

А.Нурмагамбетов, Н.Н.Михайлова, А.Садыков, В.А.Ганич, А.А.Власова,
М.М.Сабитов, М.С.Хайдаров

БАЙСОРУНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 12 ноября 1990 г.

Землетрясение произошло на Северном Тянь-Шане в пределах высокоактивной в сейсмическом отношении Кюнгей-Заилийской зоны. В структурно-тектоническом плане его эпицентр находится в зоне сочленения Заилийского антиклинория и смежного с ним Чилико-Кеминского синклинория. Очаг землетрясения располагается в сложно построенном тектоническом узле, возникшем в зоне сближения и сочленения ряда крупных разломов (рис. 1). Особенностью тектоники участка является развитие здесь новообразований структуры в виде гравитационно-тектонического опускания клиновидного блока, т.е. возникновение локальной зоны растяжения в обрамлении напряженных структур, испытывающих поднятие в условиях сжатия. Высокая концентрация палеосейсмодислокаций, в первую очередь, сеймотектонических, отражающих вспарывание крупных разломов, в сочетании с резкой перестройкой новейшего структурно-тектонического плана, позволяет рассматривать этот участок в качестве вероятной эпицентральной зоны катастрофического палеоземлетрясения. Байсорунское землетрясение свидетельствует о существовании длительно развивающихся (остаточных) очаговых зон,

Основные параметры землетрясения были определены по данным станций Казахстана и Кыргызстана. Очаг был достаточно хорошо окружен ими, ближайшие станции находились на расстоянии 35 км от эпицентра. Параметры, определенные по региональной сети и по данным ЦСИ ЕССН, в целом согласуются между собой (табл. 1), кроме оценок глубины:

Таблица 1. Основные параметры Байсорунского землетрясения

Сейсм. службы	t_0	φN	λE	h , км	MLH	$MPVA$	K_p	M_c (СКМ)	M_c (СКД)	K_c
ИС АН										
КазССР	12-28-51,4	42°55'	77°56'	15-20	6.3	6.5	14,6	6.2	6.2	14.4
ЕССН	12-28-48.7	42°57'	78°03'	3	6.4	6.3	-	-	-	-

Примечание, M_c - магнитуда по коде; K_c - класс по коде.

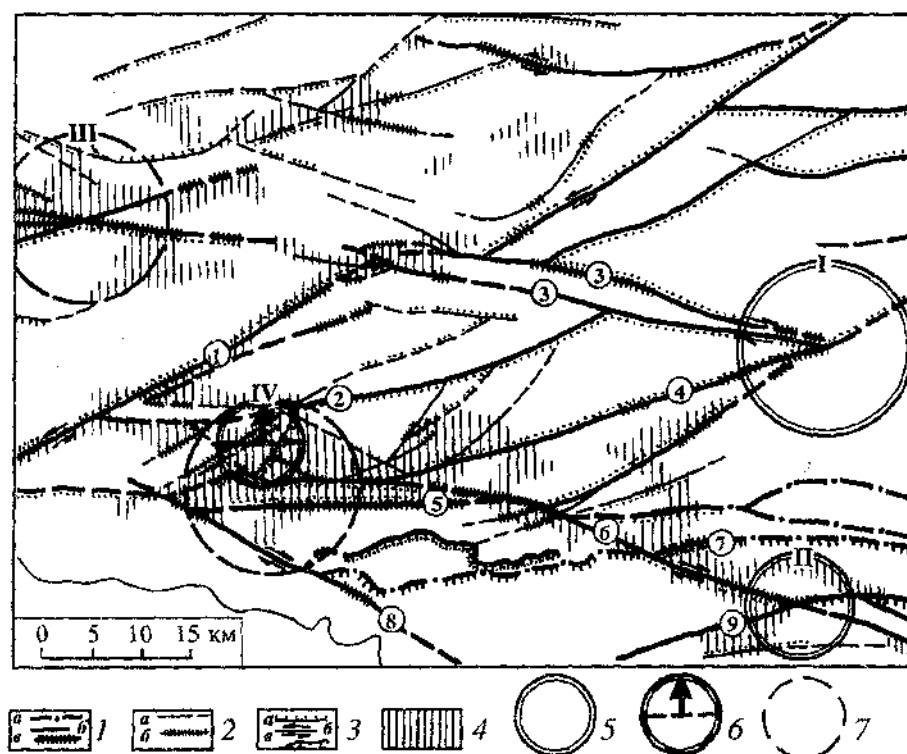


Рис. 1. Сеймотектоническая схема района Байсорунского землетрясения в Кюнгей Ала-Тоо

1, 2 — тектонические разрывы: 1 — основные (a — палеозойские, неподновленные, b — новейшие, в том числе унаследованные, c — сеймотектонические); 2 — второстепенные (a — новейшие, b — сеймотектонические); 3 — элементы кинематики: a — сбросы и взбросы (пунктиром обозначено поднятое крыло), b — сдвиги, c — надвиги; 4 — участки концентраций сейсмодислокаций; 5, 6 — эпицентры землетрясений: 5 — известных (I — Чиликовского 1889г., II — Жаланаш-Тюпского 1978г.); 6 — Байсорунского 1990 г. (штриховой линией показана проекция разрыва в очаге, стрелкой — направление падения плоскости разрыва); 7 — предполагаемые очаги палеоземлетрясений (III — Тургенского, IV — Карасайского. Разломы (цифры в кружках): 1 — Чилико-Кеминский, 2 — Северо-Далашикский, 3 — Бескарагайский, 4 — Байсорун-Чиликский, 5 — Каракезенский, 6 — Кольсайский, 7 — Северо-Кюнгейский, 8 — Каракикский, 9 — Сарыбулакский

