

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ВАРИАЦИИ ОСЕЙ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ОЧАГАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ОБЛАСТИ ВРАНЧА

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

Институт геологии и сейсмологии Академии наук Молдовы

Приведены результаты исследований механизмов очагов промежуточных землетрясений области Вранча за 1940-2011 гг. Представлены азимутальные распределения нодальных плоскостей и осей основных напряжений, а также гистограммы углов падения нодальных плоскостей в очагах землетрясений. Показаны диаграммы отклонения осей сжатия, растяжения, промежуточного напряжения и вектора подвижки от горизонтали. Выделены основные типы подвижек в карпатских очагах. Большинство землетрясений произошло под действием близгоризонтальных сил сжатия и близвертикальных сил растяжения.

Данная статья продолжает наши исследования особенностей сейсмогенного процесса в Карпатах, начатые в работах [1–5]. Цель исследования – определение ведущих типов сейсмогенных разрывов и их размещений на разных участках Карпатской дуги, выяснение генетической связи сейсмических и геологических параметров. Горная дуга Карпат представляет исключительно большой интерес, так как разные участки дуговой структуры, видимо, находятся на разных этапах развития.

Для построения механизмов очагов использовалась стандартная методика [6], разработанная на основе теории дислокаций. Определяется положение двух нодальных плоскостей разрыва, ориентация подвижек по ним, направления главных осей напряжений, снимаемых в момент землетрясения.

Исходными данными для построения механизма очага служат знаки смещения в продольных волнах, поле распределения которых на станциях вокруг очага эквивалентно полю, создаваемому при внезапном приложении на площадке скольжения равномерно распределенной в ее пределах системы взаимно уравновешенных сил.

Исследование сделано на основе данных о знаках первых вступлений короткопериодных продольных волн, опубликованных в бюллетенях сети сейсмических станций Молдовы и Западной территориальной зоны Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым–Карпаты), в Сейсмологическом бюллетене Украины, в бюллетенях Международного сейсмологического центра (ISC) и Средиземноморского центра CSEM [7–10]. Для некоторых землетрясений использованы определения других авторов [11–16].

В процессе работы были исследованы механизмы очагов наиболее сильных вранчских землетрясений, происшедших за период 1940–2011 гг. Наиболее надежные решения получены для землетрясений с $m_b \geq 3,8$, обеспеченные числом знаков первых смещений $N \geq 40$. Число не согласующихся с найденным решением знаков не более 15%. Некоторые решения пересматривались и уточнялись, были добавлены исходные данные. В табл. 1 приводятся сейсмологические данные о параметрах очагов исследуемых землетрясений. В табл. 2 представлены параметры нодальных плоскостей и осей главных напряжений механизмов очагов. Все построения выполнены на сетке Вульфа в нижней полусфере.

Таблица 1. Основные параметры землетрясений области Вранча за 1940–2011 гг., для которых приводятся решения механизмов очагов

№	Дата	Время			Координаты эпицентра		Глубина очага h , км	Магнитуда	
		<i>ч</i>	<i>мин</i>	<i>с</i>	φ°, N	λ°, E		m_b	M_s
1	22 10 1940	06	37	00	45,9	26,5	140		6,2
2	10 11 1940	01	39	07	45,8	26,8	140		7,4
3	10 01 1965	02	52	25	45,76	26,54	137	4,8	
4	02 10 1966	11	21	45	45,70	26,50	141	4,9	
5	14 12 1966	14	49	59	45,72	26,39	151	4,8	
6	15 01 1969	08	46	29	45,62	26,55	129	4,6	
7	17 07 1974	05	09	22	45,76	26,61	135	5,0	
8	04 03 1977	19	21	54	45,83	26,72	86	6,1	7,2
9	02 10 1978	20	28	52	45,72	26,54	161	4,9	
10	31 05 1979	07	20	06	45,63	26,47	130	5,1	
11	11 09 1979	15	36	54	45,59	26,31	154	5,1	
12	14 01 1980	15	07	54	45,78	26,60	141	5,0	
13	18 07 1981	00	02	59	45,68	26,38	144	5,0	
14	25 01 1983	07	34	49	45,67	26,64	130	4,9	
15	16 02 1983	23	43	47	45,74	26,80	137	4,2	
16	11 03 1983	06	29	26	45,72	26,59	146	4,7	
17	12 04 1983	20	10	24	45,73	26,59	146	4,8	
18	20 01 1984	07	24	23	45,51	26,34	133	4,7	
19	21 06 1985	16	50	45	45,64	26,48	130	4,5	
20	01 08 1985	11	17	35	45,80	26,75	113	4,7	
21	01 08 1985	14	35	02	45,76	26,52	107	5,1	
22	16 08 1986	06	41	28	45,58	26,34	154	4,8	
23	30 08 1986	21	28	36	45,54	26,31	137	6,3	
24	16 12 1986	22	33	56	45,62	26,44	143	4,8	
25	18 03 1987	18	17	55	45,63	26,65	118	4,9	
26	30 03 1987	03	41	27	45,81	26,74	82	4,6	
27	04 09 1987	01	40	30	45,68	26,48	159	4,8	
28	08 01 1988	16	50	39	45,54	26,26	135	4,7	
29	15 08 1989	04	15	06	45,66	26,73	110	4,4	
30	30 05 1990	10	40	06	45,85	26,66	89	6,4	6,7
31	31 05 1990	00	17	48	45,81	26,77	90	5,9	5,9
32	06 10 1990	19	09	56	45,50	26,24	140	4,7	
33	13 01 1991	03	23	48	45,71	26,70	132	4,7	
34	31 01 1991	13	29	12	45,73	26,68	122	4,9	
35	31 03 1992	15	04	38	45,67	26,54	140	4,6	
36	23 04 1992	16	44	54	45,52	26,50	146	4,4	
37	12 10 1992	19	33	43	45,55	26,48	130	4,6	
38	10 11 1992	01	17	17	45,64	26,47	152	4,6	
39	21 11 1992	12	55	49	45,69	26,66	134	4,6	
40	30 07 1993	14	25	52	45,71	26,54	130	5,1	
41	18 11 1997	11	23	16	45,68	26,71	125	4,4	
42	30 12 1997	04	39	30	45,56	26,34	139	4,4	
43	13 03 1998	13	14	12	45,57	26,26	156	4,5	
44	28 04 1999	08	47	55	45,48	26,22	150	4,7	
45	06 04 2000	00	10	39	45,73	26,58	37	4,9	
46	24 05 2001	17	34	01	45,63	26,42	144	5,0	
47	20 07 2001	05	09	40	45,74	26,71	127	4,9	
48	30 11 2002	08	15	47	45,69	26,50	172	5,0	
49	05 10 2003	21	38	17	45,65	26,32	152	4,5	
50	10 07 2004	00	34	57	45,69	26,52	153	4,3	
51	27 09 2004	09	16	23	45,67	26,43	151	4,8	
52	24 10 2004	19	56	14	45,53	26,34	158	4,4	
53	27 10 2004	20	34	35	45,78	26,58	98	5,6	
54	14 05 2005	01	53	20	45,69	26,49	142	5,0	

