

Рис. 13. Схема вертикальных деформаций земной коры и очаговой области афтершоков
1, 2 — региональная и эпицентральная сейсмические станции; 3 — изолиния вертикальных деформаций; 4 — контур очаговой области афтершоков

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрушевский Б.А. Некоторые уроки Кызылкумских землетрясений // Бюл. МОИП. Сер. геол. 1977. Т. 52, вып. 4. С. 5-14.
2. Корешков М.И., Пискулин В.А., Райzman В.П. Геодезические измерения земной коры в эпицентральной зоне // Газлийские землетрясения 1976 г. М.: Наука, 1984. С. 88-94.
3. Яковлева И.Б., Яковлев В.И. Сейсмичность Кызылкумов и некоторые представления о формировании очаговой области газлийских землетрясений 1976 г. // Сейсмические исследования в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1979. С. 75-91.
4. Землетрясения в СССР в 1976 году. М.: Наука, 1980. С. 152-184.
5. Землетрясения в СССР в 1977 году. М.: Наука, 1981. С. 169-194.
6. Землетрясения в СССР в 1978 г. М.: Наука, 1982. С. 123-154.
7. Рзыниченко Ю.В. Метод суммирования землетрясений для изучения сейсмической активности // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1964. № 7. С. 969-977.
8. Lee W.H.K., Lahr J.C. NYUO-71: Computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. Open Report US Geological Survey, 1970.
9. Суrow В.П. Алгоритм параметризации очагов землетрясений, используемый в Узбекистане // Сейсмологические исследования в Узбекистане. Ташкент: Фан, 1984. С. 126-135.
10. Газлийские землетрясения в 1976 году: Сборник. М.: Наука, 1984. 199 с.
11. Балакина Л.М., Введенская А.В., Голубева Н.В. и др. Поле упругих напряжений Земли и механизм очагов землетрясений. М.: Наука, 1972. 199 с. (Сейсмология; № 8).
12. Безродный Е.М., Туйчиев Х.А. Механизм Газлийского землетрясения 19 марта 1984 г. по сейсмологическим данным // Докл. АН УзССР. Ташкент, 1985. № 5. С. 44.

13. СНИП-П-7-И. Строительство в сейсмических районах М.: Стройиздат, 1982. 49 с.
14. Афанасьев И.В., Касымов С.М., Джуралев А. и др. Макросейсмические данные газлийских землетрясений // Землетрясения в СССР в 1977 году. М.: Наука, 1981. С. 47-67.
15. Utsu T., Seku Q. Relation between the area of aftershock region and of the main shock. Zisin 7, vol. 1. Soc. Jap. Ser. 2. 1955. Vol. 7. P. 233.

УДК 550.348.436

И.В. Горбунова, Г.А. Ружанская

Сложные разрывы в очагах газлийских землетрясений по наблюдениям в телесеismicической и ближней зонах

Для сейсмологов газлийские землетрясения были очень неожиданными событиями, и уже многие результаты всестороннего изучения этих землетрясений опубликованы (см. [1-7] и др.). В настоящей статье на основе применения новой методики по интерпретации сейсмограмм [8-11] были выявлены сложные разрывы в очагах газлийских землетрясений. Интерпретация проводилась по совокупности данных о временах пробега идентифицированных волн на телесеismicических станциях, расположенных в разных азимутах от эпицентров. Линии выявленных разрывов подтвердились преимущественно-временным распределением афтершоков, гипоцентры которых были получены по наблюдениям в ближней зоне [4]. Основные параметры этих землетрясений приведены в табл. 1.

Анализу разрывных нарушений горизонтального простирания первого из них была посвящена статья [11], в которой на основе волновой картины были получены предварительная схема разрывов и показана направленность процесса, однако не были приведены результаты сопоставления выявленных разрывов с распределением афтершоков. Это снижало степень доверия к новому методическому подходу при господствующем мнении, что очаговый процесс по телесеismicическим наблюдениям анализировать невозможно. В настоящей статье этот пробел восполняется, и, кроме того, анализ по той же методике двух последующих сильных землетрясений, происшедших спустя 1 мес и 8 лет, позволил интерпретировать эти землетрясения как единый очаговый процесс, растянутый во времени. Такая интерпретация проводится впервые; со многими результатами, опубликованными ранее, полученные данные совпадают, что-то остается новым.

Методика. Использовались записи Р-волн на сейсмических станциях, достаточно хорошо окружающих очаг, т.е. образующих азимутальную систему наблюдений. Все наблюдаемые за первым вступлением волны и интерпретируемые с позиции точечно-

Таблица 1

Основные параметры газлийских землетрясений

№ землетрясения	Дата	Время, ч мин с	Координаты		Н, км	М
			φN	λE		
1	08.04.76	02 40 24,5	40°21'	63°45'	30	7,0
2	17.05.76	02 58 41,0	40 24	63 28	25-30	7,2
3	19.03.84	20 28 37,6	40 23	63 22	15	7,2

