

УДК 550.348.098.64(477.5)

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

Пронишин Р. С.

*Институт геофизики имени С. И. Субботина Национальной академии наук Украины
г. Львов, Украина*

E-mail: pronrom@gmail.com

Описаны особенности сейсмического процесса в Тячево-Сигетской зоне (Закарпатье) в 2015 году. Приведены данные о пространственно-временных свойствах серии землетрясений, произошедшей с июля по август 2015 г. в районе г. Тересвы и состоящей из 306 сейсмических событий с энергетическими классами $K_p=4.8\div 11.1$. Определены параметры наиболее сильных землетрясений этой серии. Исследован сейсмический режим данной зоны за период с 1961 по 2014 гг. и за 2015 год. Построены графики повторяемости землетрясений и график Беньоффа. Приведены макросейсмические данные по населенным пунктам Тячевского района от наиболее сильного землетрясения, произошедшего 19 июля в 11 ч 30 мин с $K_p=11.1$. Описана тектоника территории, где произошла данная серия землетрясений.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмичность, сейсмический режим, эпицентр, очаг, сейсмическая энергия, энергетический класс, магнитуда, интенсивность землетрясения.

ВВЕДЕНИЕ

Закарпатье является наиболее сейсмоактивным районом в пределах Украины. Оно разделено на несколько сейсмических зон. Наиболее активной является Тячево-Сигетская (зона В), выделенная авторами в работе [1]. Данная зона характеризуется постоянной слабой активностью, на фоне которой через значительные промежутки времени (35–50 лет) возникают 6–7 балльные землетрясения с большим количеством афтершоков. К таковым следует отнести последовательности Тересвинских землетрясений 1926 г., Углянских – 1979–1980 гг. и Тересвинских – 2015 г. Данные землетрясения были детально изучены: по каждому из них было проведено макросейсмическое обследование, построены карты изосейст, исследован сейсмический режим, построены графики повторяемости, графики Беньоффа. Кроме того, в Тячевском районе Закарпатской области отмечен ряд землетрясений с интенсивностью 5 баллов, а также целый ряд слабых событий с $K_p=6\text{--}8$, которые не ощущались населением.

1. ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

13 июля 2015 года в районе Тересвы в 16 ч 40 мин по средневропейскому времени был зарегистрирован первый толчок с $K_p=7.9$, после которого через 6 дней началась активизация данной зоны. За период с 19 июля по 16 августа здесь произошло 305 землетрясений с $K_p=4.8\div 11.1$.

В каталог [2] вошли только 80 землетрясений, координаты которых были определены не менее чем по трем станциям. Остальные 226 землетрясений были зарегистрированы лишь одной станцией «Нижнее Селище», которая расположена в непосредственной близости от очаговой зоны – на расстоянии 25 км. По характеру записи и эпицентральному расстоянию эти землетрясения были отнесены также к Тересвинским. Поскольку их координаты определить было невозможно, они не

были включены в каталог. Для этих землетрясений имелись только магнитуды ML . Поэтому с целью определения их энергетического класса K_p была рассчитана регрессия по 76 землетрясениям, которые имели K_p и ML . В результате было получено следующее уравнение для пересчета из ML в K_p :

$$K_p = (4.644 \pm 0.136) + (1.831 \pm 0.076) \cdot ML.$$

На рис. 1 представлена гистограмма последовательного распределения по классам K_p 306 землетрясений за период с 1 июля по 31 августа.

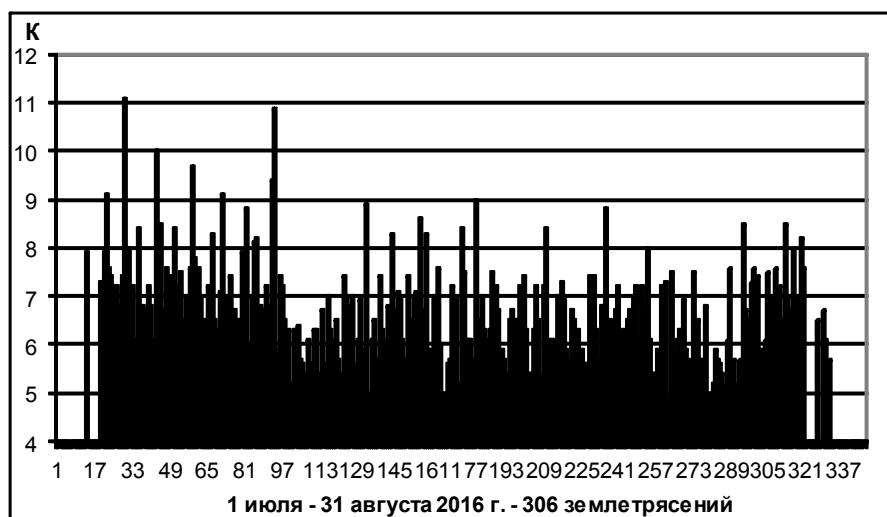


Рис. 1. Гистограмма последовательного распределения по классам K_p 306 Тересвинских землетрясений за период с 1 июля по 31 августа 2016 г.

Данную последовательность землетрясений можно считать мультиплетной; это значит, что после каждого сравнительно сильного толчка следует шлейф более слабых, энергия которых постепенно убывает. Все землетрясения сосредоточены в пределах небольшой площади с координатами $\varphi=47.99^{\circ}N \div 48.09^{\circ}N$ и $\lambda=23.59^{\circ}E \div 23.75^{\circ}E$, т. е. размером 12×12 км или в окружности с радиусом 8–9 км. Временной интервал между землетрясениями колеблется в основном от 1 до 10 минут, а иногда даже и от 10 до 60 минут.

Очаги 80 землетрясений, представленных в каталоге [2], находятся в интервале глубин от 1.1 до 13.4 км. На рис. 2 представлена гистограмма распределения глубин очагов данной последовательности за 2015 г. Как видно из рисунка, максимальное количество землетрясений имеет очаги на глубинах от 4 до 6 км.

