

**ОЩУТИМЫЕ в МОЛДОВЕ в 2010 г. ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 8 июня с $M_w=4.3$, $I_0=4$
и 30 сентября с $M_w=4.3$, $I_0=4$ (Румыния–Молдова)**

Н.Я. Степаненко, Н.А. Симонова, В.Ю. Карданец

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

В 2010 г. лишь два толчка из 50 обработанных в Молдове [1] землетрясения из очаговой зоны Вранча, произошедшие 8 июня и 30 сентября (рис. 1), проявились макросейсмически на территории Молдовы. Интенсивность вызванных ими в Молдове сотрясений не превышала трех баллов по шкале MSK-64 [2]. Рассмотрим их последовательно.

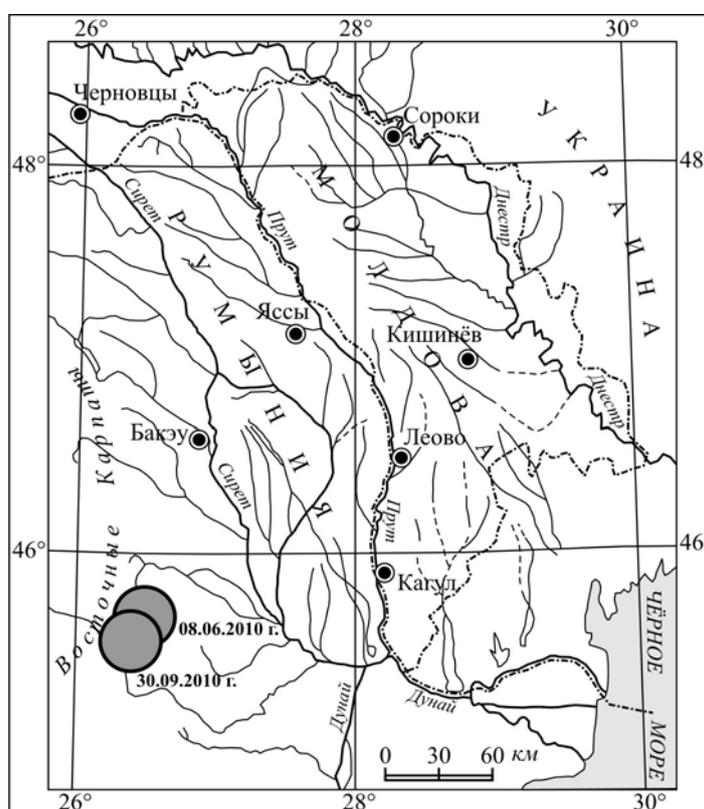


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Вранча, ощутимых в Молдове в 2010 г.

Землетрясение 8 июня с $K_p=11.4$, инструментальные данные. В табл. 1 приведены основные параметры землетрясения 8 июня по данным Молдовы в сопоставлении с другими агентствами. Прежде всего отметим тот факт, что по данным ISC [3] оно записано на 905 станциях мира. Остановимся прежде всего на величине землетрясения. Ее оценка в каталоге Молдовы [2] соответствует энергетическому классу $K_p=12.2/1$, магнитуде MSM по S -волнам $MSM=4.5/1$, по P -волнам – $MPV=4/7/1$, по длительности записи – $Md=4.7/1$, т.е. все оценки сделаны по одной станции «Кишинёв». В региональном каталоге [4] использовано большее число станций: $K_p=11.4$ по 11 станциям и $Md=3.6$ по 19 станциям, т.е. в региональном каталоге величина K_p ниже на $\Delta K_p=0.8$, а Md на $\Delta Md=1.1$. Остальные агентства сообщают в основном значение магнитуды m_b по объемным P -волнам, разброс которых в табл. 1 находится в диапазоне $m_b=3.6–4.7$. Определяющей оценкой величины землетрясения может служить моментная магнитуда $M_w=4.3$ агентства MED из ISC [3].

