

УДК 621.317.757

**НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УПРУГИХ
ВОЗМУЩЕНИЙ В ЛИТОСФЕРЕ ЕВРОПЫ
(ПО ЗАПИСЯМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗОНЫ ВРАНЧА
И ТУРЕЦКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 23.10.2011 Г.)**

Назаревич А. В.¹, Календа П.², Назаревич Л. Е.³

SOME FEATURES OF ELASTIC PERTURBATIONS PROPAGATION IN THE EUROPE LITHOSPHERE

Nazarevych A. V., Kalenda P., Nazarevych L. E.

According to registration of strong earthquakes of Vrancea area (Romania) and Asia Minor in particular of last strong 23.10.2011 Turkish earthquake by stations of European seismic (including Ukrainian) and tilt metric (including Czech) network some peculiarities of propagation of elastic disturbances from such earthquakes in the lithosphere of Europe and in particular of the Pannonian-Carpathian-Dinaric region are traced.

Keywords: earthquakes, Europe lithosphere, elastic perturbations, surface seismic waves, macroseismic fields.

Введение

Сильные землетрясения, регистрируемые мировой сетью сейсмических и геофизических станций, издавна являются ценнейшим источником информации об особенностях глубинного строения и свойствах вещества Земли. В последние десятилетия все большая часть такой информации получается с помощью сетей наблюдений, оснащенных не только сейсмической, но и геофизической аппаратурой. Один из таких примеров с использованием сейсмологических и наклономерных данных, в частности, по последнему сильному турецкому землетрясению 23 октября 2011 г. приведен в данной работе.

1. Особенности затухания сейсмических волн в Карпато-Паннонском регионе от землетрясений зоны Вранча

Одним из специфических по своему строению и геологическому развитию регионов Европы является Панноно-Карпато-

Динарский регион — Панкардия. Исследователями предложено много схем геодинамического развития данного региона, которые в большей или меньшей степени согласуются с имеющимися геолого-геофизическими данными. Но поскольку дискуссии на эту тему все еще продолжаются и схемы, удовлетворяющей всех, пока не создано, каждая дополнительная информация и попытка анализа является еще одним шагом к лучшему пониманию данного региона. В этом русле проанализированы некоторые особенности распространения упругих возмущений от сильных землетрясений в литосфере региона. Анализ проведен с использованием данным по землетрясениям румынской зоны Вранча и последнего сильного турецкого землетрясения 23.10.2011 г., использованы данные станций европейской сейсмической (в том числе украинской) и наклономерной (в том числе чешской) сети.

Украинскими сейсмологами уже давно подмечены характерные особенности сейсмического излучения сильных землетрясений румынской зоны Вранча на территорию

¹Назаревич Андрей Владимирович, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Карпатского отделения Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины; e-mail: nazarevych-a@cb-igph.lviv.ua.

²Календа Павел, доктор геофизики Института горной и структурной механики АН Чешской Республики; e-mail: kalenda@volny.cz.

³Назаревич Леся Евстахиевна, канд. геол. наук, научный сотрудник отдела сейсмичности Карпатского региона Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины; e-mail: nazarevych.l@gmail.com .

