральной зоне Закарпатских землетрясений в 1979 г. // Геофизический журнал. – 1981. – Т. 3, № 6. – С. 71–85.
5. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. 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 Х.В., 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 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
7. Илиеш И.И., Симонова Н.А. (отв. сост.); Тону Н.А. Дополнение к региональному 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>
8. European Mediterranean Seismological Centre. (2021). [Site]. – URL: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>
9. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2015. (2021) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2015](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015)
10. 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 Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. – 2016. – Т. 2 (68), № 4. – С. 69–219.
11. 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>
12. Балакина Л.А., Введенская А.В., Голубева Н.В., Мишарина Л.А., Широкова Е.И. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. – Москва: Наука, 1972. – 198 с.
13. Omori F. On aftershocks of earthquakes. // Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo. – 1894. – V. 7. – P. 111–200.
14. Татевосян Р.Э., Аптекман Ж.Я. Этапы развития афтершоковых последовательностей сильнейших землетрясений Мира // Физика Земли, 2008. – № 12. – С. 3–23.
15. Пустовитенко Б.Г. Особенности группирования землетрясений в Крыму. // Монография «Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». – М.: ИИЕТ РАН, 2020. – Т. 10, № 2. – С. 172–178.
16. Беньофф Г. Накопление и высвобождение деформаций по наблюдениям сильных землетрясений // Слабые землетрясения. – М.: ИЛ, 1961. – С. 199–211.
17. Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1975. – 179 с.
18. Пустовитенко Б.Г., Пронишин Р.С. Очаговая зона осязательных Углянских землетрясений в Закарпатье // Материалы Международной конференции «Геофизические методы решения актуальных проблем современной сейсмологии». – Ташкент, 2018. – С. 238–242.

19. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
20. Тячів. (2021). [Site]. – URL: [http://tyachiv.com.ua/NewsList/id\\_key\\_землетрус](http://tyachiv.com.ua/NewsList/id_key_землетрус)
21. Карта разрывных нарушений и основных зон линеаментов юго-запада СССР, масштаб 1:1000000 (с использованием материалов космической съемки) / Под ред. Крылова Н.А. – Мингео СССР, 1988. – 4 с.
22. Государственные строительные нормы ДБН В.1.1–12:2006 «Строительство в сейсмических районах Украины». – Киев: Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины, 2006. – 96 с.
23. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. – М.: Наука, 1977. – 535 с.
24. Евсеев С.В. Интенсивность землетрясений Украины. // В сб.: Сейсмичность Украины. – Киев: Наукова думка, 1969. – С. 32–55.
25. Костюк О.П., Руденская И.М., Карпив Т.С., Хивренко З.С., Подымова И.С. Каталог и подробные данные о землетрясениях Карпатского региона за 1980 г. // Сейсмологический бюллетень западной территориальной зоны единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым–Карпаты, 1980 г.) / Отв. ред. И.И. Попов. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 43–79.
26. 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.
27. Пронишин Р.С. Углянское-III землетрясение 14 декабря 2010 г. с  $K_R=9.7$ ,  $MSHA=3.3$ ,  $I_0=5$  (Украина, Закарпатье) // Землетрясения Северной Евразии в 2010 году. – Обнинск: ГС РАН, 2016. – С. 376–381.
28. Пронишин Р.С., Кузнецова В.Г. Зв'язок просторового розподілу сейсмічності з тектонічною будовою Закарпатського прогину. // Геодинаміка. – 2011. – Т. 2, № 11. – С. 254–256.

**TERESVA-II EARTHQUAKE on July 19, 2015 with  $K_R=11.1$ ,  $MSH=3.4$ ,  $I_0=6$   
(Transcarpathia, Ukraine)**

**R.S. Pronishin<sup>1</sup>, B.G. Pustovitenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine,  
Lviv, [pronrom@gmail.com](mailto:pronrom@gmail.com)*

<sup>2</sup>*State Autonomous Institution «Crimean Republican Center for Seismic and Landslide Hazard Assessment,  
Technical Inspection of Construction Facilities», Simferopol, [bpustovitenko@mail.ru](mailto:bpustovitenko@mail.ru)*

