

КАРПАТЫ

**С.Т. Вербицкий¹, А.Ф. Стасюк¹, М.В. Чуба¹, Р.С. Пронишин¹, И.Н. Келеман¹,
И.А. Гаранџа¹, Ю.Т. Вербицкий¹, Н.Я. Степаненко², Н.А. Симонова², И.В. Алексеев²,
И.И. Илиеш², В.Ю. Карданец**

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

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

Сейсмические наблюдения в Карпатском регионе проводились в 2010 г., так же как и ранее [1], силами двух организаций из двух государств: отделом сейсмичности Карпатского региона Института геофизики НАН Украины и лабораторией сейсмологии Института геологии и сейсмологии АН Молдовы. Каждая организация имеет свою сеть наблюдений и центр обработки данных – во Львове [2] и в Кишинёве соответственно [3]. Итоговое обобщение всех совместных материалов традиционно осуществляется во Львове.

Сейсмические станции. В Карпатском регионе (ИГФ НАНУ) в 2010 г. функционировала сеть из 19 цифровых сейсмических станций, из которых 18 стационарных {«Львов» (LVV), «Ужгород» (UZH), «Межгорье» (MEZ), «Косов» (KSV), «Моршин» (MORU), «Тросник» (TRSU), «Нижнее Селище» (NSLU), «Городок» (HORU), «Черновцы» (CHRU), «Берегово» (BERU), «Брид» (BRIU), «Мукачево» (MUKU), «Рахов» (RAK), «Королево» (KORU), «Каменец-Подольский» (KMPU), «Схидныця» (SHIU), «Старуня» (STAU), сейсмического павильона «Оноковцы» (ONO/Ужг(п))} и одна – временная («Новоднестровск» (NDNU)). Из них 15 станций находятся в подчинении КОМСП – Карпатской опытно-методической сейсмологической партии отдела сейсмичности, а пять станций («Нижнее Селище», «Тросник», «Берегово», «Мукачево», «Брид») в подчинении КОМПГ – Карпатской опытно-методической геофизической партии этого же отдела. На всех сейсмических станциях инструментальные наблюдения проводились с использованием цифровой аппаратуры DAS-03 [4], DAS-04 [5], созданной в Отделе сейсмичности Карпатского региона Института геофизики. Основные параметры регистрирующей аппаратуры приведены в Приложении [6]. Дополнительно, для определения основных параметров – времени возникновения, координат и глубин очагов, невязок определений и динамических характеристик землетрясений Карпатского региона – использовались данные Крымской сети, сейсмических служб Молдовы и зарубежных сейсмических сетей Карпато-Балканского региона с $\Delta \leq 1000$ км (Польша, Словакия, Румыния, Болгария и Венгрия).

В Молдове сейсмические наблюдения в 2010 г. проводились пятью станциями с цифровой регистрацией: «Кишинёв» (KIS), «Леово» (LEOM), «Сороки» (SORM), «Джурджулешты» (JUM) и станцией «Малые Милешты» (MILM), открытой 21 ноября 2010 г. Аналоговую запись сохранили на станции «Кишинёв» со следующими комплектами аппаратуры: СКД, СКД-КПЧ, СД-1, СКМ-3. Из них только на СД-1 записывалась одна составляющая Z, на остальных – три компоненты (N, E, Z). Именно по этой станции определены энергетические классы K_r и магнитуды MSM , MPV , Md для 15 землетрясений в описанном ниже дополнении Молдовы к региональному каталогу Карпат.

Согласно [3], работы по переходу станций Молдовы на современную цифровую регистрацию начались с 2003 г. На станциях были установлены трехканальные короткопериодные датчики сильных движений до 1 g, акселерометры ES-T фирмы Kinematics с шириной полосы регистрации до 200 Гц и сейсмометры CMG-40T фирмы Guralp, обеспечивающие регистрацию сейсмических волн в частотном диапазоне от 0.03 до 50.0 Гц. Две сейсмические станции «Кишинёв» и «Сороки» оснащены широкополосной системой накопления Quanterra Q330 фирмы Kinematics, с 24-битовым А/Д преобразователем по 6 каналам и антенной GPS. Другие две станции – «Леово» и «Джурджулешты» – обеспечены шестиканальной системой регист-

рации K2 (Kinematics) с 24-битовым A/D преобразователем, GPS-антенной системы ведения точного времени и координат.

Список станций, их координаты, перечень и параметры установленной на станциях аппаратуры приводится в Приложении [7]. В октябре 2010 г. на основе 16 сейсмических станций, из которых 5 расположены на территории Молдовы, а 11 – на территории Румынии, при Институте геологии и сейсмологии АН Республики Молдова был открыт Национальный центр данных.

Обработка землетрясений. В *Карпатском регионе* основные параметры землетрясений определялись с помощью программы НУРО [8]. Входными данными являются: дата землетрясения, географические координаты сейсмических станций и времена вступлений сейсмических *P*- и *S*- волн на этих станциях. Для расчетов используются соответствующие годографы, заданные в табличном виде. Например, для очагов землетрясений зоны Вранча используется годограф Джеффриса-Буллена [9], а для очагов Северо-Западного района используется региональный Карпатский годограф [10–12]. В результате были определены основные параметры (координаты, глубина и время в очаге) 120 очагов землетрясений, а также точности решения по каждому из параметров. Необходимо заметить, что точность решения и точность определения очага являются разными понятиями. Точность определения параметров очага может быть значительно ниже, чем точность решения, поскольку зависит от многих объективных и субъективных факторов, таких как точность применяемого в расчетах годографа, который в свою очередь является обобщением точности определения времени вступления фаз, количества и расположения сейсмических станций и т.п. Производство и обработка наблюдений на сейсмических станциях проводились согласно Инструкции о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях [13].