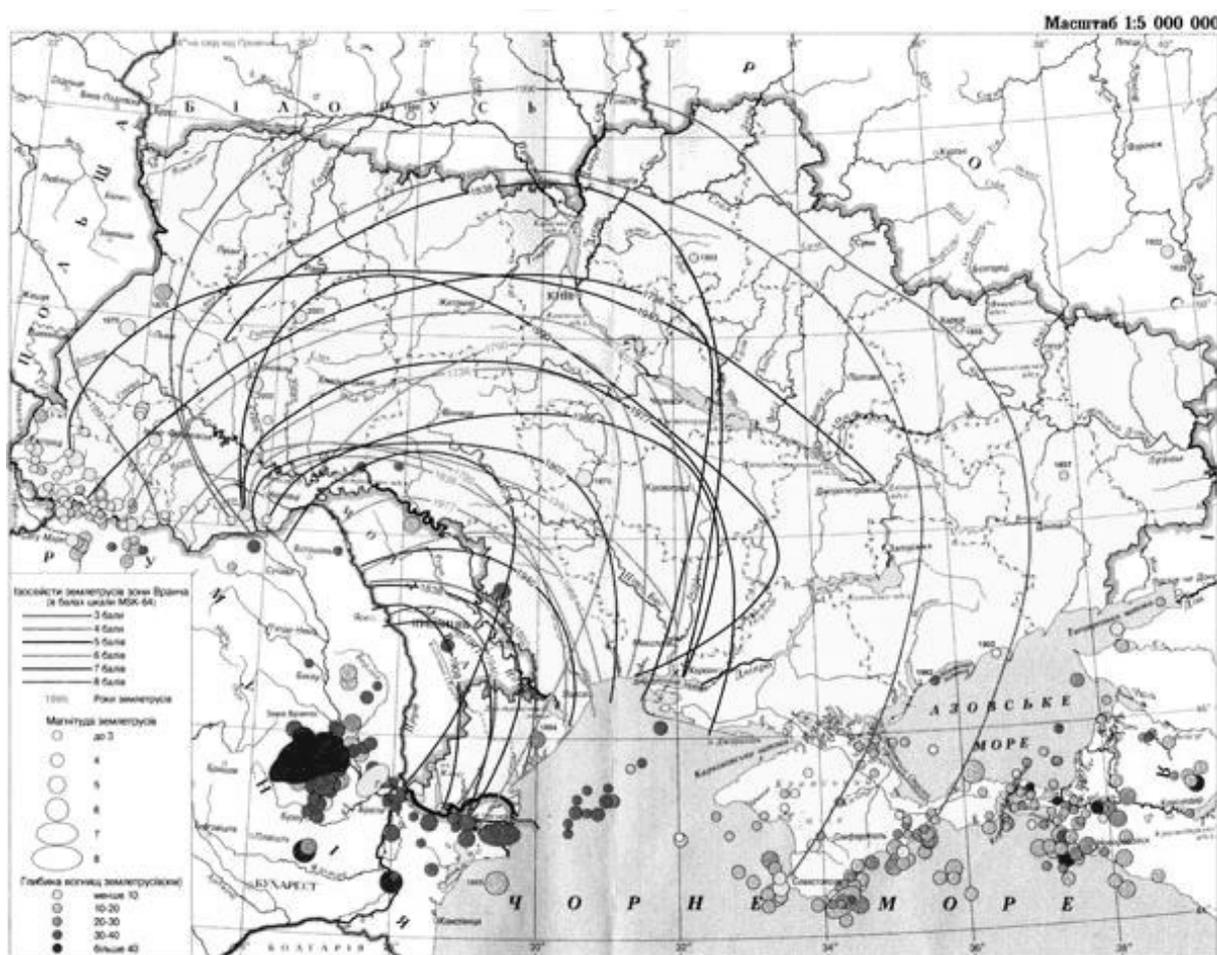


Рис. 1. Сейсмичность территории Украины [1] (указаны эпицентры землетрясений, их магнитуды, а также изосейсты сильнейших землетрясений зоны Вранча (Румыния) за последние 210 лет)

Украины [1] (рис. 1). Из рисунка видно, что изосейсты этих землетрясений сильно вытянуты в северном и сопутствующих направлениях в сторону Восточно-Европейской платформы. В первую очередь эти особенности объясняются геомеханикой очаговой зоны и связанными с ней особенностями излучения сейсмических очагов. Но часть особенностей по дальним изосейстам, как это известно и по нашим исследованиям в Закарпатье [2], и по данным других авторов по другим регионам, обусловлена особенностями строения и напряженно-деформированного состояния литосферы на пути распространения сейсмических волн.

В связи с этим следует обратить внимание на характерный «загиб» изосейст (рис. 1) от землетрясений Вранча в западной – карпатской части Украины. Этот загиб обусловлен тем, что здесь наблюдается сильное затухание сейсмических волн от землетрясений данной зоны при их распространении вдоль

и по диагонали вкост структур Восточных Карпат. Учитывая, что (по данным разных авторов) изменение на единицу бальности макросейсмического поля соответствует (в среднем) изменению в 2 раза действующих ускорений [3], зафиксированному здесь затуханию на 2 балла и больше макросейсмического поля в направлении от края Восточно-Европейской платформы через Украинские Карпаты к Паннонии соответствует затухание макросейсмического поля (по ускорениям) не менее, чем в 4–5 раз.

Это же подтверждается и данными инструментальных наблюдений Карпатской сейсмической сети Украины за последние десятилетия [4]. Так, сейсмические станции Закарпатья дают заниженные на 0,7–0,8 единиц классы землетрясений зоны Вранча по сравнению со средними определениями по всей сейсмической сети Украины. Значит, амплитуды соответствующих волн в Закарпатье являются заниженными в 2,5–3 раза относи-

тельно средних для соответствующих эпицентральных расстояний [5]. Относительно сейсмической сети Крыма эти различия еще больше — до 1,6–1,8 единиц по классу [4] (8–10 раз по амплитудам [5]).

