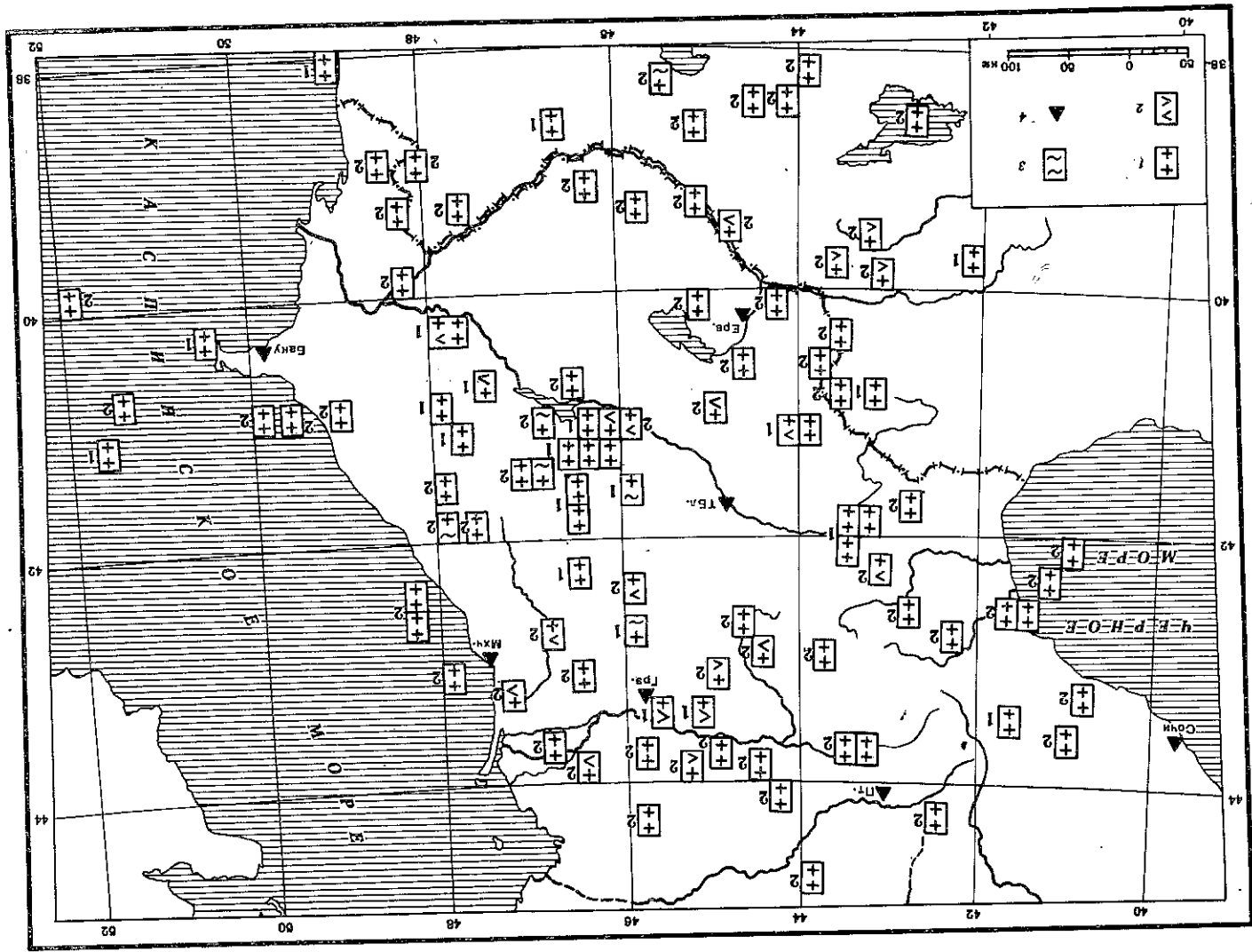


Рис. 11. Карта областей аномальной высокой сейсмической активности

Цифры у квартертиков означают: 1 — аномалия связанная, 2 — аномалия, не связанная с землетрясениями, с $K \geq 11$ за 1980—1982 гг. 1 — аномалия по количеству землетрясений N (верхний знак) и по суммарной энергии землетрясений E (нижний знак); 2 — параметр N или E больше или меньше N/E , но не выходящий за $N + 3\sigma_N$ и $E + 3\sigma_E$; 3 — параметры N, E сохраняют значения, близкие к N, E ; 4 — сейсмическая станция



