

УДК 550.341

Н. К. КАРАПЕТЯН

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ОЧАГАХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ  
АРМЕНИИ И МЕХАНИЗМ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

Армения является одной из сейсмоактивных зон Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса. Изучение механизма землетрясений этой зоны представляет большой интерес. Нами проведено исследование 40 крупных землетрясений Армении и прилегающих областей Азербайджана, Грузии, Ирана и Турции, происшедших в период времени с 1959 по 1970 г. Исследуемая территория охватывает в основном Армянское нагорье и известна очень сильными землетрясениями в прошлом. Имеются сведения о разрушительных и сильных землетрясениях, происшедших на территории Армянского нагорья с начала нашего века.

Для определения элементов механизма очагов землетрясений использован метод А. В. Введенской, основанный на теории дислокаций [1]. Изучение напряженного состояния в очагах землетрясений нами проводилось по распределению знаков смещений в первых вступлениях продольных волн. Данные о знаках первых смещений в продольных волнах взяты из сейсмограмм станций сейсмической сети Кавказа, станций телесеismicкой сети СССР, а также заимствованы из бюллетеней BCJS и Summagi.

Все определения динамических параметров очагов землетрясений производились в стереографической проекции, на сетке Вульфа [2]. Построения велись для верхней полусферы. Положение каждой условной точки, соответствующей определенной станции, на сетке Вульфа определено по двум угловым координатам: азимуту этой станции относительно эпицентра землетрясения и углу выхода продольной волны из очага землетрясения. Углы выхода из очага продольных волн при близких эпицентральных расстояниях ( $\Delta \leq 800$  км) определены путем геометрического расчета по известным глубине залегания очага землетрясения, эпицентральному расстоянию, а также скоростному разрезу земной коры. При больших эпицентральных расстояниях ( $\Delta \geq 800$  км) угол выхода из очага продольных волн определялся из графика зависимости угла падения волн Р от эпицентрального расстояния [4].

Азимут с эпицентра на сейсмическую станцию при близких эпицентральных расстояниях определялся по карте, путем измерения угла между направлениями на север и на сейсмическую станцию. При больших эпицентральных расстояниях азимут с эпицентра на станцию определялся на сетке Вульфа, по известным координатам эпицентра землетрясения и эпицентральному расстоянию.

Модель очага землетрясений была принята в виде разрыва, сопровождающегося скольжением в плоскости разрыва. Направление этого

разрыва однозначно не определяется. Плоскостью разрыва в очаге землетрясения в равной мере могут быть оба разрыва, определяемые нодами плоскостями  $y=0$  и  $z=0$ .

В таблице 1 и на рис. 1 даны результаты определения положений двух возможных плоскостей разрывов в очагах исследованных землетрясений. Для обеих возможных плоскостей в таблице 1 даны азимут падения плоскости разрыва  $A_z^0$ , угол ее падения  $\alpha$ , то есть угол, образованный плоскостью разрыва с горизонтальной плоскостью, и угол между направлением падения плоскости разрыва и направлением движения верхнего крыла в этой плоскости разрыва ( $\beta_I$  и  $\beta_{II}$ ). Возможные плоскости разрыва условно обозначены I и II. В тех случаях, когда подальные плоскости невозможно было провести однозначно, в таблице 1 даны все возможные варианты, а на рис. 1 — только вариант, указанный в первой строке таблицы 1. Номера землетрясений на рис. 1 соответствуют порядковым номерам таблицы 1. На рис. 1 не показаны положения плоскостей разрывов в очагах повторных толчков землетрясений. Эти данные приведены в таблице 1.