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

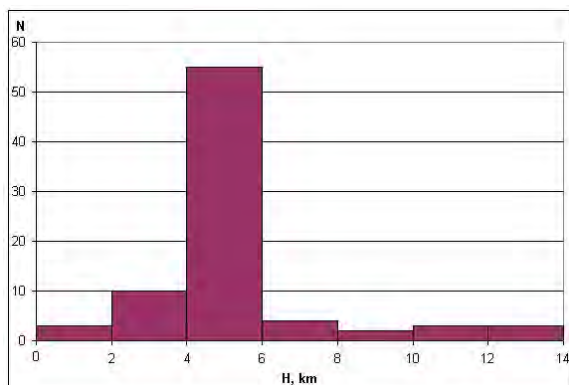


Рис. 2. Гистограмма распределения глубин очагов 80 Тересвинских землетрясений за 2015 г.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения количества землетрясений по дням в июле и августе 2015 г. За этот период наибольшее количество землетрясений – 110 толчков – произошло 19 июля (Рис. 4). Их суммарная сейсмическая энергия составила $\Sigma E = 2.28 \cdot 10^{11}$ Дж. В дальнейшем количество землетрясений в течение суток начало уменьшаться, 25.07 произошло лишь 2 толчка. Очередной всплеск сейсмической активности произошел 27.07.2015 (44 толчка) с последующим затуханием, которое закончилось 16.08.2015 (Рис. 3). Таким образом, активизация Тячевской зоны продолжалась 35 дней (начиная с 13 июля), а выделившаяся сейсмическая энергия за этот период составила $\Sigma E = 2.34 \cdot 10^{11}$ Дж. Суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся по дням, представлена на рис. 5. Как видно из рисунка, энергия со временем также постепенно убывала.

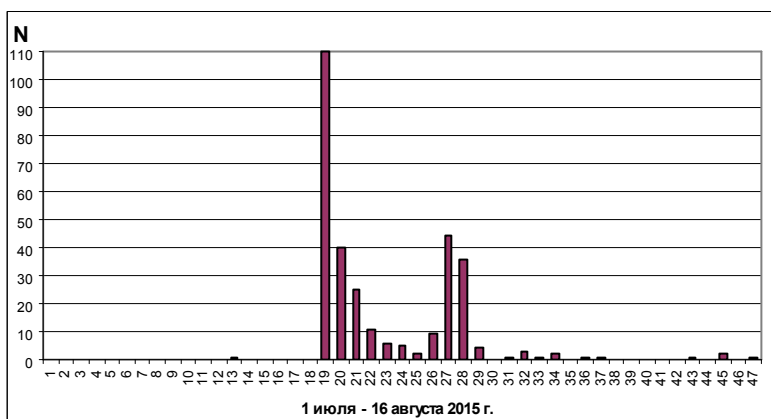


Рис. 3. Гистограмма распределения количества Тересвинских землетрясений по дням с 1 июля по 16 августа 2015 г.

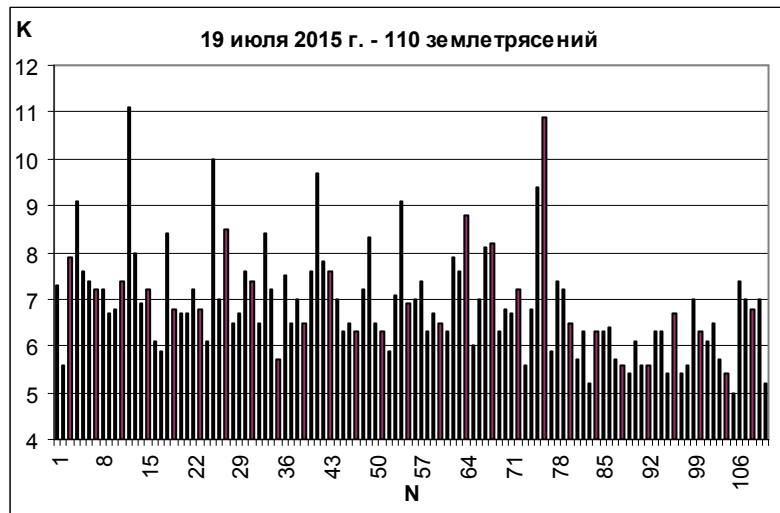


Рис. 4. Гистограмма распределения 110 Тересвинских землетрясений, происшедших 19 июля 2015 г.

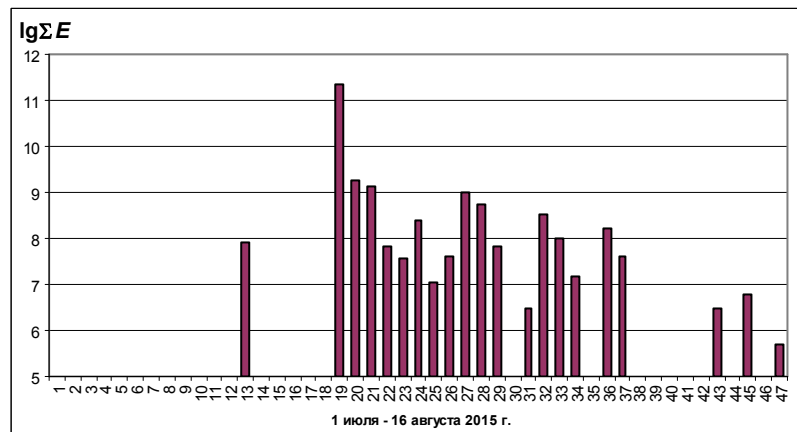


Рис. 5. Гистограмма распределения по дням суммарной энергии Тересвинских землетрясений, выделившейся с 1 июля по 16 августа 2015 г.

За данный период произошло четыре довольно сильных землетрясения ($K_p \geq 9.0$), параметры которых представлены в табл. 1. Данные землетрясения зарегистрированы всеми сейсмическими станциями Карпатской зоны Украины, а также большим количеством зарубежных сейсмических станций. Параметры отдельных землетрясений с $ML \geq 2.3$ по данным зарубежных сейсмологических центров приведены в табл. 2.

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

Таблица 1.