2. Особенности затухания сейсмических волн в Карпато-Паннонском регионе от турецких землетрясений

Подобные закономерности затухания сейсмических волн отмечены и по данным землетрясений Малой Азии, в частности, по последнему сильному турецкому землетрясению 23.10.2011 г. Для иллюстрации воспользуемся данными, приведенными на сайте Геофизической службы РАН [6]. Параметры данного землетрясения рассчитаны по данным ряда станций мировой сети (рис. 2), в том числе и по данным станций «Львов» (LVV) и «Ужгород» (UZH), расположенных в Карпатском регионе Украины (таблица, строки 3, 4).

Сравнивая эти данные между собой, можно отметить, что магнитуды по станциям «Львов» и «Ужгород» ($M=7,0$) заметно (на 0,4) меньше средней по сети магнитуды данного землетрясения ($M=7,4$). Следовательно, амплитуды соответствующих волн в Закарпатье в 2,8–3 раза меньше средних амплитуд для соответствующих эпицентральных расстояний [5]. Такие результаты хорошо согласуются с приведенными выше данными по землетрясениям зоны Вранча. И это не удивительно, поскольку пути распространения упругих возмущений в обоих случаях пространственно очень близки, сейсмические волны проходят практически одни и те же тектонические структуры.

3. Особенности затухания поверхностных сейсмических волн в Карпато-Паннонском регионе от турецких землетрясений по данным европейской наклонной маятниковой сети

Новые и очень интересные данные об особенностях затухания низкочастотных — поверхностных сейсмических волн в Карпато-Паннонском регионе от турецких землетрясений получены по данным европейской наклонной маятниковой сети (рис. 3). Данная сеть развивается чешскими специалистами

под руководством проф. Павела Календы на протяжении последних нескольких лет [7].

На станциях сети установлены наклонмеры собственной разработки (рис. 4) — вертикальные статические маятники [7] с компьютеризированными оптико-электронными измерительно-регистрирующими системами. Основные технические данные приборов: длина подвеса — 2–20 м; чувствительность по смещениям/наклонам 10–100 нм; интервал измерений — 1–10 с [7]. Информация поступает в центр сбора по интернет-каналам мобильной связи.

Сеть постоянно развивается. Летом 2011 года два таких прибора установлены в Украине — один на режимной геофизической станции (РГС) «Берегово» [8] Карпатского отделения Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины в Украинском Закарпатье (рис. 4б и 5), другой — в Крыму.

И именно сравнение данных наклонмера станции «Берегово» с данными по другим наклонмерным станциям [9] (рис. 6), результаты которого коррелируются с полученными ранее результатами подобного анализа по сейсмическим данным, послужило толчком к этому исследованию.

Кратко проанализируем эти данные. На рис. 6 представлены полученные с помощью маятников фрагменты записей наклонов в период турецкого землетрясения 23.10.2011 г. на станциях «Берегово» (Закарпатье, Украина), «Marsala» (Сицилия, Италия), «Přibram-P7» и «Ida» (Чехия). Из них только на станции «Берегово» (рис. 6а), несмотря на низкий (меньше 0,1 условных единиц) уровень шумов, момент землетрясения не отмечен регистрацией заметных объемных или поверхностных волн. На станции «Marsala» (рис. 6б), невзирая на постоянно высокий уровень вариаций наклонов, вызванный в том числе и активизацией вулканической активности (включая возмущения от извержений вулкана Этна), момент землетрясения и первые часы после него четко отмечаются повышенным до 5–7 усл. ед. уровнем вариаций наклонов, связанным с прохождением в первую очередь поверхностных волн от данного землетрясения. Очень четко землетрясение прописалось на чешских станциях «Přibram-P7» и «Ida» (рис. 6в и 6г), здесь амплитуды вариаций наклонов в момент прохождения волн от землетрясения достигают 4,8 и 2,8 усл. ед. соответственно (при уровне шумов