Таблица 1

## Ориентация разрывов в очагах землетрясений

Дата и время возникновения землетрясения	Плоскость I			Плоскость II			Число знаков	Число несогласующихся знаков
	$A_z^0$	$\alpha$	$\beta$	$A_z^0$	$\alpha$	$\beta$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
24/I 1959 г. 16 ч 58 мин	156	40	6	329	51	4	9	1
29/III 1961 г. 07 ч 29 мин	163	30	50	37	72	25	8	0
	294	42	38	68	58	29	8	0
	314	80	79	222	80	79	8	0
3/XII 1961 г. 18 ч 31 мин	215	74	68	120	70	72	24	3
10/III 1962 г. 07 ч 18 мин	320	43	74	128	80	42	10	0
4/IX 1962 г. 22 ч 59 мин	224	78	78	316	76	77	47	3
11/IX 1962 г. 00 ч 17 мин	326	58	42	204	50	46	20	1
19/IX 1962 г. 14 ч 13 мин	230	80	70	137	70	79	8	0
	288	34	31	71	62	19	8	0
9/X 1962 г. 06 ч 56 мин	329	70	79	234	80	69	6	0
18/II 1963 г. 14 ч 03 мин	354	52	39	122	52	38	9	0
17/IV 1963 г. 16 ч 25 мин	55	80	75	324	76	80	7	0
	60	50	39	293	54	37	7	0
	225	46	26	9	50	25	7	0
9/X 1963 г. 04 ч 36 мин	291	80	5	137	11	25	10	0
	316	66	11	111	26	23	10	0
31/XII 1963 г. 15 ч 18 мин	76	64	20	217	32	33	11	1
	41	50	84	135	86	49	11	1
5/II 1964 г. 11 ч 27 мин	285	45	17	82	47	16	9	0
5/VI 1964 г. 00 ч 11 мин	352	70	37	107	42	59	28	2
23/VII 1964 г. 23 ч 33 мин	328	40	41	195	61	28	4	0
	232	30	29	18	64	16	4	0
	354	70	58	252	60	66	4	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
31/VIII 1965 г. 07 ч 29 мин	296	84	66	202	66	82	50	5
7/III 1966 г. 01 ч 16 мин	11	76	80	278	80	75	72	14
27/IV 1966 г. 19 ч 48 мин	307	64	81	40	82	64	50	6
19/VIII 1966 г. 12 ч 22 мин	106	50	49	348	61	43	97	10
19/VIII 1966 г. 13 ч 15 мин	238	60	61	134	66	57	20	2
19/VIII 1966 г. 13 ч 54 мин	302	66	77	37	78	65	35	3
19/VIII 1966 г. 14 ч 17 мин	10	80	58	274	58	78	19	2
19/VIII 1966 г. 18 ч 41 мин	296	72	80	28	80	72	12	0
20/VIII 1966 г. 11 ч 59 мин	304	64	70	204	72	62	74	10
20/VIII 1966 г. 12 ч 01 мин	344	66	72	246	74	65	10	1
30/I 1967 г. 01 ч 20 мин	224	70	41	336	45	60	47	8
29/VI 1967 г. 08 ч 22 мин	30	78	61	294	62	76	25	3
25/V 1968 г. 00 ч 29 мин	298	80	85	29	86	80	22	1
26/V 1968 г. 05 ч 34 мин	91	82	14	211	16	58	20	1
9/VI 1968 г. 00 ч 56 мин	303	50	53	186	62	43	76	12
1/IX 1968 г. 05 ч 39 мин	350	56	72	249	75	54	53	7
16/IX 1968 г. 07 ч 10 мин	351	47	14	192	45	15	15	0
	281	52	50	38	60	45	15	0
18/IX 1968 г. 06 ч 17 мин	334	54	88	242	88	54	12	0
24/IX 1968 г. 04 ч 19 мин	7	70	57	110	60	66	28	6
25/IX 1968 г. 20 ч 52 мин	150	72	69	52	70	70	19	0
	57	89	65	149	66	88	19	0
1/X 1968 г. 18 ч 16 мин	320	44	64	211	72	41	15	2
10/IX 1969 г. 12 ч 13 мин	46	78	71	312	72	78	56	8
3/I 1970 г. 06 ч 54 мин	238	74	54	340	56	70	48	5
17/II 1970 г. 02 ч 59 мин	282	80	87	192	82	79	27	3
14/III 1970 г. 01 ч 51 мин	35	88	53	304	54	87	52	6

При рассмотрении плоскостей разрывов, представленных на рис. 1, можно отметить, что в основном направление одной из плоскостей разрыва в очагах землетрясений примерно совпадает с направлением известных тектонических разломов на исследуемой территории. При этом падение плоскостей разрывов, в основном, крутое. Из 102 возможных плоскостей разрыва 83 имеют углы падения  $\geq 50^\circ$ , 16 имеют углы падения от  $30$  до  $47^\circ$  и только в 3 случаях они залегают почти горизонтально.