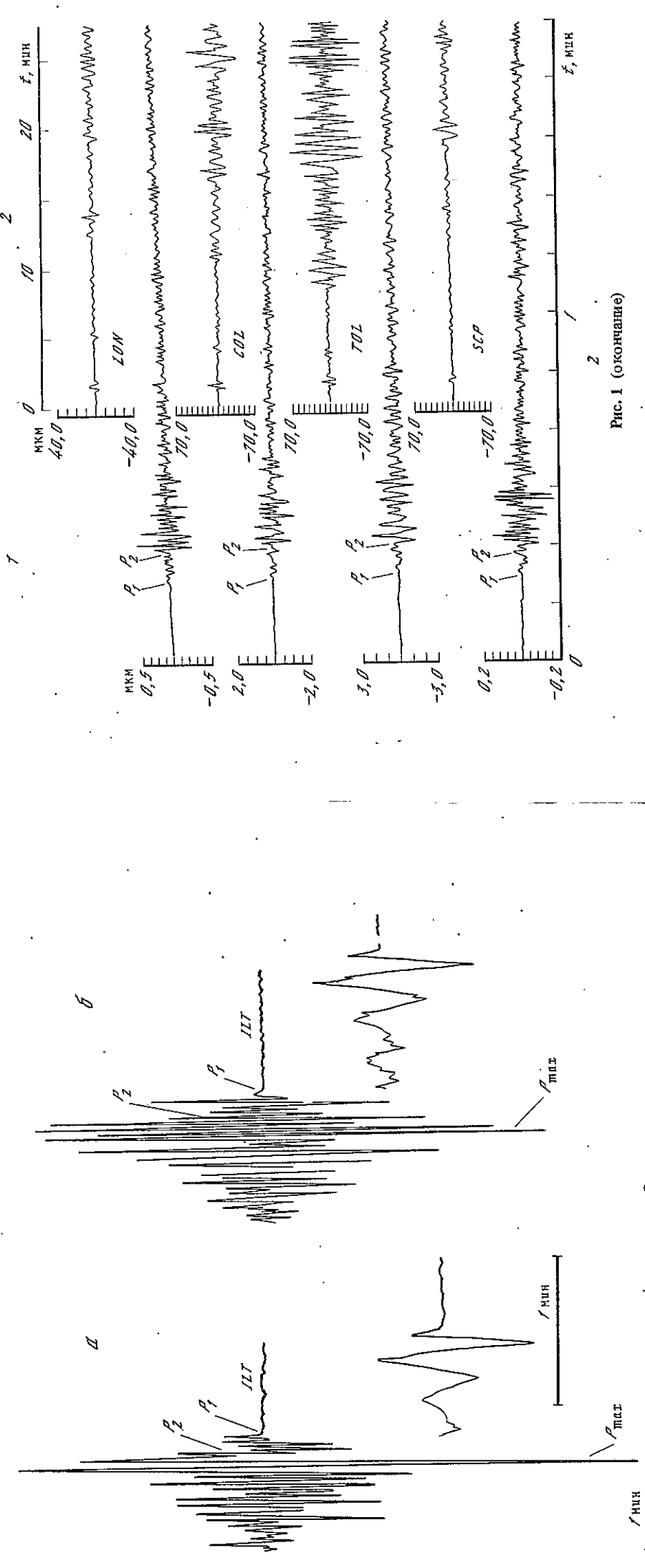


Рис. 1. Примеры записей трех землетрясений короткопериодной, тип А (1) и длиннопериодной, тип С (2) аппаратурой в аналоговом виде
 а - 8 апреля 1976 г.; б - 17 мая 1976 г.; в - 19 марта 1984 г.; г - запись землетрясения 19 марта 1984 г. станциями мировой сети с цифровой регистрацией. Названия станций даны в международном коде