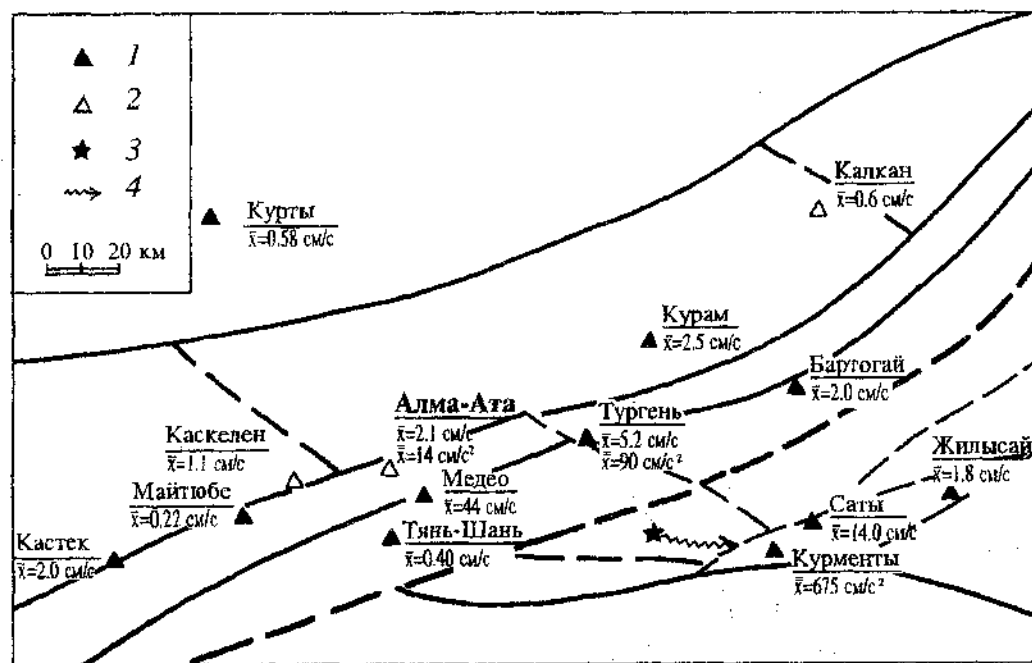


Рис. 2. Сеть станций сильных движений при Байсорунском землетрясении

1 — аппаратура на скальном грунте; 2 — аппаратура на рыхлом грунте; 3 — эпицентр Байсорунского землетрясения; 4 — направление разрыва; \bar{X} и \bar{V} — максимальные амплитуды ускорений и скоростей

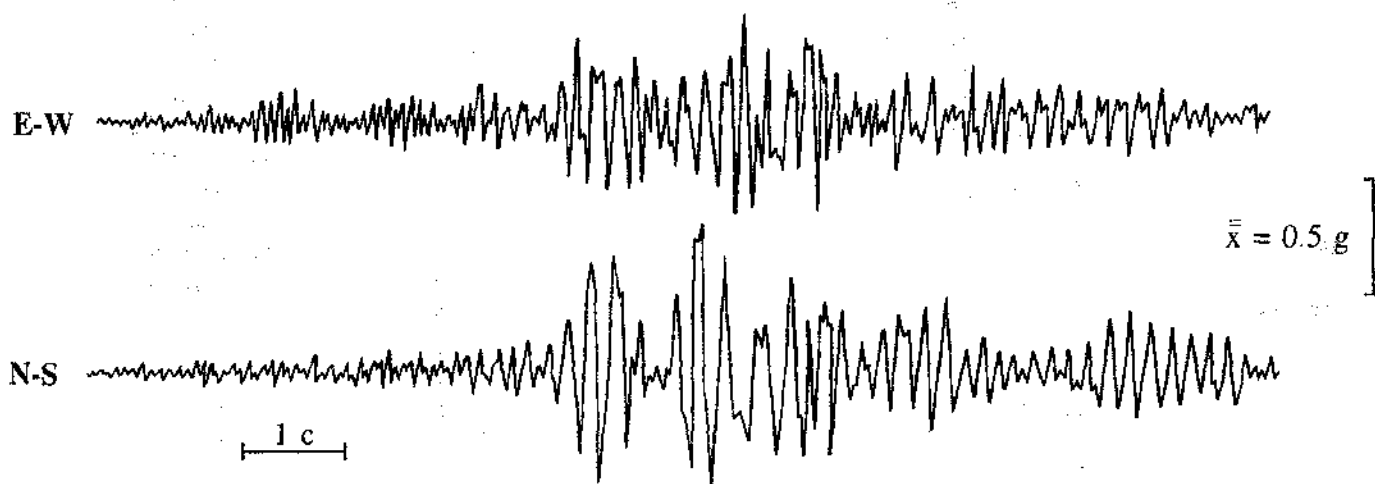


Рис. 3. Акселерограммы Байсорунского землетрясения на ст. Курменты (прибор ССОРЗ)