Согласно значениям углов  $\beta_1$  и  $\beta_{1'}$  в очагах землетрясений и их последующих толчков преобладают движения, в основном, типа сдвигов. Действительно, в 67 случаях преобладают компоненты подвижки по простиранию плоскости разрыва, а в 35 случаях преобладают компоненты подвижки по падению плоскости разрыва.

Выяснив положение нодальных линий на сетке Вульфа, а, следовательно, и положение их полюсов, нами определены направления осей напряжений сжатия и растяжения, а также направления осей промежуточного или нулевого напряжения. Полученные результаты сведены в таблицу 2. В этой таблице даны значения азимутов  $A_z$  осей сжимающего, растягивающего и промежуточного (нулевого) напряжений, а также значения углов падения этих осей, то есть углов, составленных этими осями с горизонтальной плоскостью. При этом по-

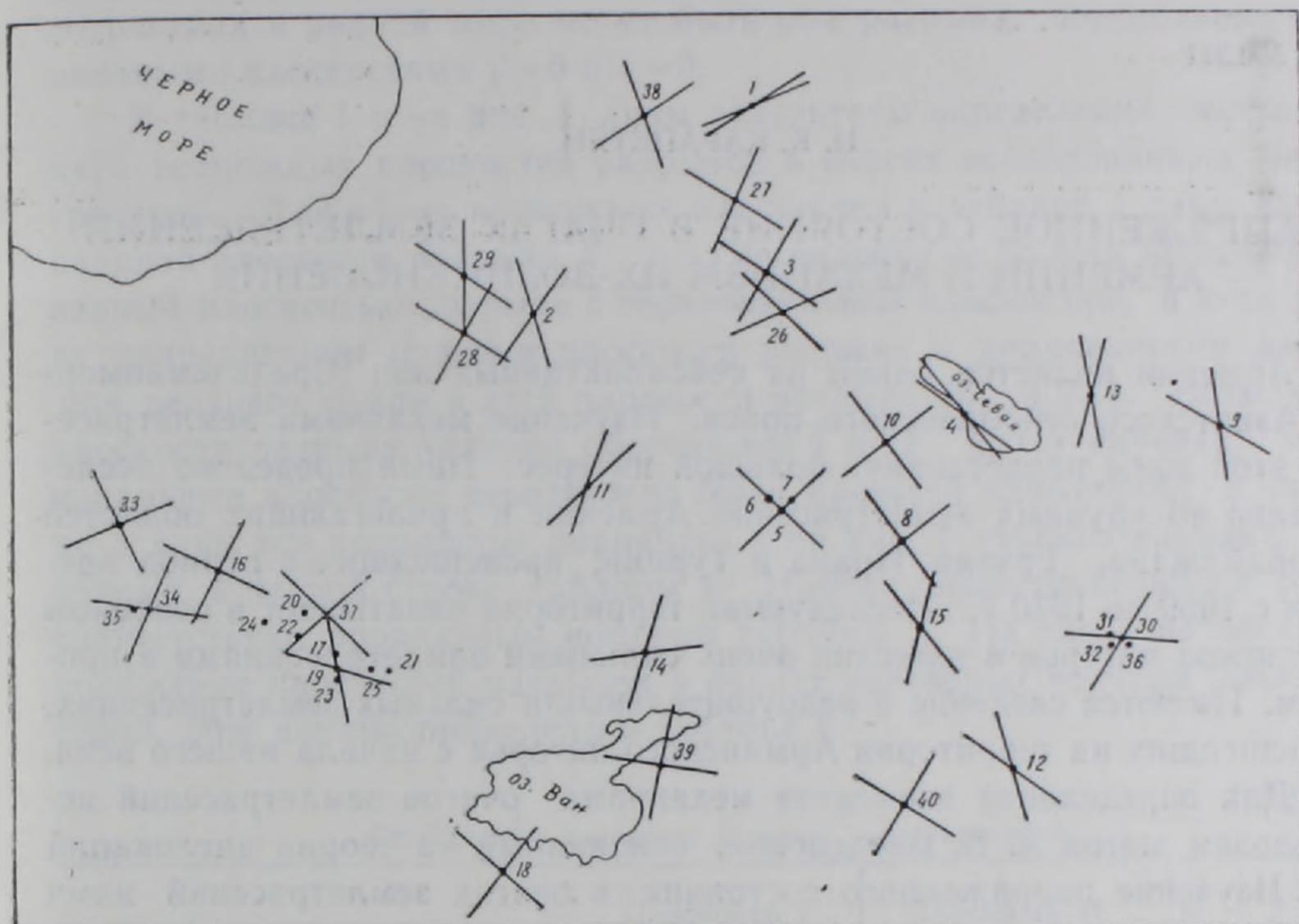


Рис. 1. Ориентация плоскостей разрывов в очагах землетрясений Армянского нагорья.

ложение осей напряжений определено однозначно согласно использованной методике А. В. Введенской [3].

На рис. 2 приведены горизонтальные проекции осей напряжений сжатия, действовавших в очагах землетрясений. Номера землетрясений на этом рисунке и на всех последующих рисунках соответствуют порядковым номерам таблицы 2. Направления осей сжатия показаны двумя сходящимися стрелками. Величина стрелок в масштабе, показанном на рис. 2, пропорциональна косинусу угла падения оси сжатия.

Согласно рис. 2 и данным, приведенным в таблице 2, оси напряжений сжатия, действовавших в очагах исследованных землетрясений, в основном, ориентированы горизонтально, угол падения оси сжатия только в десяти случаях из 51 превышает  $30^\circ$ . При этом направление оси сжимающего напряжения примерно перпендикулярно простиранию структур.

На рис. 3 даны горизонтальные проекции осей напряжений растяжения, действовавших в очагах землетрясений. Направления осей растяжения показаны двумя расходящимися стрелками. Величина стрелок в масштабе, показанном на рис. 3, пропорциональна косинусу угла падения оси растяжения. Как следует из рис. 3, ориентация осей растяжения во всех рассмотренных случаях не одинаковая. В 30 случаях ось растяжения составляет с горизонтальной плоскостью углы не более  $30^\circ$ , а в 21 случае эти углы имеют значения от  $33$  до  $80^\circ$ .