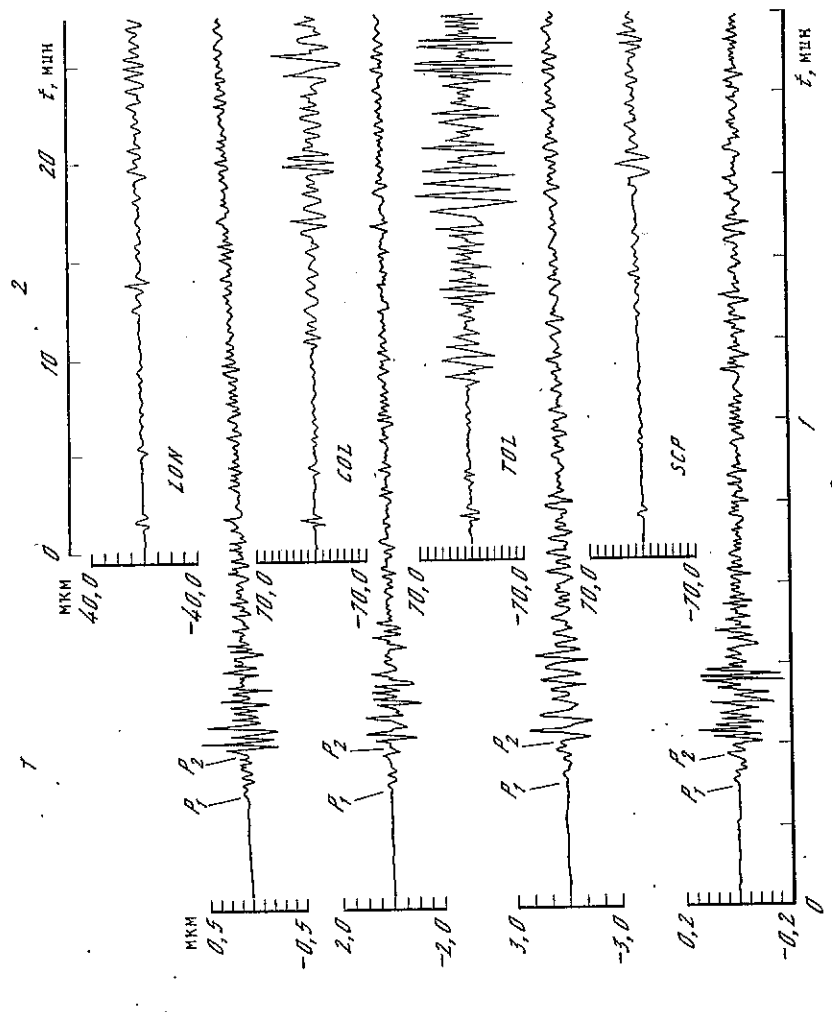


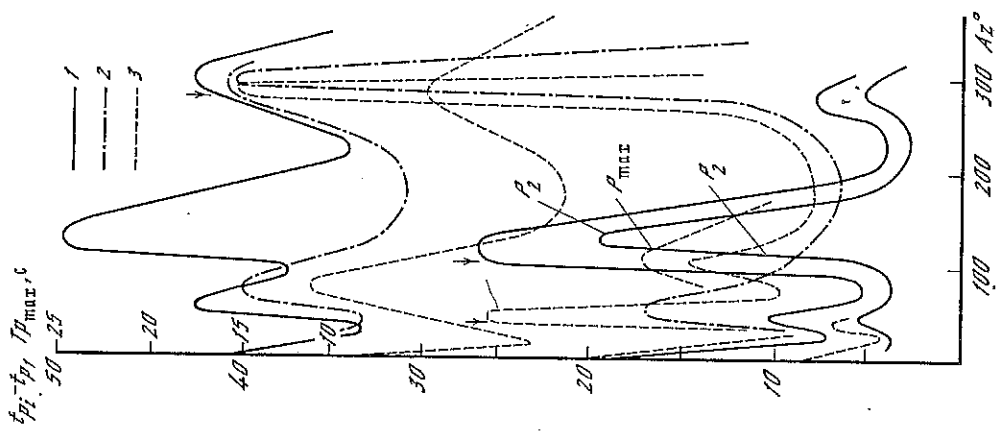
Рис. 1 (окончание)

го источника как отраженные pR , обменно-отраженные sR от земной поверхности или отраженные от земного ядра R_sR и др. подвергались анализу с целью выделения из них очаговых волн, образующихся в результате вспарывания разрыва. Разделение их проводилось на основе азимутальной характеристической группы.

Важной кинематической характеристикой в этой методике является величина τ - время нарастания максимума в группе R -волн - от начала вступления их до максимальной фазы R_{max} . Нарастание максимума может выражаться последовательностью волновых групп, возрастающих по интенсивности и образующихся в процессе дискретного вспарывания разрыва. Все наблюдаемые волновые группы идентифицируются по величине $(A/T)_i$ или по коэффициенту K [1, 2].

Времена пробега всех отмеченных волн между первым вступлением и максимальной фазой приводятся к одному эпикентральному расстоянию, и строятся азимутальный годограф $t_{P_i} = f(Az, \Delta = \text{const}) + f_k$, где f_k - невязка, равная разности между временем наблюдением и вычисленным по годографу Джеффриса-Буллена на данном эпикентральном расстоянии. Если нет сомнения в потере первых вступлений, то для построения его можно использовать разности $P_i - P_1 = (i = 1, 2, \dots, \text{max})$. По форме азимутального годографа можно судить о природе волны: прямолинейный и параллельный оси абсцисс азимутальный годограф будет указывать на то, что зарегистрирована вторичная волна (может быть, pR , sR или R_sR и др.). Криволинейная колоколообразная форма азимутального годографа, сильно вытянутая в азимуте разрыва, показывает, что зарегистрирована очаговая волна, образовавшаяся от новой точки возмущения при распространении разрыва в неоднородной среде. На основе азиму-

Рис. 2. Азимутальные годографы волн P_2 и P_{\max} для землетрясений 8 апреля 1976 г. (1), 17 мая 1976 г. (2) и 19 марта 1984 г. (3)



тального годографа, т.е. на основе времен записывания волн в различных азимутах, была проведена оценка протяженности разрыва, направления его и скорости вспарывания. Интерпретация волн проводилась на основе микрофильмов сейсмограмм мировой сети станций. Для землетрясения 19 марта 1984 г. использовались записи 12 (коротко- и длиннопериодных) цифровых станций мировой сети из каталога национального информационного центра США [12], сети сейсмических станций СССР [13], материалы предварительного бюллетеня США (PDE) [14], Бюллетеня международного сейсмологического центра (ISC) [15], данные об афтершоках — из работы [4] и предварительного отчета, составленного эпитентраль-ной экспедицией под руководством Н.В. Шелкина (Фонды ИФЗ АН СССР).

Анализ сейсмограмм. В начальной части записи землетрясений в Газли коротко- и среднeperиодной аппаратурой отчетливо выделялись две волновые группы, при этом форма записи всех трех землетрясений оказалась очень похожей (рис. 1). Аппаратура типа СКД и Пресса-Юинга ($T_g = 15$ с, $T_s = 100$ с) были зарегистрированы одиночные импульсы с периодами от 10 до 20 с, а длиннопериодной — с цифровой регистрацией от 19 до 37 с. Кинематические параметры — времена вступления волн — снимались коротко- и среднeperиодной аппаратурой, динамические параметры — периоды волн — длиннопериодной. Методика заключалась в идентификации вступления волн, расположенных в разных азимутах от эпицентра, для построения на их основе азимутального годографа для всех трех землетрясений. Но в данном случае интерпретация этих волн не вызвала сомнений, так как всего были две четко разделяемые волновые группы, поэтому вычислялись разности вступления волн $P_2 - P_1$.

Анализ опубликованных данных. В сейсмологических бюллетенях ЕССН отмечаются вступления волн P , причем и в более поздние моменты времени от начала процесса. Кроме того, введено в практику сейсмологической обработки время нарастания максимума в группе P -волн — P_{\max} . Это время использовалось нами, если не было в наличии сейсмограммы. Из бюллетеней PDE и ISC выбирались вторые четкие вступления. При этом интерпретация этих волн (P или sP) не учитывалась, так как она была проведена на основе методики, принимающей во внимание точечный очаг с мгновенным действием источника. В нашем случае рассматривается протяженный очаг с учетом излучения сейсмических волн при вспарывании разрыва. Все разности $P_2 - P_1$ из бюллетеней и сейсмограмм для трех землетрясений были нанесены на график в функции азимута (рис. 2).