№	Дата	Время			Координаты эпицентра		Глубина очага h , км	Магнитуда	
		<i>ч</i>	<i>мин</i>	<i>с</i>	φ°, N	λ°, E		m_b	M_s
55	18 06 2005	15	16	41	45,69	26,62	140	5,0	
56	05 09 2005	14	23	34	45,69	26,44	80	4,4	
57	08 09 2005	16	35	51	45,52	26,36	140	4,1	
58	13 12 2005	12	14	45	45,72	26,62	134	4,6	
59	16 02 2006	02	49	39	45,70	26,76	132	4,2	
60	06 03 2006	10	40	46	45,72	26,61	141	4,5	
61	23 09 2006	05	44	08	45,54	26,39	124	4,2	
62	17 01 2007	13	17	22	45,55	26,38	120	4,5	
63	14 02 2007	06	56	37	45,54	26,32	150	3,7	
64	15 02 2007	02	32	54	45,87	26,76	96	3,9	
65	09 03 2007	21	44	17	45,60	26,31	154	3,9	
66	17 12 2008	07	37	50	45,65	26,48	89	3,8	
67	25 04 2009	17	18	48	45,68	26,56	103	5,3	
68	12 05 2009	01	15	12	45,55	26,39	134	3,8	
69	27 05 2009	03	12	50	45,69	26,49	152	4,1	
70	24 07 2009	20	27	09	45,73	26,58	138	4,4	
71	09 10 2009	04	38	20	45,74	26,65	80	3,5	
72	15 10 2009	20	54	05	45,65	26,49	151	4,3	
73	22 10 2009	12	20	57	45,68	26,47	159	3,9	
74	26 12 2009	23	04	39	45,78	26,69	112	4,4	
75	25 02 2010	15	51	28	45,59	26,55	110	4,1	
76	13 03 2010	14	20	30	45,65	26,45	160	3,9	
77	06 08 2010	15	16	10	45,61	26,43	120	4,5	
78	30 09 2010	05	31	22	45,53	26,36	146	4,5	
79	01 05 2011	02	24	16	45,58	26,45	137	5,1	
80	04 10 2011	02	40	48	45,55	26,54	130	4,8	

Таблица 2. Параметры механизмов очагов землетрясений области Вранча за 1940–2011 гг.

№	Дата	Плоскость			Плоскость			Напряжения						N/n	Автор
		NP1			NP2			P		B		T			
		<i>Stk</i>	<i>Az</i>	<i>Pl</i>	<i>Stk</i>	<i>Az</i>	<i>Pl</i>	<i>Az</i>	<i>Pl</i>	<i>Az</i>	<i>Pl</i>	<i>Az</i>	<i>Pl</i>		
1	22 10 1940	215	56	98	22	35	79	300	12	31	17	154	80	58/2	[11]
2	10 11 1940	215	56	94	29	34	85	302	10	33	3	142	80	56/2	[11]
3	01 10 1965	136	40	90	316	50	90	46	8	136	0	226	83	47/3	*
4	02 10 1966	145	44	86	330	46	93	59	1	147	2	261	88	72/10	*
5	14 12 1966	156	39	97	327	51	84	61	6	331	5	202	83	43/7	[12]
6	15 01 1969	125	34	60	345	54	17	56	6	149	20	314	69	45/6	*
7	17 07 1974	151	71	86	341	20	100	243	26	152	3	55	64	93/9	[13]
8	04 03 1977	222	71	99	20	20	69	307	25	40	8	147	64	100/8	[14]
9	02 10 1978	123	40	65	335	65	110	50	8	142	16	297	72	95/12	*
10	31 05 1979	239	68	37	123	42	146	354	15	255	34	105	52	83/10	*
11	11 09 1979	276	40	133	40	62	59	154	13	57	28	266	58	97/7	*
12	14 01 1980	167	40	69	60	76	129	123	22	230	37	9	45	59/8	*
13	18 07 1981	274	62	147	21	62	33	327	0	57	48	237	42	97/25	[13]
14	25 01 1983	112	40	65	323	54	110	39	7	132	16	291	74	91/11	*
15	16 02 1983	108	58	65	332	40	126	216	4	124	22	330	66	43/7	*
16	11 03 1983	133	50	82	326	40	102	228	6	138	8	347	82	71/10	*
17	12 04 1983	120	50	78	317	42	104	216	6	127	8	333	80	52/7	*
18	20 01 1984	276	44	98	85	46	82	180	2	90	6	275	82	8 1/10	*
19	21 06 1985	274	44	134	42	60	57	153	10	59	29	262	60	47/5	*
20	01 08 1985 (1)	243	43	116	30	52	68	135	5	44	17	241	72	85/15	[13]
21	01 08 1985 (2)	140	40	133	268	60	60	21	6	286	26	134	62	135/18	*
22	16 08 1986	274	44	118	56	52	66	164	6	62	20	272	71	83/12	*
23	30 08 1986	233	65	92	49	25	87	322	20	52	1	146	70	228	[15]
24	16 12 1986	206	60	126	331	44	47	272	9	6	30	166	58	97/11	*
25	18 03 1987	135	40	117	280	56	68	26	8	293	17	126	82	41/6	*
26	30 03 1987	130	40	91	308	50	89	39	6	309	2	206	84	44/5	*