ЛИТЕРАТУРА

1. Палашивили В.Г. Землетрясения Кавказа. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1980 году. М.: Наука, 1983, с. 19—29.
2. Левцик А.А., Лебедева Т.М. Годограф сейсмических волн на Кавказе. — Кварт. сейсм. бюл., Тбилиси, 1953, т. 11, № 1/4, с. 51—60.
3. Цикава А.Д. Сейсмичность Джавадского (Ахалкалакского) нагорья и прилегающих районов. — Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1957, т. 16, с. 177—219.
4. Мурушидзе Г.Я. Строение земной коры и верхней мантии в Грузии и сопредельных районах по сейсморазведочным данным. Тбилиси: Мецниереба, 1976. 168 с.
5. Соловьева О.И., Агаарова Э.Б., Гедакян Э.Г. и др. Калибровочные функции для определения магнитуды по короткопериодной волне P на эпицентральных расстояниях 300 км землетрясений Кавказа. — В кн.: Интерпретация сейсмических наблюдений. М.: Радио, 1983, с. 65—72.
6. Востриков Г.А., Малевская О.А., Шабалин Н.В. Энергетическая (магнитудная) классификация землетрясений. — В кн.: Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. М.: Наука, 1980, с. 92—97.
7. Желанкина Т.С., Кейлис-Борок В.И., Писаренко В.Ф. и др. Определение механизма землетрясений на цифровой ЭВМ. — В кн.: Алгоритмы интерпретации сейсмических данных. М.: Наука, 1971, с. 3—27. (Вып. 5). (Вып. 5).
8. Гасанов А.Г., Голь Э.К. Зардобское землетрясение в январе 1982 г. — В кн.: Каталог землетрясений Азербайджана. Баку, 1982, с. 16—19.
9. Габриелян А.А., Саркисян О.А., Симолян Г.П. Сейсмологическая Армянской ССР. Ереван: Изд-во Ереван. ун-та, 1981. 282 с.
10. Адамян А.И. Мегринская группа интрузивов. — В кн.: Геология СССР: Армянская ССР. М.: Недра, 1970, т. 43, с. 323—332.
11. Гасанов А.Г., Голь Э.К., Кулиев Ф.Т. и др. Куткашенское землетрясение в апреле—мае 1982 г. — В кн.: Каталог землетрясений Азербайджана. Баку, 1982, с. 16—18.
12. Гасанов А.Г., Голь Э.К., Агаарова Э.Б. и др. Макросейсмический эффект Джейранчельского землетрясения 03.05.82 г. на территории Азербайджана. — В кн.: Каталог землетрясений Азербайджана. Баку, 1982, с. 13—15.
13. Ризиченко Ю.В. Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности. — Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1964, № 7, с. 969—977.
14. Арапович З.И., Ахалбадашвили А.М., Гоцадзе О.Д. и др. Методика расчета эффективности сети региональных сейсмических станций на примере Кавказа. — В кн.: Вопросы оптимизации и автоматизации сейсмических наблюдений. Тбилиси: Мецниереба, 1977, с. 27—57.

УДК 550.348.436 (235.132)

Г.Л. Голинский, А.Р. Рахимов, Т.А. Аннаоразова,
Н.П. Смирнова

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ КОПЕТДАГА

Сейсмичность Копетдагского региона, в который включена вся территория Туркменистана, а также северные районы Ирана и Афганистана, в 1982 г. изучалась региональной сетью, состоявшей из 17 сейсмических станций. Регистрацию землетрясений отдельных районов Копетдага обеспечивали следующие станции: Западной Туркмении — Красноводск, Небит-Даг и Чаглы (рис. 1); юго-западной Туркмении и прилегающих провинций Северного Ирана — Кара-Кала, Кизыл-Арек и Кизыл-Арваг; восточной части Копетдага, северо-запада Афганистана и северо-востока Ирана — Каунут, Серахс и Чарджуу. Апхабадский район, составляющий основу геодинамического полигона по изучению предвестников землетрясений, контролировали восемь станций: Апхабад, Ванновская, Маныш, Гяурс, Овадан-Теле, Гермаб, Гаудан, Серный, а также