Анализ афтершоковых последовательностей. Афтершоковые последовательности

взяты только с $M = 4$ ($E \cdot 10^{11}$ Дж), так как в некоторых работах отмечалось, что сильные землетрясения более тесно связаны с зонами разломов. Афтершоковые последовательности просматривались в пространстве и во времени. Афтершоки с $K = 10$ наносились только там, где они имели самостоятельное значение.

Обсуждение результатов. Для всех трех землетрясений азимутальные годографы по данным о временах вступления второй волны (P_2) из бюллетеней и сейсмограмм состоят из нескольких всплесков; два из них, имеющие вид колоколов в узких азимутальных створах, разнесены на 180° . Такая форма азимутальных годографов свидетельствует о том, что эта волна не может быть проинтерпретирована как отраженная sP [16] или обменно-отраженная sP , потому что в этом случае их азимутальный годограф должен быть прямолинейным и параллельным оси азимутов. Полученная форма азимутальных годографов указывает на очаговое происхождение этой волны, связанное с распространяющимся разрывом, при этом наблюдаемое запаздывание времени вступления волн P_2 в двух азимутах, разнесенных на 180° , показывает, что разрыв был билатеральным. Такой процесс отмечается для всех трех землетрясений и относится к основному магистральному разрыву северо-западного простирания в азимуте $270^\circ - 290^\circ$, по которому шло основное развитие процесса для всех трех землетрясений. При землетрясении 8 апреля это направление хорошо выявляется по афтершокам. Наблюдавшееся некоторое подрастание разрыва в азимуте 110° было значительно меньше разрыва северо-западного направления.

Разрывы меридионального и диагонального направлений, выделенные по азимутальным годографам, афтершоками слабо трассировались, хотя афтершоковая деятельность после землетрясения 8 апреля блокировалась серией разрывов диагонального ($40^\circ - 50^\circ$) и меридионального ($0^\circ - 10^\circ$) направлений (рис. 3, а), пересечение которых

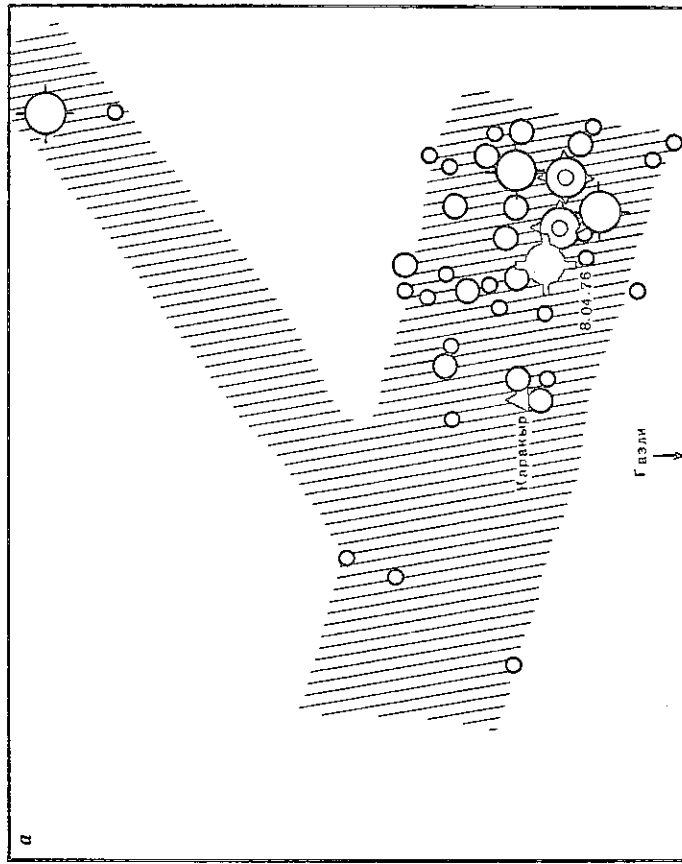


Рис. 3. Пространственно-временное распределение афтершоковых последовательностей за разные периоды наблюдений для землетрясений

а — 8 апреля 1976 г.; б — 17-18 мая 1976 г.; в — 19 мая — 4 июня 1976 г.; г — 19 марта 1984 г.; д — 19-26 марта 1984 г.; е — 26 марта — 4 июля 1984 г.; ж — 26 марта 1984 г.; з — 30 марта 1984 г. — митрация афтершоков во времени после землетрясения с $K = 13$. 1 — энергетический класс K ; 2 — сейсмическая станция; 3 — центральная часть разрывной зоны; 4 — зона разрыва; 5 — глубина очага, км