Таблица 1. Основные параметры ощутимого в Молдове землетрясения 8 июня 2010 г. с $K_p=11.4$ по данным Института геологии и сейсмологии АН Молдовы (MOLD) в сопоставлении с определениями других агентств

Агент-ство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Ис-точ-ник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
MOLD	15 16 10.2		45.62		26.38		110		$K_p=12.2/1$, $MPV=4.7/1$, $Md=4.7/1$	[1]
КОМСП	15 16 08	0.1	45.67	0.01	26.46	0.01	128		$K_p=11.4/11$, $Kd=10.5/14$, $MSHA=3.9/10$, $Md=3.6/19$	[4]
SIGU	15 16 08.0		45.67		26.46		128		$m_b=3.6$	[3]
MOS	15 16 08.4	1.1	45.63	0.05	26.48	0.04	105		$MPSP=4.5/16$	[5]
ISCJB	15 16 08.9	0.1	45.61		26.38		116 110*	1.5		[3]
ISC	15 19 10.2	0.3	45.62	0.04	26.38	0.03	115 114*	3	$m_b=4.4/45$; суммарное число с/ст 905	– " –
NEIC	15 16 09.8	0.2	45.62	0.04	26.37	0.03	108		$m_b=4.5/17$; II MM* [6] – Бухарест; оц.: Брашов, Врынчоая, Галац, Плоешты, Тулча; Кишинёв	– " –
IDC	15 16 09.9	0.3	45.62	0.13	26.25	0.07	110		$MS=2.6/4$, $m_b=3.8/18$	– " –
CSEM	15 16 09.9	0.1	45.61	0.02	26.42	0.02	109		$m_b=4.3/12$	– " –
MED RCMT	15 16 10.3	0.5	45.72	0.10	26.73	0.09	98		$M_w=4.3/13$	– " –
BUC	15 16 10.0	0.7	45.60	0.05	26.43	0.05	116		$Md=5.0/5$	– " –
SOF	15 16 11.9		45.28		26.21		8		$Md=3.9$	– " –
BEO	15 16 11.9	1.4	45.53	0.2	26.45	0.1	113		$ML=4.4$	– " –
PDG	15 16 09.6	0.6	45.54	0.1	26.37	0.1	110		$ML=4.5/11$	– " –
PRU	15 16 07.6		45.37		27.05		83		$M=4.5$	– " –
BJI	15 16 05.9		45.86		25.92		108		$m_b=4.7/16$	– " –

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. сб.

Разброс времени в очаге t_0 составляет 6 с, но при исключении данных агентства BJI он сокращается до 4 с. Рассмотрим данные об определении глубины очага. Значение $h=8$ км SOF явно ошибочно. Остальные определения варьируют от $h=83$ км (PRU) до $h=128$ км в региональном каталоге, т.е. $\delta h=44$ км. Значения h по данным Молдовы и региональном каталоге равны 110 и 128 км соответственно, т.е. отличаются на 18 км. Минимальное значение широты равно $\varphi_{\min}=45.28^\circ\text{N}$ (SOF), максимальное – $\varphi_{\max}=45.72^\circ\text{N}$ (КОМСП), т.е. $\Delta\varphi=0.44^\circ\text{N}$, а разброс по долготе равен $\Delta\lambda=0.84^\circ\text{E}$. В итоге констатируем значительную несогласованность решений гипоцентра этого землетрясения мировой сетью станций.

Механизм очага для 8 июня определен в Молдове [7] по методу первых вступлений P -волн (табл. 2), с использованием данных мировой сейсмической сети. Построение выполнено на сетке Вульфа в проекции на нижнюю полусферу (рис. 1) на основе более 45 знаков вступлений P -волн. Кроме того, в [3] имеется другое решение агентства с помощью метода тензора момента-центроида.

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 8 июня 2010 г. в $15^{\text{h}}16^{\text{m}}$ с $M_w=4.3$ по данным различных сейсмологических агентств

Агент-ство	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис-точ-ник
			M_w	MSM		T		N		P		$NP1$			$NP2$			
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
MOLD	15 16 08*	128*		4.5	11.4*	80	130	11	298	1	207	128	46	106	287	46	74	[7]
MED	15 16 10.3	98	4.3			64	51	26	237	2	145	79	53	124	211	49	54	[3]

Примечание. Знаком * отмечены данные из регионального каталога [4].