№	Дата	Плоскость			Плоскость			Напряжения						N/n	Автор
		NP1			NP2			P		B		T			
		Stk	Az	Pl	Stk	Az	Pl	Az	Pl	Az	Pl	Az	Pl		
27	04 09 1987	274	40	72	117	54	106	196	7	282	24	79	76	61/7	*
28	08 01 1988	90	56	-168	352	80	-36	304	31	148	54	44	16	90/8	*
29	15 08 1989	130	72	90	310	48	90	36	12	130	0	210	78	48/7	*
30	30 05 1990	221	63	88	46	27	94	312	18	222	2	126	72	439/75	[13]
31	31 05 1990	93	23	58	307	71	102	27	25	123	12	236	62	332/46	[13]
32	06 10 1990	274	46	106	72	46	74	354	1	84	12	262	78	68/9	*
	06 10 1990	274	42	101	78	50	80	356	5	86	8	294	80	68.9	*
33	13 01 1991	116	40	73	317	50	105	37	4	127	10	285	78	109/9	*
34	31 01 1991	129	44	112	280	50	71	23	3	293	15	126	75	92/14	[13]
35	31 03 1992	201	49	67	54	46	114	307	2	217	17	43	73	69/9	[16]
36	23 04 1992	115	42	71	322	50	108	36	4	130	14	294	76	47/6	*
37	12 10 1992	229	60	70	85	36	120	334	12	240	16	95	68	86/11	*
38	10 11 1992	236	60	93	62	30	87	334	15	14	3	164	75	52/8	*
39	21 11 1992	160	74	95	326	18	87	248	18	339	4	80	62	114/11	*
40	30 07 1993	240	60	108	25	34	60	314	14	50	16	188	70	61/12	*
41	26 08 1993	236	46	114	22	50	68	128	3	37	18	226	74	119/17	*
42	30 12 1997	274	50	123	47	40	58	342	2	71	24	252	66	54/6	*
43	13 03 1998	274	40	136	42	64	58	152	13	56	26	264	60	81/8	*
14	28 04 1999	274	50	70	123	44	112	17	3	286	16	119	76	77/7	*
45	06 04 2000	226	70	93	39	20	83	314	25	56	3	141	65	98/5	*
16	24 05 2001	205	52	93	18	38	86	292	6	23	3	118	84	85/5	*
47	20 07 2001	120	50	96	299	40	86	206	5	296	4	78	84	72/8	*
48	30 11 2002	150	80	-105	26	18	-36	40	52	154	14	254	34	79/15	*
49	05 10 2003	274	50	126	26	64	44	147	9	68	28	248	47	52/4	*
50	10 07 2004	138	60	116	274	40	54	210	10	313	22	98	64	40/5	*
51	27 09 2004	274	44	123	52	56	62	162	6	70	23	262	68	97/9	*
52	24 10 2004	274	50	108	67	44	70	352	3	82	14	250	76	49/9	*
53	27 10 2004	157	46	104	317	46	76	237	1	328	10	147	81	210/17	*
54	14 05 2005	183	40	86	08	50	94	93	5	186	3	292	84	102/10	*
55	18 06 2005	107	44	95	275	40	80	192	6	282	6	38	82	54/4	*
56	05 09 2005	287	40	-80	84	52	-106	299	75	90	11	184	10	58/8	*
57	08 09 2005	273	42	80	108	40	100	192	3	281	7	82	82	44/6	*
58	13 12 2005	253	60	100	56	30	76	336	16	67	8	184	73	60/10	*
59	16 02 2006	235	70	125	352	40	34	300	16	40	32	188	52	46/3	*
60	06 03 2006	225	70	93	38	20	85	314	25	46	2	141	65	58/3	*
61	23 09 2006	224	42	98	34	48	84	129	4	38	4	259	84	48/4	*
52	17 01 2007	235	40	80	70	50	100	153	5	244	8	33	80	58/8	*
53	14 02 2007	274	44	136	40	60	56	154	10	58	29	260	60	40/4	*
54	15 02 2007	120	50	80	314	42	111	218	5	126	6	330	80	41/5	*
55	09 03 2007	274	64	-158	174	70	-28	124	34	322	56	226	4	44/5	*
66	17 12 2008	176	74	-53	286	40	-154	127	46	346	36	239	20	44/6	*
67	25 04 2009	237	40	78	74	50	102	156	6	246	8	36	79	135/12	*
58	12 05 2009	206	54	102	10	37	77	289	10	20	8	149	78	51/7	*
69	27 05 2009	142	50	77	342	42	106	241	5	150	9	359	78	61/10	*
70	24 07 2009	166	50	52	36	52	124	103	1	194	28	15	61	54/8	*
71	09 10 2009	168	40	-68	323	64	-106	183	75	332	14	63	7	43/4	*
72	15 10 2009	254	56	113	36	40	59	328	9	62	19	210	70	46/5	*
73	22 10 2009	140	40	50	7	50	118	76	12	170	23	294	63	54/6	*
74	26 12 2009	143	56	92	320	34	88	232	10	322	2	48	80	70/12	*
75	25 02 2010	193	64	58	67	40	138	304	12	208	28	58	58	53/4	*
76	13 03 2010	274	40	110	70	44	74	172	6	80	12	290	76	50/4	*
77	06 08 2010	128	46	106	287	46	74	207	1	298	11	130	80	53/6	*
78	30 09 2010	274	44	94	86	44	84	359	0	90	4	270	88	59/7	*
79	01 05 2011	155	66	72	12	30	124	258	20	162	16	38	62	83/10	*
80	04 10 2011	226	52	108	20	40	70	304	6	37	14	190	84	65/8	*

Примечание. * Решения механизмов, полученные авторами.