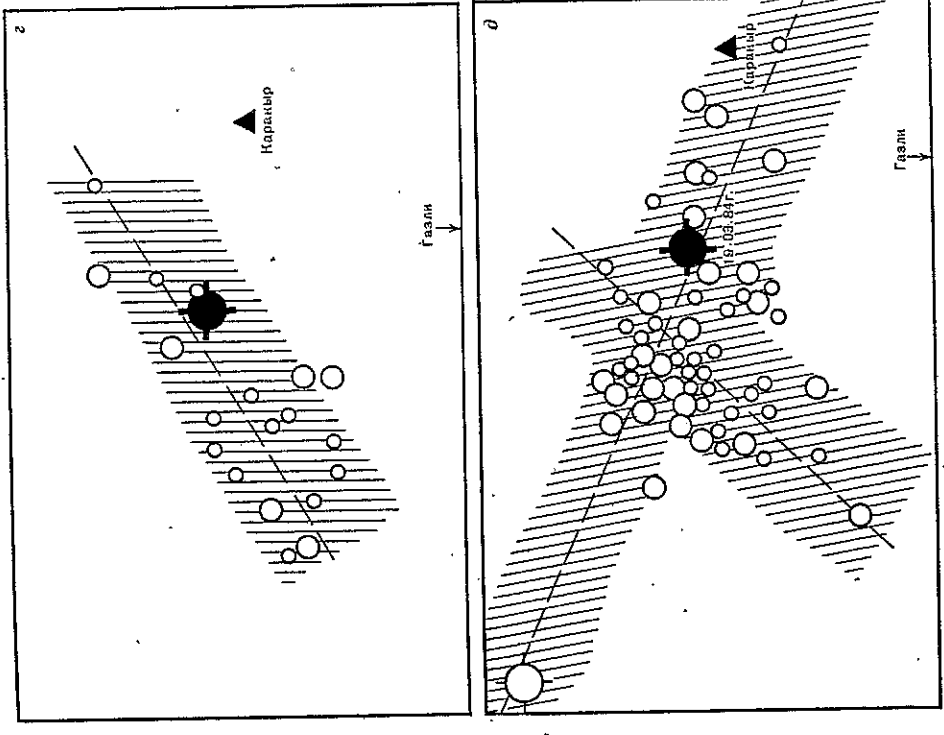


Рис. 3 (продолжение)

с основным разломом северо-западного простирания сформировало зону землетрясения 17 мая. Это место фиксировалось гипоцентром ($\varphi = 40, 35' N, \lambda = 63, 65' E$), определенным по волнам P_2 , и отчетливо афтершоками землетрясения 17 мая. Но при всем этом главным и при землетрясении 17 мая был магистральный разрыв северо-западного простирания. Именно вдоль этого разрыва развивался основной процесс в юго-восточном направлении, и длина его восточной части оказалась несколько больше, чем при землетрясении 8 апреля, так как развитие его происходило по уже частично подготовленному разрыву. Афтершоковая деятельность после землетрясения 17 мая в течение первых двух дней была активной только вдоль этого разлома северо-западного направления (рис. 3, б). Начиная с 19 мая стали активизироваться разрывы диагонального и меридионального направлений (рис. 3, в).

В конце афтершокового периода, приблизительно с 21 мая, афтершоки землетрясения 17 мая стали формировать на западе афтершоковой области, имеющей северо-западное направление, разрывную зону почти меридионального направления. Именно в этой зоне, на пересечении разрывов субмеридионального, диагонального и северо-западного направлений, произошло землетрясение 19 марта 1984 г.

При землетрясении 8 апреля 1976 г. малым числом афтершоков характеризуется на северо-востоке разрыв диагонального направления. Но можно предположить, что именно на его продолжении и пересечении с основным разломом северо-западного простирания