Движения почвы были зарегистрированы сетью станций сильных движений Казахстана (21 станция) и Кыргызстана (4 станции). В основном это акселерографы ССРЗ и АСРЗ, велосигграфы ИСО-11М+С-5-С, сейсмографы СМТР. Значения зарегистрированных ускорений и скорости отвечают 3-8 баллам по инструментальной шкале. Расположение пунктов сильных движений ИС АН КазССР и значения максимальных амплитуд ускорений и скорости представлены на рис. 2. Самые сильные воздействия получены на ст. Курменты ($\Delta = 35$ км). Акселерограммы по двум горизонтальным компонентам приведены на рис. 3. Максимальная амплитуда по компоненте E-W составляет 537 см/с^2 на периоде 0.20 с, длительность больших амплитуд 2.6 с; максимальная амплитуда по компоненте N-S достигла 675 см/с^2 на периоде 0.27 с, длительность больших амплитуд 3 с. Рассмотрение азимутального распределения максимальных амплитуд, периодов, а также азимутального годографа t_{pmax} (t_p — по методике И.В.Горбуновой [1]) позволило сделать вывод о направлении распространения разрыва с запада на восток в близширотном азимуте.

Макросейсмика, Сотрясениями была охвачена обширная территория, включающая Алма-Атинскую, Талды-Курганскую и Джамбульскую области Казахстана, а также Иссык-Кульскую область республики Кыргызстан. Плейстосейстовая зона землетрясения занимает площадь около 3400 км^2 . В этой зоне населенные пункты распределены неравномерно, в основном они сконцентрированы на юге, по северному побережью Иссык-Куля, и на северо-востоке, у подножия гор.

С наибольшей интенсивностью в 8 баллов землетрясение проявилось в населенном пункте Кутурган, находящемся в 20 км к востоку от эпицентра. Этот факт согласуется и с данными о максимальных воздействиях по сильным движениям. Здесь дом из сруба оказался сдвинутым с фундамента на 10 см в одном углу и на 3 см в другом. Сам дом перекосялся на 15 см. Печь полностью разрушена, двери перекосялись, стекла полностью рассыпались, дранки срезаны.

Всего было обследовано 209 населенных пунктов (табл. 2). На рис. 4 приведена карта изосейст Байсорунского землетрясения. Все они имеют эллипсовидную форму и ориентированы по простиранию основных геологических структур. Изосейсты вытянуты в субширотном направлении, отношение полуосей 1 : 1.7.