Таблица 1
Число и энергия землетрясений Копетдагского региона за 1974–1982 гг. ($K \geq 8,5$)

Год	Энергетический класс K														Всего за год	$\Sigma E, 10^{13}$ Дж
	9	10	11	12	13	14										
1974	172	87	31	5	2	0									297	2,9
1975	136	63	15	5	0	0									219	0,7
1976	168	74	25	9	5	0									281	6,2
1977	193	67	18	11	2	0									291	3,4
1978	224	64	16	4	3	1									312	13,6
1979	152	73	25	8	4	0									262	5,1
1980	201	74	24	6	1	0									306	1,9
1981	172	70	24	5	2	0									273	2,8
Среднее за 8 лет	154,8	63,6	22,2	6,6	2,4	0,12									280	4,6
1982	201	69	21	7	0	0									298	1,1

Классификация землетрясений по энергетическим классам в этом году приведена ниже:

K	3–8	9	10	11	12
Число землетрясе-ний	2391	201	69	21	7

Такая же ситуация наблюдалась в 1975 г. При этом даже ощутимые землетрясения, возникшие в феврале вблизи Ашхабада и в Западной Туркмении, не превысили энергетического класса $K = 12$.

Из общего сейсмического фона Копетдага следует выделить несколько землетрясений с $K = 12$ на территории Северного Ирана: 9 января и 15 мая в районе г. Бехшехр; 11 января – восточнее г. Гомбеле-Кабу, сопровождавшихся почти в течение всего года довольно сильными ($K \geq 10$) афтершоками; 28 марта в районе иранского города Кушан, очаг которого расположен в зоне, известной разрушительными землетрясениями 1893 и 1895 гг. [3, 4].

14 декабря произошло последнее из землетрясений года с $K = 12$. Его очаг расположен на территории Западной Туркмении, в 50 км к северо-востоку от Небит-Дага, вблизи севербалханской антиклинальной складки эпипалеозойской области Туранской плиты. Глубина очага по макросейсмическим данным составляет 20 км. По сообщению сейсмокорреспондентов и заведующего сейсмостанцией Небит-Даг К. Байрамова, землетрясение ощущалось в городе силой 4–5 баллов. За 8 ч до основного толчка возникло два форшока с $K \geq 7$, а в течение следующих дней произошло несколько афтершоков с такой же энергией.

Второе ощутимое землетрясение, проявившееся в пределах Туркмении, зарегистрировано 15 октября в Кара-Калинском районе Красноводской области. Его энергия $K = 11,5$ ($M_{PVA} = 5,4$), а эпицентр располагался в 30 км южнее районного центра Кара-Кала, в хр. Монжузлы.

По данным заведующего сейсмостанцией Кара-Кала А. Кулиева, сейсмокорреспондентов и частного опроса, проведенного Г.Л. Голиским, в селениях Кызыл-Имам и Дардали ($\Delta = 8 \div 10$ км) землетрясение сопровождалось подземным гулом. В одноэтажных домах со стенами из сырцового кирпича, возведенных на фундаменте (тип А₂), и со стенами из жженого кирпича (тип Б) образовались повреждения в шпугатурке и тонкие трещины в перегородках ($d = 1$). Жители слышали сильный скрип полов, потолок, тяжелой мебели. Дребезжали посуда и стекла окон ($p = 1$). Многие, сильно испугавшись, выбегали из домов ($l = 3$). На столе и на полках падали неустойчивые (незакрепленные) предметы ($p = 1,6$). Интенсивность землетрясения в этих селениях