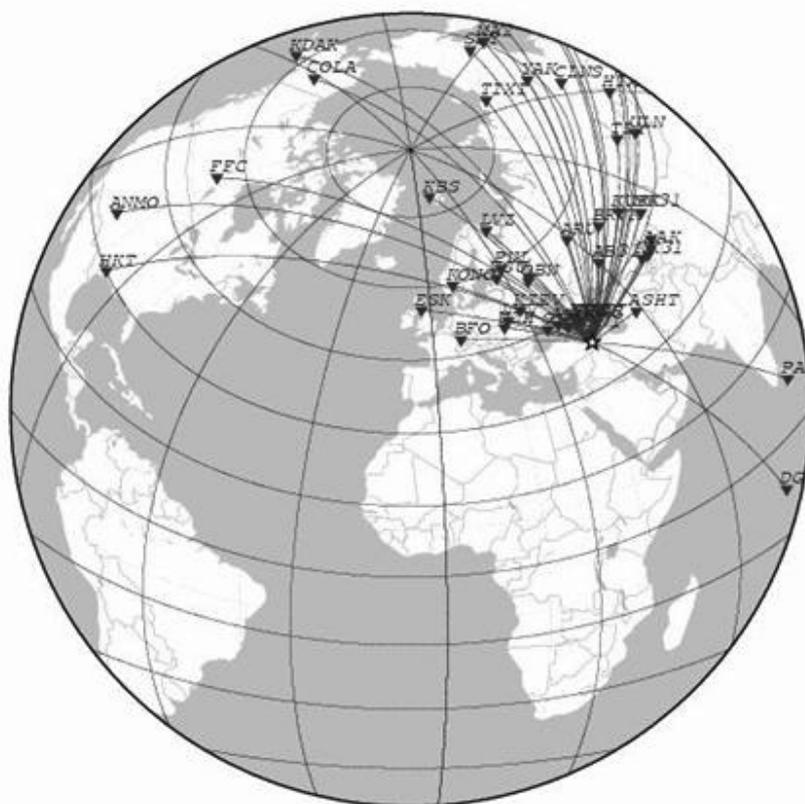


Рис. 2. Сеть станций, задействованная ГС РАН для определения параметров турецкого землетрясения 23.10.2011 г. [6]

до 0,2–0,3 и до 0,15 усл. ед.). Также достаточно четко (с амплитудами, соответственно, до 5 и 2,5 усл. ед. при уровне шумов порядка 0,6 и 0,7 усл. ед.) турецкое землетрясение прописалось на станциях «Lubenik» (Словакия) и «Luziny L2» (маятники размещены в действующих шахтах). Причем станция «Lubenik» (рис. 3) находится всего примерно в 200 км от станции «Берегово», в то время как обе они находятся на расстоянии порядка 1800 ± 100 км от эпицентра землетрясения. Все приведенные данные подтверждают существенно аномальное затухание упругих возмущений от турецкого землетрясения в направлении Украинского Закарпатья.

4. О возможных причинах аномального затухания упругих возмущений

Все приведенные сейсмологические и наклонномерные данные однозначно указывают

на существенно аномальное (повышенное в 2, 3, 5 и более раз) затухание упругих возмущений от землетрясений зоны Вранча (Румыния) и Турции в литосфере Украинского Закарпатья. Рассмотрим кратко возможные причины такого аномального затухания.

Одной из причин, называемой сейсмологами, может быть, как уже указывалось выше, сложное строение литосферы всего Панноно-Карпато-Динарского региона с наличием больших неоднородностей и мощных (шириной до 50–80 и более и толщиной до 15–25 км) надвиговых карпатских структур, рассеивающих и поглощающих энергию упругих возмущений. Но мы считаем, что существенным является влияние и других факторов.

Одним из них может быть установленное нами ранее (и подтвержденное в последнее время результатами новых GPS-наблюдений) наличие в литосфере Закарпатья (и прогнозируемое в других зонах Панкардии) зон