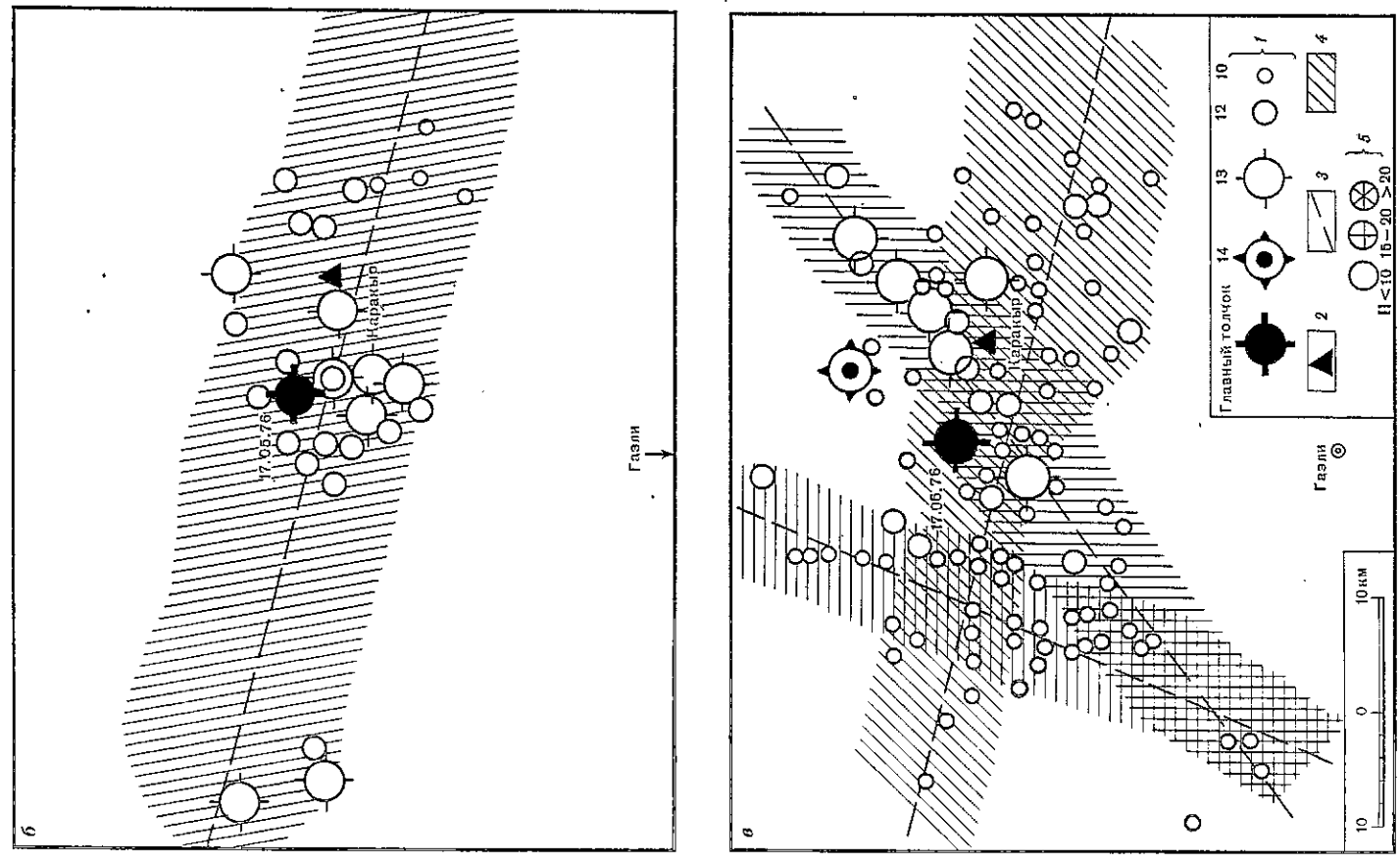


Рис. 3 (продолжение)



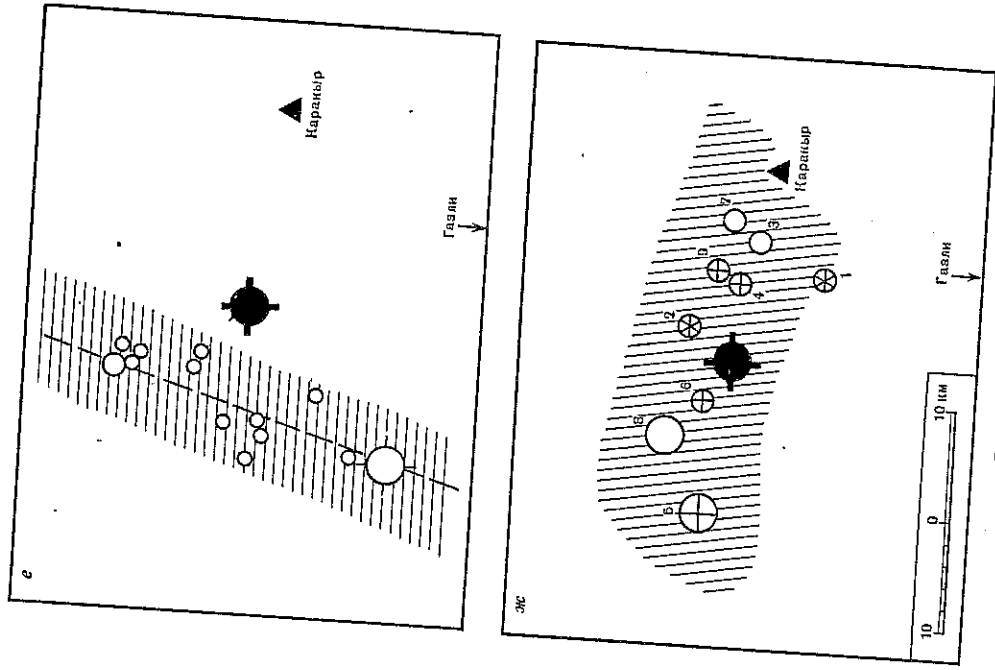


Рис. 3 (окончание)

рання произошло третье Газлийское землетрясение 8 марта 1984 г. Однако основной сдвиг при этом землетрясении произошел также по разлому северо-западного направления. Процесс распространения произошел также по разлому северо-западного направления. Процесс распространения произошел также по разлому северо-западного направления. Процесс распространения произошел также по разлому северо-западного направления.

В первые дни после землетрясения 19 марта афтершоковая активность стала развиваться вдоль разлома северо-восточного простирания (рис. 3, e), но уже с 26 марта афтершоковая активность уже развивалась сразу в двух разрывных зонах (рис. 3, d). На рис. 3, e, ж показаны короткие временные интервалы, когда миграция довольно сильных землетрясений, например с $K \sim 11$, 26 марта (с 0 ч по 22 ч) отмечена только в северо-западном направлении, а 30 марта после землетрясения с $K = 13$ в 14 ч афтершоки мигрировали только в субмеридиальном направлении. Общая картина наблюдений разрывных зон трех газлийских землетрясений показана на рис. 4. Протяженность очаговой области (l), всей области формирования сейсмического излучения, скорость вспарывания разрыва (c) определялись на основе азимутальных годографов