В Молдове используется та же Инструкция [13]. Для определения очаговых параметров были привлечены данные из бюллетеней сейсмических станций Румынии и Украины [14–17]. По времени вступления *P*- и *S*-волн на различных станциях Молдовы вычислялись очаговые параметры: время t_0 возникновения землетрясения, положение гипоцентра (ϕ , λ , h). Для расчета использовалась разработанная в Институте геологии и сейсмологии АН Молдовы программа НУРОС [18], которая предназначена для локализации землетрясения по данным близких сейсмических станций. Программа позволяет вычислять время в очаге и положение гипоцентра по времени вступления *P*- и *S*-волн в различных пунктах наблюдений. При этом определяются как общая погрешность по времени и положению эпицентра, так и ошибка каждого отдельного вступления. Глубина землетрясения рассчитывается с погрешностью $\delta = \pm 10$ км. В программе НУРОС используется региональный годограф [19]. Наряду с региональным годографом в программе предусмотрено применение мирового годографа IASPEL [20]. С момента открытия Национального центра данных в режиме реального времени ведется автоматическая обработка записей по программе SeisComp3. Результаты оформляются в виде бюллетеней, содержащих следующую информацию: параметры очага землетрясения (время в очаге, координаты эпицентра, глубина, магнитуда) и станционные параметры (код станции, время вступления *P*-волны, амплитуда и период, эпицентральное расстояние, азимут от очага на станцию, станционная магнитуда).

Каталог землетрясений. Результаты обработки сейсмических событий Карпатского региона представлены в региональном каталоге землетрясений [21]. Всего в 2010 г. сейсмическими станциями Карпатского региона Украины зарегистрировано 120 землетрясений, из них 99 мелких очагов с $h=2$ –33 км и 21 глубоких, точнее, с промежуточной глубиной в диапазоне $h=83$ –160 км. Минимальная глубина приписано толчку 4 марта в $16^{\text{h}}38^{\text{m}}$ с $K_p=8.1$ на территории Польши. Максимальная глубина $h_{\text{max}}=160$ км в каталоге приписана двум землетрясениям Вранча, произошедшим 13 марта в $14^{\text{h}}20^{\text{m}}$ с $K_p=10.7$ и 9 июня в $03^{\text{h}}42^{\text{m}}$ с $K_p=10.1$, к тому же с близкими эпицентрами, а именно: $\phi_1=45.79^\circ\text{N}$, $\lambda_1=26.46^\circ\text{E}$ и $\phi_2=45.63^\circ\text{N}$, $\lambda_2=26.40^\circ\text{E}$ соответственно [21].

Основная часть ($N=87$) включенных в региональный каталог землетрясений локализована в пределах восьми традиционных районов Карпат: Северо-Западный, Вранча, Южные Карпаты, Банат, Буковина, Кришана, Трансильвания и Бакэу. Остальные 33 события каталога локализованы на территории упомянутой выше Польши ($N=18$), а также Венгрии ($N=9$), Чехии ($N=4$) и на границе Румынии с Сербией ($N=2$) [21].

Для получения динамических характеристик на сейсмических станциях «Львов», «Ужгород», «Косов», «Рахов» и «Новоднестровск» использовались амплитудно-частотные характеристики каналов в формате PAZ GSE1 [22].

Согласно [23], на этих станциях определялись следующие энергетические параметры зарегистрированных сейсмических событий:

- для местных землетрясений – энергетический класс (K_p) по номограмме Т.Г. Раутиан [24],
- для землетрясений района Вранча – магнитуда по поперечной S -волне по формуле из [13]

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

и расчетный энергетический класс по уравнению Т.Г. Раутиан [25]

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

На остальных станциях, для которых на данное время нет надежных амплитудно-частотных характеристик, в качестве энергетических параметров сейсмических событий определялась магнитуда по длительности τ колебаний по формуле из [26]:

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

с последующим пересчетом в энергетический класс K_d по [25]:

$$K_d = 4 + 1.8 Md.$$

Кроме того, традиционно в каталоге приведены магнитуды MSM [27], взятые из каталога Молдовы, и *ред.* добавлены магнитуды $MPSP$ из MOS [28], M_s и m_b – из ISC [29].

На карте (рис. 1) изображены эпицентры землетрясений, которые произошли в восьми сейсмоактивных районах Карпатского региона, с классификацией по энергетическим классам K_p .

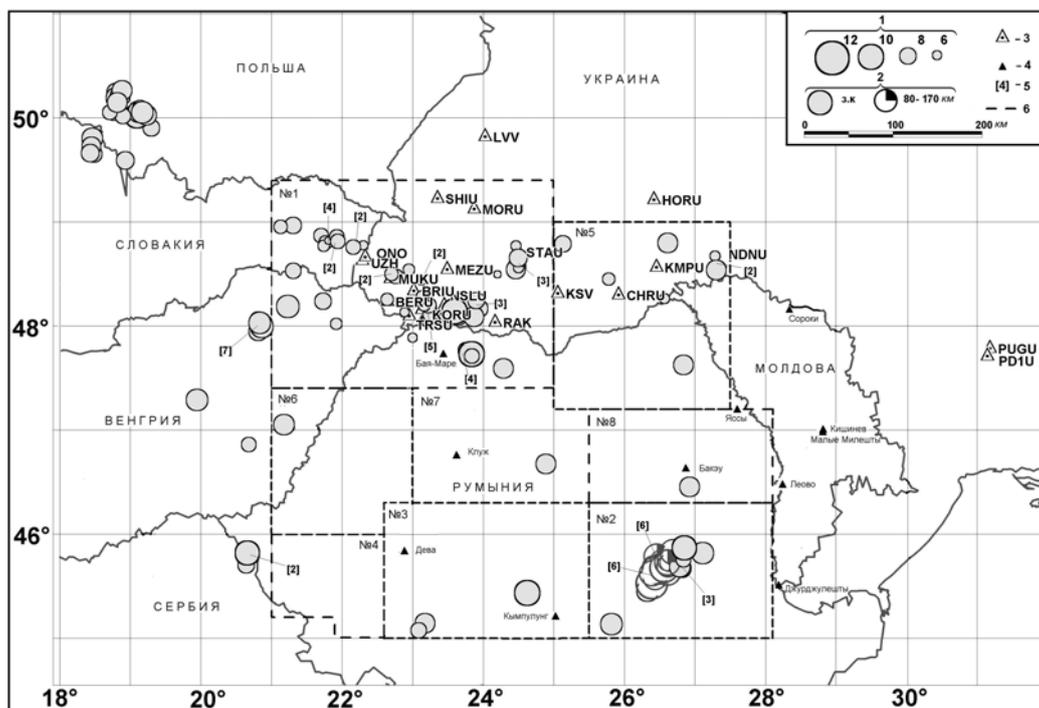


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Карпат за 2009 г.