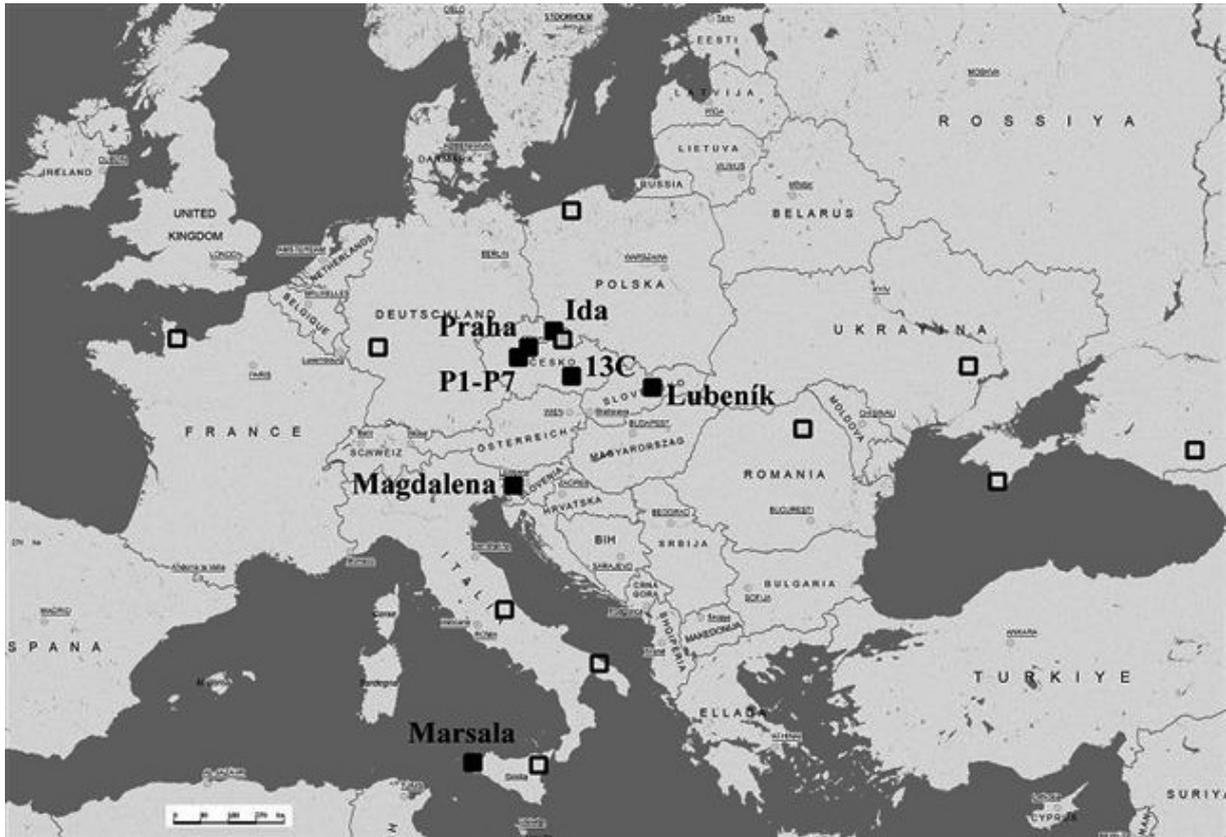


Рис. 3. Европейская наклономерная маятниковая сеть (2010–2011 гг.) [7]
(руководитель работ проф. Павел Календа)

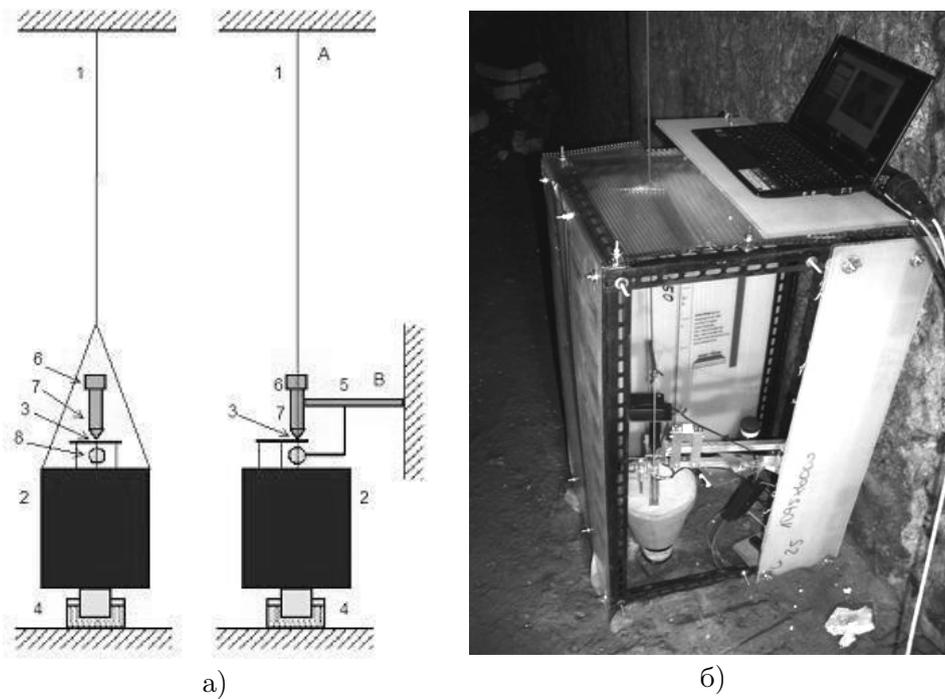


Рис. 4. Конструкция (а) вертикального статического маятника [7] и внешний вид (б) маятника, размещенного в штольне РГС «Берегово» в Украинском Закарпатье

Данные ряда станций представленной на рис. 2 сети по турецкому землетрясению 23.10.2011 г.