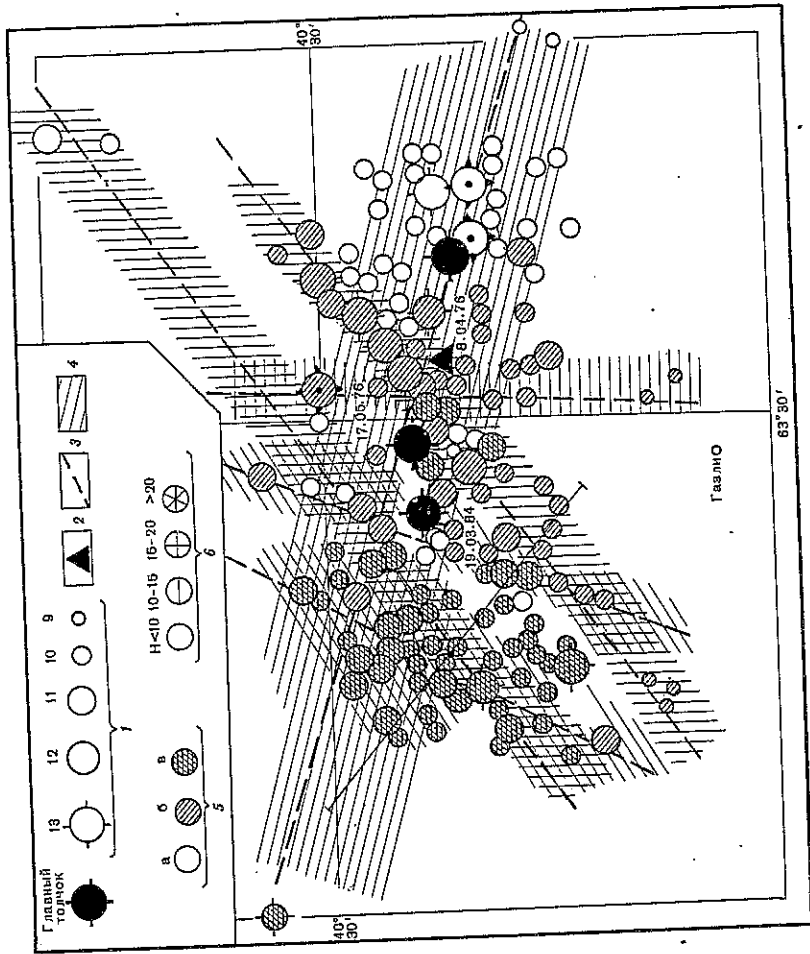


Рис. 4. Общая схема разрывов
1 — энергетический класс K ; 2 — сейсмическая станция Каракыр; 3 — центральная часть разрывной зоны; 4 — зона разрыва; 5 — афтершоки; 6 — афтершоки; 8 апреля 1976 г. (a), 17 мая 1976 г. (б) и 19 марта 1984 г. (в); 6 — глубина очага, км

по формулам

$$l = \frac{V_p}{2(\tau_{\max} - \tau_{\min})}, c = V_p \frac{\tau_{\min} - \tau_{\max}}{\tau_{\max} + \tau_{\min}}$$

и приведены в табл. 2.

Глубины очагов уверенно определяются только в том случае, если имеется сеть близко расположенных сейсмических станций. Надо полагать, что при регистрации землетрясений 17 мая и 19 марта и их афтершоков эти условия лучше всего выполнялись. По опубликованным данным [4] можно сказать, что процесс распространения до глубин 30 км, но основная афтершоковая деятельность в направлении вала на глубинах 5–15 км. Нечетко выражено заглупление процесса в направлении на юго-запад. Наблюдается перемещение активности как бы в плоскости, параллельной первоначальной разрывной зоне. Направление горизонтального развития процесса в этих направлениях хорошо устанавливается на основе азимутальных годографов (см. рис. 2). По данным о глубинах землетрясения 19 марта 1984 г. можно отметить заглупление очагов во времени в процессе активизации афтершоковой деятельности (рис. 5).

Анализ сейсмограмм. Волновая картина анализировалась в направлениях, соответствующих главному разлому, северо-западного простирания, в направлении его распространения и в противоположном, кроме того, анализировались и периоды, соответствующие максимальной фазе в группе Р-волн (см. рис. 2). Как видно, распре-

Таблица 2

Приблизительные оценки протяженности разрывных зон по азимутальным годографам

№ землетрясения	Азимут направления разрыва (Az)	T _{max} , с	T _{тип} , с	У _р , км/с	l, км	с, км/с
1	280-290	26	4	6,5	70	4,7
	110-120	18	7			
	220-230	10	10			
2	120	38	7	6,3	98	4,3
	230	16	9			
	180	19	9			
3	110-120	40	10	2,2	94	4,4
	180	18	5			

Примечание. Номера 1-3 соответствуют землетрясениям из табл. 1.

ление периодов повторяет форму азимутальных годографов, и значения периодов волн вдоль направления распространения разрыва и в противоположном сильно различаются. Это говорит о наблюдаемом эффекте Доплера. Необходимо отметить, что исследования зависимости периодов R-волн от эпикентрального расстояния указывают на очень незначительные их изменения [17].

Отметим, что такую же сложную систему разрывов для газийских землетрясений получили американские ученые [8] по записям телесейсмических волн, используя метод расчета синтетических сейсмограмм. Для землетрясений 17 мая и всех трех землетрясений было также выявлено наличие основного и опережающих разломов.

Таким образом, по телесейсмическим волнам R по новой методике выявлена сложная система разрывов при землетрясениях в Газли: 8 апреля и 17 мая 1976 г. и 19 марта 1985 г. Эта система разрывов северо-западного, северо-восточного и меридионального направлений по телесейсмическим волнам хорошо подтверждается афтершоковыми последовательностями.