**Abstract.** The instrumental and macroseismic data of the Teresva-II earthquake on July 19, 2015 with the energy class  $K_R=11.1$ ,  $MSH=3.4$  are considered. The earthquake occurred in the seismically active Tyachevo-Sigetskaya zone of Transcarpathia in the upper part of the Earth's crust and caused shaking intensity of  $I_0=6$  in the epicentral zone near the village of Teresva. The data on the focal mechanism solution, intensity distribution, parameters of the strongest aftershocks are presented. The release of seismic energy continued for 35 days. During this time, 306 earthquakes were recorded in a wide energy range. The space-time and energy properties of the complex sequence of the Teresva earthquakes in 2015 have been investigated. The tectonics and previous seismicity of the area are described.

**Key words:** earthquake, focal mechanism, intensity, aftershock zone, migration, law of recurrence, elastic deformation, seismotectonics.

**DOI:** 10.35540/1818-6254.2021.24.28

**For citation:** Pronishin, R.S., & Pustovitenko, B.G. (2021). [Teresva-II earthquake on July 19, 2015 with  $K_R=11.1$ ,  $MSH=3.4$ ]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 291–304 (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.28

## References

1. Pronishin, R.S., & Pustovitenko, B.G. (1982). [Some aspects of seismic “climate and weather” in Transcarpathia]. *Fizika Zemli* [Izvestiya. Physics of the Solid Earth], 10, 74–81. (In Russ.).
2. Yevseyev, S.V. (1961). *Zemletryaseniya Ukrainy (Katalog zemletryasenyi Ukrainy s 1000 po 1940 g.* [Earthquakes of Ukraine (Catalog of earthquakes of Ukraine from 1000 to 1940)]. Kiev, Ukraine: AS SSR Publ., 75 p. (In Russ.).

3. Pronishin, R.S., Skarzhevsky, V.V., & Khivrenko, Z.S. (1983). [Uglyansk earthquake in 1979]. In *Seismologicheskii byulleten' zapadnoy territorial'noy zony yedinoi sistemy seismicheskikh nablyudeniy SSSR (Krym-Karpaty za 1978-1979 gg.)* [Seismological bulletin of the western territorial zone of the unified system of seismic observations of the USSR (Crimea-Carpathians for 1978-1979)] (pp. 100-125). Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (In Russ.).
4. Pronishin, R.S., & Pustovitenko, B.G. (1981). [Features of the processes in the epicentral zone of the Transcarpathian earthquakes in 1979]. *Geofizicheskii zhurnal* [Geophysical journal], 3(6), 71-85. (In Russ.).
5. International Seismological Centre. (2021). On-line Bulletin. Retrieved from <https://doi.org/10.31905/D808B830>
6. Chuba, M.V., Pronishin, R.C., Prokopishin, V.I., Stetskiv, 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 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.).
7. Iliyesh, I.I., Simonova, N.A., & Tonu, N.A. (2021). [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.).
8. European Mediterranean Seismological Centre. (2021). [Site]. Retrieved from <ftp://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>
9. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2015. (2021). Retrieved from [ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic\\_bulletin/2015](ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2015)
10. Verbitskiy, S.T., Pronishin, R.S., Prokopyshyn, V.I., Stetskiv, 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"], 2(4), 69-78. (In Russ.).
11. Stepanenko, N.Ya., Kardanets, V.Yu., Pustovitenko, B.G., Pronishin, R.S., & Lukash, N.A. (2021). [Catalog of focal mechanisms of the Carpathian earthquakes 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.).
12. Balakina, L.A., Vvedenskaya, A.V., Golubeva, N.V., Misharina, L.A., & Shirokova, E.I. (1972). *Pole uprugikh napryazheniy Zemli i mekhanizm ochagov zemletryaseniy* [The field of elastic stresses of the Earth and the focal mechanism of earthquakes]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 198 p. (In Russ.).
13. Omori, F. (1894). On aftershocks of earthquakes. *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo*, 7, 111-200.
14. Tatevosyan, R.E., & Aptekman, Zh.Ya. (2008). Aftershock sequences of the strongest earthquakes of the world: Stages of development. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 44(12), 945-964.
15. Pustovitenko, B.G. (2020). [Features of grouping earthquakes in Crimea]. In *Monografiya «Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza» T. 10, № 2* [Monograph "Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus" V. 10, № 2] (pp. 172-178). Moscow, Russia: IET RAN Publ. (In Russ.).
16. Benioff, G. (1961). [Accumulation and release of deformations from observations of strong earthquakes]. In *Slabye zemletryaseniya* [Weak earthquakes] (pp. 199-211). Moscow, Russia: FL Publ. (In Russ.).
17. Kostrov, B.V. (1975). *Mekhanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya*. [Mechanics of a tectonic earthquake origin]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 179 p. (In Russ.).
18. Pustovitenko, B.G., & Pronishin, R.S. (2018). [Focal zone of tangible Uglyansk earthquakes in Transcarpathia]. In *Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii «Geofizicheskiye metody resheniya aktual'nykh problem sovremennoy seismologii»* [Materials of the International Conference «Geophysical methods for solving urgent problems of modern seismology»] (pp. 238-242). Tashkent, Uzbekistan. (In Russ.).
19. Medvedev, S.V., Sponheuer, W., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seismicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
20. Tyachiv. (2021). Retrieved from [http://tyachiv.com.ua/NewsList/id\\_key\\_землетрус](http://tyachiv.com.ua/NewsList/id_key_землетрус)
21. Krylov, N.A. (1988). [Map of discontinuities and main zones of lineaments in the south-west of the USSR, scale 1:1,000,000 (using space survey materials)]. Moscow, Russia: Mingeo USSR, 4 p. (In Russ.).
22. *Gosudarstvennyye stroitel'nye normy DBN V.1.1-12:2006 «Stroitel'stvo v seismicheskikh rajonah Ukrainy»* [State building codes DBN V.1.1-12: 2006 "Construction in seismic regions of Ukraine"]. (2006). Kiev, Ukraine: Ministry of construction, architecture and housing and communal services of Ukraine Publ, 96 p. (In Russ.).