1 – энергетический класс; 2 – глубина гипоцентра h , км; 3, 4 – сейсмическая станция Карпатского региона и прилегающих территорий соответственно; 5 – число землетрясений с одинаковым эпицентром; 6 – граница сейсмоактивного района; название и номер района: Северо-Западный (1), Вранча (2), Южные Карпаты (3), Банат (4), Буковина (5), Кришана (6), Трансильвания (7), Бакэу (8).

Другие каталоги. К другим каталогам относятся:

- 1 – данные Молдовы для Вранча [30];
- 2 – новые землетрясения в границах региона [31], извлеченные *ред.* из ISC;
- 3 – каталог механизмов по определениям Молдовы [32] для семи очагов землетрясений Вранча;
- 4 – дополнение *ред.* к каталогу механизмов [33];

- 5 – макросейсмический эффект ощутимых в регионе землетрясений [34],
- 6 – список сотрясенных в 2010 г. населенных пунктов [35];
- 7 – список станций и параметры аппаратуры КОМСП [6];
- 8 – список станций и параметры аппаратуры Молдовы [7];

Всего станциями Молдовы в 2010 г. было зарегистрировано 51 землетрясение Карпатского региона [30]. В основном это землетрясения области гор Вранча ($N=40$) промежуточной глубины, остальные – неглубокие ($N=11$). Очаги 9 из них относятся к коровым землетрясениям области Вранча с $h=10-33$ км, эпицентр одного (12 июля в 09^h34^m) находится на территории Буковины ($\varphi=48.31^\circ N$, $\lambda=26.91^\circ E$), одно землетрясение (19 мая в 08^h49^m) не локализовано, так как записано только станцией «Кишинёв» и, возможно, ложное. Координаты гипоцентров определены для 50 землетрясений, но энергетические классы – лишь для 12 из них, все определения K_p выполнены по одной станции «Кишинёв». Величина остальных 38 землетрясений в [30] не дана.

Каталог [31] содержит новые 122 землетрясения, отсутствующие в региональном каталоге [21] и в каталоге Молдовы [30]. Все они имеют магнитуду по длительности MD агентства ВУС, Румыния.

Макросейсмический эффект [34] представлен для трех ощутимых землетрясений 2010 г., произошедших 8 июня, 30 сентября и 14 декабря. Первые два с промежуточными глубинами очагов $h=128$ и 146 км локализованы в Румынии. Они описаны в отдельной статье [36] наст. сб. Третье – мелкое ($h_n=11$ км) местное землетрясение Закарпатья – также описано в отдельной статье [37]. Число сотрясенных пунктов в Румынии составило 22, в Закарпатье – 50 [35].

Сейсмичность в 2010 г. Сведения о распределении землетрясений по районам и вне их энергетическим классам и величине выделившейся сейсмической энергии приведены в табл. 1.

Таблица 1. Распределение землетрясений Карпат по энергетическим классам и суммарная сейсмическая энергия по районам в 2010 г.

№	Район	K_p						N_Σ	$\Sigma E,$ <i>Дж</i>
		6	7	8	9	10	11		
1	Северо-Западный							47	$7.33 \cdot 10^9$
	Закарпатье	5	10	4			1	20	$5.41 \cdot 10^9$
	Предкарпатье	1	4	2				7	$1.74 \cdot 10^8$
	Румыния, Мармарош	1	1	4				6	$3.61 \cdot 10^8$
	Восточная Словакия	1	6	4				11	$3.47 \cdot 10^8$
	Восточная Венгрия		2		1			3	$1.04 \cdot 10^9$
2	Вранча			2	14	7	5	28	$8.28 \cdot 10^{11}$
	горы Вранча			2	10	6	5	23	$8.21 \cdot 10^{11}$
	Предкарпатский прогиб				4	1		5	$7.11 \cdot 10^9$
3	Южные Карпаты				2	1		3	$1.09 \cdot 10^{10}$
4	Банат								0
5	Буковина	1	2	3				6	$5.28 \cdot 10^8$
6	Кришана				1			1	$3.98 \cdot 10^8$
7	Трансильвания			1				1	$1.58 \cdot 10^8$
8	Бакэу				1			1	$3.98 \cdot 10^8$
	Сумма	9	25	20	19	9	5	87	$8.47 \cdot 10^{11}$
	Внешние:								
	Польша			9	8	1		18	$1.55 \cdot 10^{10}$
	Чехия			1	3			4	$3.59 \cdot 10^9$
	Венгрия			5	4			9	$3.40 \cdot 10^9$
	Граница Румынии и Сербии				2			2	$3.56 \cdot 10^9$
	Сумма			15	15	1		33	$2.60 \cdot 10^{10}$
	Всего	9	25	35	34	10		120	$8.69 \cdot 10^{11}$

Примечание. В районе №4 (Банат) по региональному каталогу [21] землетрясения не отмечены.

Выделившаяся суммарная сейсмическая энергия в Карпатском регионе в 2010 г. составила $\Sigma E = 8.47 \cdot 10^{11}$ Дж (табл. 1), что ниже соответствующего уровня энергии в 2009 г. ($\Sigma E = 2.085 \cdot 10^{13}$ Дж [1]). Максимальным ($K_p = 11.5$) в 2010 г. явилось землетрясение 30 сентября в $05^{\text{h}}31^{\text{m}}$ с $h = 146$ км [21]. Как указано выше, оно детально описано в отдельной статье [36]. Сейсмическая энергия в районе Вранча (№ 2) составила $\Sigma E = 8.28 \cdot 10^{11}$ Дж и тоже ниже такового уровня ($\Sigma E = 2.08 \cdot 10^{13}$ Дж) в 2009 г. [1].