Каталог Тересвинских землетрясений за 2015 г. с $K_p \geq 9.0$ по данным [2]

№ п/п	Время возникновения очага					Координаты эпицентра				Глубина очага		K_p/n
	дата	час	мин	сек	$\Delta t_0, c$	φ°	$\delta\varphi, км$	λ°	$\delta\lambda, км$	$h, км$	$\delta h, км$	
1	19.07	10	56	43.7	0.1	48.04	0.5	23.67	0.4	5.6	0.2	9.1/9
2	19.07	11	30	47.4	0.1	48.04	0.6	23.67	0.5	7.7	0.5	11.1/10
3	19.07	12	23	48.2	0.1	48.04	0.5	23.65	0.5	6.7	0.9	10.0/10
4	19.07	13	41	53.6	0.1	48.02	0.6	23.67	0.5	5.5	0.2	9.7/13
5	19.07	15	14	02.7	0.1	48.04	0.4	23.68	0.3	4.5	0.1	9.1/12
6	19.07	21	14	20.4	0.1	48.05	0.6	23.70	0.5	5.8	0.2	9.4/6
7	19.07	21	14	47.2	0.1	48.01	0.5	23.66	0.4	5.5	0.1	10.9/10
8	21.07	03	08	55.3	0.1	48.04	0.3	23.71	0.2	3.6	0.1	9.0/9

Таблица 2.

Параметры сильных Тересвинских землетрясений за 2015 г. по данным зарубежных сейсмологических центров

Время возникновения очага				Координаты эпицентра		Глубина очага	Магнитуда	Источник
дата	час	мин	сек	$\varphi^\circ N$	$\lambda^\circ E$	$H, км$		
19.07	10	56	43.7	48.10	23.73	5	ML=3.0	EMSC
19.07	11	30	47.4	48.12	23.64	2	ML=3.9	EMSC
19.07	11	30	46.3	48.09	23.61	8	MPSP=4.4	Obninsk
19.07	12	23	48.6	48.08	23.67	8	ML=3.4	EMSC
19.07	13	41	53.3	48.11	23.70	2	ML=3.1	EMSC
19.07	21	14	20.9	48.10	23.68	5	ML=3.8	EMSC
01.08	18	30	22.9	48.11	23.66	6	ML=2.3	EMSC

2. СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ

До 2000 года представительными в Закарпатье считались землетрясения с $K \geq 8$. В 2007 году была проведена работа по определению реальной представительности Карпатской сети за период 2000–2006 гг. В это время в Закарпатье уже работало 10 цифровых сейсмических станций. В результате построения графиков и карт представительными для Тячево-Сигетской зоны (зона В [1]) следует считать землетрясения с $K \geq 7.0$, по которым был изучен сейсмический режим серии Тересвинских землетрясений 2015 г.

Наиболее важным параметром для анализа изменения свойств очаговой зоны является закон Гутенберга – Рихтера, или график повторяемости землетрясений [3]. Для Тячево-Сигетской зоны Закарпатья, в которой произошла данная последовательность землетрясений, кумулятивный график повторяемости за период 1961–2014 гг. (Рис. 6) описывается уравнением:

$$\lg N = (6.20 \pm 0.20) - (0.51 \pm 0.02) \cdot K$$

со средним наклоном $\gamma = -0.51$ для $K=8-12$. На этом графике все точки хорошо ложатся на прямую линию.

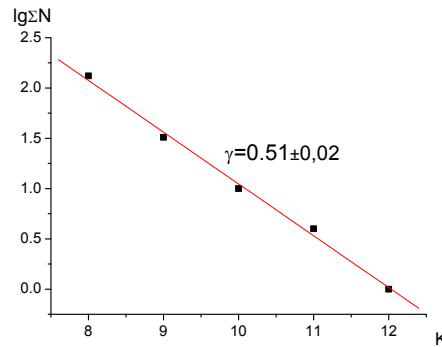


Рис. 6. График повторяемости землетрясений Тячево-Сигетской зоны Закарпатья за период 1961–2014 гг. с $K=8-12$.

В то же время в пределах очаговых зон сложных серий землетрясений, ограниченных малым сроком реализации сейсмичности, закон повторяемости может существенно отклоняться от долговременного. Так, для рассматриваемой серии толчков 2015 г. угловой коэффициент γ графика повторяемости в соответствующем уравнении:

$$\lg N = (5.41 \pm 0.25) - (0.47 \pm 0.03) \cdot K$$

численно равный $\gamma = -0.47$ (Рис. 7) оказался меньше долговременного значения ($\gamma = -0.51$).

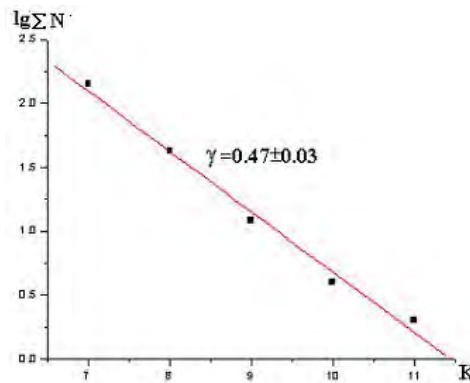


Рис. 7. График повторяемости представительных Тересвинских землетрясений 2015 г. с $K_p=7-11$.

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

Развитие 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 [4, 5]. График построен в виде функции $E^{2/3} = f(t)$. Осреднение энергии $E^{2/3}$ выполнено по каждому году (Рис. 8).

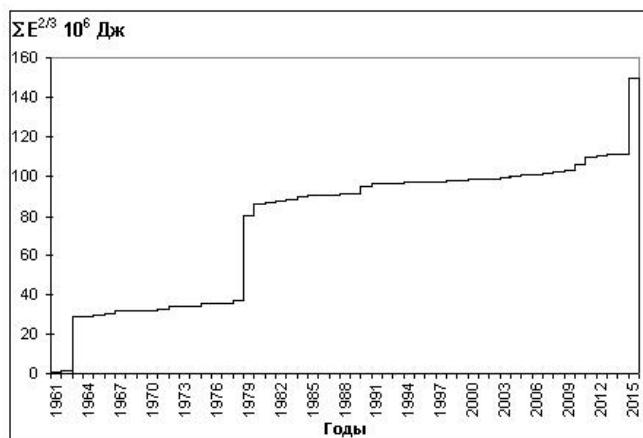


Рис. 8. График изменений во времени накопленной суммы величин $E^{2/3}$ для Тячево-Сигетской зоны Закарпатья (зона В) за 1961–2015 гг.