Таблица 2. Макросейсмические данные о землетрясении 12 ноября

№ п/п	Район	Δ, км	№ п/п	Район	Δ, км	№ п/п	Район	Δ, км
	8 баллов			5-6 баллов		140	Отгук	156
1	Кутурган	22	69	Каратүрүк	63	141	Иссык-Куль	158
	7-8 баллов		70	Курам	64	142	ДЭУ (Акулен)	160
2	Далашик	25	71	Шалба	65	143	Карасаз	164
	7 баллов		72	Прежевальск	67	144	Кайнар	165
3	Ойбулак	26	73	Токтоян	68	145	Бурулдай	175
4	Ойтал	29	74	Оргочор	69	146	Кыз-Кия	176
5	Кутурга	31	75	Шапак	73	147	Чолок	177
6	Курменты	31	76	Раздольное	74	148	Жель Арык	178
7	Фрунзе	32	77	Сюгеты	75	149	Быстровка	187
8	Каменка (Кирг.)	34	78	Соколовка	77	150	Сарыбастау	196
9	Беловодское	35	79	Алма-Ата	77	151	Малоархангельское	217
10	Курменты (Каз.)	35	80	Тасбаз	78		4-5 баллов	
11	Сарыбулак	36	81	Бозучук	79	152	Иссык	49
12	Жинишке	38	82	Ак-Булак	80	153	Талгар	58
13	Кольсай	39	83	Ак-Булан	82	154	Новоалексеевка	66
14	Урочище Кырчин	40	84	Жениш	82	155	Кырбалтабай	68
	6-7 баллов		85	Советское	83	156	Панфилово	71
15	Кичи-Урюкты	26	86	Каменка (Каз.)	85	157	Куликовка	77
16	Орто-Урюкты	28	87	Актерек	87	158	Каскелен	101
17	Чон-Урюкты	28	88	Ширганак	95	159	Жанатурмыс	101
18	Хутор	30	89	Жанавулы	102	160	Шошанай	123
19	Ананьево	36	90	Булексаз	102	161	Чырпыкты	125
20	Кошара	38	91	Аксай	103	162	Сумбе	131
21	Шаты	42	92	Пер. Кегенский	109	163	Шиен	157
22	Саты	44	93	Боконбаево	126	164	Тегасты	174
23	Ичке-Су	45		5 баллов		165	Сергеевка	177
24	Семеновка	45	94	Тургень	50	166	Текес	180
25	Талды-Су	48	95	Каракемир	51	167	Нарынкол	191
26	Григорьевка	49	96	Акший	61	168	Орловка	197
27	Ходжояр	49	97	Тескенсу	61	169	Токмак	210
28	Кюочи	52	98	Енбек	64	170	Красногорка	221
29	Корумды	54	99	Ырдак	65		4 балла	
30	Темировка	55	100	Александровка	67	171	Им. Фрунзе	78
31	Карабулак	56	101	Бартогай	67	172	Каратоган	84
32	Чон-Таш	59	102	Ташкенсаз	68	173	Николаевка	92
33	Жаланаш	63	103	Малыбай	69	174	Джандосово	106
34	Тогузбулак	70	104	Чилик	70	175	Фабричный	118
35	Кенсу	81	105	Кенсу	71	176	Узунгач	127
	6 баллов		106	Отрадное	71	177	Карасу	134
36	Песчаное	38	107	Теплоключенка	71	178	Таран	135
37	Маяк-2	40	108	Сарыкамыш	72	179	Джамбул	137
38	Николаевка	44	109	Покровка	73	180	Подгорное	137
39	Маяк-1	46	110	Сарытологой	74	181	Аксенгир	138
40	Минбулак	50	111	Керегеташ	76	182	Ст. Узун-Агач	139
41	Михайловка	51	112	Дархан	76	183	Сарыжаз	143
42	Сарыдобе	52	113	Жергез	80	184	Мал. Аксу	143
43	Долон	53	114	Кокпек	81	185	Каракастек	144
44	Арал	56	115	Кызылжиде	84	186	Чунджа	144
45	Алгабас	56	116	Зындан	86	187	Самсы	146
46	Липенка	56	117	Чон-Джаргылчак	94	188	Бол. Аксу	146
47	Тепке	57	118	Чон-Сарыой	96	189	Прудки	147
48	Корумды	60	119	Спорт. база Тамчи	101	190	Тогузбулак	148
49	Каракол	62	120	Тосор	103	191	Чарын	148
50	Чонтогузбай	63	121	Чоктал	110	192	Ават	151
51	Орлиное	64	122	Кегень	111	193	Ташкарасу	153
52	Жилбулак	64	123	Каркар	113	194	Кокпак	167
53	Комсомол	65	124	Темирлик	114	195	Таргап	168
54	Санташ	67	125	Капчагай	114	196	Дегерес	168
55	Жайдакбулак	72	126	Каджисай	115	197	Покровка	171
56	Бозтери	74	127	Тамчи	117	198	Бериктас	175
57	Сару	75	128	Тон	121	199	Долатгы	180
58	Чолпон-Ата	77	129	Ур. Коргон	123	200	Жаманты	186
59	Долинка	86	130	Туюк	125	201	Актерек	195
60	Бестюбе	87	131	Большевик	131	202	Кочкорка	201
61	Баатовка (Якорь)	88	132	Торуайгыр	137	203	Белашово	224
62	Тадды	90	133	Кара Тоо	139		3-4 балла	
63	Жилысай	90	134	Шорбулак	139	204	Шилибастау	200
64	Курское	92	135	Барбулак	142	205	Горный	206
65	Узунбулак	95	136	Конуролон	147		3 балла	
66	Барскаун	98	137	Каратала	148	206	Рославль	218
67	Орнок	99	138	Сарыкымыш	148	207	Отар	222
68	Аксай	134	139	Карашаар	152	208	Гвардейский	223
					209	209	Кенен	231