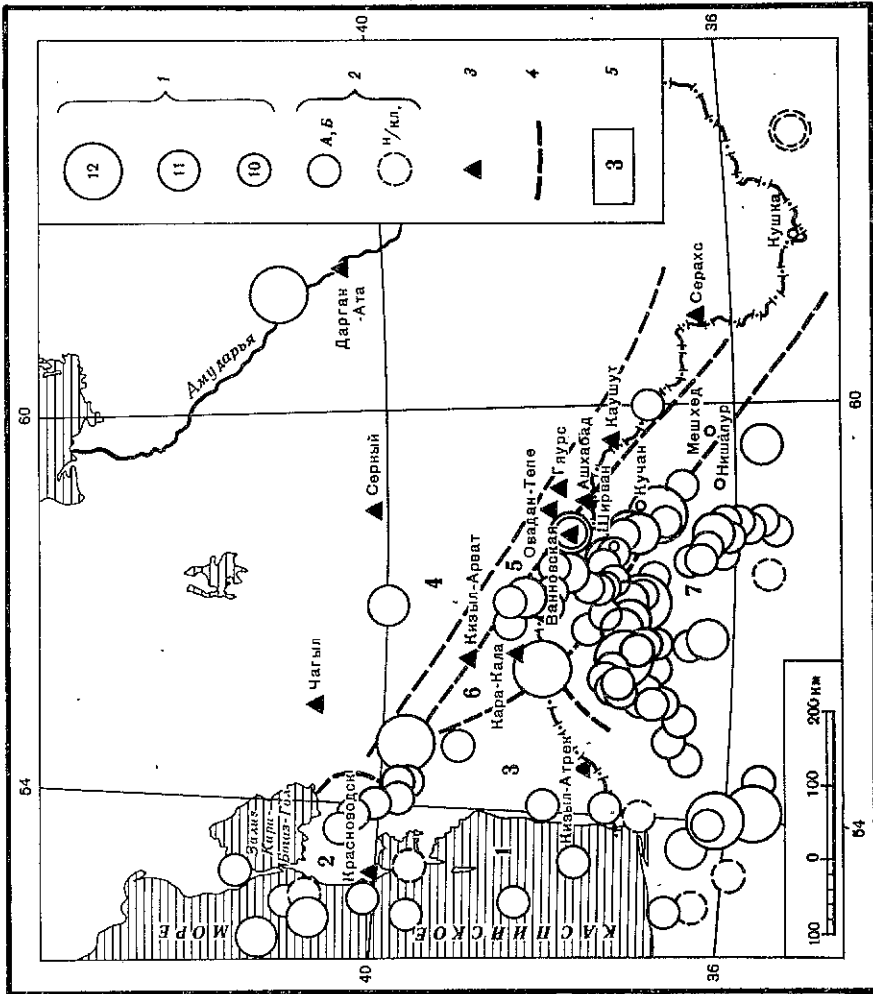


Рис. 1. Карта эпицентров сильных землетрясений Копетдага с $K \geq 10$
1 – энергетический класс K ; 2 – точность определения эпицентра; 3 – сейсмическая станция;
4 – граница сейсмического района; 5 – номер района

десять сейсмостанций "Земля" Управления геологии ТССР. Эта густая сеть станций обеспечила высокую точность определения основных параметров слабых землетрясений Ашхабадского района, регистрируя толчки с энергетическим классом $K \geq 3$ на площади порядка 100 км².

Определение параметров землетрясений региона проводилось стандартными методами. Магнитуда землетрясений M_{PVA} определялась с использованием региональной калибровочной кривой и номограммы [1]. В 1982 г. впервые в сейсмологическую практику Туркмении внедрена методика определения глубины очагов землетрясений по инструментальным данным с помощью регионального годографа Копетдага [2].

1982 г. отличается большим числом сейсмических событий, зарегистрированных в Копетдагском регионе: 2689 землетрясений с $K = 2 \div 12$. Такого количества подземных толчков региональная сеть станций Туркмении не регистрировала прежде. Это произошло за счет двух сейсмических роев и большого числа афтершоков, возникших после февральских землетрясений Ашхабадского района (Багир). Вместе с тем, невзирая на рост общего числа землетрясений по сравнению с предыдущими годами, отсутствовали толчки с $K \geq 13$; в результате выделяющаяся сейсмическая энергия по региону в целом снизилась почти втрое по отношению к предыдущему 1981 г. (табл. 1).