Следует отметить, что в последние два года перед серией 2015 года наблюдалось почти полное затишье: произошло лишь по одному слабому землетрясению.

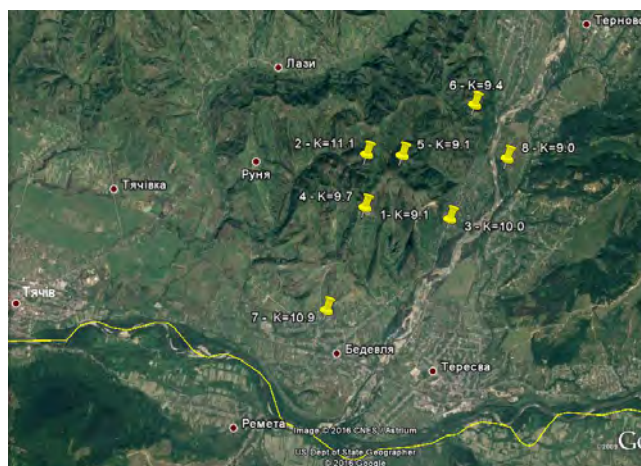


Рис. 9. Карта эпицентров Тересвинских землетрясений 2015 г. с $K \geq 9.0$.

На карте (Рис. 9) указаны номера землетрясений в порядке их возникновения и энергетический класс согласно табл. 1. Семь землетрясений произошли 19.07.2015, одно – 21.07.2015. Пространственно эпицентры этих землетрясений образуют эллипс, вытянутый в северо-восточном направлении с осями 5.4 км на 2.7 км.

3. МАКРОСЕЙСМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ.

Наиболее сильное землетрясение было зарегистрировано 19 июля в 11 ч 30 мин 47.4 с с $K_p=11.1$ и магнитудой $MSH=3.4$. Очаг землетрясения расположен в земной коре на глубине $h=7.7$ км. Этому землетрясению предшествовало 11 форшоков с $K=5.6\div 9.1$, а после него произошло 63 афтершока с $K=5.6\div 10.0$, которые можно считать форшоками еще одного сильного землетрясения, происшедшего 19 июля в 21 ч 14 мин 47.2 с на глубине $h=5.5$ км с $K_p=10.9$ и магнитудой $MSH=3.3$. После данного землетрясения произошла полная разрядка Тячевской зоны, которая закончилась 16 августа и насчитывала 231 толчок с $K=4.8\div 9.0$. Шесть землетрясений ощущались населением на территории Румынии. В эпицентральной зоне, которая охватывает три населенных пункта: Округла, Добрянское и Лазы Тячевские, землетрясение ощущалось с интенсивностью 6 баллов по шкале *MSK-64* [6].

Первые слабые толчки 19 июля, которые предшествовали главному землетрясению, люди в с. Округла Тячевского района Закарпатской области заметили после службы в церкви. Наиболее мощным стал толчок в 11^h 30^m с $K_p=11.1$, во время которого «в домах под ногами как будто что-то взорвалось и сильно потрясло, начали трескаться стены и падать штукатурка».

Макросейсмические сведения были получены путем телефонного опроса. По словам директора школы с. Округла, «сама волна длилась около 10 секунд и сопровождалась сильным гулом, а потом произошел мощный толчок». Многочисленные трещины на стенах и потолке образовались в двух корпусах школы – буквально в каждом классе и кабинете. А после ночного толчка в 21 ч 14 мин – «стали еще больше и уже 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 очевидны 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 поселке Черная Вода.

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 даже вылетела часть окна, а на корпусе столовой трещины видны и снаружи. В некоторых домах штукатурка на стенах потрескалась, как яичная скорлупа. Люди испытывали испуг, выходили во

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

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.

В сельсовет с. Лазы-Тячевские 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.

В населенных пунктах Крива, Бедевля, Тересва, Терново, Ольховцы, 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 трещины в штукатурке.

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. 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 землетрясении в населенных пунктах Тячевского района получить не удалось. Специальное маршрутное обследование не проводилось. Сводные данные об ощущаемости землетрясения 19 июля в 11 ч.с $K_p=11.1$ приведены в табл. 3

Таблица 3.

Макросейсмические данные о землетрясении 19 июля 2015 г.
в 11 ч 30 мин с $K_p=11.1$, $M_L=3.7$, $h=7.7$ км

№ п/п	Населенный пункт	Координаты		Δ , км	№ п/п	Населенный пункт	Координаты		Δ , км
		$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$				$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$	
	6 баллов				13	Колодное	48.165	23.598	15.0
1	Округла	48.088	23.666	5.3	14	Великая Уголька	48.196	23.654	17.0
2	Добрянское	48.068	23.708	4.2	15	Кричево	48.192	23.568	18.5
3	Лазы Тячевские	48.058	23.670	2.7	16	Копашнево	48.216	23.482	24.0
	5 баллов				17	Нижнее Селище	48.200	23.447	24.0
4	Крива	48.028	23.714	3.5	18	Драгово	48.237	23.540	24.0
5	Бедевля	48.004	23.676	4.0	19	Кичирелы	48.254	23.540	25.0
6	Тересва	48.001	23.691	4.5	20	Хустец	48.244	23.488	26.5
7	Терново	48.068	23.732	6.0		4 балла			
8	Ольховцы	48.099	23.739	8.5	21	Ганычи	48.125	23.807	13.5
9	Тячев	48.011	23.585	8.0	22	Солотвино	47.956	23.871	18.0
	4–5 баллов				23	Стеблевка	48.091	23.422	19.5
10	Ольховцы Лазы	48.126	23.698	9.5		Не ощущалось			
11	Нересница	48.117	23.769	11.3	24	Хуст	48.181	23.298	32.0
12	Угля	48.152	23.630	13.0	25	Усть Черная	48.320	23.938	37.0

По данным табл. 3 построена карта изосейст (Рис. 10). Согласно данной карте, макросейсмический эпицентр расположен на 3.5 км севернее инструментального эпицентра и имеет следующие координаты: $\varphi=48.07^{\circ}N$ и $\lambda=23.68^{\circ}E$. Это приближенный вариант карты, поскольку нет полной макросейсмической информации из всех окружающих населенных пунктов в радиусе до 40 км от эпицентра. Несмотря на это, прослеживается подобие в вытянутости изосейсты в северо-западном направлении, как и при землетрясении 10 августа 1926 г., карта изосейст которого представлена ниже (Рис. 12).