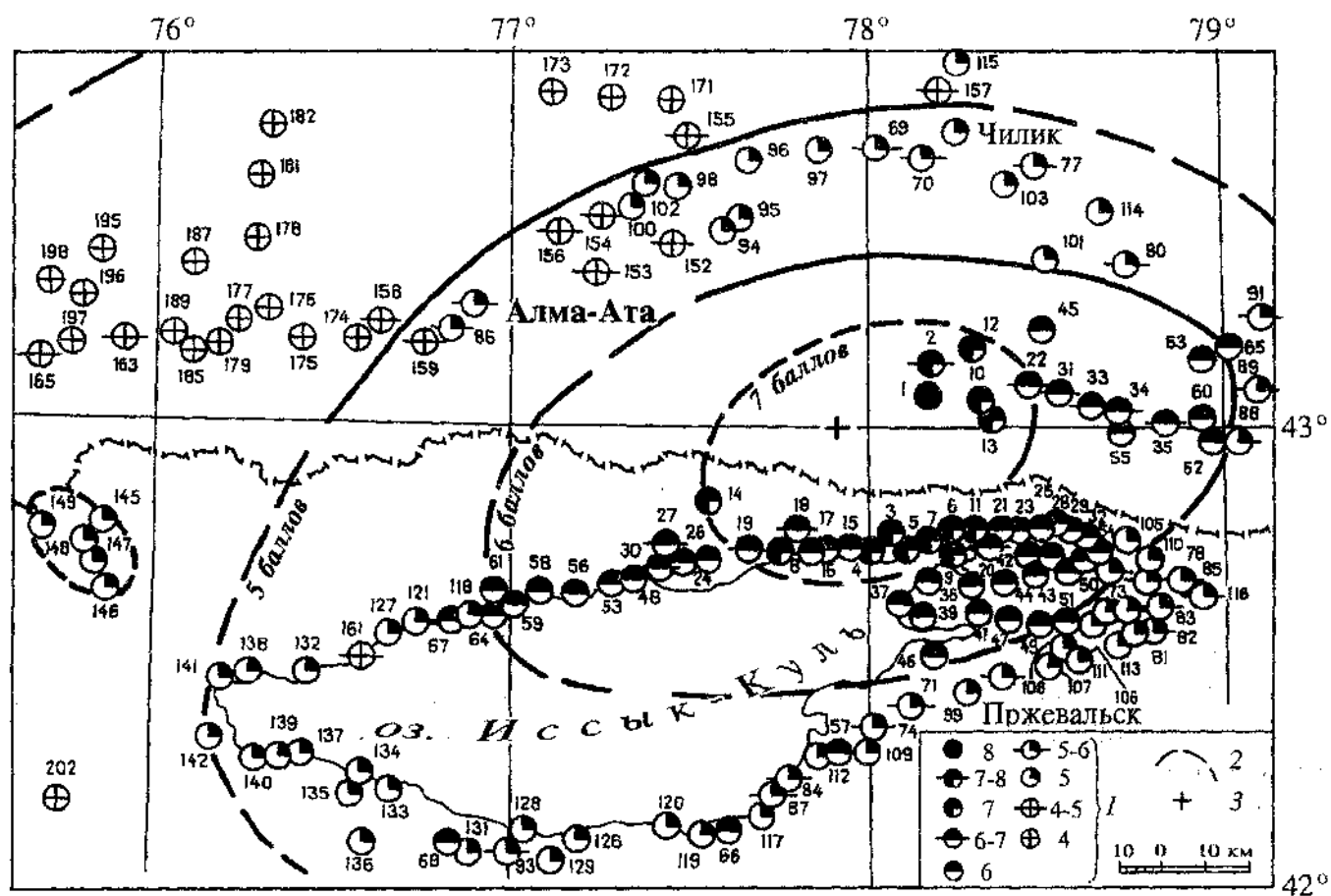


Рис. 4. Карта изосейст Байсорунского землетрясения
 1 — балльность; 2 — изосейста; 3 — инструментальный эпицентр

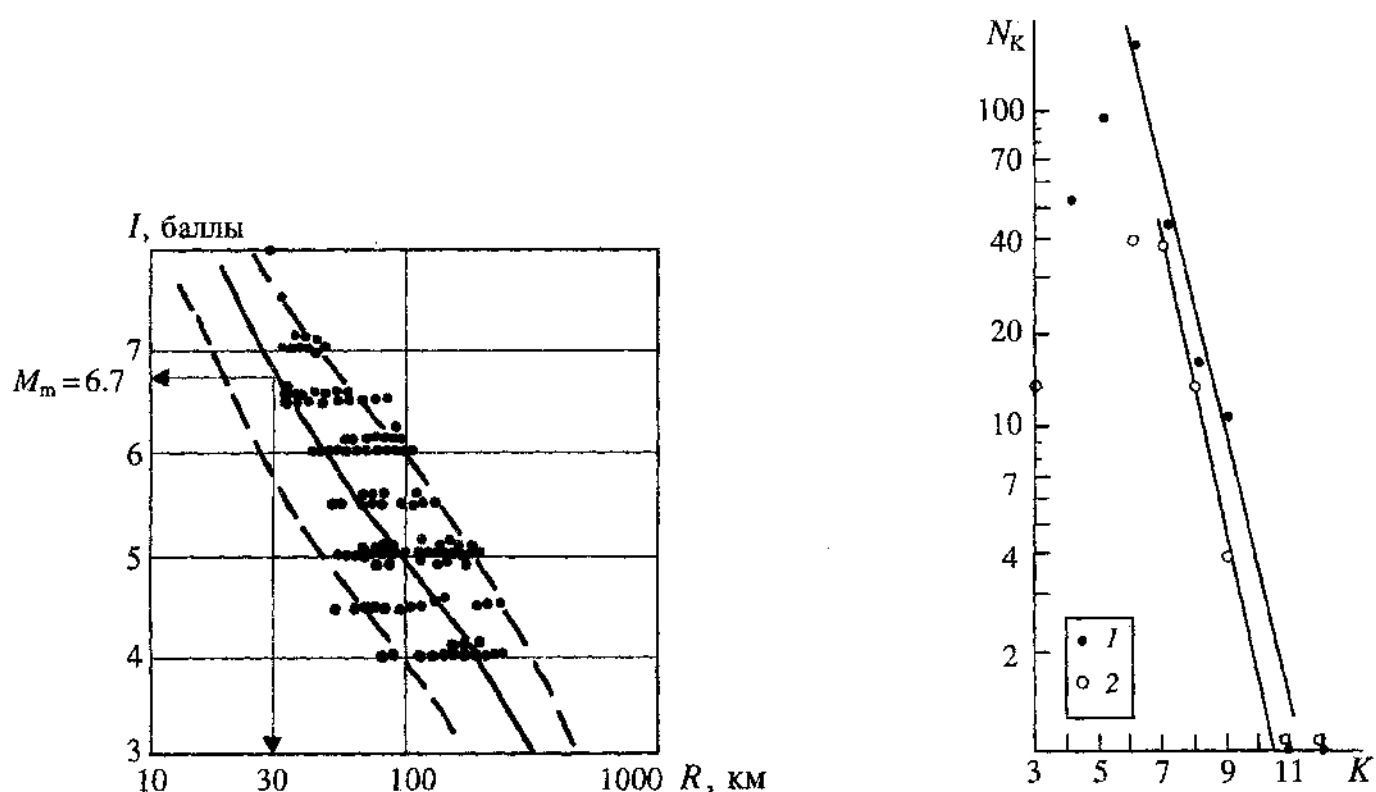


Рис. 5. Определение макросейсмической магнитуды по палетке Т.Г.Раутиан

Рис. 6. График повторяемости афтершоков Байсорунского землетрясения по станции Саты (1) и по каталогу афтершоков (2)