Очаги рассматриваемых землетрясений распределены по глубине от 80 до 172 км. Основное их число (72%) приурочено к интервалу 130–160 км (рис. 1). Однако к верхнему этажу глубин порядка 90 км принадлежат очаги 4 марта 1977 г. и 30 и 31 мая 1990 г. Землетрясения 22 октября и 10 ноября 1940 г., а также 30 августа 1986 г. произошли на глубине порядка 135–140 км.

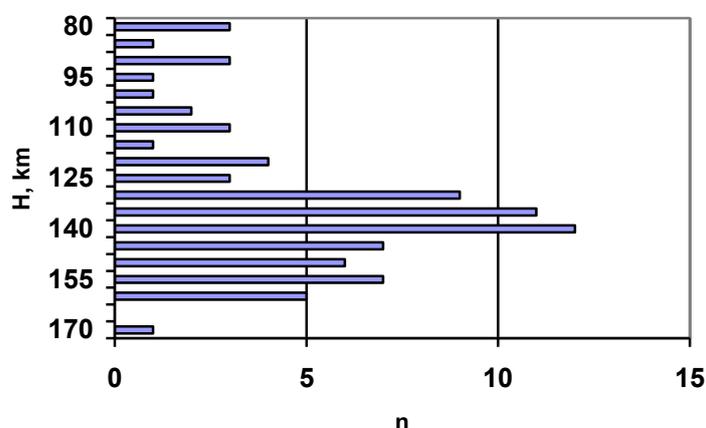


Рис. 1. Распределение по глубинам очагов промежуточных землетрясений за период 1940–2011 гг.

Интервал магнитуд mb , определяемых по объемным волнам, для исследуемых землетрясений от 3.8 до 6.4. При магнитуде около значения 6.4 наступает насыщение шкалы, поэтому для некоторых наиболее сильных сейсмических событий: 22 октября 1940 г., 4 марта 1977 г., 30 мая 1990 г. приведены значения M_s , определяемые по поверхностным волнам. Наибольшее число землетрясений попадает в интервал магнитуд $mb=4.6–5.1$. В связи с тем, что количество сейсмических станций за последние десятилетия (особенно после катастрофы 1977 г.) значительно возросло, снизился порог магнитуд землетрясений, для которых можно построить надежное решение механизма очага. На рис 2 показано распределение очагов землетрясений по магнитудам и глубинам. Гипоцентры землетрясений с магнитудой $M = 4–5$ приурочены к интервалу глубин 110–160 км. Землетрясения с магнитудой $M \geq 6$ отмечены на глубинах порядка 90 и 140 км.

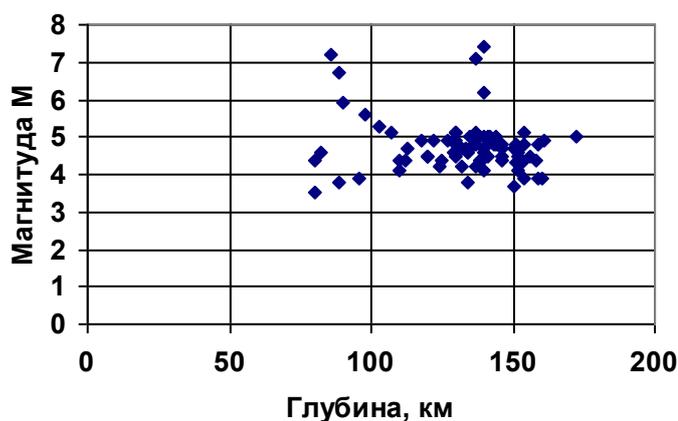


Рис. 2. Распределение по магнитудам и глубинам очагов землетрясений

Положение возможных плоскостей разрыва определяется двумя координатами: азимутом падения Az и углом падения $Slip$. Направления напряжений определяются азимутом Az и углом, составленным осью с горизонтом $P1$.

Для выбора действующей плоскости разрыва в очаге были использованы геологические данные. В очаговой области Вранча надвигающаяся с северо-запада плита образует горные сооружения Карпат, а поддвигаемая с юго-востока плита – Предкарпатский прогиб. Для сильнейших землетрясений 10 ноября 1940 г., 4 марта 1977 г., 30 августа 1986 г. и 30 мая 1990 г. за действующую плоскость разрыва можно принять крутую плоскость $NP1$ ($Dp=56-71^\circ$), совпадающую с направлением протяженности максимального балла и зоны афтершоков. По этой плоскости северо-западный борт разрыва надвинут на юго-восточный в соответствии с продолжающимся воздыманием Карпатских гор.

На рис.3 а показана диаграмма распределения азимутов Az простирания рабочих нодальных плоскостей $NP1$.