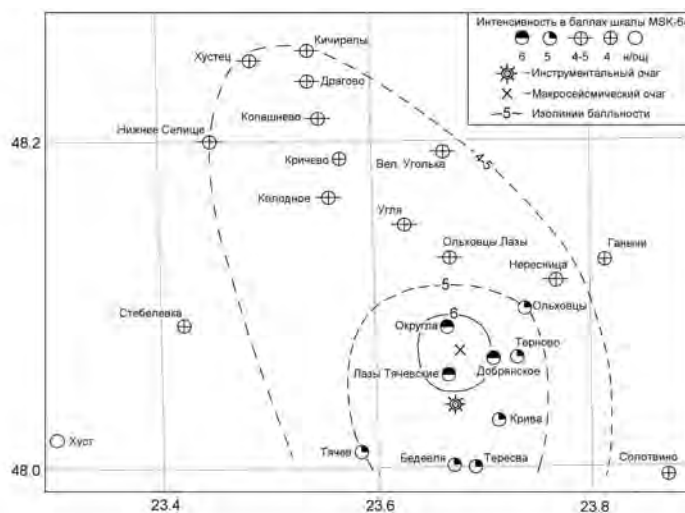


Рис. 10. Карта изосейст землетрясения 19 июля в 11 ч 30 мин с $K_p=11.1$, $M_L=3.7$, $h=7.7$ км

4. СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ.

Закарпатье является областью достаточно интенсивных современных тектонических движений, которые влияют на ее сейсмичность. Очаги землетрясений приурочены к тектонически ослабленным зонам, где наиболее вероятно нарушение сплошности горных пород. Такими зонами являются структурные границы между древними, достаточно консолидированными блоками земной коры с различным направлением или скоростью тектонических перемещений. Именно в таких местах происходит разгрузка накапливаемой энергии, уровень которой превышает предел упругости пород. Особенно сейсмически активной является юго-западная граница Закарпатского прогиба на участке Хуст – Тересва – Сигет. Здесь наблюдается наложение зон миоценовых и плиоценовых разломов и вулканической активности. Землетрясения незначительной интенсивности (3–4 балла) исследователи связывают с соляной тектоникой, а также с поперечными нарушениями, которые делят прогиб, особенно его восточную часть, на отдельные блоки. Район между реками Тисой, Рекой и Теремлей отличается

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

особой подвижностью, тектоника его очень сложная. Здесь установлены системы продольных, поперечных и диагональных зон разломов, которые определяют почти прямоугольную форму блоков земной коры.

На рис. 11 приведен фрагмент карты разломных структур Солотвинской впадины Закарпатского прогиба и смежных территорий [7]. На карту вынесены эпицентры четырех наиболее сильных Тересвинских землетрясений ($K=9.7-11.1$), которые произошли в этом районе в июле 2015 г. (Табл. 1).



Рис. 11. Фрагмент карты разломных структур Солотвинской впадины Закарпатского прогиба и смежных территорий [7] с указанием эпицентров сильных Тересвинских землетрясений 2015 года (Табл. 1). Разломы (красные цифры): 2 – Боринский; 3 – Черноголовский; 4 – Гуцульский; 5 – Пенинский.

5. СЕЙСМИЧЕСКАЯ ИСТОРИЯ.

Тячевский район Закарпатской области является одним из сейсмоактивных регионов Украины. Согласно карте сейсмического районирования ОСР-2004-А [8], территория Тячевского района, как и все Закарпатье, относится к семибалльной зоне. Важнейшим сеймотектоническим районом Закарпатья является Пенинский глубинный разлом, по которому происходит сочленение складчатых Карпат и Закарпатского внутреннего прогиба. Здесь, вдоль линии Сигет – Свалява, расположены очаги следующих сильных землетрясений прошлых лет с интенсивностью от 5–6 до 7 баллов: 03.09.1867 и 26.12.1872 – с. Долгое, 5–6 баллов и 7 баллов; 17.01.1880 – с. Ольховцы, 6 баллов; 14.09.1887 – с. Драгово, 6–7 баллов; 05.01.1908 – г. Свалява, 7 баллов.

В июне – августе 1926 г. в Солотвинской впадине Закарпатского прогиба произошел рой из 17 землетрясений в районе с. Тересвы, максимальное из которых 10.08.1926 имело интенсивность $I_0=7$ баллов (Табл. 4). На рис. 12 представлена карта изосейст данного землетрясения.

Таблица 4.
Каталог землетрясений в районе Солотвинской впадины Закарпатского прогиба с $I_0 \geq 5$ за исторический и инструментальный период до 2014 г.

Дата			Время в очаге			Координаты		K	M	h, км	I ₀	Источник
год	мес	день	час	мин	сек	φ°, N	λ°, E					
1926	6	27	15	30		48.00	23.72	9.0	2.8	2.5–6	5	11, 12
1926	6	28	20	00		48.02	23.71	10.1	3.4	2.5–6	6	11, 12
1926	8	10	1	10		48.02	23.70	11.2	4.0	3–7	7	11, 12
1935	8	22	2	10		48.20	23.20	10.3	3.5	4–9	5–6	11, 12
1937	9	14	8	58		48.21	23.54	11.7	4.3	5–10	6–7	11, 12
1979	8	23	22	2	4	48.14	23.58	10.5	3.6	4	6	13, 14
1979	9	22	18	6	12.3	48.14	23.58	11.4	4.1	4	6–7	13, 14
1980	7	28	09	56	25.3	48.18	23.65	9.1	3.0	3	5	15, 16
1980	7	28	15	57	56.7	48.10	23.56	9.8	3.2	4	5	15, 16
1980	7	29	2	31	14.4	48.12	23.58	9.8	3.2	4	5	15, 16
2010	12	14	19	50	13.6	48.21	23.65	9.7	3.3	11	5	17–19