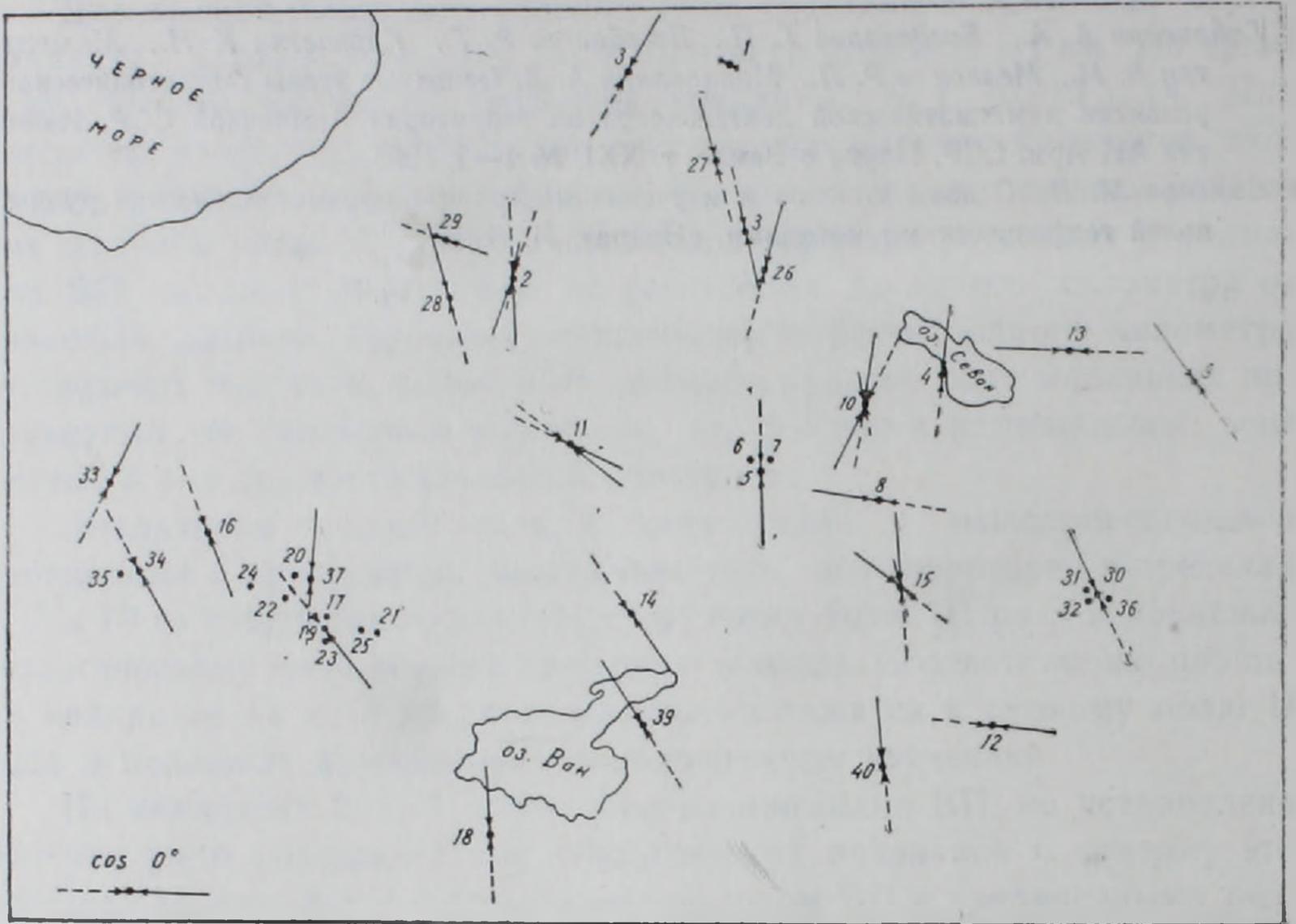


Рис. 2. Ориентация осей напряжения сжатия.