Как видим, оба решения близки в наклонах осей напряжений, горизонтальных осей сжатия ($PL_p=1$ и 2°) и крутых осей растяжения ($PL_t=76$ и 64°). Определяющими тип подвижек в очаге являются в данном случае горизонтальные напряжения сжатия. Но ориентированы они различно: на юго-запад в решении MOLD, на юго-восток – в MED. В результате тип подвижки одинаков в обоих решениях – взброс с небольшими сдвигами, правосторонними по плоскостям $NP1$ и левосторонними по $NP2$, но простираются плоскости по-разному.

Макросейсмические данные для 8 июня приводятся из населенных пунктов Румынии и Молдовы.

В Кишинёве три сообщения поступило о проявлении землетрясения 8 июня с четвертого, пятого и седьмого этажей зданий. Люди почувствовали легкий толчок. Интенсивность землетрясения в Кишинёве может быть оценена равной $I=2$ балла по шкале MSK-64 [2]. В Румынии, по данным Института физики Земли [8], это событие ощущалось с интенсивностью до 5 баллов по шкале Меркалли. Приведена карта пункты-баллы по данным этого института (рис. 2), где нет однако пункта с $I=5$ баллов.

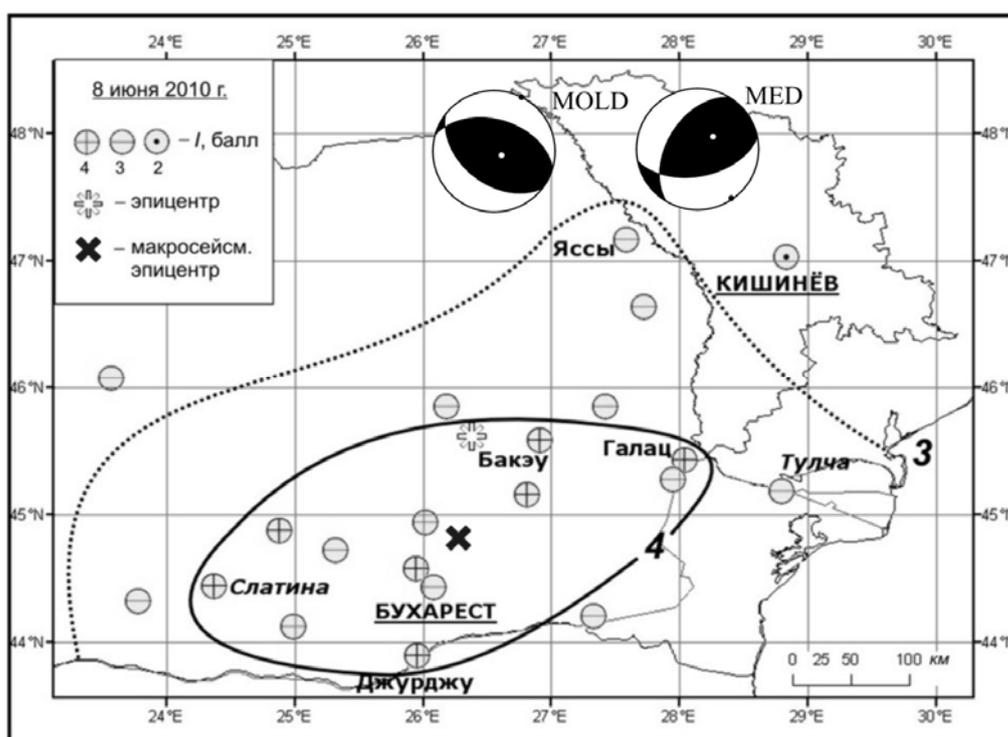


Рис. 2. Карта изосейст землетрясения 8 июня 2010 г.