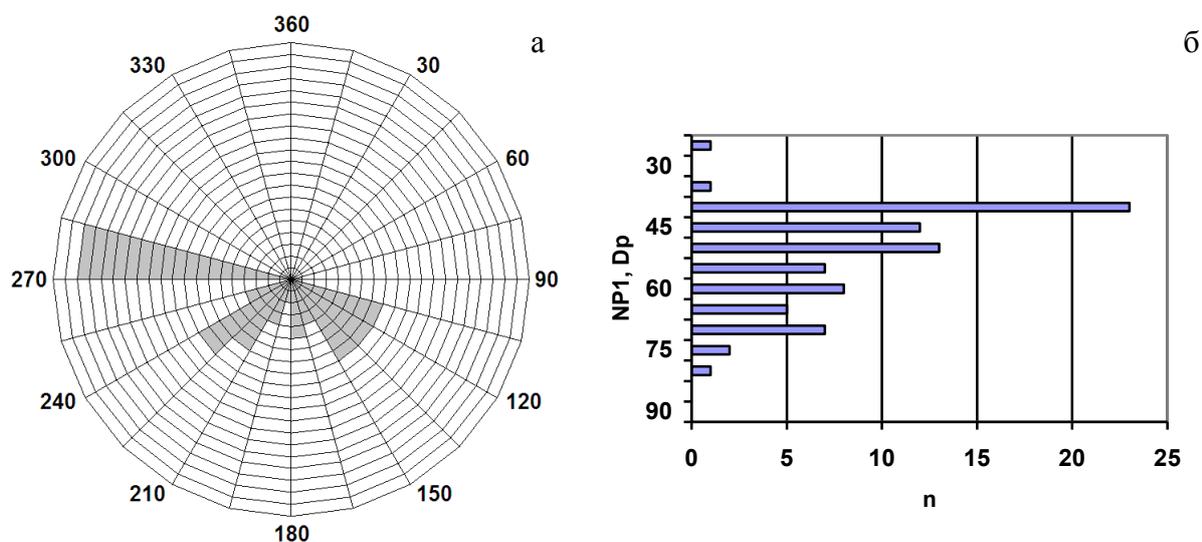


Рис. 3 а, б. Круговая диаграмма распределения азимутов простирания Stk (а) и гистограмма распределения углов падения Dp (б) нодальных плоскостей $NP1$ в очагах вранчских землетрясений

Основные диапазоны азимутов нодальных (рабочих) плоскостей $NP1$ – 105–150°, 210–240 и 270–285° (рис. 2). К первому диапазону приурочены землетрясения, эпицентры которых расположены в северо-восточной части области Вранча. Ко второму диапазону относятся землетрясения центральной и юго-западной части Вранча. К третьей группе относится ряд землетрясений юго-западной части очаговой области с глубиной 133–156 км с узким диапазоном ориентации плоскости разрыва в азимуте 273–276°.

На рис. 3 б показано распределение углов падения плоскостей разрыва $NP1$ в очагах промежуточной глубины.

Как следует из гистограммы (рис. 3 б), основное число нодальных плоскостей (75 из 80) наклонено по отношению к горизонту в интервале углов 40–70°. Исключения составляют землетрясения 15 01 1969 г., 21 11 1992 г., 31 05 1990 г., 30 11 2002 г., 17 12 2008 г.

На рис. 4 а, б представлено распределение азимутов оси напряжения сжатия P (а) и отклонение ее от горизонта (б) в очагах исследуемых землетрясений.

В преобладающем числе случаев (74 из 80) оси сжимающих напряжений составляют с горизонтом углы от 0° до 25°, так что сжимающие напряжения действуют в направлении, близком к горизонтальному.

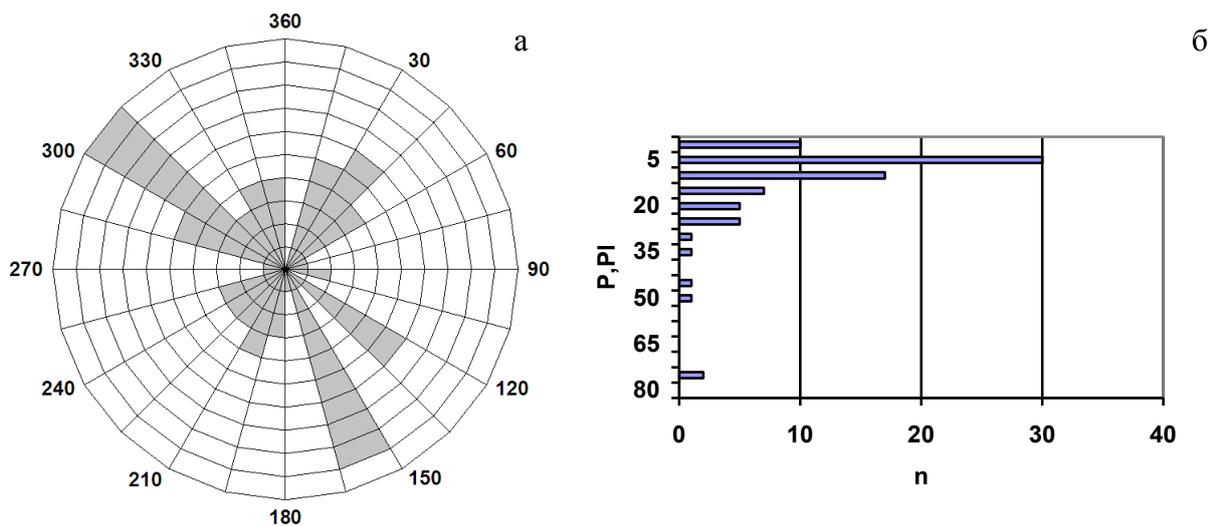


Рис. 4 а, б. Распределения азимутов Az осей напряжения сжатия P (а) и отклонение Pl осей от горизонта (б)

Рассмотрим азимутальное распределение оси напряжения растяжения T (рис. 5 а) и отклонение осей от горизонтали (рис. 5 б).