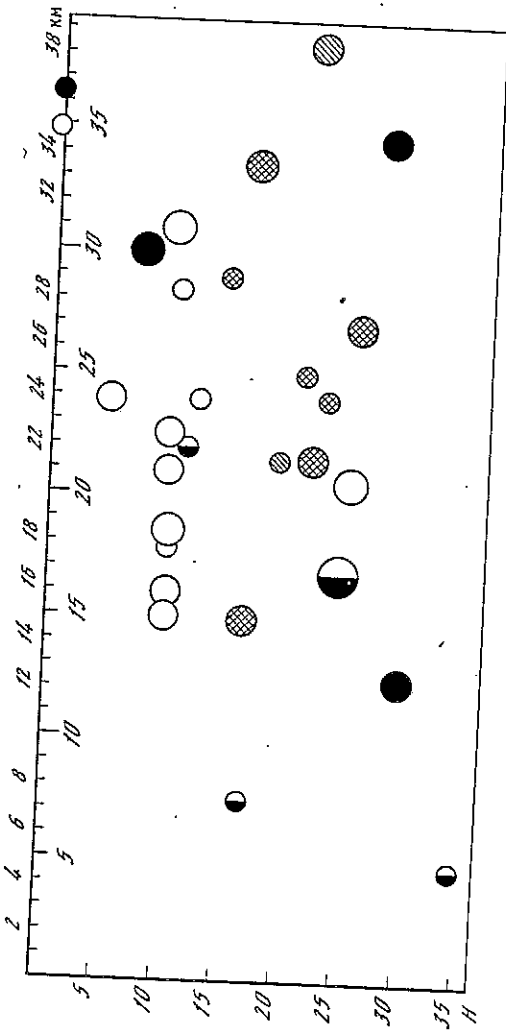


Рис. 5. Разрез по профилю 1 на рис. 4

ЛИТЕРАТУРА

1. Алтекман Ж.Я., Грайзер В.М., Шлетнев К.Г. и др. Некоторые данные о процессах в эпикентральной зоне газийских землетрясений // Эпикентральная зона землетрясений. М.: Наука, 1978. С. 149-166. (Вопросы инж. сейсмологии; № 19).
2. Лискулин В.А. Геоэлектрические данные о деформации земной поверхности в районе Газли // Геодезия и картография. 1978, № 3. С. 24-28.
3. Крестников В.Н., Белоусов Т.П., Штанге Д.В. Сейсмоструктурные условия возникновения газийских землетрясений 1976 г. // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1980, № 9. С. 12-28.
4. Газийские землетрясения 1976 г.: Геолого-геофизическая природа очагов / Отв. ред. С.А. Федоров. М.: Наука, 1984. 199 с.
5. Krieger M.J., Burdick L.J., Simpson D.W. The focal mechanisms of the Gazli, USSR, earthquakes // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1980, Vol. 70, N 5. P. 1737-1750.
6. Hartzell S. Faulting process of the May 17, 1976, Gazli, USSR earthquake // Ibid. N 5. P. 1715-1736.
7. Buzidogan H., Nabelek J., Nafi Toksoz M. The Gazli, USSR, 19 March 1984 Earthquake the mechanism and Tectonic implications // Ibid. 1985, Vol. 75, N 3. P. 661-675.
8. Горбунова И.В. Определение протяженности очага землетрясения и ориентации разрыва по волновой картине на сейсмограмме // Докл. АН СССР. 1981, Т. 261, № 4. С. 836-839.
9. Горбунова И.В. Characteristics of multiple shocks: wave pattern, extent and orientation of rupture // Tectonophysics. 1983, Vol. 93, P. 225-232.
10. Горбунова И.В. Методика и некоторые результаты определения длины, скорости и направления разрыва по волновой картине на сейсмограмме // ИФЗ АН СССР. ОмЗ. Омск, 1984. № 3440-84.
11. Горбунова И.В. О выделении разрывов при землетрясении в Газли 8 апреля 1976 г. по инструментальным данным // Эпикентральная зона землетрясений. М.: Наука, 1984. С. 64-73. (Вопросы инж. сейсмологии; № 25).
12. Wave form Catalogue for IASPEI events / Ed. M.D. Zirbes, V.J. Moon. Denver (Col.): Nat. Earthquake Inform. Cent., 1985.
13. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный). ИФЗ АН СССР. ОмЗ. Омск, 1984. С. 82.
14. Preliminary epicentres determination, 1976, 1984.
15. Бюллетень международного сейсмологического центра, апрель-май, 1976 г.; март 1984 г.
16. Kondoizuka N.V., Zakharenko A.I., Solovieva O.N. Refinement of the principal parameters of earthquake sources in seismological practice // Tectonophysics. 1978, Vol. 49, P. 227-235.
17. Магнитуда и энергетическая классификация землетрясений. / Под. ред. Н.В. Кондорской, И.Л. Нерсисова, И.В. Горбуновой, О.А. Корчагиной. М.: ИФЗ АН СССР, 1974. Т. 2. 221 с.

УДК 550.348.436(235.216)

Н.Н. Михайлова, Н.П. Неверова

Землетрясения Северного Тянь-Шаня

В системе сейсмологических наблюдений Северного Тянь-Шаня не произошло значительных изменений. Отметим только, что вместо сейсмической станции Фабричная в 2 км от нее открыта станция второго класса Майтубе, где, кроме сейсмологических, проводятся комплекс геофизических и метеорологических наблюдений. Всего в группе обработки ИС АН КазССР используются материалы 23 сейсмических станций: 14 ИС АН КазССР, 5 ИС АН КиргССР, 4 ИФЗ АН СССР. Такая система наблюдений обеспечивает представительную регистрацию землетрясений с $K_{min} = 6,6$ почти на всей изучаемой территории субрегиона. В центральной части хребта Заилийский Алатау и Кюнгёй-Ала-Тоо, где плотность сейсмических станций наиболее высока, без пропусков регистрируются и обрабатываются землетрясения с $K_{min} = 5,6$.

Методика определения основных параметров землетрясений в группе обработки ИС АН КазССР не изменилась по сравнению с предыдущим годом [1]. Все параметры землетрясений представлены в каталоге Северного Тянь-Шаня, включающем 292 события с энергетическими классами $K \geq 6,6$.

Для всей территории, ограниченной координатами $41^{\circ}40' - 46^{\circ}00'$ с.ш., $75^{\circ}00' - 80^{\circ}00'$ в.д., распределение землетрясений по энергетическим классам приведено ниже:

K	7	8	9	10	11	12	13	14
N	190	71	19	6	3	2	—	1