На основе собранных макросейсмических сведений построена карта изосейст землетрясения из двух изолиний интенсивности сотрясений $I=4$ и 3 балла. При этом 4-балльная изосейста довольно надежно опирается на 8 населенных пунктов с $I=4$ и имеет форму вытянутого неправильного эллипса с продольной осью $\ell_{||} = 460$ км с азимутом $70^\circ N$. Длина поперечной оси равна $\ell_{\perp} = 200$ км. Макросейсмический эпицентр ощутимого землетрясения соответствует, как известно, геометрическому центру изосейсты максимальной балльности и находится на пересечении продольной и поперечной осей на рис 2. Его приближенные координаты равны $\varphi=44.79^\circ N$, $\lambda=26.26^\circ E$.

Все эпицентральные расстояния в таблице пунктов-баллов (табл. 3) были вычислены *ред.* от макросейсмического эпицентра. Затем были найдены гипоцентральные расстояния при значении наиболее достоверной глубины гипоцентра $h_{rp}=114$ км из [3], и все пункты упорядочены по этим расстояниям. Результаты обработки имеющейся макросейсмической информации о землетрясении на территории Румынии и Молдовы по шкале MSK-64 отражены в табл. 3.

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 8 июня 2010 г. с $K_p=11.4$, $M_w=4.3$, $h_{pP}=114$ км

№	Пункт	Δ , км	r , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	r , км	φ° , N	λ° , E
4 балла						13	Рошиорь-де-Веде	126	170	44.113	24.994
1	Буфтя	35	119	44.567	25.950	14	Брэила	143	183	45.269	27.956
2	Бузэу	59	128	45.151	26.817	15	Текуч	148	187	45.847	27.428
3	Бакэу	102	153	45.583	26.917	16	Крайова	204	234	44.317	23.783
4	Джурджу	103	154	43.889	25.960	17	Тулча	204	234	45.183	28.800
5	Питешть	109	158	44.867	24.883	18	Васлуй	234	310	46.638	27.728
6	Слатина	155	192	44.436	24.376	19	Алба-Юлия	252	324	46.076	23.573
7	Галац	156	193	45.423	28.043	20	Яссы	282	304	47.162	27.589
3 балла						2 балла					
8	Плоешть	25	117	44.939	26.023	21	Кишинёв	315	335	47.025	28.833
9	Бухарест	42	121	44.430	26.083	Ощущалось					
10	Гэешть	75	136	44.719	25.320	22	Брашов*	61	126	45.658	25.601
11	Кэлэрашь	108	157	44.200	27.333	23	Врынчоя*	39	117	45.864	26.728
12	Ковасна	118	164	45.849	26.185						

Примечание. Знаком * отмечены дополнительные пункты по данным NEIC из [3].

Землетрясение 30 сентября с $K_p=11.4$, инструментальные данные. В табл. 4 приведены основные параметры землетрясения 30 сентября по данным Молдовы в сопоставлении с другими агентствами.

Таблица 4. Основные параметры ощутимого в Молдове землетрясения 30 сентября 2010 г. с $K_p=11.5$, $M_w=4.4$, по данным Института геологии и сейсмологии АН Молдовы (MOLD) в сопоставлении с определениями других агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда		Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км			
MOLD	05 31 22.4	1.2	45.60	0.14	26.35	0.14	140		$MSM=4.7/1$, $MPV=4.1/1$, $Md=4.4/1$, $K_p=12.7/1$	[1]	
КОМСП	05 31 21.8	0.1	45.54	0.1	26.39	0.1	146 141*	1 2.9*	$K_p=11.5/9$, $Kd=10.9/17$, $MSHA=4.2/9$, $Md=3.8/22$	[4]	
SIGU	05 31 21.3		45.54		26.39		145		$m_b=3.8$	[3]	
MOS	05 31 21.6	0.8	45.51	0.05	26.29	0.05	140		$MPSP=4.6/11$	[5]	
ISCJB	05 31 21.5	1.1	45.52	0.02	26.34	0.02	140			[3]	
ISC	05 31 23.1	0.3	45.54	0.03	26.34	0.03	141 141*	3	$m_b=4.3/49$; суммарное число с/ст 662	– " –	
NEIC	05 31 22.6	0.2	45.54	0.03	26.25	0.03	135 135*		$m_b=4.5/7$; II ММ* [6] –Бухарест; оц.: Брэила, Галац, Яссы; Кишинёв	– " –	
IDC	05 31 22.4	0.3	45.55	0.10	26.21	0.10	136		$m_b=3.9/26$	– " –	
CSEM	05 31 22.3	0.1	45.52	0.02	26.31	0.02	137		$m_b=4.6/17$	– " –	
MED RCMT	05 31 22.4	1.4	45.50		26.31		162		$M_w=4.4/4$	– " –	
BUC	05 31 22.6	0.8	45.53	0.06	26.36	0.05	142		$Md=4.3$	– " –	
BEO	05 31 31.3	0.9	45.37	0.1	25.60	0.1	72		$ML=3.9/1$	– " –	
BJI	05 31 18.2	1.1	45.36		25.84		133		$m_b=4.8/13$	– " –	