По макросейсмическим данным были оценены некоторые параметры очага и среды. Для определения глубины очага h и коэффициента затухания ν использована палетка [2, с.25]. При $I_0 = 8$ баллов получили следующие значения: $\nu = 5.0$; $h = 30$ км. Аналогичную оценку глубины $h = 30$ км дает использование макросейсмической палетки Н.В. Шебалина [2, с. 26].

Определение макросейсмической магнитуды MM проводилось по методике [3]. Величина MM оказалась равной 6.7, т.е. несколько выше инструментально определенной магнитуды MLH . Это завышение, по-видимому, связано с аномально высоким затуханием интенсивности сотрясений с расстоянием и, как следствие этого, кривой затухания, отличающейся по форме от калибровочной кривой, положенной в основу макросейсмической палетки (рис. 5).

Оценка горизонтальной протяженности очага l_x по макросейсмическим данным проведена по формуле Н.В.Шебалина $l_x = d_{\text{max}} - d_{\text{min}}$, где d_{max} и d_{min} — максимальный и минимальный диаметр первой изосейсты. Получено значение $l_x = 24$ км. По средней зависимости между l_x и магнитудой сильных землетрясений Средней Азии и Казахстана $\lg l_x = 0.6 M - 2.5$, $l_x = 20$ км.

Афтершоки. Землетрясение сопровождалось большим числом повторных толчков, начавшихся уже через несколько минут после главного толчка. Список афтершоков за 3.5 месяца включает 119 толчков. Анализ показал, что имеющейся сетью станций была обеспечена представительная регистрация афтершоков с $K_p \geq 6.5$. Наиболее сильным из афтершоков явилось землетрясение 28 декабря 1990 г. с $K_p = 11.7$. Его очаг находился вблизи гипоцентра главного толчка на той же глубине. Оно ощущалось в ближайших населенных пунктах интенсивностью до 4 баллов. График повторяемости афтершоков характеризуется значением $|\gamma| = 42$ (рис. 6). Как известно, для афтершоков обычно характерна повышенная крутизна графика повторяемости по сравнению с "фоновой" сейсмичностью. Однако при Байсорунском землетрясении этого не наблюдается. Проведенный анализ пространственного распределения афтершоков позволил установить размеры объемной области, вовлеченной в процесс разрушения. Так, по глубине афтершоки занимают диапазон от 0 до 20 км. Линейные размеры с запада на восток (вдоль основной плоскости разрыва) составляют 15 км, при учете удаленных афтершоков — до 40 км. С севера на юг длина области афтершоков 20 км. На рис. 7 и 8 представлены карта эпицентров и глубинные разрезы по афтершокам.