№	COD	TIME	PHASE	DELTA	AZIMUTH	MS
1	OBN	10:45:18.6	P	17,13	347	7,3
2	MOS	10:45:24.5	P	17,56	349	7,3
3	LVV	10:45:31.8	P	17,77	315	7,0
4	UZH	10:45:32.4	P	18,20	310	7,0
5	ARU	10:45:58.6	P	20,47	25	7,3
6	VSU	10:46:20.8	P	22,59	337	7,7
7	PUL	10:46:23.3	P	22,74	343	7,2
8	BRVK	10:46:30.6	P	23,47	43	7,5
9	AAK	10:46:36.1	P	23,88	70	7,4
10	AAA	10:46:53.0	P	25,65	69	7,3
11	KURK	10:47:09.0	P	27,56	52	7,8
12	LVZ	10:47:26.3	P	29,73	353	7,3
13	TLY	10:49:24.2	P	43,28	52	7,3
14	ULN	10:49:46.5	P	46,09	57	7,6
15	TIXI	10:50:33.7	P	52,47	23	7,6
16	HIA	10:50:44.5	P	53,79	52	7,4
17	CLNS	10:50:48.1	P	54,35	42	7,3
18	YAK	10:50:52.3	P	55,13	35	7,5
19	VLA	10:51:53.7	P	64,01	55	7,3
20	YSS	10:52:24.1	P	68,56	47	7,3
21	KUR	10:52:47.6	P	72,46	46	7,3
22	PET	10:52:48.6	P	72,94	35	7,6
23	SKR	10:52:52.0	P	73,32	38	7,3
24	COLA	10:53:11.1	P	76,47	5	7,3
25	ANMO	10:55:15.0	P	101,65	335	7,5

растяжения. Ведь и из геомеханики, и по данным наших предыдущих исследований (в частности, по особенностям проявления геофизических предвестников и по особенностям затухания макросейсмических полей местных закарпатских землетрясений [2]) известно, что в зонах сжатия упругие возмущения затухают сравнительно слабо, поэтому распространяются на значительные расстояния, а в зонах растяжения такие возмущения затухают значительно сильнее.

Другим фактором может быть геомеханика зоны сочленения Восточных и Южных Карпат и прилегающих тектонических структур. Судя по геомеханике входящей сюда сейсмогенной зоны Вранча, здесь имеется как бы некий геомеханический упор, противостоящий геомеханическому давлению со стороны Добруджи (все сказанное описывается относительно рассматриваемой зоны). В таком случае тектонические структуры Панкардии находятся как бы под некой геомеханической защитой от действия упругих воз-

мущений с данного направления — в своеобразной зоне разгрузки, в то время как сейсмогенная зона Вранча находится в геомеханической зоне опорного давления.

Еще одним фактором, обуславливающим повышенное затухание упругих возмущений в литосфере Закарпатья, может быть ее своеобразное строение, свойства (в том числе реология) и связанные с этим особенности геомеханики. Речь идет о том, что в литосфере Закарпатья методами ГСЗ выявлены две подзоны сниженных скоростей [10] — одна внутри «гранитов» (на глубинах от 7 до 10 км), другая — в «базальтах» (на глубинах от 20 до 27 км). На глубинах 65–70 км под Закарпатским прогибом и Паннонией зафиксирована кровля астеносферы. По данным проведенного анализа [11, 12] зоны в коре являются геомеханически ослабленными, нижняя (в «базальтах») — за счет пластичности вследствие влияния повышенного теплового потока, верхняя (в «гранитах») — за счет тектонической раздробленности вследствие по-



Рис. 5. Размещение пунктов деформографических (кварцевые деформографы) наблюдений на территории Украинского Закарпатья (на картооснове Google) (1 — РГС «Берегово», в штольне которой установлен маятник-наклономер, 2 — пункт «Мужиєво»; 3 — РГС «Королево»)

стоянно действующих тектонических напряжений и действия высокотемпературных глубинных флюидов. В результате такой «сэндвич», состоящий из трех более монолитных слоев (фундамент + кровля гранитов, низ гранитов + верх базальтов, верх мантии) толщиной в 3–4, 8–10 и 10–15 км и трех ослабленных слоев (осадочные породы, подзоны в гранитах и в базальтах) толщиной 2–3, 2,5–3,5 и 5–7 км, заметно сильнее поглощает и рассеивает энергию упругих волн по сравнению с монолитной корой платформ. Такое повышенное поглощение энергии сейсмических волн выявлено при анализе макросейсмических полей местных закарпатских землетрясений [2]. Кроме того, учитывая, что в Закарпатье структуры коры с таким строением имеют латеральную протяженность до 80–100 км, а в Паннонии — от 150–200 до 350–400 км, они заметно хуже передают квазипостоянные латеральные возмущения, поскольку тонкие жесткие слои при латеральных нагрузках имеют значительно большую возможность для пространственного деформирования (учитывая также наличие прокладочных ослабленных слоев), не говоря уже о смещениях по многочисленным разноранговым и разнонаправленным разломам.