Как отмечено выше, сейсмическими станциями Украины зарегистрировано три ощутимых землетрясения. Два из них из района Вранча. Землетрясение 8 июня ощущалось отдельными жителями г. Кишинёва с интенсивностью $I = 2$ балла, а более сильное землетрясение 30 сентября ощущалось населением в Кишинёве с интенсивностью $I = 2$ балла, а в Кагуле интенсивность достигала $I = 3$ балла [+36].

Сейсмическая энергия в Северо-Западном районе (№ 1) составила $\Sigma E = 7.33 \cdot 10^9$ Дж. На участке этого района, в Закарпатье, сейсмическая активность по уровню энергии с $\Sigma E = 5.41 \cdot 10^9$ Дж заметно возросла по сравнению с таковой в 2009 г. [1].

Характер активности сейсмических процессов на протяжении года по месяцам в виде диаграмм представлен на рис. 2.

Как видим, наименьшее число ($N = 5$) землетрясений произошло в мае, а наибольшее ($N = 20$) – в ноябре. Район Вранча был активным на протяжении года. Из районов традиционно активны два – Северо-Западный (№ 1) и Вранча (№ 2), с числом землетрясений 47 и 28 соответственно (табл. 1). Как обычно сравним в них режим высвобождения сейсмической энергии по месяцам в течение 2010 г. (рис. 3).

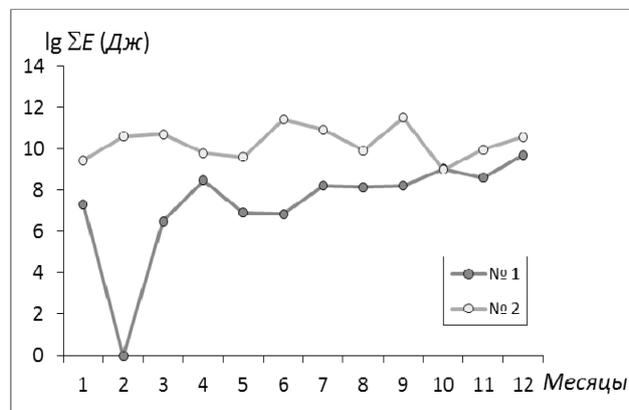


Рис. 3. Распределение логарифма выделенной энергии по месяцам за 2010 г. в Северо-Западном районе (№ 1) и Вранча (№ 2)

В пределах Закарпатской низменности 20 апреля в $23^{\text{h}}05^{\text{m}}$ зарегистрировано событие с $K_p = 7.7$ вблизи г. Берегово (его координаты приблизительно совпадают с ощутимыми землетрясениями 15 и 23 ноября 2006 г. [38]), 3 августа в $21^{\text{h}}59^{\text{m}}$ с $K_d = 7.3$ – в районе с. Королево и 16 августа в $20^{\text{h}}57^{\text{m}}$ с $K_d = 6.2$ – вблизи г. Виноградово.

Кроме того, зарегистрировано шесть землетрясений, эпицентры которых расположены вблизи г. Хуст (27 марта в $22^{\text{h}}29^{\text{m}}$ с $K_d = 6.5$ и $h = 2$ км, 26 июля в $02^{\text{h}}20^{\text{m}}$ с $K_d = 7.5$ и $h = 4$ км, 18 августа в $08^{\text{h}}42^{\text{m}}$ с $K_d = 7.5$ и $h = 8$ км, 2 сентября в $01^{\text{h}}18^{\text{m}}$ с $K_d = 6.9$ и $h = 2$ км, 13 октября в $11^{\text{h}}22^{\text{m}}$ с $K_p = 7.0$ и $h = 2$ км, 16 ноября в $11^{\text{h}}48^{\text{m}}$ с $K_d = 7.0$ и $h = 2$ км), два – возле г. Мукачево

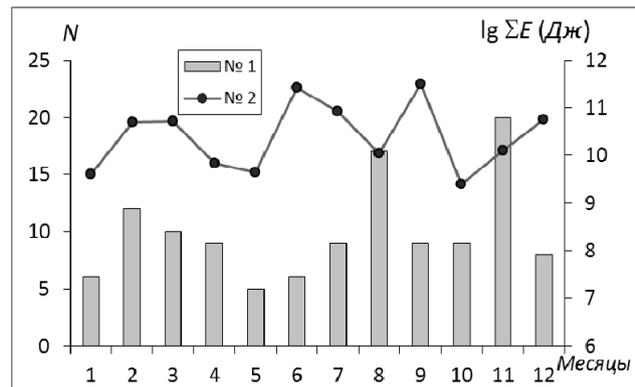


Рис. 2. Распределение числа землетрясений (1) и логарифма выделенной энергии (2) в регионе по месяцам за 2010 г.

На рис. 3 видно, что уровень суммарной энергии в Северо-Западном районе заметно ниже, чем во Вранче. Район Вранча был активным на протяжении года. Ниже анализируется сейсмическая обстановка в 2010 г. в каждом из восьми районов.

Район № 1, Северо-Западный. В этом сейсмоактивном районе зарегистрировано 47 землетрясений энергетического класса $K_p = 6.1 - 9.7$.

а) В Закарпатье отмечено 20 землетрясений энергетического класса $K_p = 6.2 - 9.7$. Эпицентры землетрясений находятся в пределах ранее выделенных сейсмоактивных зон и приурочены к Закарпатскому и Припаннонскому глубинным разломам, расположенным вдоль Выгорлат-Гутинского вулканического хребта.

(18 мая в $13^{\text{h}}26^{\text{m}}$ с $K_p=6.9$ и $h=2$ км, 5 ноября в $23^{\text{h}}50^{\text{m}}$ с $K_p=6.2$ и $h=2$ км). В октябре зарегистрировано два события в районе г. Иршава (14 октября в $01^{\text{h}}18^{\text{m}}$ с $K_p=6.5$ и $h=6$ км, 17 октября в $04^{\text{h}}48^{\text{m}}$ с $K_d=6.8$ и $h=6$ км).