Макросейсмические данные о Багирском землетрясении 25 февраля

№ п/п	Пункт	Δ, км	№ п/п	Пункт	Δ, км
1	Багир	2	26	Бабаараб	18
	5-6 баллов		27	Узынджа	20
	4-5 баллов		28	Келеджар	20
2	Пос. им. Андреева	5	29	Хурмантеокча	21
3	Акдесе	5	30	Шоркала	22
4	Геокча	9	31	Овадан-Теле	22
5	Билрава	9	32	Изгант	25
6	Янбаш	10	33	Чеэк	25
7	Ерриккала	10	34	Ст. Аннау	30
8	Кеши	12	35	Янгикала	30
9	Ашхабад	17	36	Аннау	34
10	Беразени	18	37	Курутаудан	46
	4 балла			2-3 балла	
11	Алибек	8	38	Туранкули	27
12	Кипчак	9	39	Оньялды	37
13	Ванковский	10	40	Калинский	37
14	Ясмансалык	10	41	Пункт № 2	46
15	Безмени	12	42	Маньш	48
16	Невтонский	14	43	Шамли	55
17	Карадамак	19		2 балла	
	3-4 балла				
18	Фарюза	16	44	Колхоз им. Ленина	33
19	Чули	17	45	Ж.-д. ст. Гяурс	54
20	Сарыкель	17		Не ощущалось	
21	Чотанли	20	46	Сейсмостанция Гяурс	55
22	Пункт № 1	20	47	Гяурс	55
23	Гяями	25	48	Пункт № 3	70
24	Первомайский	27			
25	Геок-Теле	31			

Для землетрясения 21 февраля определены механизм очага и его параметры. В очаге землетрясения оси сжатия имели характерное для Колетдагского региона меридиональное и субгоризонтальное простирания [7]. Ориентация обеих плоскостей близка к широтной, в движении по плоскостям преобладает надвигообразованная компонента. При движении по пологой плоскости выделяется большая составляющая правостороннего сдвига.

Землетрясения 21 и 25 февраля различаются по частотному составу. Для спектра землетрясения 21 февраля характерна переходная зона между высокочастотным склоном и плоской частью спектра (тип II по классификации Т.Г. Раутиан [8]). Крутизна склона в промежуточной части спектра равна 0,8. Спад амплитуды в высокочастотной фазе — квадратичный. Промежуточная зона находится в пределах от 0,7 до 5 с, что характеризует длительность процесса в очаге (см. рис. 3).

С целью определения геометрических размеров очага использована модель Бруна [9], по которой средний радиус R эквивалентной по площади круговой дислокации в очаге оказался равным 1,8 км. Расчет этой величины, по Ризниченко [10], дает значение этого же порядка (1,3 км).

Сейсмический момент определен из спектра землетрясения 21 февраля по [8] (при скорости поперечной волны $v = 3,2$ км/с); $M_0 (S) = 1,5 \cdot 10^{15}$ Н·м, сброшенное напряжение $\Delta\sigma = 1,1 \cdot 10^5$ Па, скачок деформации $\Delta I = 0,37 \cdot 10^{-5}$. Смещение по разрыву, определенное по [11], не превосходит 1,5 см. Аномально малое смещение по разрыву объясняется "мягким" характером очага. Величина сброшенного напряжения, по мнению Т.Г. Раутиан [12], свидетельствует о том, что очаг был втятым.

