

*А. Нурмагамбетов, А. Садыков, А.В. Тимуш, М.С. Хайдаров, А.А. Власова, Н.Н. Михайлова,  
М.М. Сабитов, А. Умирзакова, В.А. Гапич*

### ЗАЙСАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 14 июня 1990 г.

Землетрясение произошло в пределах считавшейся слабоактивной в сейсмическом отношении Зайсанской впадины. По отношению к структурам домезозойского фундамента эпицентральная зона расположена на границе ранне- и позднегерцинской областей в Зайсанской герцинской складчатой системе [1], для которой характерна высокая подвижность в фанерозое, приведшая к формированию сближенных субпараллельных зон разломов.

Изучение новейших тектонических деформаций Зайсанской впадины показывает, что крупные разрывные дислокации фундамента продолжали определять ее развитие и на этом этапе. Начало формирования новейшей структуры региона относится к палеоцен-эоценовому времени. Наиболее интенсивные движения происходили в позднем миоцене, на рубеже плиоцена и плейстоцена, а также в начале среднего плейстоцена.

На севере граница впадины контролируется отчетливо выраженными в рельефе тектоническими уступами смежного Южно-Алтайского поднятия (рис. 1). Амплитуда вертикального смещения в зоне контролируемых разломов по простиранию меняется от 200 до 500 м. Отложения палеогена вдоль уступа смяты в полосе шириной до 300 м, что отражается в крутом (до вертикального) падении пластов то в северном, то в южном направлении.

Одним из важнейших структурных швов Зайсанской впадины является Северо-Зайсанский разлом, выделенный ранее В.С.Ерофеевым [2]. На юго-востоке он отчасти совмещается с системой разрывов, составляющих Западно-Калбинский разлом, но в северном Призайсанье предопределяющая роль переходит к трассирующей сюда зоне Байгузин-Булакского разлома [3]. Восточнее оз.Зайсан основной ствол разлома фиксируется Южно-Акжонским уступом, ограничивающее с юга Акжон-Актобинское поднятие с выходами пермских гранитоидов. В рельефе уступ прослеживается от оз.Менпаксор на запад до 4 км. Далее разлом, выраженный уступом цоколя, прослеженным сейсморазведкой, поворачивает на северо-запад, очевидно наследуя аналогично простирающийся сдвиг, секущий Керши-Караберикскую морфоструктуру. Амплитуда новейших вертикальных перемещений у оз.Менпаксор составляет 600 м, но к месту пересечения с р.Черный Иртыш уменьшается до 400 м. У южного подножья Караберикской структуры разлом вновь меняет направление ближе к западному и следует вдоль северного берега оз.Зайсан.

В приразломной зоне его северного крыла оформился ряд небольших поднятий, наиболее значительной из них является структура Шакельмес с выходами пород цоколя, где они находятся в тектоническом контакте с отложениями палеогена, причем пласты последних поставлены вертикально и даже запрокинуты к югу. Признаки приразломного смятия отмечены также у мыса Бакланьего, где палеоген-неогеновые осадки падают на юг под углом 20-25°. Западнее с.Карагандыколь разлом трассируется морфологическим уступом протяженностью 25-30 км, тектоническая природа которого подтверждается бурением [2].

В целом новейшая структура северо-восточной части Зайсанской впадины отражает реакцию гетерогенного фундамента на субмеридиональное сжатие, о котором свидетельствуют элементы новейших структур, среди этих элементов доминируют взбросы, взбросо-сдвиги и надвиги. К подобным признакам относятся и приразломные поднятия, сопровождающие основные тектонические швы северо-западного направления. Интенсивность новейших деформаций свидетельствует о значительных тектонических напряжениях, которые могут принять характер сейсмотектонического процесса, что нашло выражение в Зайсанском землетрясении 14 июня 1991 г.

**Основные параметры** Зайсанского землетрясения и его сильных повторных толчков определены по данным сети станций Казахстана, Киргизии, Алтае-Саянской ОМСЭ ИГиГ СО АН СССР, Сейсмологического бюро Синьцзян Уйгурского автономного района, ОМЭ ИФЗ АН СССР (табл. 1).

После первого толчка в эпицентральной зоне были установлены временные станции, оснащенные аппаратурой разного типа, что позволило с большей степенью надежности определить параметры последующих толчков.