В качестве надежной величины этого землетрясения, как и предыдущего, была выбрана моментная магнитуда $M_w=4.4$ агентства MED.

Механизм очага для 30 сентября. Очаг землетрясения 30 сентября расположен на глубине 140 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 разряжения. 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. Параметры механизма его очага приведены в табл. 5 и дополнены *ред.* данными агентства MED (рис. 1). Оба механизма подобны в типе движения в очаге – чистый взброс.

Таблица 5. Параметры механизма очага землетрясения 30 сентября 2010 г. в 05^h31^m с $M_w=4.4$ по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуды		K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Источник
			M_w	MSM		T		N		P		$NP1$			$NP2$			
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
MOLD	05 31 21.8*	146*		4.7	11.5*	84	270	4	90	0	359	274	44	94	86	44	84	[7]
MED	05 31 22.4	162	4.4			84	240	4	116	5	25	111	40	84	299	50	95	[3]

Макросейсмические данные для 30 сентября. О землетрясении 30 сентября ($M_w=4.4$) есть сведения из Кагула и Кишинёва. В Кагуле из 39 опрошенных ощутили 5 человек в панельных домах на 4-х, 5-х этажах. Люди почувствовали слабые сотрясения и услышали едва уловимое дребезжание посуды и дверей шкафа. В Кишинёве, согласно 12 сообщениям, толчки и колебания зданий отмечены на 1-х–11-х этажах. В отдельных случаях наблюдались колебания люстры (3-й этаж), дребезжание двери шкафа (5-й этаж), беспокоилась кошка (1-й этаж). Интенсивность землетрясения в Кагуле и Кишинёве 2–3 балла. Землетрясение ощущалось интенсивностью до 4 баллов в Румынии [8]. Макросейсмические данные из NEIC: 2 балла в Бухаресте; также ощущалось в Браиле, Бузэу, Галаце и Яссах. Ощущалось в Кишиневе (Молдова) [3]. На основе собранных макросейсмических сведений построена карта изосейст землетрясения 30 сентября 2010 г. (рис. 4). Поиск макросейсмического эпицентра здесь невозможен, проведена лишь в качестве продольной осевой прямая от Рошиорь-де-Веде до Браила, проходящая через 3 пункта с $I=4$ балла.