3. Зах. 2241

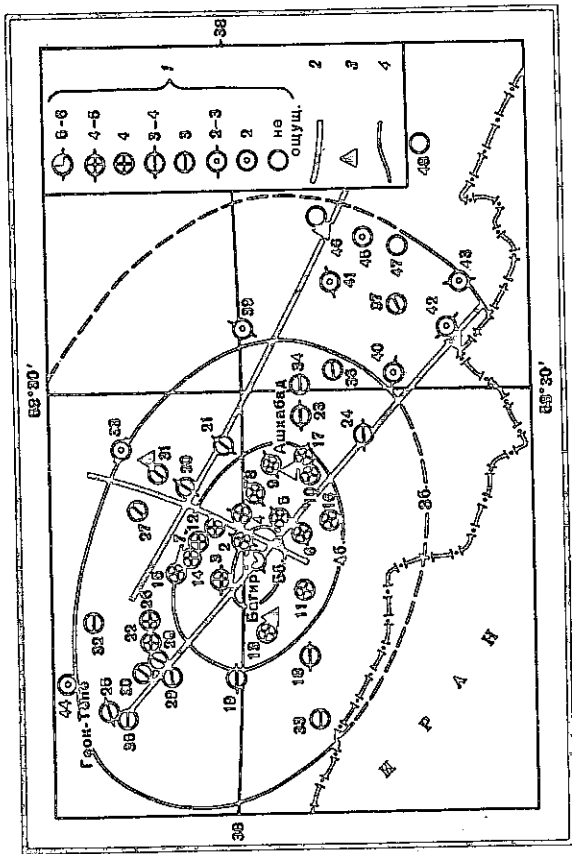


Рис. 2. Карта эпицентров Багирского землетрясения 25 февраля. Состав: Г.Л. Голинский
1 — эпицентр; 2 — разлом; 3 — сейсмическая станция; 4 — изосейста.

составляла 5-6 баллов. В других пунктах землетрясение ощущалось: в сельсовете им. Куйбышева (15 км) — 5 баллов, в Чокар-Кала и Монжулы (20 км) — 4 балла, в районном центре Кара-Кала (30 км) — 3 балла. Глубина очага, определенная по макросейсмическим данным, составляла 10 км. В течение дня многими ощущалось три-четыре повторных толчка. Всего же за первые сутки зарегистрировано 22 афтершока с $K = 6 \div 9$.

В пределах Ашхабадского района наиболее сильные землетрясения произошли 21 и 25 февраля. Оба землетрясения имели общий очаг, расположенный в 20 км юго-западнее Ашхабада, в пункте с координатами $37,90^\circ$ N и $58,13^\circ$ E. Землетрясение 21 февраля имело энергетический класс $K = 9,7$ ($M_{PVA} = 4,5$). При глубине очага, равной 10 км (по инструментальным данным), оно ощущалось в Ашхабаде интенсивностью 3 балла, а в эпицентре — 4-5 баллов.

Второе землетрясение, возникшее 25 февраля, имело энергетический класс $K = 10,8$ ($M_{PVA} = 5,0$). Очаг залегал на глубине 14-15 км по инструментальным данным (по макросейсмическим данным — 10 км). В Ашхабаде сотрясения достигли 4-5 баллов [5], а в эпицентре 5-6 баллов.

Характер проявления землетрясений в эпицентральной зоне и область их осязчивости изучались Г.Л. Голинским, А.Р. Рахимовым и Ч. Мурадовым (рис. 2, табл. 2). Предварительные результаты работы изложены в [6]. Довольно подробное макросейсмическое обследование на территории Ашхабада осуществлено также группой сотрудников лабораторий сейсмического микрозонирования и сильных движений Института сейсмологии АН ТССР под руководством Э.М. Эсенова и Д. Гаратозова [5].

С максимальной интенсивностью 5-6 баллов землетрясение ощущалось в районе сел. Багир. В Ашхабаде оба землетрясения проявились в зависимости от грунтовых условий по осредненной оценке — в 3 (21 февраля), 4-5 (25 февраля) баллов [5]. Результаты обработки макросейсмических данных: $r_6 = 5$ км, $r_4 = 15$ км, $r_5 = 31$ км, $r_2 \approx 55$ км, $h_I = 55$ км, $h_{IM} = 10$ км.

Очаги землетрясений по макросейсмическим данным располагаются в зоне пересечения Предколлетдагского разлома со второстепенным Безменинским разломом, проходящим с северо-востока — из района сел. Овадан-Теле — на юго-восток, где он пересекает территорию селений Геокча, Янбаш и Багир.