За период с 15 июня по 10 ноября было зарегистрировано 464 землетрясения, подавляющее большинство которых являются афтершоками происшедшего сильного землетрясения. Основная масса афтершоков сосредоточена в эпицентральной зоне главного толчка в полосе шириной около 15 км, протянувшейся в северо-западном направлении на 40-45 км. Большая часть афтершоков находится на глубине 25-35 км и лишь единичные очаги — на глубинах 15 и 40 км. Следует отметить, что уровень афтершоковой активности Зайсанского землетрясения очень низок по сравнению с другими землетрясениями подобной магнитуды.

**Динамические параметры основного толчка**, определенные по записям ЧИСС "Талгар" (КСЭ ИФЗ АН СССР) с использованием сейсмической коды [4], следующие: сейсмический момент  $M_0$  -  $3.3 \cdot 10^{16}$  Н-м,

**Таблица 1.** Основные параметры главного толчка Зайсанского землетрясения и сильных повторных толчков

Дата	Время, ч мин с	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$	$A_{\text{км}}$	$M_s$	$M_{FSP}$	$M_{PLP}$	$M_c$
14.06.90	12 47 26.4	47.95	85.00	35	6.6(17)	6.4(8)	6.5(6)	6.9
03.08.90	09 15 07.0	47.80	84.77	20	6.1(37)	6.2	6.3(13)	6.3
27.09.90	21 12 33.8	47.93	84.75	20	4.8	5.2	4.5	5.2