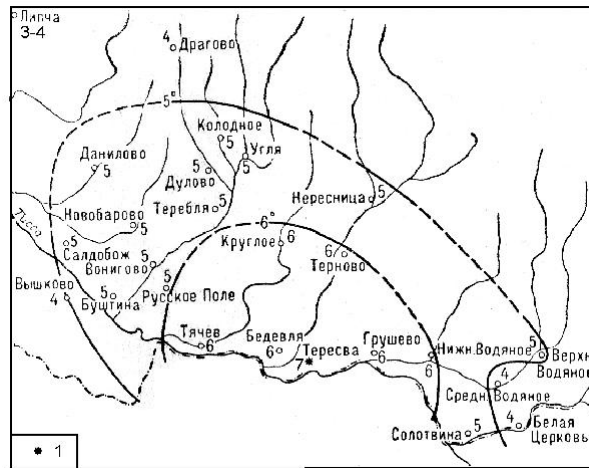


Рис. 12. Карта изосейст Тересвинского землетрясения 10 августа 1926 г. в 0 ч 00 мин с $I_0=7$ баллов по данным [9].

Следующие сильные землетрясения произошли 22.08.1935 около с. Чумалево – с $I_0=5–6$ баллов; 14.09.1937 в районе с. Драгово – с $I_0=6–7$ баллов, после которого наблюдались афтершоки, а также Углянские землетрясения 23.08.1979 с $I_0=6$ баллов и 22.08.1979 с $I_0=6–7$ баллов, которые сопровождалось большим количеством

афтершоков. Так, за период с 23 августа по 26 ноября 1979 г. здесь состоялось 25 землетрясений [10–12].

В следующем 1980 году с 28.07 по 29.07 произошло 62 землетрясения с $K_p=4.9\div 9.8$, три из которых имели интенсивность в эпицентре $I_0=5$ баллов [13, 14]. 14.12.2010 в этой же зоне, в районе сел Малая Уголька и Великая Уголька, произошло землетрясение с магнитудой $MSH=3.3$ и $I_0=5$ баллов [15–17]. Кроме того, за инструментальный период наблюдений после 1980 г. здесь имели место землетрясения с $K_p>9.0$. К ним можно отнести 4-балльные землетрясения в районе Угли 18 декабря 1984 г. с $K_p=9.1$ и 12 января 1990 г. с $K_p=9.6$ [18, 19], а также в районе Тячева 24 апреля 1991 г. с $K_p=9.1$ [20]. За этот же период в данном районе отмечен целый ряд слабых землетрясений с $K_p=6\text{--}8$, которые не ощущались населением. Отсюда следует, что в течение последних 35 лет в Тячево-Сигетской зоне наблюдалось общее снижение сейсмической активности. Поэтому в работах [21, 22], предшествовавших Тересвинским землетрясениям 2015 г., было сделано заключение о том, что сейсмическая опасность здесь нарастает и возможность возникновения землетрясений с энергетическим классом $K\geq 11$ и интенсивностью $I_0\geq 6$ баллов в Тячево-Сигетской зоне в ближайшее время увеличивается, что и произошло в период с 19 июля по 16 августа 2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описана последовательность землетрясений, происшедших в июле – августе 2015 г. в Тячево-Сигетской зоне Закарпатского прогиба в районе г. Тересвы. Эта серия землетрясений, которая насчитывает 306 событий, произошла через 35 лет после известных сильных Углянских землетрясений 1979 г. в этой же зоне. По полученным данным 2015 г. были построены гистограммы распределения энергии и количества землетрясений по дням, из которых видно, что максимум энергии в данном районе выделился в первый день – 19 июля ($\Sigma E=2.28\cdot 10^{11}$ Дж по 110 толчкам), при том что суммарная сейсмическая энергия всей серии составила $\Sigma E=2.34\cdot 10^{11}$ Дж. Данную последовательность землетрясений можно считать мультиплетной, поскольку после каждого сильного толчка наблюдается шлейф более слабых. Графики повторяемости землетрясений построенные за весь период инструментальных наблюдений с 1961 г. по 2014 г. ($\gamma=0.51\pm 0.02$) и для данной последовательности 2015 г. ($\gamma=0.47\pm 0.03$) отличаются между собой на незначительную величину, которая не превышает пределы погрешности. Из графика Бенюффа, построенного для Тячево-Сигетской зоны за период 1961–2015 гг., видно, что после 1979 г. и вплоть до 2015 г. шло очень медленное накопление упругих деформаций, а в последние два года наблюдалось сейсмическое затишье. Максимальное землетрясение 19 июля в 11 ч 30 мин по макросейсмическим данным ощущалось в эпицентральной зоне с интенсивностью 6 баллов по шкале MSK-64.

Поскольку в данной зоне в 2015 г. произошла полная разгрузка, то можно предположить, что следующей такой серии сильных землетрясений можно ожидать не ранее чем через 25–35 лет.

Список литературы

1. Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г. Некоторые аспекты сейсмического «климата и погоды» в Закарпатье // Известия АН СССР. Физика Земли. 1982. № 10. С. 74–81.
2. 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 им. В. И. Вернадского. «География. Геология». 2016. Том 2 (68). № 4. С. 69–219.
3. Ризниченко Ю. В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
4. Беньофф Г. Накопление и высвобождение деформаций по наблюдениям сильных землетрясений. Слабые землетрясения. М.: Иностранная литература, 1961. С.199–211.
5. Костров Б. В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 179 с.
6. Медведев С. В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. М.: Международный геофизический комитет АН СССР, 1965. 11 с.
7. Карта разрывных нарушений и основных зон линейментов юго-запада СССР, м-б 1:1000000 (с использованием материалов космической съемки) / под. ред. Крылова Н. А. М.: Мингео СССР, 1988. 4 листа.
8. 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.
9. Евсеев С. В. Интенсивность землетрясений Украины. Сейсмичность Украины. Киев: Наукова думка, 1969. С. 32–55.
10. 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.
11. 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.
12. Пронишин Р. С., Пустовитенко Б. Г. Особенности процессов в эпицентральной зоне Закарпатских землетрясений в 1979 г. // Геофизический журнал 1981. Вып. 3, № 6. С. 71–85.
13. 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.
14. Костюк О. П., Руденская И. М., Москаленко Т. П., Подымова И. С. Сейсмичность Карпат в 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. 79–87.
15. Вербицкий С. Т., Стасюк А. Ф., Чуба М. В., Пронишин Р. С., Келеман И. Н., Гаранджа И. А., Вербицкий Ю. Т., Степаненко Н. Я., Симонова Н. А., Алексеев И. В. Сейсмичность Карпат в 2010 году Сейсмологический бюллетень Украины за 2010 год. Севастополь: НПЦ «Экоси-Гидрофизика», 2011. С. 24–33.
16. 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.
17. Пронишин Р. С. Углянское-III землетрясение 14 декабря 2010 г. с $K_p=9.7$, $MSH=3.3$, $I_0=5$ (Украина, Закарпатье). Землетрясения Северной Евразии, 2010 год. Обнинск: Геофизическая служба РАН, 2016. С. 376–381.
18. Костюк О. П., Руденская И. М., Москаленко Т. П. Землетрясения Карпат в 1984 г. Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым – Карпаты, 1984 г.). Киев: Наукова думка, 1987. С. 181–186.