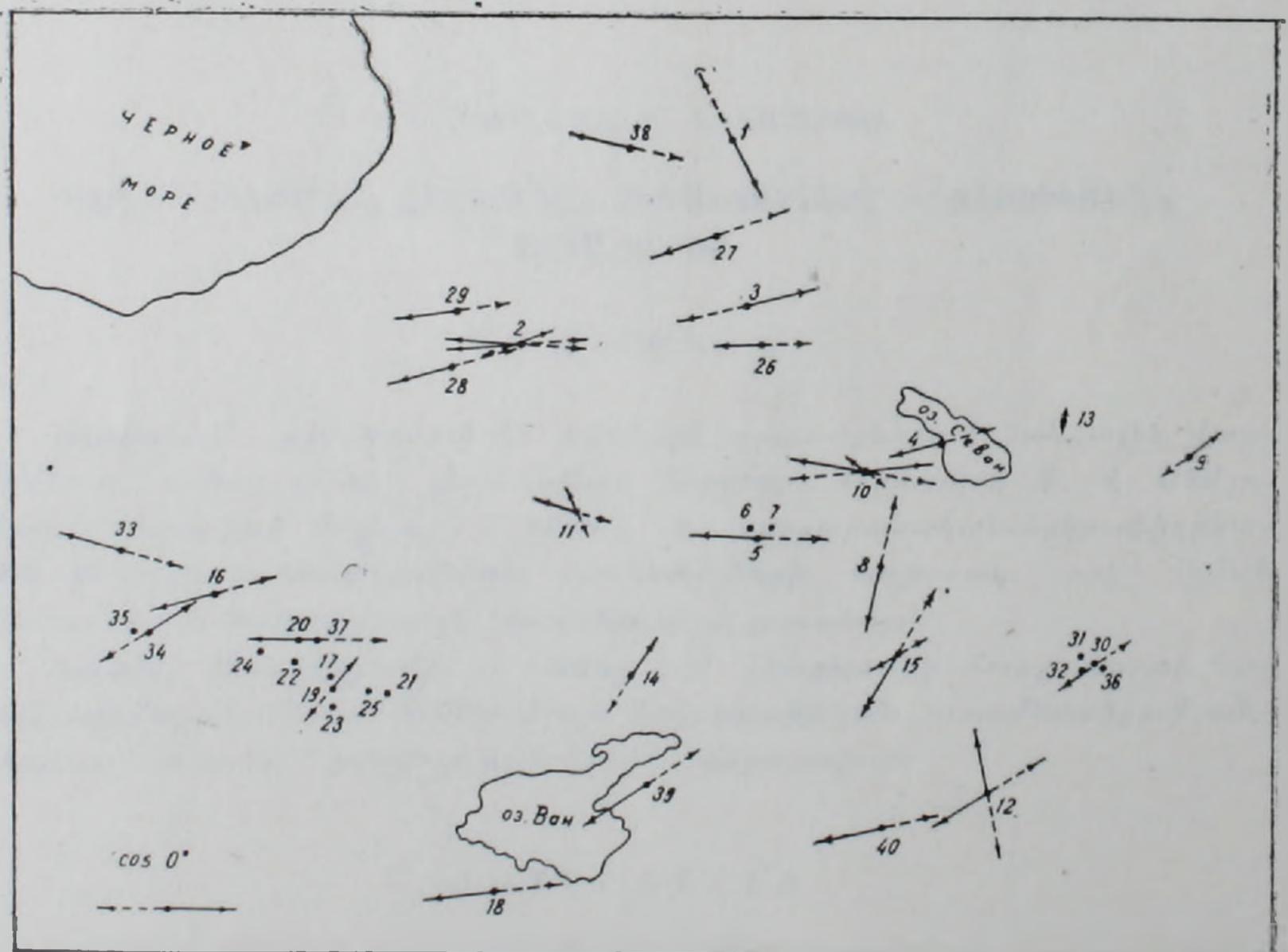


Рис. 3. Ориентация осей напряжения растяжения.

Таблица 2

## Ориентация напряжений в очагах землетрясений

Дата и время возникновения землетрясения	Н а п р я ж е н и е					
	сжатия		растяжения		промежуточное	
	$A_z^0$	$e^0$	$A_z^0$	$e^0$	$A_z^0$	$e^0$
1	2	3	4	5	6	7
24/I 1959 г. 16 ч 58 мин	304	83	152	5	62	3
29/III 1961 г. 07 ч 29 мин	199	22	70	57	299	23
	16	63	270	8	174	25
	178	0	268	15	88	75
3/XII 1961 г. 18 ч 31 мин	168	27	77	2	342	64
10/III 1962 г. 07 ч 18 мин	8	22	256	40	120	41
4/IX 1962 г. 22 ч 59 мин	179	1	271	18	94	72
11/IX 1962 г. 00 ч 17 мин	172	4	269	56	80	35
19/IX 1962 г. 14 ч 13 мин	185	21	92	7	344	67
	32	67	266	14	170	17
9/X 1962 г. 06 ч 56 мин	280	21	14	7	122	68
18/II 1963 г. 14 ч 03 мин	328	1	58	60	238	29
17/IV 1963 г. 16 ч 25 мин	10	18	279	3	182	73
	353	61	87	2	178	29
	207	2	305	72	116	19
9/X 1963 г. 04 ч 36 мин	116	35	285	55	22	4
	128	19	338	68	221	10
31/XII 1963 г. 15 ч 18 мин	109	66	241	16	337	17
	97	31	351	24	229	49