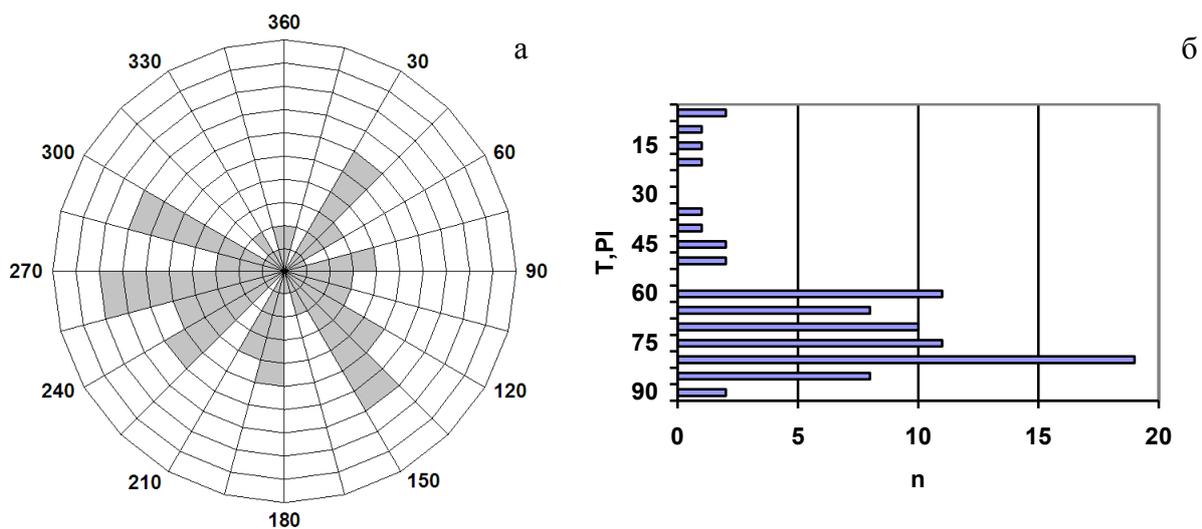


Рис. 5 а, б. Распределения азимутов Az осей напряжения растяжения T (а) и отклонение Pl осей от горизонта (б)

Растягивающие напряжения для 67 из 80 образуют с горизонталью углы от 60° до 85° , т.е. для преобладающего числа землетрясений (84%) направление осей растяжения близко к вертикальному. Для четырех землетрясений отклонение оси T от горизонтали составляет $7-20^\circ$. Это события 08 01 1988 г., 09 03 2007 г., 17 12 2008 г., 09 10 2009 г.

Для большинства землетрясений оси промежуточных – нулевых напряжений, т.е. направления, вдоль которых не происходит перемещений в очаге, направлены по простиранию хребтов, образуя с горизонтом углы не более 30° . Ось промежуточного напряжения B (рис. 6 а, б) для большинства землетрясений близка к горизонтальной.

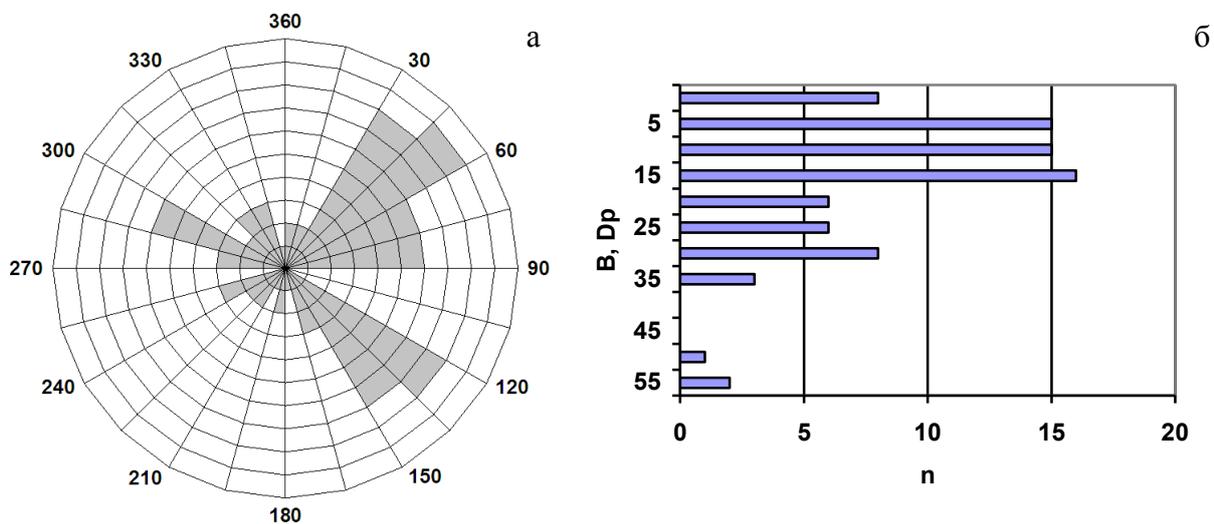


Рис. 6 а, б. Распределения азимутов Az осей промежуточного напряжения B (а) и отклонение Pl осей от горизонта (б)

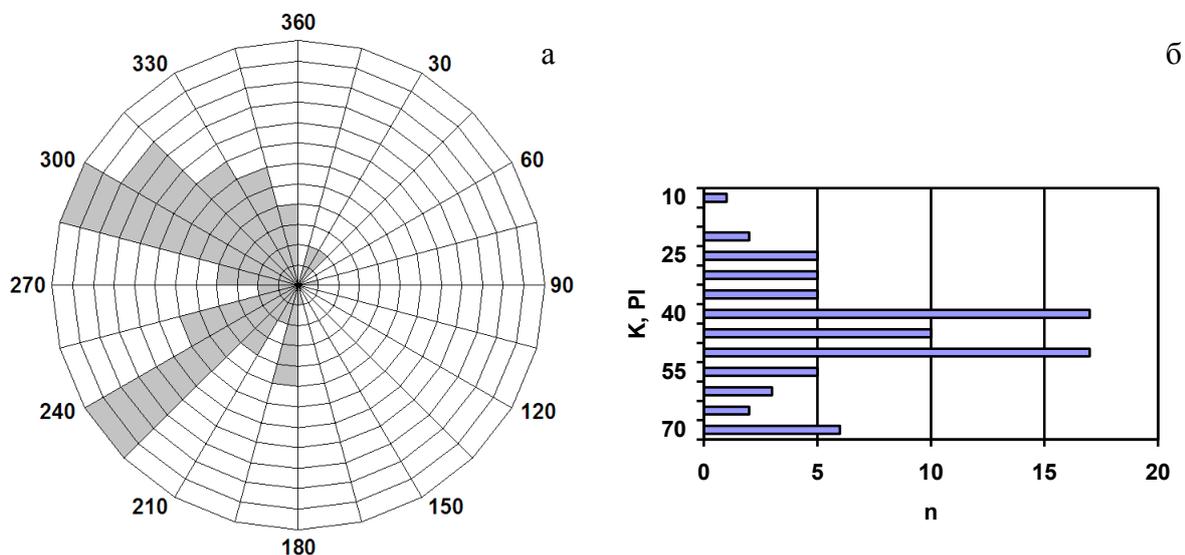


Рис. 7 а, б. Распределения азимутов Az вектора подвижки K (а) и отклонение Pl от горизонта (б)

Основное направление вектора подвижки в очагах промежуточных землетрясений юго-западное и северо-западное в диапазонах $225\text{--}255^\circ$ и $285\text{--}345^\circ$.