Особый интерес представляют землетрясения, произошедшие в северной части Солотвинской впадины в зоне сочленения Складчатых Карпат с Закарпатским прогибом. Наиболее сильным событием здесь было землетрясение 14 декабря 2010 г. в $19^{\text{h}}50^{\text{m}}$ в районе с. Угля на глубине 11 км с $K_p=9.7$ и магнитудой $MSHA=3.3$ [37]. Его зарегистрировало 15 сейсмических станций Карпатского региона Украины и 26 зарубежных до расстояния 354 км. В эпицентральной зоне оно ощущалось с интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64 [39]. В этом же районе в течение 2010 г. в радиусе 12–18 км от эпицентра землетрясения было зарегистрировано еще 5 слабых землетрясений: одно в районе Угли 2 января с $K_d=7.3$, одно в районе Теремли 11 августа с $K_d=7.3$ и три – в районе Дубового (5 августа с $K_p=7.8$, 12 августа с $K_p=7.2$ и 19 ноября с $K_p=8.0$). Землетрясения произошли в той же зоне, что и в 1979 и 1980 гг., где имели место 5, 6 и 6–7 балльные землетрясения, сопровождавшиеся большим количеством афтершоков [40, 41]. В предыдущем 2009 г. в районе с. Угля были также зарегистрированы два события (30 сентября в $03^{\text{h}}13^{\text{m}}$ с $K_p=8.0$ и в $13^{\text{h}}18^{\text{m}}$ с $K_p=6.1$) [1]. Детальная информация об землетрясении 2010 г. представлена в отдельной статье наст. сб. [37].

б) Сейсмическая активность Предкарпатья представлена семью землетрясениями: четыре из них (29 апреля с $K_p=7.2$, 5 июля с $K_p=7.2$, 15 октября с $K_p=7.6$, 19 ноября с $K_p=7.8$) произошли в районе г. Надворная и по одному – в районе городов Быстрица (18 июня с $K_p=6.8$), Богородчаны (28 апреля с $K_p=7.3$) и Тлумач (13 сентября с $K_p=7.2$). Суммарная энергией этих землетрясений составила $\Sigma E=1.74 \cdot 10^8$ Дж.

в) Северная часть Румынии (Мармарошский массив) – представлен шестью землетрясениями с суммарной энергией $\Sigma E=3.61 \cdot 10^8$ Дж. Эпицентр события 15 августа $K_d=6.2$ находится в районе г. Халмэу, событие 10 ноября с $K_p=9.1$ – в районе горы Циблеш, остальные события (14 июля с $K_p=7.7$, 7 сентября с $K_d=7.9$, 30 сентября с $K_p=7.9$ и 21 октября с $K_p=7.4$ зарегистрированы с одного очага в районе горы Гутин.

г) В Восточной Словакии зарегистрировано 11 землетрясений. Координаты очагов находятся в сейсмоактивных районах г. Гуменное, горы Выгорлат и г. Михайловцы с суммарной энергией $\Sigma E=3.47 \cdot 10^8$ Дж.

д) В Восточной Венгрии (Среднедунайская низменность) – зарегистрировано три события 13 августа с $K_p=7.5$, 30 октября с $K_p=9.0$ и 25 ноября с $K_d=6.8$, суммарная сейсмическая энергия которых составляет $\Sigma E=1.04 \cdot 10^9$ Дж.

В сейсмоактивном **районе Вранча (№ 2)** в Румынии сетью сейсмических станций Украины зарегистрировано 28 землетрясений с $K_p=8.4$ –11.5 [21], с суммарной сейсмической энергией $\Sigma E=8.28 \cdot 10^{11}$ Дж. При определении координат очагов этих землетрясений были учтены данные сейсмических станций Румынии, Словакии, Венгрии, Польши, Молдовы и Крыма. Здесь есть разночтения с дополнительными данными в [30], где включено 51 землетрясение, из которых энергетические классы даны лишь для 15. Тем не менее, суммарная энергия этих 15 землетрясений равна $\Sigma E=7.54 \cdot 10^{12}$ Дж, т.е. на порядок выше. Это означает завышение значений энергетических классов в [30], что должно быть, по-видимому, исследовано в дальнейшем. В 2010 г. два события, 8 июня и 30 сентября, проявились макросейсмически на территории Румынии и Молдовы. Интенсивность их в Молдове не превышала трех баллов, в Румынии – четырех. Тем не менее, они представляют определенный интерес и, как указано выше, рассмотрены в отдельной статье наст. сб. [36].

Для 7 землетрясений, произошедших в 2010 г. в области промежуточных землетрясений Вранча, приведены решения механизмов очагов, построенных на основе более 45 знаков вступлений P -волн (табл. 2). Для событий 8 июня и 30 сентября *ред.* добавлены решения MED по методу тензора момента центра [33].

Во всех очагах рассмотренных землетрясений наблюдается типичная для области Вранча ориентация осей напряжений: близгоризонтальное сжатие и близвертикальное растяжение. Во всех подвижках в разных степенях преобладает надвиговая компонента. Ось сжатия P отклонялась от горизонта на угол 0–14°, ось растяжения T – на 58–88°. Промежуточная ось близгоризонтальна ($PL = 3$ –28°).

Таблица 2. Параметры механизмов очагов промежуточных землетрясений области Вранча в 2010 г.