Выводы

1. В литосфере Украинского Закарпатья наблюдаются существенно (в 2, 3, 5 и более раз) пониженные (относительно средних для данных эпицентральных расстояний) амплитуды сейсмических волн от землетрясений зоны Вранча (Румыния), о чем свидетельствуют как макросейсмические поля сильнейших исторических землетрясений этой зоны, так и инструментальные данные по ее землетрясениям за последние десятилетия.

2. В литосфере Карпатского региона Украины по данным сейсмических станций зафиксированы заметно более низкие (в 2, 3 и более раз относительно средних для данных эпицентральных расстояний) амплитуды сейсмических волн от разрушительного турецкого землетрясения 23.10.2011 г.

3. В Украинском Закарпатье (станция «Берегово») по данным маятника-наклономера зафиксированы значительно более низкие (в 10–20 и более раз по сравнению с другими станциями европейской наклономерной сети) амплитуды поверхностных сейсмических волн и вариаций наклонов от турецкого землетрясения 23.10.2011 г.

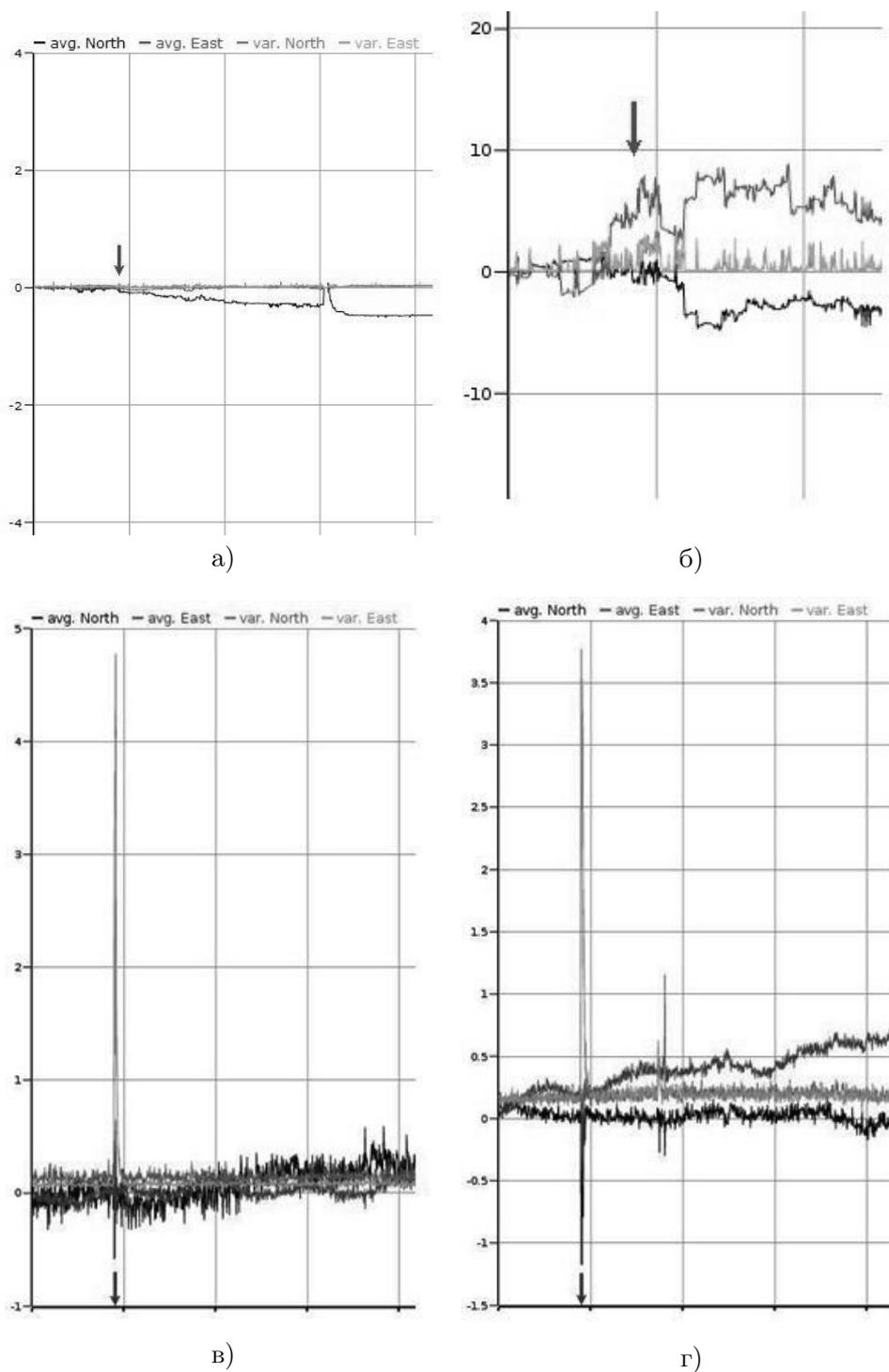


Рис. 6. Данные маятников-наклономеров Европейской наклономерной сети в период турецкого землетрясения 23.10.2011 г.: а — данные РГС «Берегово» (Закарпатье, Украина); б — данные станции «Marsala» (Сицилия, Италия); в — данные станции «Přibram-P7» (Чехия); г — данные станции «Ida» (Чехия) (момент землетрясения обозначен стрелкой)

4. Причинами такого аномального затухания упругих возмущений со стороны Причерноморского региона в литосфере Панкардии могут быть не только сами обрамляющие его с востока карпатские тектонические структуры, а и особенности их геомеханического режима, наличие здесь зон растяжения в земной коре, вертикальная реологическая слоистость с наличием ряда горизонтальных ослабленных зон в литосфере самого Украинского Закарпатья.

Детальное пространственное изучение указанных особенностей распространения упругих возмущений в литосфере Европы и углубленный анализ их возможных причин являются предметом дальнейших исследований.

Литература

1. Сейсмичность Украины (электронный ресурс) URL: <http://wdc.org.ua/uk/node/192>.
2. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Особенности подготовки и характеристики очага Береговского землетрясения 1965 года (по макросейсмическим данным) // Геодинамика. 2006. № 1. С. 61–74 (на укр. языке).