5/II 1964 г. 11 ч 27 мин	274	1	9	78	184	12
5/VI 1964 г. 00 ч 11 мин	145	17	34	51	248	35
	357	11	243	63	92	24
	349	67	211	18	116	15
23/VII 1964 г. 23 ч 33 мин	307	37	211	5	115	53
31/VIII 1965 г. 07 ч 29 мин	158	11	252	21	40	66
7/III 1966 г. 01 ч 16 мин	324	18	54	3	155	72
27/IV 1966 г. 19 ч 48 мин	356	24	262	12	147	62
19/VIII 1966 г. 12 ч 22 мин	139	7	40	52	231	35
19/VIII 1966 г. 13 ч 15 мин	278	3	185	40	10	50
19/VIII 1966 г. 13 ч 54 мин	352	26	258	7	154	63
19/VIII 1966 г. 14 ч 17 мин	328	30	229	14	116	56
19/VIII 1966 г. 18 ч 41 мин	344	19	252	4	148	70
20/VIII 1966 г. 11 ч 59 мин	346	5	251	33	84	56
20/VIII 1966 г. 12 ч 01 мин	26	5	292	30	126	60
30/I 1967 г. 01 ч 20 мин	16	14	268	48	116	38
29/VI 1967 г. 08 ч 22 мин	346	29	250	10	142	58
25/V 1968 г. 00 ч 29 мин	344	10	253	4	140	80
26/V 1968 г. 05 ч 34 мин	106	52	260	35	359	14
9/VI 1968 г. 00 ч 56 мин	337	7	237	52	73	37
1/IX 1968 г. 05 ч 39 мин	33	12	295	35	140	52
16/IX 1968 г. 07 ч 10 мин	181	1	278	80	91	11
	343	53	248	5	154	37