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

19. Костюк О. П., Руденская И. М., Москаленко Т. П. Сейсмичность Карпат в 1990 г. Сейсмологический бюллетень Западной зоны Системы сейсмических наблюдений Украины и Молдовы за 1990 год. Киев: Наукова думка, 1994. С. 163–167.
20. Костюк О. П., Руденская И. М., Москаленко Т. П. Сейсмичность Карпат в 1991 г. Землетрясения Украины в 1991 г. Сейсмологический бюллетень Украины за 1991 г. Киев: Наукова думка, 1995. С. 83–85.
21. Пронишин Р. С., Кузнецова В. Г. Зв'язок просторового розподілу сейсмічності з тектонічною будовою Закарпатського прогину // Геодинаміка. 2011. № 2 (11). С. 254–256.
22. Сучасна геодинаміка і геофізичні поля Карпат та суміжних територій. Монографія / за загальною ред. К. Р. Третяка, В. Ю. Максимчука, Р. І. Кутаса. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. 420 с.

THE TERESVIN EARTHQUAKES OF 2015

Pronishin R. S.

*S. I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv
E-mail: pronrom@gmail.com*

Transcarpathia is the most seismically active area within Ukraine. It is divided into several seismic zones. The most active is the Tyachevo-Sigetska. This zone is characterized by a constant weak activity, against which at a large intervals (35–50 years) there are 6–7 balls earthquakes with a large number of aftershocks. The last strong earthquake in this zone occurred in the area of the village of Ugly with an intensity of 6–7 balls.

In 2015, a network of seismic stations in the Carpathian region for the period from July 13 to August 16 in this region registered 306 earthquakes in the energy level of the $K_R = 4.8 \div 11.1$, four of which have an energy class of more than ten. The total seismic energy released during this period was $\Sigma E = 2.34 \cdot 10^{11} J$. The first shock was recorded in the Teresva area on July 13 at 16:40 with an $K_R = 7.9$. Then in 6 days the activation of this zone began. The maximum earthquake with $K_R=11.1$ occurred on July 19 at 11:30. This sequence of earthquakes can be considered multiplet, which means that after each comparatively strong shock a trail of weaker ones follows, the energy of which gradually decreases. All earthquakes are concentrated within a small area with coordinates $\varphi = 47.99^\circ N \div 48.09^\circ N$ and $\lambda = 23.59^\circ E \div 23.75^\circ E$, i. e. size $12 \times 12 km$ or in a circle with a radius of 8–9 km. The interval between earthquakes varies mainly from 1 to 10 minutes, and sometimes even from 10 to 60 minutes. Most foci of earthquakes are concentrated at depths from 4 to 6 km. The histograms of energy distribution in time and the number of earthquakes by days are constructed. The seismic regime of this zone for 1961–2014 was studied and separately for a series of Teresvin earthquakes for 2015. The repeatability graph of earthquakes is plotted. Angle of inclination of the repeatability graph for the Tyachyovo-Sigetsky zone 1961–2014. is equal to $\gamma = 0.51 \pm 0.02$. For the sequence of Teresvin earthquakes, 2015 γ is somewhat lower and equal to 0.47 ± 0.03 . Such a deviation from the long-term value of γ is permissible. In addition, a graph of the time course of the release of the total earthquake energy, proportional to the removal of the elastic deformation, is plotted – the Benioff graph. The energy averaging $E^{2/3}$ is fulfilled for each year. From Benyoff's graph it follows that seismic calm has been observed in recent years. The paper presents the data of the macro-seismic survey of the most severe earthquake on July 19 obtained by telephone survey. Six earthquakes were felt by the

population in Romania. In the epicentral zone, which covers three settlements Okrugla, Dobryanskoe and Lazy Tyachevsky, the earthquake was felt at an intensity of 6 balls on the MSK-64 scale. As a result, an isoseism map was constructed, on which a similarity in the isoseismal elongation in the north-west direction can be traced as in the case of a strong Teresvin earthquake on August 10, 1926. The article describes the tectonics of the area where this series of earthquakes occurred. A fragment of the map of the fault structures of this region is given. The historical seismicity of the area is briefly described.

Keywords: earthquake, seismicity, seismic regime, seismic energy, seismic intensity, energy class, epicenter, magnitude.