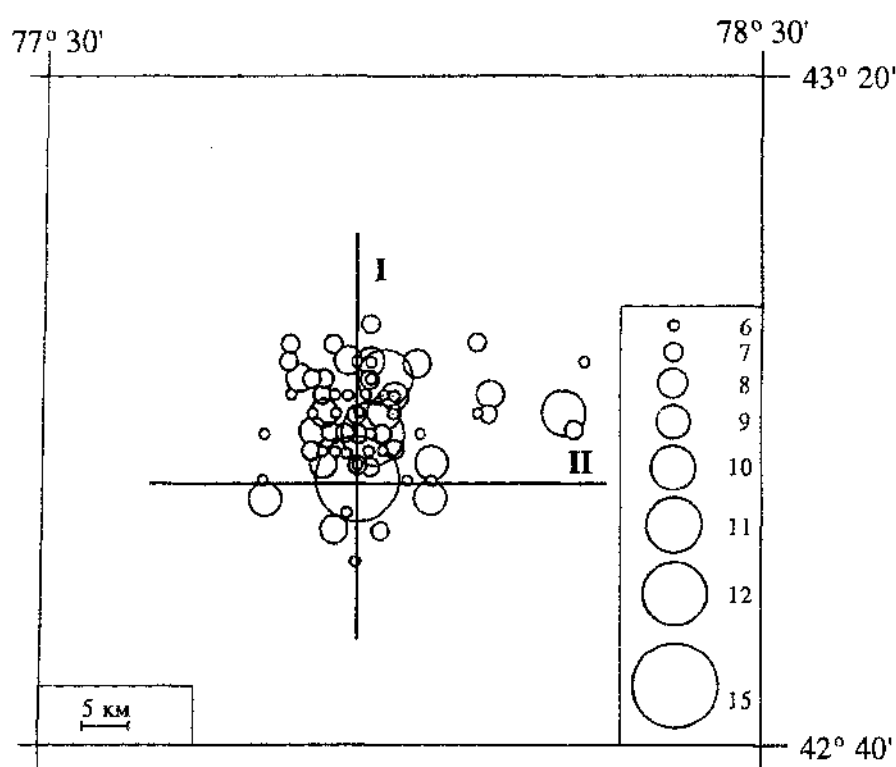


Рис. 7. Схема эпицентров афтершоков

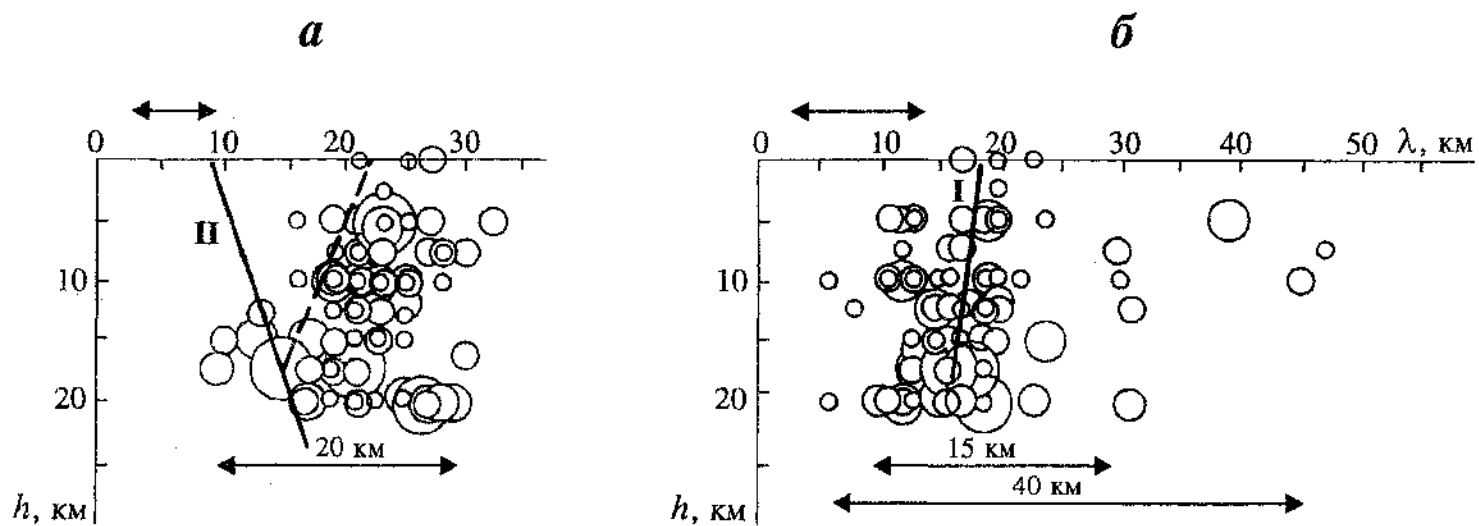


Рис. 8. Глубинные разрезы вдоль I (а) и II (б) плоскостей

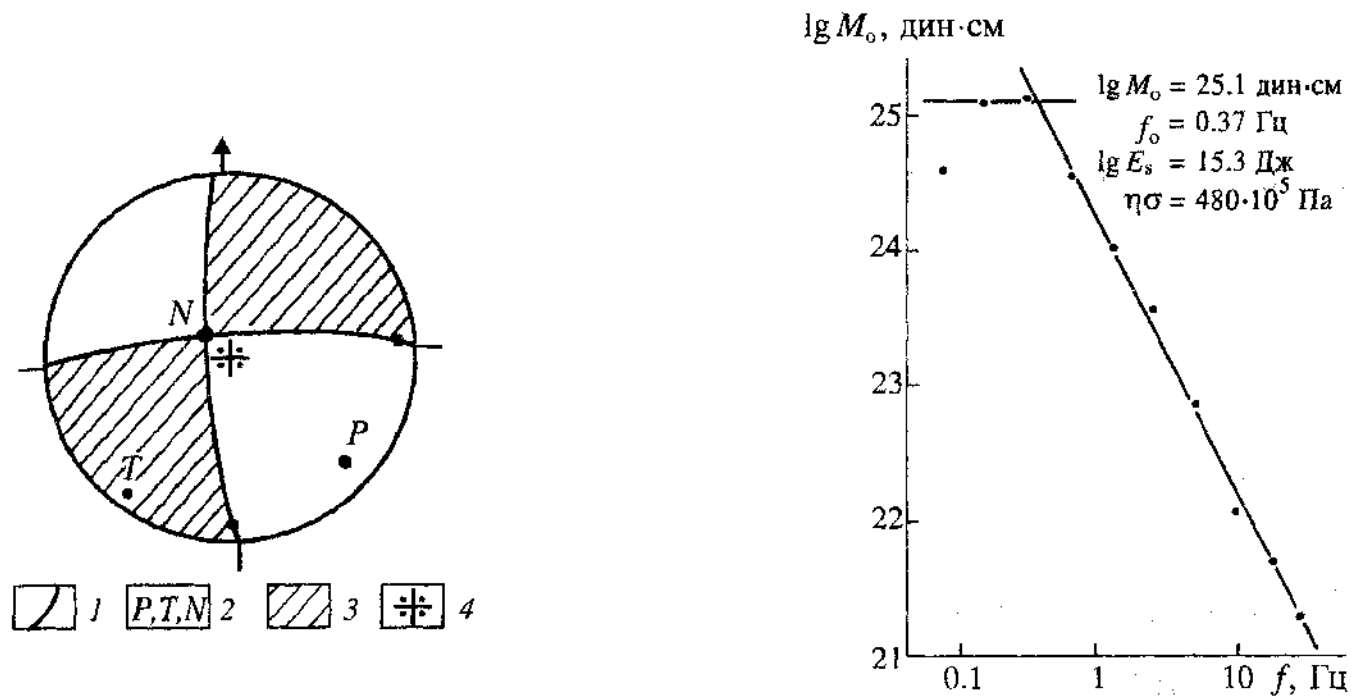


Рис. 9. Графическое изображение механизма очага Байсорунского землетрясения

1 — модальные линии Р-волн; 2 — оси сжатия, растяжения, промежуточные напряжения; 3 — область волн сжатия; 4 — проекция очага землетрясения

Рис. 10. Очаговый спектр Байсорунского землетрясения, полученный по записям ЧИСС "Талгар"

Механизм очага. Механизм очага Байсорунского землетрясения определен по 87 станциям. Помимо материалов ИС АН КазССР, к решению привлекались данные Сейсмологического бюллетеня, ОМЭ ИФЗ АН СССР, ИС АН КиргССР, Сейсмологического бюро Синьцзян-Уйгурского автономного района КИР. Графическое изображение механизма для нижней полусферы приведено на рис. 9. Решение показало, что в очаге произошел сдвиг с очень незначительной сбросовой компонентой по падению плоскостей разрывов. Оси напряжения сжатия и растяжения ориентированы близгоризонтально. Плоскости разрыва в очаге круто падающие. Одна из них имеет меридиональное простирание, другая, принятая при комплексном анализе различных сейсмологических и геологотектонических данных за действующую — широтное. Следует отметить, что разрыв в очаге был, по всей вероятности, сложный, о чем свидетельствует характер записи на станции Медео, где перед волной, которая прослеживается в первых вступлениях на всех остальных станциях, видно слабое вступление противоположного знака. Такой вид записи характерен для высокочувствительных станций. По записям сильных движений можно предположить дискретный характер излучения от сложного разрыва с субочагами. Результаты определения механизма Байсорунского землетрясения приведены в табл. 3.

Механизмы очагов афтершоков Байсорунского землетрясения характеризуются в основном взбросовыми и взбросо-сдвиговыми типами подвижек. Для некоторых из них механизмы определены групповым способом. Первый афтершок с $K_p = 11.1$, происшедший через 12 мин после главного толчка, имел взбросовый тип подвижки, субширотное простирание плоскостей разрывов при падении одной из них на север, другой — на юг. Аналогичный механизм имеют еще четыре афтершока, происшедшие 12 и 13 ноября 1990 г. Это хорошо согласуется с тем, что следует из пространственного анализа распределения афтершоков; у афтершоков при том же простирании плоскости, что и у главного толчка, наклон навстречу плоскости главного толчка.