3. Уломов В.И. Вероятностно-детерминированная оценка сейсмических воздействий на основе карт ОСР-97 и сценарных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. 2005. № 4. С. 60–69.
4. Сейсмологический бюллетень Украины за 1992, 1993, 1994 год, 1995–1996 г.г., 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002 гг. / Ред. Б.Г. Пустовитенко – Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины. Симферополь, 1995, 1996, 1996, 1997, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004. 130 с., 92 с., 84 с., 148 с., 130 с., 120 с., 113 с., 148 с.
5. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях ЕССН СССР. М.: Наука, 1981. 276 с.
6. Геофизическая служба РАН – информация о сильных землетрясениях (электронный ресурс) http://www.ceme.gsras.ru/cgi-bin/info_quake.pl?mode=1&id=181.
7. Kalenda P, Neumann L., Wandrol I. Indirect stress measurement by static vertical pendulum // Experimental Stress Analysis. 2009. P. 120–128.
8. Европейская наклонномерная маятниковая сеть (электронный ресурс) <http://www.dynamic-gravity.org>.
9. Назаревич А.В., Календа П., Мыцык Б.Г. Аппаратурное обеспечение и некоторые результаты деформографических и наклонномерных наблюдений на РГС «Берегово» в Украинском Закарпатье // Геодинамика. 2011. № 2. С. 213–215.
10. Строение земной коры и верхней мантии Центральной и Восточной Европы / Под ред. Соллогуб В.Б., Гутерх А., Просен Д. и др. Киев: Наук. думка, 1978. 272 с.
11. Назаревич А.В., Назаревич Л.Е., Ковалишин З.И. Природа подзоны пониженных скоростей в «гранитах» коры Закарпатья и ее перспективные ресурсы // Вестник Львов. унта. Сер. геол. 2002. Вып. 15. С. 119–125 (на укр. языке).
12. Назаревич А.В., Назаревич Л.Е. Глубинные ловушково-коллекторские тектонические структуры в литосфере Карпатского региона Украины: природа, происхождение и перспективные ресурсы // Науч. вестник ИФНТУНГ. 2002. № 3. С. 10–21 (на укр. языке).

Ключевые слова: землетрясение, литосфера Европы, упругие возмущения, поверхностные сейсмические волны, макросейсмические поля.

Статья поступила 8 февраля 2012 г.

Карпатское отделение Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Львов, Украина

Институт горной и структурной механики АН Чешской Республики, г. Прага, Чехия

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Львов, Украина

© Назаревич А. В., Календа П., Назаревич Л. Е., 2012