Дата	Нодальные плоскости						Напряжения						N/n	Агентство
	NP1			NP2			P		B		T			
	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	AZ	PL	AZ	PL	AZ	PL		
25 02	193	64	58	67	40	138	304	12	208	28	58	58	56/5	MOLD
13 03	274	40	110	70	44	74	172	6	80	12	290	76	52/4	MOLD
08 06	128	46	106	287	46	74	27	1	298	11	130	80	84/10	MOLD
	79	53	124	211	49	54	145	2	237	26	51	64		MED
21 07	170	40	106	2	50	96	96	6	5	4	230	84	52/9	MOLD
30 09	274	44	94	86	44	84	359	0	90	4	270	88	59/7	MOLD
	111	40	84	299	50	95	25	5	116	4	240	84		MED
25 11	274	32	113	66	60	76	166	14	74	14	337	70	49/8	MOLD
02 12	126	50	94	300	40	86	215	6	304	3	74	84	48/10	MOLD

Землетрясение 25 февраля в 15^h51^m с $K_p=10.6$, $MSM=3.4$ произошло на глубине $h=121$ км [21]. Решение механизма очага получено по 56 знакам первых вступлений P -волны (26 – сжатия, 30 – разрежения) по данным каталога ISC и является типичным для центра зоны. Нодальная плоскость $NP1$ близмеридиональна ($Stk_1=193^\circ$), плоскость $NP2$ простирается на восток–северо-восток ($Stk_2=67^\circ$). По крутой ($Dp=64^\circ$) плоскости произошел взброс с небольшой сдвиговой составляющей в соответствии с надвиганием Карпатской горной дуги на Предкарпатский прогиб.

Очаг землетрясения 13 марта в 14^h20^m с $K_p=10.7$, $MSM=3.7$ расположен на глубине 160 км. Для построения использованы 52 знака (36 – сжатия, 16 – разрежения). Обе нодальные плоскости не крутые и наклонены к горизонту под углами 40° и 44° и направлены субширотно. Ось сжатия ориентирована близмеридионально. В очаге наблюдается надвиговая подвижка с незначительной сдвиговой компонентой.

Гипоцентр землетрясения 8 июня в 15^h16^m с $K_p=11.4$, $MSM=4.5$ находится на глубине 128 км [21]. Механизм очага этого землетрясения построен по данным о 84 знаках вступлений P -волны (41 – сжатие, 43 – разрежения). В решении MOLD ориентация возможных плоскостей разрыва на юго-восток ($NP1$) и северо-запад ($NP2$) с одинаковым наклоном к горизонту 46 градусов. Юго-западный борт разрыва надвигается на северо-восточный. Во втором решении наблюдаются как бы замещение ориентаций осей сжатия и растяжения и связанное с этим изменение простираения плоскостей и превалирование взбросовых движений под углами 53° и 49° , вместо надвиговых 46° . Типы подвижек фактически близки в полученных вариантах.

Землетрясения 21 июля, несмотря на небольшую величину ($K_p=9.5$, $MSM=3.7$), уверенно зарегистрировали западно-украинские станции [21]. Нодальные плоскости близмеридиональны. Направление оси сжатия P – восточное ($Az = 96^\circ$)

Очаг землетрясения 30 сентября в 05^h31^m с $K_p=11.5$, $MSM=4.7$ расположен на глубине 146 км и приурочен к юго-западной окраине фокальной зоны Вранча. Для построения механизма очага было использовано 59 знаков первых вступлений продольных волн, 36 сжатий и 23 разрежения. Обе нодальные плоскости наклонены к горизонту под углом 44° и ориентированы в направлении восток–запад. Разрыв в очаге произошел под действием горизонтальной силы сжатия, направление оси которой меридиональное. По одной из плоскостей ($Stk = 274^\circ$) произошло надвигание северного борта разрыва на южный борт. Решение MED в общем близко к вышеописанному.

Механизм землетрясения 25 ноября в 11^h55^m с $K_d=9.5$, $MSM=3.3$ близок к механизму события 30 сентября.

Механизм очага 2 декабря в 20^h59^m с $K_p=10.1$ схож с таковым для 8 июня. Много знаков противоречивых (48/10).

На рис. 4 приведены стереограммы механизмов очагов землетрясений с магнитудой $MSM=3.3-4.7$, произошедших в 2010 г. в области Вранча в районе изгиба Карпатской дуги.

Анализ механизмов очагов средних по энергетике землетрясений 2010 г. показал, что в небольшом сейсмогенном объеме наблюдается хаотичная ориентация плоскостей разрыва в соответствии с приуроченностью эпицентров к различным частям Карпатской горной дуги. Очаги землетрясений относятся к разным этапам глубин в диапазоне 118–160 км.

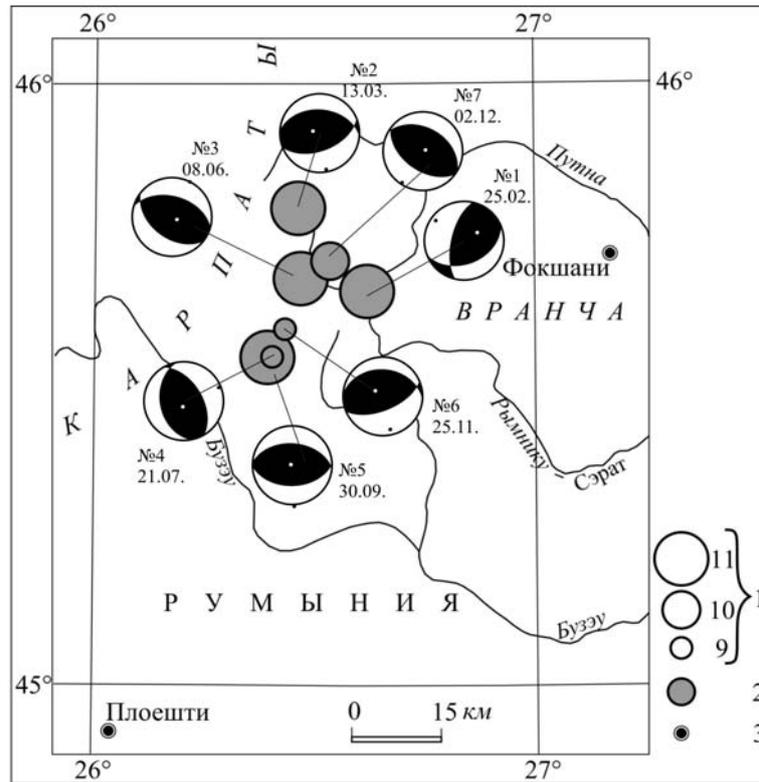


Рис. 4. Стереогаммы механизмов очагов землетрясений Вранча в 2010 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – $h=118-160$ км; 3 – населенный пункт.