1	2	3	4	5	6	7
18/IX 1968 г. 06 ч 17 мин	24	23	282	26	151	54
24/IX 1968 г. 04 ч 19 мин	150	6	55	37	248	53
25/IX 1968 г. 20 ч 52 мин	102	28	12	1	278	62
	100	18	195	15	326	66
1/X 1968 г. 18 ч 16 мин	2	17	252	46	105	39
10/IX 1969 г. 12 ч 13 мин	1	21	268	4	170	68
3/I 1970 г. 06 ч 54 мин	22	11	282	37	126	51
17/II 1970 г. 02 ч 59 мин	328	5	236	8	64	77
14/III 1970 г. 01 ч 51 мин	356	26	254	22	130	54

На рис. 4 приведены горизонтальные проекции осей промежуточных напряжений, то есть осей, в направлении которых напряжения равны нулю. Направления осей промежуточных напряжений показаны сплошными прямыми линиями. Длина линий в масштабе, показанном на рис. 4, пропорциональна косинусу угла падения оси промежуточных

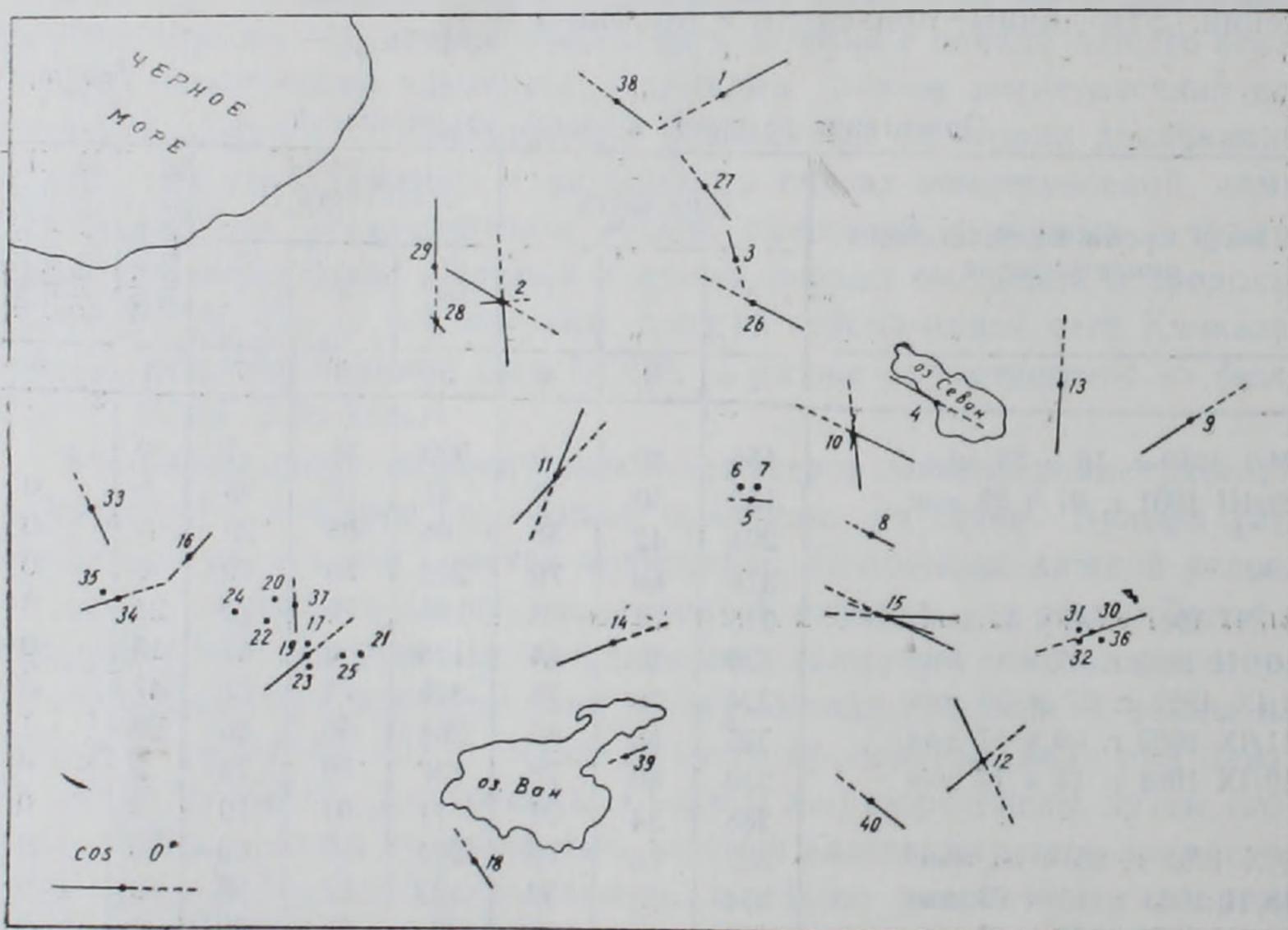


Рис. 4. Ориентация осей промежуточного напряжения.

напряжений. Оси промежуточных напряжений рассмотренных землетрясений ориентированы, в основном, в вертикальном направлении. В 27 случаях угол падения оси промежуточного напряжения превышает  $50^\circ$ .

С целью выявления связи между динамическими параметрами очагов главного толчка землетрясения и его афтершоками, исследованы механизмы очагов Игдырского землетрясения 1962 г., землетрясения в Варто 1966 г., Зангезурского и Турецкого землетрясений 1968 г. Как

следует из таблиц 1 и 2, для рассмотренных четырех землетрясений абсолютной идентичности в расположении нодальных плоскостей и осей напряжений в очагах главного толчка землетрясения и его основных афтершоков не наблюдается.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии  