Вектор подвижки K наклонен по отношению к горизонту в основном интервале $30\text{--}55^\circ$.

По данным о типах подвижек в очагах землетрясений, восстанавливаемых на основе решения механизма очага, можно судить о характере сейсмотектонических движений в регионе. Для определения типа сейсмодислокации полученных фокальных механизмов очагов использовалась система классификации ориентировок, предложенная в работе [17], где всевозможные типы смещений в очагах формально разделены на семь групп. Каждый тип однозначно определяется величиной углов между вертикалью (горизонталью) и осями главных осей напряжений P , B , T .

На рис.8 показана гистограмма распределения типов подвижек исследуемых механизмов очагов вранчских землетрясений. Отсутствуют механизмы очагов сдвигового типа А.

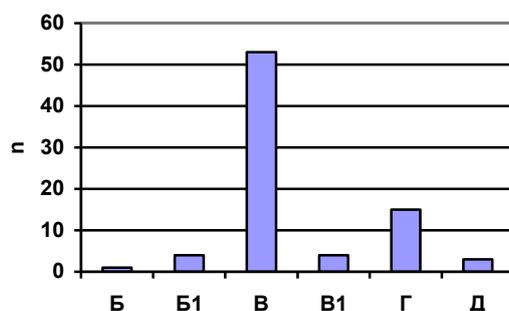


Рис. 8. Распределение по типам подвижек в очагах промежуточных землетрясений за 1940–2011 гг. Б – сбросо-сдвиг, Б1 – взброс, В – надвиг, В1 – нормальный сброс, Г – сдвиго-надвиг, Д – пологий сброс со сдвигом

Наибольшее число очагов (52) характеризуются надвиговой подвижкой (тип В). Далее по убыванию следуют типы Г, Б1, Б, Д – сдвиго-надвиг, взброс, сбросо-сдвиг и пологий сброс со сдвигом. Таким образом, большинство очагов характеризуется наклонным положением нодальной плоскости.

Известно, что в области Вранча, расположенной в изгибе Карпатской дуги, существует два главных простирания орогенических структур: северо-западное, связанное с развитием структурных форм Восточных Карпат, и субширотное, отражающее особенности развития тектонических элементов Южных Карпат. Переход от одного структурного направления к другому и их взаимодействие проявляется в существовании в этом регионе отдельных структурных границ. Направление осей меняется при движении вдоль Карпатской дуги. На разных участках Карпатской дуги различаются типы тектонических движений. Механизмы очагов четко разделяются по основным типам.

Тип 1 представляет собой комбинацию двух наклонных плоскостей, ориентированных в направлении северо-запад – юго-восток. Таких механизмов оказалось (25) 31%. Основные рабочие плоскости ориентированы в интервале азимутов 120–169°, т.е. почти параллельно к простиранию Восточных Карпат. Углы падения 34–71°. Оси сжатия ориентированы под углами 1–26° к горизонту. Оси растяжения крутые –45–88°. Наиболее близкой к направлению оси Восточных Карпат оказывается ориентация промежуточных осей, т.е. осей пересечения нодальных плоскостей.

Резко отличается от первого второй тип механизмов очагов. Он проявился у 17 (21%) землетрясений и представляет собой комбинацию двух плоскостей простирания запад-восток, т.е. параллельно оси Южных Карпат.

Рабочие плоскости ориентированы в узком интервале азимутов 273–276°. Оси сжатия близвертикальны и направлены близмеридионально. Вторые альтернативные плоскости располагаются менее упорядочено.

Промежуточное положение между типами 1 и 2 занимает тип 3 механизмов очагов, который проявился у двадцати (25%) толчков. Он представляет собой комбинацию крутой и пологой плоскости. По крутой плоскости северо-западный борт разрыва надвинут на юго-восточный, в соответствии с продолжающимся ростом Карпатских гор и надвиганием их на Предкарпатский прогиб. Направление плоскости разрыва параллельно касательной к изгибу горной дуги. Плоскость разрыва оказывается крутопадающей в северо-западном направлении под углами 40–71° в сторону складчатой области Карпат. Азимут – 215–254°.

Подвижки представлены надвигом с незначительной сдвиговой компонентой. Ось растягивающего напряжения T почти вертикальна (52–84°), сжимающего P – близгоризонтальна (3–25°) и ориентирована в северо-западном направлении.

Тип 1 механизмов очагов является преобладающим у исследованных землетрясений.

У некоторых сейсмических событий (т.е. у 20% толчков) механизмы не входят ни в один из вышеперечисленных типов. Имело «аномальный» характер механизма очага событие, происшедшее 30 ноября 2002 г. в центральной части области Вранча на глубине 172 км с $mb=5,0$. Механизм очага – пологий сброс со сдвигом. Повторное землетрясение сейсмического дубля 31 мая 1990 г. с очагом на глубине 90 км и с $mb=5.9$ было взбросового типа с нодальной плоскостью широтного направления.

Событие 08 01 1988 г. произошло в крайней юго-западной части фокальной зоны на глубине порядка 140 км. Характер подвижки в очагах – сбросо-сдвиговый.

Землетрясения 05 09 2005 г., 17 12 2008 г. и 09 10 2009 г. произошли в северо-восточной части зоны на глубине 70–89 км. В центре стереографической проекции механизмов очагов находятся знаки напряжения растяжения, что является нетипичным для области Вранча. Характер механизма – сбросовый.

Таким образом, для очагов, расположенных вблизи границ фокального образования Вранча, тип механизмов очагов изменяется с надвигового на сдвиго-сбросовый.

Выводы.