23. Kondorskaya, N.V., & Shebalin, N.V. (1977). *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR s drevnikh vremen do 1975 g.* [A new catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975]. Moscow, Russia: Nauka Publ., 535 p. (In Russ.).
24. Yevseyev, S.V. (1969). [Intensity of earthquakes in Ukraine]. In *Seysmichnost' Ukrainy* [Seismicity of Ukraine] (pp. 32–55). Kiev, Ukraine: Naukova dumka Publ. (In Russ.).
25. Kostyuk, O.P., Rudenskaya, I.M., Karpiv, T.S., Khivrenko, Z.S., & Podymova, I.S. (1984). [Catalog and detailed data on earthquakes in the Carpathian region for 1980]. In *Seysmologicheskiiy byulleten' zapadnoy territorial'noy zony yedinoi sistemy seysmicheskikh nablyudeniy SSSR. (Krym–Karpaty, 1980 g.)* [Seismological bulletin of the western territorial zone of the unified system of seismic observations of the USSR. (Crimea–Carpathians, 1980)] (pp. 43–79). Kiev, Ukraine: Naukova Dumka Publ. (In Russ.).
26. Chuba, M.V., Keleman, I.N., Garandzha, I.A., Stasyuk, A.F., Verbitsky, Yu.T., Nishchimenko, I.M., Plishko, S.M., Verbitskaya, O.Ya., Davydyak, O.D., Oleinik, G.I., Simonova, N.A., Burlutskaya, A.M., & Evdokimova, O.V. (2011). [Catalog and detailed data on earthquakes in the Carpathian region for 2010]. In *Seysmologicheskiiy byulleten' Ukrainy za 2010 god* [Seismological Bulletin of Ukraine for 2010] (pp. 115–182). Sevastopol, Ukraine: SPC "ECOSY-Hydrophysics" Publ., (In Russ.).
27. Pronishin, R.S. (2016). [Uglya-III earthquake on December 14, 2010 with  $K_R=9.7$ ,  $MSHA=3.3$ ,  $I_0=5$  (Ukraine, Transcarpathia)]. In *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii v 2010 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2010] (pp. 376–381). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
28. Pronishin, R.S., & Kuznetsova, V.G. (2011). [Connection of spatial distribution of seismicity with tectonic structure of Transcarpathian depression]. *Heodynamika* [Geodynamics], 2(11), 254–256. (In Ukrainian).