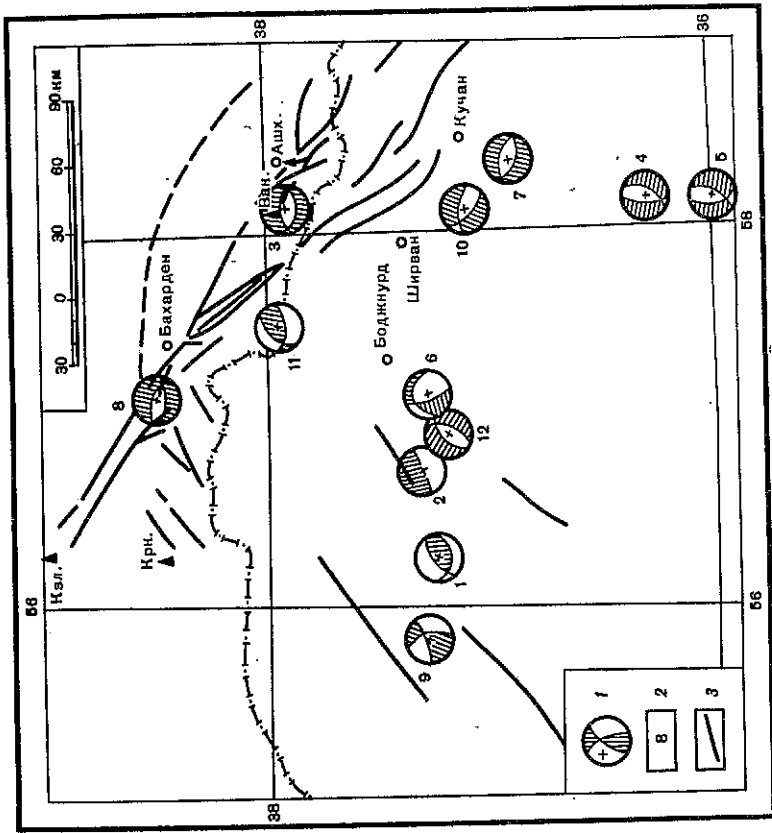


Рис. 3. Механизмы очагов землетрясений
1 — стереограмма механизма очага, заштрихована область волн сжатия; 2 — номер землетрясения по таблице, приведенной в дополнительных параметрах очагов землетрясений; 3 — разлом

После землетрясения 21 февраля произошло 60 повторных толчков с классами энергии $K = 2 \div 8$. Вслед за вторым землетрясением (25 февраля) возникло еще 180 афтершоков, из которых 22 толчка произошли в течение первых суток. В начальный период афтершоки группировались вблизи эпицентра, а затем начали "расползаться" на довольно большую площадь — от Гермаба на западе до Маньша на востоке.

В общей схеме сейсмичности можно предположить, что февральские землетрясения совместно с их афтершоками представляют в совокупности "несостоявшееся" землетрясение с более высокой энергией — порядка $K = 12 \div 13$. При этом землетрясение 21 февраля со всеми его афтершоками является, вероятно, предварающим событием к землетрясению 25 февраля. Сами же февральские толчки связаны с подвижками по существующим разрывам, о чем можно судить и по ориентации плоскостей на стереограмме механизма очага землетрясения 21 февраля.

Механизмы очагов ряда землетрясений региона показаны на рис. 3, а параметры сведены в таблицу механизмов очагов землетрясений. В приводимых стереограммах явно наблюдаются близгоризонтальная ориентация сжатия и преобладающее вертикальное растяжение, проявившееся в виде подвижек по падению плоскостей преимущественно широтного простирания. Одно из возможных положений плоскостей разрыва совпадает с простиранием разломов, пересекающих очаги.

В очаге землетрясения 13 июля преобладала составляющая подвижки по падению плоскости разрыва северо-восточного или широтного простирания. Механизм очага землетрясения 29 апреля, происшедшего восточнее районного центра Кара-Кала, представлял собой надвиг по плоскостям субширотного направления.

Характер движения в очагах землетрясений года свидетельствует о сохранении

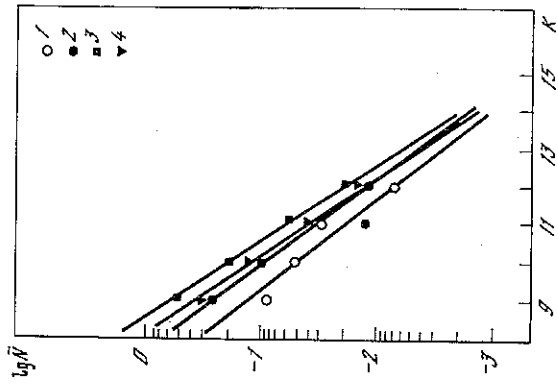


Рис. 4. Графики повторяемости землетрясений сейсмоактивных районов Копетдага
1 — Центральная Туркмения; 2 — Западная Туркмения;
3 — Северный Иран; 4 — регион в целом

основной тенденции напряженного состояния Копетдагского региона — горизонтальной ориентации сжатия.