Предкарпатский прогиб представлен неглубокими землетрясениями ($h=6-33$ км), зарегистрированными 18 октября в $10^{\text{h}}46^{\text{m}}$ с $K_d=9.0$ и $h=31$ км, 8 ноября в $10^{\text{h}}12^{\text{m}}$ с $K_p=8.7$ и $h=7$ км, 23 ноября в $22^{\text{h}}55^{\text{m}}$ с $K_p=8.8$ и $h=33$ км, 23 ноября в $23^{\text{h}}51^{\text{m}}$ с $K_p=9.6$ и $h=33$ км, 27 ноября в $04^{\text{h}}23^{\text{m}}$ с $K_p=9.0$ и $h=6$ км [21]. Одно из них расположено вблизи Болотешть, остальные – в районе Будени, Рекиташу и Руджет соответственно. Их суммарная сейсмическая энергия равна $\Sigma E=7.11 \cdot 10^9$ Дж.

Южные Карпаты, район № 3. Здесь зарегистрировано три землетрясения. Координаты двух из них, произошедших 16 февраля в $11^{\text{h}}42^{\text{m}}$ с $K_p=8.6$, $h=10$ км и 6 декабря в $05^{\text{h}}45^{\text{m}}$ с $K_p=8.7$, $h=2$ км, почти одинаковы. Их очаги находятся в горах Вулкан. Для определения координат третьего землетрясения 25 декабря в $10^{\text{h}}56^{\text{m}}$ использовались данные 42 сейсмических станций. Очаг землетрясения с $K_p=10.0$, $MSHA=3.3$, $h=5$ км находился в горах Фагараш.

Район № 4 – Банат, Румыния. В данном районе сетью сейсмических станций Карпатского региона в 2010 г. землетрясения не зарегистрированы.

Буковина, район № 5. В этом районе зарегистрировано шесть землетрясений с суммарной энергией $\Sigma E=5.28 \cdot 10^8$ Дж.

Четыре землетрясения находятся в Черновицкой области. Два из них 20 февраля в $20^{\text{h}}00^{\text{m}}$ с $K_p=6.3$, $h=2$ км и 12 августа в $01^{\text{h}}56^{\text{m}}$ с $K_p=8.3$, $h=3$ км расположены вблизи г. Новоднестровск, одно – 16 января в $10^{\text{h}}03^{\text{m}}$ с $K_p=6.6$, $h=10$ км в районе г. Новоселица и одно 1 марта в $00^{\text{h}}48^{\text{m}}$ с $K_d=6.9$, $h=2$ км в районе г. Заставна [21]. В Хмельницкой области вблизи г. Каменец-Подольский 11 ноября в $13^{\text{h}}49^{\text{m}}$ зарегистрировано событие с $K_p=7.8$, $h=4$ км. Следует заметить, что в 2010 г., как и в предыдущие годы [42, 43], продолжается активизация сейсмичности вблизи Днестровского водохранилища. Координаты эпицентра события 12 августа в $01^{\text{h}}56^{\text{m}}$, равные $\varphi=48.56^\circ\text{N}$, $\lambda=27.31^\circ\text{E}$, почти совпадают с координатами $\varphi=48.59^\circ\text{N}$, $\lambda=27.32^\circ\text{E}$, ощутимого землетрясения 18.11.2007 г. с $K_p=8.9$, $M_d=2.6$, $I_0=4$ [43].

Еще одно событие зарегистрировано 22 сентября в $03^{\text{h}}09^{\text{m}}$ с $K_p=8.4$, $h=6$ км, эпицентр которого находится в Румынии, в районе г. Ботошань.

Район № 6 – Кришана, Румыния. В данном районе зарегистрировано лишь одно событие, произошедшее 30 июля в $02^{\text{h}}22^{\text{m}}$ с $K_p=8.6$, $h=7$ км.

Район №7 – Трансильвания, Румыния. Здесь зарегистрировано также одно землетрясение 21 октября в $11^{\text{h}}21^{\text{m}}$ с $K_p=8.2$, $h=7$ км.

Район №8 – Бакэу, Румыния. В этом районе 29 июня в $03^{\text{h}}02^{\text{m}}$ зарегистрировано одно событие с $K_p=8.6$, $h=10$ км.

За пределами установленного региона Карпатской сетью сейсмических станций было зарегистрировано 33 землетрясения. Из них два (8 сентября в $20^{\text{h}}14^{\text{m}}$ с $K_p=8.6$ и 12 сентября в $02^{\text{h}}50^{\text{m}}$ с $K_p=9.5$) на границе Румынии и Сербии вблизи района № 4 (Банат), в Польше (Силезия) – 18, в Чехии (Бескиды) – 4, в Венгрии – 9 событий, 7 из которых произошло в августе и декабре в районе г. Мишкольц. Все землетрясения внесены в региональный каталог [21]. Суммарная сейсмическая энергия, которая выделилась вне региона, составляет $\Sigma E=2.60 \cdot 10^{10}$ Дж. Не исключено, что среди внешних 33 событий могут быть горные удары или «возможно, горные удары».

Подводя итоги, можно констатировать слабый уровень сейсмичности, наблюдаемый в 2010 г. в мелкофокусной сейсмичности Предкарпатья, Закарпатья и в зоне промежуточных очагов Вранча.