Оси напряжения сжатия в очагах афтершоков ориентированы близмеридионально и имеют угол наклона к горизонту $0-30^\circ$. Оси напряжения растяжения имеют близширотное простирание и угол наклона к горизонту $40-80^\circ$.

Очаговый спектр главного толчка. Определение очагового спектра проводилось по записям станции ЧИСС "Талгар" методом сейсмической коды (рис. 10). Полученный спектр относится к первому типу по форме спектра, т.е. состоит из плоской части с уровнем пропорциональным сейсмическому моменту $M_0 = 1.26 \cdot 10^{25}$ дин·см, имеет одну угловую частоту $f_0 = 0.37$ Гц, $\lg E_s$ (Дж) = 15.3, $\eta\sigma = 480 \cdot 10^5$ Па. Нормированная угловая частота, введенная в работе [4], оказалась равной 3.6 Гц, что больше средних значе-

Таблица 3. Параметры механизма очага

Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
T		N		P		NP1			NP2		
PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
3	225	75	327	15	136	180	82	-11	271	77	-171

ний для данного региона, равных 1.7-2.3 Гц. По модели Бруна был рассчитан радиус очага $r = 2.34V_s/2\pi f$. При $V_s = 3.5$ км/с он составляет 3.5 км, длина очага 7 км. Эта величина оказалась меньше, чем по афтершокам и по результатам макросейсмических исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунова И.В. Об интерпретации сейсмических волн P и S от землетрясений с протяженным очагом// Интерпретация сейсмических наблюдений. М.: Наука, 1983. С.88-101.
2. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Отв. ред. Н.В.Кондорская, Н.В.Шебалин. М.: Наука, 1977. С.17-18.
3. Раутиан Т. Г. Макросейсмическое проявление землетрясений и очаговые спектры// Колебания грунта и сейсмический эффект при землетрясениях. М.: Наука, 1982. С.74-81. (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 23).
4. Хайдаров М.С. Динамические параметры очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня по кодовым волнам// Сейсмичность и прогнозирование землетрясений в Казахстане. Алма-Ата: Наука, 1983. С.86-93. Т.1.