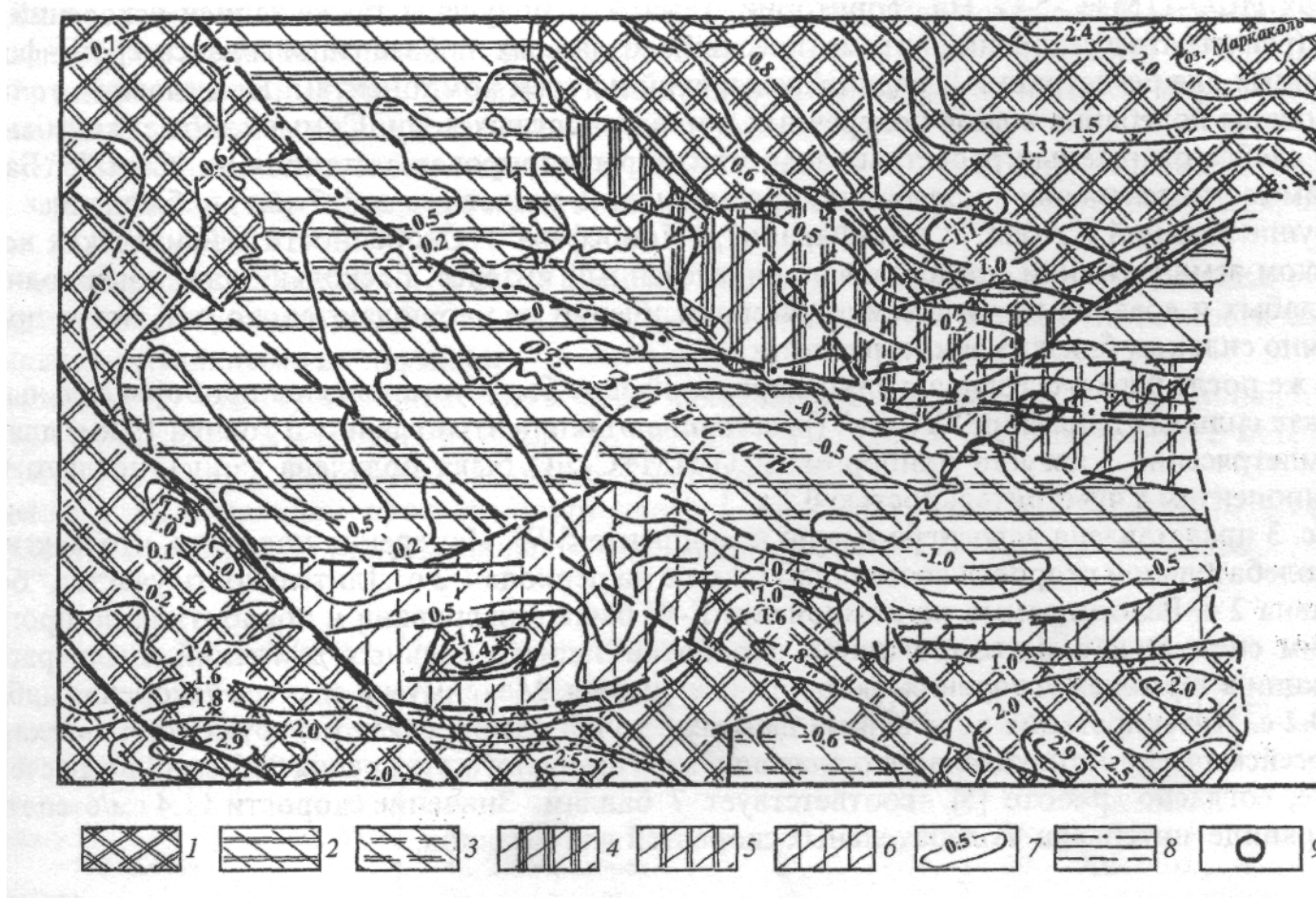


Рис. 1. Схема неотектоники Зайсанской впадины и прилегающих районов

1-6 — области различного режима движений: 1 — поднятия различной интенсивности в течение палеогена-плейстоцена, 2 — опускания в тот же период, 3 — опускания в течение миоцена-плейстоцена, 4-6 — дифференцированные движения (4 — опускание в палеогене и поднятия с миоцена, 5 — опускание в палеогене-миоцене и поднятие с миоцена, 6 — опускание в палеогене-плиоцене и поднятие с раннего плейстоцена); 7 — интенсивность движений в изогипсах (км) эпигерцинской поверхности выравнивания, 8 — разломы: штрих пунктир — Северо-Зайсанский, сплошная и штриховая линии — остальные (достоверные и предполагаемые под чехлом); 9 — эпицентр Зайсанского землетрясения

угловая частота  $f_0 = 0.28$  Гц, сейсмическая энергия  $E = 6.3 \cdot 10^{15}$  Дж. При скорости распространения поперечной волны 3.5 км/с радиус очага Зайсанского землетрясения соответствует 5 км, длина очага  $2r = 10$  км. Кажущееся напряжение равно  $540 \cdot 10^5$  Па, или 540 бар.

Очаговый спектр афтершоков 3 августа 1990 г. так же, как и главного толчка, имеет простую форму I типа, т.е. с одной угловой частотой. Сейсмический момент, угловая частота, сейсмическая энергия равна соответственно  $2.8 \cdot 10^{15}$  Н·м, 1.2 Гц,  $2.5 \cdot 10^{15}$  Дж. Длина очага, по Бруну, равна 2.2 км, кажущееся напряжение —  $3200 \cdot 10^5$  Па, или 3.2 кбар. Такая величина напряжения аномально высока. Если при первом землетрясении можно предполагать подвижку по готовому разрыву (540 бар), то при повторном толчке речь может идти только о разрушении цельного материала, т.е. об образовании свежего разрыва.

Третий по силе афтершок Зайсанского землетрясения 27 сентября записан ст. "Талгар" уверенно. Его динамические параметры следующие: момент  $M_0 \geq 6.3 \cdot 10$  дин·см, угловая частота  $f_0 \leq 1.2$  Гц,  $E \geq 5.0 \cdot 10^{15}$  Дж, кажущееся напряжение  $\eta \geq 250$  бар. Последняя величина свидетельствует о снижении напряжений в очаговой зоне и подвижке по готовому разлому.

Механизм очага Зайсанского землетрясения и сильных повторных толчков определен с привлечением тех же материалов, которые участвовали в определении основных параметров землетрясений. Графическое изображение механизмов очагов для нижней полусферы приведено на рис. 2, результаты определения — в табл. 2.

В определении параметров механизма очага основного толчка учитывались данные 124 станций, последующих — 89 и 30 соответственно. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в очаге главного толчка произошел сдвиг с очень незначительной взбросовой компонентой по падению плоскостей, одна из которых имеет северо-восточное простирание, другая — северо-западное. Оси напряжения сжатия и растяжения близгоризонтальны с близмеридиональной ориентацией сжатия и близширотной — растяжения.

Привлекая материалы других наблюдений, можно предположить, что разрыв произошел по плоскости северо-западного простирания и характеризуется пространственным сдвигом.

Механизм очага землетрясения 3 августа подобен предыдущему с несколько иной ориентацией оси растяжения и промежуточного напряжения. Афтершок 27 сентября отличается по механизму от двух предыдущих сильных землетрясений. В очаге произошел сбросо-сдвиг.