При изучении сейсмического режима Копетдага территория Туркмении и прилегающие к ней сейсмоактивные области Северного Ирана делились на три района: Западная Туркмения, Центральная Туркмения и Северный Иран. Графики повторяемости землетрясений, выражающие важнейший закон сейсмического режима, строились раздельно для каждого района, которые отличаются как по величине занимаемой площади, так и по геологическим условиям. Для построения графиков использовался каталог землетрясений Копетдага с $K \geq 9$ (рис. 4). Из полученных расчетов видно, что значения γ в 1982 г. сравнимы с долговременными средними величинами этого параметра ($\gamma = 0,45 \pm 0,03$) [4], хотя в каждом отдельном районе угол наклона графика отличается на $0,02-0,08$ от значения γ для всего региона.

Уровень сейсмической активности каждого района и всего региона в целом характеризуется низкими значениями A_{10} : для Центральной Туркмении $A_{10} = 0,05$ (при $\gamma = 0,42$), для Западной Туркмении $A_{10} = 0,09$ ($\gamma = 0,44$); по Северному Ирану $A_{10} = 0,18$ ($\gamma = 0,48$), для Копетдага $A_{10} = 0,3$ ($\gamma = 0,5$). Понижение уровня A_{10} по сравнению с долговременной оценкой активности объясняется отсутствием землетрясений высоких энергий ($K \geq 13$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахимов А.Р., Соловьева О.Н., Арбузова Г.Н. Определение магнитуды землетрясений Туркмении на эпицентральных расстояниях до 400 км. — Изв. АН ТССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук, 1984, № 5, с. 61-65.
2. Рахимов А.Р., Славина Л.Б. Построение регионального годографа Копетдага. — Изв. АН ТССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук, 1984, № 5, с. 31-38.
3. Голицкий Г.Л., Горюкова Т.Н., Рахимов А.Р. Новый каталог сильных землетрясений Западной Туркмении. — В кн.: Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 года. М.: Наука, 1977, с. 171-197.
4. Голицкий Г.Л. Сейсмическое районирование территории Туркмении. — В кн.: Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1980, с. 147-162.
5. Гаргозов Дж., Голицкий Г.Л. Результаты макросейсмического обследования землетрясений 22 и 25 февраля 1982 г. в Ашхабаде. — Изв. АН ТССР. Сер. физ.-техн., хим. и геол. наук, 1984, № 5.
6. Голицкий Г.Л., Рахимов А.Р. Каталог землетрясений Копетдагской зоны ($K \geq 9$). — В кн.: Землетрясения Средней Азии и Казахстана, 1982. Душанбе: Дониш, 1984, с. 627-674.
7. Аннорозова Т.А. Механизм очагов землетрясений и напряженное состояние Иранской плиты. — Изв. АН СССР. Физика Земли, 1982, № 8, с. 20-28.
8. Мартынов В.Г., Молнар П., Раутиан Т.Г. и др. Предварительные результаты исследования спектров землетрясений Гармского района в свете проблемы прогноза сильных землетрясений. — В кн.: Сборник советско-американских работ по прогнозу землетрясений. Душанбе: Дониш, 1976, т. 1, кн. 1, с. 96-139.
9. Вилле J.N. Tectonic stress and spectra of seismic waves from earthquakes. — J. Geophys. Res., 1970, vol. 75, N 26, p. 4997-5009.
10. Ризниченко Ю.В. Размеры очага корового землетрясения. — В кн.: Исследования по физике очага. М.: Наука, 1976, с. 9-27.
11. Аки К., Вайчтон В., Шонет В., Das Sh. Quantitative prediction of strong motion from a potential earthquake fault, 1977, p. 67-72. Prepr.
12. Халугури В.И., Раутиан Т.Г. Очаговые спектры и параметры землетрясений Средней Азии. — В кн.: Землетрясения в СССР в 1979 году. М.: Наука, 1982, с. 95-103.