АН Армянской ССР

Поступила 15.IX.1976.

Ն. Կ. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԵՐԿՐԱՇԱՐԺԵՐԻ ՕՋԱԽՆԵՐԻ ԼԱՐՎԱԾ ՎԻՃԱԿԸ ԵՎ  
ՆՐԱՆՑ ԱՌԱՋԱՑՄԱՆ ՄԵԽԱՆԻԶՄԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում բերվում են Հայկական լեռնաշխարհի տարածքում 1959—1970 թ.թ. տեղի ունեցած 40 ուժեղ երկրաշարժերի օջախների մեխանիզմի ուսումնասիրության արդյունքները:

Տվյալներ են ստացված խզումների երկու հնարավոր հարթությունների կողմնորոշման և այդ հարթություններում շարժման ուղղության վերաբերյալ:

Հետազոտվող տարածքի համար որոշված է երկրաշարժերի օջախներում գլխավոր լարվածության առանցքների ուղղությունը:

Բացահայտված է երկրաշարժի ժամանակ օջախներում գլխավոր հարվածի և նրա աֆտերշոկների լարված վիճակների կապը:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Введенская А. В. Определение полей смещений при землетрясениях с помощью теории дислокаций. Известия АН СССР, сер. геофиз., № 3, 1956.
2. Введенская А. В. О применении сетки Вульфа при определении динамических параметров очагов землетрясений. Труды Геофиз. ин-та АН СССР, № 20, 1957.
3. Введенская А. В. Исследование напряжений и разрывов в очагах землетрясений при помощи теории дислокаций. «Наука», М., 1969.
4. Гоцадзе О. Д., Кейлис-Борок В. И. и др. Исследование механизма землетрясений. Труды Геофиз. ин-та АН СССР, № 40, 1957.