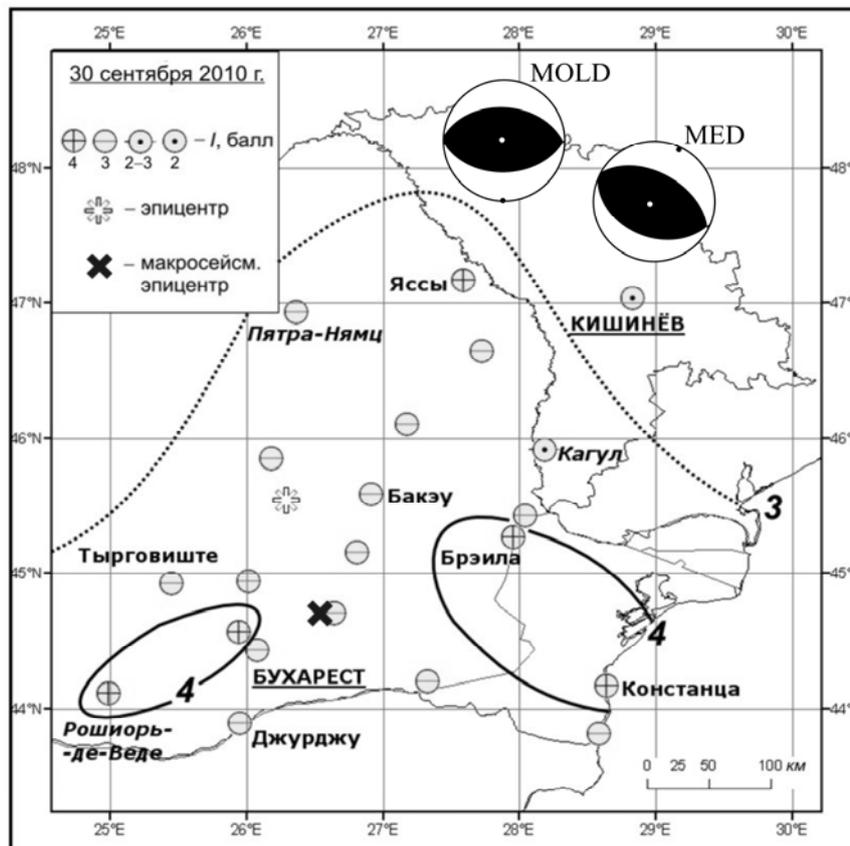


Рис. 4. Карта изосейст землетрясения 30 сентября 2010 г.

Результаты обработки имеющейся макросейсмической информации о землетрясении по шкале MSK-64 отражены в табл. 6, без замеров расстояний.

Таблица 6. Макросейсмические данные о землетрясении 30 сентября 2010 г.
с $K_p=11.5$, $M_w=4.4$, $h_p=141^*$ км

№	Пункт	Δ , км	r , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	r , км	φ° , N	λ° , E
	<u>4 балла</u>					11	Кэлэрашь	90	167	44.200	27.333
1	Буфтя	48	149	44.567	25.950	12	Бакэу	98	172	45.583	26.917
2	Брэила	128	190	45.269	27.956	13	Джурджу	105	176	43.889	25.960
3	Рошиорь-де-Веде	139	198	44.113	24.994	14	Ковасна	124	188	45.849	26.185
4	Констанца	182	230	44.173	28.638	15	Галац	142	200	45.423	28.043
5	Яссы	280	313	47.162	27.589	16	Аджуд	159	212	46.100	27.180
	<u>3 балла</u>					17	Мангалия	197	242	43.816	28.583
6	Урзичень	12	141	44.718	26.645	18	Васлуй	230	270	46.638	27.728
7	Плоешть	43	147	44.939	26.023	19	Пятра-Нямц	242	280	46.928	26.371
8	Бухарест	49	149	44.430	26.083		<u>2–3 балла</u>				
9	Буззу	51	150	45.151	26.817	20	Кагул	183	231	45.907	28.184
10	Тырговиште	84	164	44.924	25.457	21	Кишинёв	308	339	47.025	28.833

Л и т е р а т у р а

1. 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).
2. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
3. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
4. Чуба М.В. (отв. сост.), Келеман И.Н., Гаранжа И.А., Стасюк А.Ф., Пронишин Р.С., Вербицкий Ю.Т., Нишценко 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).
5. 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.
6. Гир Дж., Шах Х. Зыбкая твердь (см. «Модифицированная шкала Меркалли» на с. 105–108). – М.: Мир, 1988. – 220 с.
7. Степаненко Н.Я. (отв. сост.), Симонова Н.А., Карданец В.Ю. Каталог механизмов очагов землетрясений Карпат за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
8. Национальный институт физики Земли / Institutul National pentru Fizica Pamantului С.Р. MG-2, Bucuresti – Magurele, Romania. – URL: <http://infp.infp.ro/eqsinfo.php>.