На разных участках Карпатской дуги различаются типы тектонических движений. Эти различия проявляются в характеристиках сейсмогенных разрывов. Последние устанавливаются по результатам исследования механизмов очагов и геологических условий возникновения землетрясений. О характере тектонических процессов, формирующих продольные и поперечные геологические структуры и обуславливающие сейсмогенез в Карпатской дуге, можно судить по результатам изучения происходящих здесь землетрясений.

В данной статье представлены результаты исследования сейсмогенных разрывов в Восточных, Южных Карпатах и зоне их сочленения.

Анализ решений механизмов очагов карпатских землетрясений показал, что в северо-восточной части области Вранча, связанной с развитием структурных форм Восточных Карпат, направление сил сжатия перпендикулярно простиранию этой дуги в азимуте порядка 40° . Рабочие плоскости диагонального простирания, наклонены к горизонту под углом $40\text{--}55^\circ$.

В юго-западной части области Вранча, отражающей особенности развития тектонических элементов Южных Карпат, силы сжатия действуют в близмеридиональном направлении. Рабочая плоскость субгоризонтального простирания с азимутом около 275° . Наклон плоскости составляет $40\text{--}45^\circ$ с горизонталью.

Наиболее опасными для территории Молдовы являются землетрясения центральной части области Вранча, приуроченной к зоне стыка Восточных и Южных Карпат. Для вектора подвижки в очагах характерна самая большая вертикальная (взбросовая) компонента. Северо-западное крыло разрыва надвигается на юго-восточное под углом скольжения $60\text{--}65^\circ$. Именно такой тип механизма соответствует очагам наиболее сильных разрушительных землетрясений XX века: 10 ноября 1940 г., 4 марта 1977 г., 31 августа 1986 г. и 30 мая 1990 г.

Помимо трех основных типов механизмов в разных частях дуги могут существовать разрывы иного типа, имеющие меньший масштаб и связанные, по-видимому, с отдельными локальными геологическими структурами дуги.

Большинство из рассмотренных землетрясений произошли под действием сжимающих напряжений (P l оси P менее 20°), три – под действием растягивающих напряжений (P l оси T менее 20°).

Проведенное исследование типов подвижек в очагах землетрясений также показало существенную пространственную неоднородность полей тектонических напряжений, под действием которых происходит высвобождение накопленной энергии в сейсмоактивных структурах Карпатского региона.

1. **Симонова Н. А.** Напряжения и разрывы в очагах землетрясений Восточных Карпат // Новые данные по сейсмичности и тектонике территории Молдавской ССР. – Кишинев, Штиинца, 1975. – С. 43–51.
2. **Друмя А. В., Степаненко Н. Я., Поята И. А.** Сходство и различие в процессах подготовки и проявления карпатских землетрясений 1977 и 1986 гг. // Карпатское землетрясение 1986 г. – Кишинев: Штиинца, 1990. – С. 5–15.
3. **Степаненко Н. Я., Алексеев И. В., Симонова Н. А.** Механизмы очагов землетрясений области Вранча, происшедших после событий 30, 31 мая 1990 года // Buletinul Institutului de Geofizica si Geologie al Academiei de Stiinte a Moldovei. №1, 2005. – P. 27–34.
4. **Друмя А. В., Степаненко Н. Я., Илиеш И. И., Алексеев И. В., Симонова Н. А.** Сейсмический режим области Вранча в Карпатах за период 1991–2001 гг. // Сейсмичность Северной Евразии. Материалы Международной конференции. Обнинск: ГС РАН, 2008. – С. 73–77.
5. **Друмя А. В., Степаненко Н. Я., Симонова Н. А., Алексеев И. В., Карданец В. Ю.** Атлас карт интенсивности землетрясений Молдовы (XVIII–XXI вв.).– Кишинев, 2009. – 154 с.
6. **Балакина Л. А., Введенская А. В., Голубева Н. В., Мишарина Л. А., Широкова Е. И.** Поле напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. – М.: Наука, 1972. – 198 с.
7. **Сейсмологический бюллетень Западной территориальной зоны Единой системы сейсмических наблюдений СССР (Крым-Карпаты за 1970–1992 гг.).** – Киев: Наукова Думка, 1980–1995.
8. **Сейсмологический бюллетень Украины за 1993–2009 гг.**– Симферополь: ИГ НАНУ, КЭС, 1996 – 2008.
9. **Bulletin of the International Seismological Centre for 1970–2011.** – International Seismological Centre, On-line Bulletin, <http://www.isc.ac.uk/> Bull, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom.
10. **EMSC, Earthquake information Euro-Med seismicity. Real Time Seismicity** <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/seismologist.php>.
11. **Иосиф Т., Раду К., Саваренский Е. Ф.** Механизмы очагов некоторых карпатских землетрясений // Изучение внутреннего строения Земли по сейсмическим данным. Бюлл. Совета по сейсмологии АН СССР, №15.– М.: 1963. – С. 146–167.
12. **Radu C.** The tectonic stress and tectonic motion direction in Romania // Proceedings of the Seminar on seismic zoning mas. UNESCO: Skopje, 1976, V. 1. – P. 84–100.
13. **Mostryukov A. O., Petrov V. A.** Catalogue of focal mechanisms of earthquakes 1964–1990 // *Materials of the World Data Cente.* – Moscow, 1994. – 87 p.
14. **Enescu D.** Contributions to the knowledge of the focal mechanism of the Vrancea strong earthquake of March 4, 1977 // Rev. Roum Gtol., Geophys., Geogr., Geophys. 1980, T. 24, №1. – P. 3–18.
15. **Trifu C., Oncescu M.** Fault geometry o August 30, 1986. Vrancea earthquake // Ann. Geophys. B. 1987. Vol. 5(6). – P. 727–730.
16. **Radulian M., Popescu E., Bala A., Utale A** Catalog of fault plane solution for the earthquakes occurred on the Romanian territory // Rom. Journ. Phys. 47, 2002. – P. 663–683.
17. **Вермишева Л. Ю., Гангус А. А.** Применение типизации подвижек в очагах землетрясений для решения сеймотектонических задач // Физика Земли, №3, 1977. – С. 103–109.