Л и т е р а т у р а

1. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т., Илиеш И.Л., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Алексеев И.В. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2009 год. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 51–57.
2. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2008 год. – Обнинск: ГС РАН, 2014. – С. 60–66.
3. Илиеш И.И. Сейсмическая сеть Республики Молдова: состояние и перспективы // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции / Отв. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2008 г. – С. 87–92.
4. Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Симонова Н.А., Степаненко Н.Я. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии в 2000 году. – Обнинск: ГС РАН, 2006. – С. 51–57
5. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т., Степаненко Н.Я., Алексеев И.В. Симонова Н.А. Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 50–58.
6. Пронишин Р.С. (сост.). Цифровые сейсмические станции сети региона Карпаты, работавшие в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. Илиеш И.И. (сост.). Сейсмические станции сети Молдовы в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Herrmann R. В. 1979, "FASTHYPO – a hypocenter location program" // Earthquake notes. – 1979. – 50. – N 2. – P. 25–37.
9. Jeffreys H., Bullen R. Seismological Tables. – London: 1940. – 84 p
10. Харитонов О.М., Костюк О.П., Кутас В.В., Руденская И.М. Экспериментальные годографы объемных волн землетрясений Карпатского региона // Доповіді НАН України. – 1996. – № 5. – С. 103–107.
11. Кутас В.В., Руденская И.М., Калитова И.А. Карпатский годограф P- и S-волн и неоднородности литосферы // Геофизический журнал – 1999. – 21. – № 3. – С. 45–54.
12. Кутас В.В., Пронишин Р.С., Руденская И.М. Использование макросейсмических данных при расчете закарпатского годографа P- и S-волн // Сейсмологический бюллетень Украины за 2002 год. – Симферополь: ИГФ НАНУ, КЭС, 2004. – С. 119–126.
13. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях Единой системы сейсмических наблюдений СССР. – М.: Наука, 1982. – 273 с.
14. Institutul National pentru Fizica Pamantului С.Р. MG-2, Bucuresti – Magurele, Romania, <http://infp.infp.ro/eqsinfo.php>.
15. Бюллетень Сейсмической Станции «Львов» за 2010 год. – Национальная академия наук Украины.
16. Бюллетень сейсмической станции «Ужгород» за 2010 год, – Национальная академия наук Украины.
17. Сводный бюллетень записи землетрясений ближней зоны за 2010 год. – Симферополь, Отдел сейсмологии, Институт геофизики им. С.И. Субботина, Национальная академия наук Украины.

18. **Алексеев И.В.** Программа определения гипоцентра землетрясения HYPOS. Фонды Института геологии и сейсмологии АН Молдовы.
19. **Алексеев И.В., Роман А.А., Симонова Н.А.** Построение регионального годографа очага Вранча на основе данных Международного Сейсмологического центра // Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM. – 2005. – N 1. – Н. 48–52.
20. **Kennet B.L.N. (editor).** IASPEI 1991 Seismological Tables. – Sydney: Research School of Earth Sciences Australian National University, 1991. – 167 p.
21. **Чуба М.В. (отв. сост.), Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Стасюк А.Ф., Пронишин Р.С., 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. (сост).** Каталог землетрясений Карпат за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
22. **New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP).** GeoForschungsZentrum. – Potsdam: IASPEI, 2002. – 1. – N 3. – P. 24.
23. **Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т., Степаненко Н.Я., Алексеев И.В., Симонова Н.А.** Карпаты // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 64–72.
24. **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.
25. **Раутиан Т.Г.** Энергия землетрясений // Методы детального изучения сейсмичности. (Труды ИФЗ АН СССР; № 9(176)). – М.: ИФЗ АН СССР, 1960. – С. 75–114.
26. **Маламуд А.С.** Использование длительности колебаний для энергетической классификации землетрясений // Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений, Т. II // М.: АН СССР, 1974. – С. 180–194.
27. **Магнитудная классификация землетрясений Вранчского очага** // Отчет о результатах сейсмологических работ в 1986 г. Молдавская опытно-методическая партия. – Кишинёв: Фонды МОМП, 1987. – 57 с.
28. **Оперативный сейсмологический каталог (ежедекадный) за 2010 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_Catalog/2010.
29. **International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013.** – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
30. **Степаненко Н.Я., Илиеш И.И., Симонова Н.А., Алексеев И.В., Карданец В.Ю. (сост.)** Дополнение к региональному каталогу землетрясений Карпат по данным Молдовы за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
31. **Артёмова Е.В. (отв. сост.), Михайлова Р.С. (сост).** Дополнение к каталогу землетрясений Карпат по данным ISC за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
32. **Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Карданец В.Ю. (отв. сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Карпат за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
33. **Михайлова Р.С. (сост).** Дополнение к каталогу механизмов очагов землетрясений Карпат за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
34. **Пронишин Р.С., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Карданец В.Ю. (отв. сост.), Артёмова Е.В., Михайлова Р.С. (сост).** Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений в населенных пунктах Карпат в 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
35. **Пронишин Р.С., Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Карданец В.Ю. (отв. сост.), Артёмова Е.В., Бахтиярова Г.М. (сост).** Сведения о пунктах, для которых имеется информация о макросейсмических проявлениях ощутимых землетрясений Карпат за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
36. **Степаненко Н.Я., Симонова Н.А., Карданец В.Ю.** Ощутимые в Молдове в 2010 г. землетрясения 8 июня с $M_w=4.3$, $I_0=4$ и 30 сентября с $M_w=4.4$, $I_0=4$ (Румыния–Молдова). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
37. **Пронишин Р.С.** Углянское-III землетрясение 14 декабря 2010 г. с $K_p=9.7$, $MSHA=3.3$, $I_0=5$ (Украина, Закарпатье). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
38. **Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф., Вербицкий Ю.Т., Пустовитенко А.А., Корниенко Е.Е., Ярема И.И., Наривна М.М.** Береговские землетрясения 15 и 23 ноября 2006 г. (Украина, Закарпатье) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 412–427.

39. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
40. **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.
41. **Пронишин Р.С., Пустовитенко Б.Г.** Особенности процессов в эпицентральной зоне Закарпатских землетрясений в 1979 г. // Геофизический журнал – 1981. – № 6. – С. 71–85.
42. **Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф.** Новоднестровское землетрясение 22 октября 2006 г. с $Md=2.4$, $Kd=8.4$, $I_0=4$ (Буковина) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 408–411.
43. **Пронишин Р.С., Стасюк А.Ф.** Новоднестровское-II землетрясение 18 ноября 2007 г. $Kd=8.9$, $Md=2.6$, $I_0=4$ (Украина, Буковина) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 432–434.