References

1. Pronishin R. S., Pustovitenko B. G. Nekotorye aspekty sejsmicheskogo «klimata i pogody» v Zakarpat'e // *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli* (Publ.), 1982, no. 10, pp 74–81 (in Russian).
2. Verbickij S. T., Pronishin R. S., Prokopishin V. I., Steckiv A. T., Chuba M. V., Nishchimenko I. M., Keleman I. N. Sejsmichnost' Karpat v 2015 godu // *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V. I. Vernadskogo. «Geografiya. Geologiya»*, 2016. Tom 2(68), no. 4, pp. 69–219 (in Russian).
3. Riznichenko YU. V. *Problemy sejsmologii*. Moscow: Nauka (Publ.), 1985, 408 p. (in Russian).
4. Ben'off G. Nakoplenie i vysvobozhdenie deformacij po nablyudeniyam sil'nyh zemletryasenij. *Slabye zemletryaseniya*. Moscow: Inostrannaya literatura (Publ.), 1961, pp.199–211 (in Russian).
5. Kostrov B. V. *Mekhanika ochaga tektonicheskogo zemletryaseniya*. Moscow: Nauka (Publ.), 1975. 179 p. (in Russian).
6. Medvedev S. V., Shponhojer V., Karnik V. *Shkala sejsmicheskoy intensivnosti MSK-64*. Moscow: Mezhdunarodnyj geofizicheskij komitet AN SSSR (Publ.), 1965. 11 p. (in Russian).
7. *Karta razryvnyh narushenij i osnovnyh zon lineamentov yugo-zapada SSSR, m-b 1:1000000 (s ispol'zovaniem materialov kosmicheskoy s'emki) / pod red. Krylova N. A.* Moscow: Mingeo SSSR (Publ.), 1988, 4 lista (in Russian).
8. *Gosudarstvennyye stroitel'nye normy DBN V.1.1–12:2006 «Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonah Ukrainy»*. Kiev: Ministerstvo stroitel'stva, arhitektury i zhilishchno-kommunal'nogo hozyajstva Ukrainy (Publ.), 2006, 96 p. (in Russian).
9. Evseev S. V. *Intensivnost' zemletryasenij Ukrainy. Sejsmichnost' Ukrainy*. Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1969, pp. 32–55 (in Russian).
10. *Novyj katalog sil'nyh zemletryasenij na territorii SSSR s drevnejshih vremen do 1975 g. /Otv. red. N. V. Kondorskaya, N. V. Shebalin*. Moscow: Nauka (Publ.), 1977, 535 p. (in Russian).
11. Pronishin R. S., Skarzhevskij V. V., Hivrenko Z. S. *Uglyanskije zemletryaseniya v 1979 g. Sejsmologicheskij byulleten' zapadnoj territorial'noj zony edinoj sistemy sejsmicheskikh nablyudenij SSSR (Krym – Karpaty za 1978–1979 gg.)* Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1983, pp. 100–125 (in Russian).
12. Pronishin R. S., Pustovitenko B. G. *Osobennosti processov v ehpicentral'noj zone Zakarpatskih zemletryasenij v 1979 g. // Geofizicheskij zhurnal 1981. Vyp. 3, no. 6, pp. 71–85* (in Russian).
13. Kostyuk O. P., Rudenskaya I. M., Karpiv T. S., Hivrenko Z. S., Podymova I. S. *Katalog i podrobnyye dannye o zemletryasenyah Karpatskogo regiona za 1980 g. Sejsmologicheskij byulleten' zapadnoj territorial'noj zony edinoj sistemy sejsmicheskikh nablyudenij SSSR. (Krym – Karpaty, 1980 g.) / Otv. red. I. I. Popov*. Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1984, pp. 43–79 (in Russian).
14. Kostyuk O. P., Rudenskaya I. M., Moskalenko T. P., Podymova I. S. *Sejsmichnost' Karpat v 1980 g. Sejsmologicheskij byulleten' zapadnoj territorial'noj zony edinoj sistemy sejsmicheskikh nablyudenij SSSR. (Krym–Karpaty,1980 g.) /Otv. red. I.I. Popov* Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1984, pp. 79–87 (in Russian).
15. Verbickij S. T., Stasyuk A. F., Chuba M. V., Pronishin R. S., Keleman I. N., Garandzha I. A., Verbickij Yu. T., Stepanenko N. Ya., Simonova N. A., Alekseev I. V. *Sejsmichnost' Karpat v 2010 godu*

ТЕРЕСВИНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 2015 ГОДА

- Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2010 god. Sevastopol': NPC «Ehkosi-Gidrofizika» (Publ.), 2011, pp. 24–33 (in Russian).
16. Chuba M. V., Keleman I. N., Garandzha I. A., Stasyuk A. F., Verbickij Yu. T., Nishchimenko I. M., Plishko S. M., Verbickaya O. Ya., Davydyak O. D., Olejnik G. I., Simonova N. A., Burluckaya A. M., Evdokimova O. V. Katalog i podrobnye dannye o zemletryasenyah Karpatskogo regiona za 2010 god. Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 2010 god. Sevastopol': NPC «Ehkosi -Gidrofizika» (Publ.), 2011, pp. 115–182 (in Russian).
 17. Pronishin R. S. Uglyanskoe-III zemletryasenie 14 dekabrya 2010 g. s $KR=9.7$, $MSH=3.3$, $I_0=5$ (Ukraina, Zakarpat'e). Zemletryaseniya Severnoj Evrazii, 2010 god. Obninsk: Geofizicheskaya sluzhba RAN (Publ.), 2016, pp. 376–381 (in Russian).
 18. Kostyuk O. P., Rudenskaya I. M., Moskalenko T. P. Zemletryaseniya Karpat v 1984 g. Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj territorial'noj zony Edinoj sistemy sejsmicheskikh nablyudenij SSSR (Krym-Karpaty, 1984 g.). Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1987, pp. 181–186 (in Russian).
 19. Kostyuk O. P., Rudenskaya I. M., Moskalenko T. P. Sejsmichnost' Karpat v 1990 g. Sejsmologicheskij byulleten' Zapadnoj zony Sistemy sejsmicheskikh nablyudenij Ukrainy i Moldovy za 1990 god. Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1994, pp. 163–167 (in Russian).
 20. Kostyuk O. P., Rudenskaya I. M., Moskalenko T. P. Sejsmichnost' Karpat v 1991 g. Zemletryaseniya Ukrainy v 1991 g. Sejsmologicheskij byulleten' Ukrainy za 1991 g. Kiev: Naukova dumka (Publ.), 1995, pp. 83–85 (in Russian).
 21. Pronishin R. S., Kuznecova V. G. Zv'yazok prostorovogo rozpodilu sejsmichnosti z tektonichnoyu budovoyu Zakarpats'kogo proginu // Geodinamika, 2011, no. 2(11), pp. 254–256 (in Russian).
 22. Suchasna geodinamika i geofizichni polya Karpat ta sumizhnih teritorij. Monografiya / za zagal'noyu red. K. R. Tretyaka, V. Yu. Maksimchuka, R. I. Kutasa. L'viv: Vidavnicvo L'vivs'koï politekhniki (Publ.), 2015, 420 p. (in Ukrainian).