**Движения почвы** были зарегистрированы сетью станций сильных движений. Основная группа станций при первом толчке была сконцентрирована в пределах эпицентральных расстояний 700-800 км, и на 11 из них имеются записи скорости колебания почвы по двум горизонтальным компонентам, полученные на установках ИСО-11М+С-5-С. На территории Алма-Аты получены также записи ускорений на установках РУА (регистратор ускорений автоматический), созданных на базе типовых акселерографов АПТ и предназначенных для регистрации "средних" ускорений по трем компонентам. При главном толчке были зарегистрированы колебания в фазе поперечных и поверхностных волн. Самые слабые колебания, в несколько раз слабее ожидаемых расчетных значений, зарегистрированы станциями "Саты", "Бартогай", "Курам". Самые интенсивные колебания, превышающие расчетные в 4-7 раз, наблюдались на алма-атинской группе станций ("Абая", "Аль-Фараби", "Ионосфера"). Особенности сейсмических колебаний при Зайсанском землетрясении представляют определенный интерес, поскольку длиннопериодные колебания при слабых и средних по силе землетрясениях обычно не наблюдаются, но они могут проявиться при достаточно сильных близких землетрясениях.

Сразу же после первого толчка в эпицентральной зоне были установлены приборы сильных движений. На пункте сильных движений "Буран" (расстояние от эпицентра главного толчка 19 км) для второго сильного землетрясения 3 августа прибором ИСО-ПМ+С-5-С была получена запись по двум горизонтальным компонентам с чувствительностью 0.1 с.

На рис. 3 представлена велосиграмма по компоненте E-W. Измерения показали, что максимальная амплитуда колебательной скорости составила 11.4 см/с на периоде 1.2 с. Длительность участка "больших" амплитуд равна 2 с. Велосиграмма по компоненте E-W была оцифрована и обработана по программам, составляющим систему автоматизированной обработки записей сильных движений. Были рассчитаны спектры реакции в терминах ускорения, скорости и смещения. Максимум в спектре ускорения наблюдался на периоде 0.2 с. Интерпретация полученных данных с точки зрения связи инструментальных характеристик с макросейсмическими показала, что значение максимального ускорения  $115 \text{ см/с}^2$  по расчетной акселерограмме, согласно работе [5], соответствует 7 баллам. Значение скорости 11.4 см/с соответствует верхней границе интервала колебательных скоростей для 6 баллов.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов

Дата	Время ч мин	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
		T		N		P		MM			NP2		
		PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
14.06.90	12 47	10	250	80	72	1	339	25	83	8	294	84	174
03.08.90	09 15	18	68	67	213	11	335	204	84	22	110	68	174
27.09.90	21 12	12	78	36	179	50	334	17	68	-48	133	45	-147

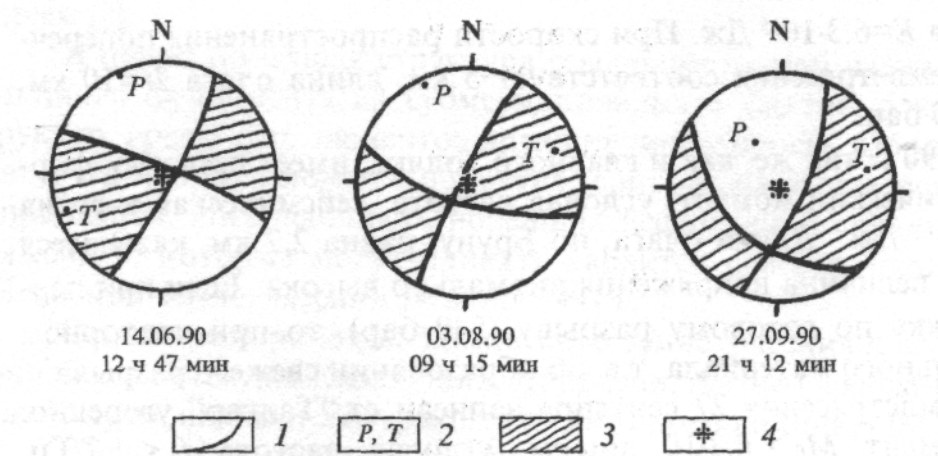


Рис. 2. Графическое изображение механизмов очагов землетрясений

1 — модальные линии волн P; 2 — оси сжатия, растяжения; 3 — область волн сжатия; 4 — проекции очага землетрясения

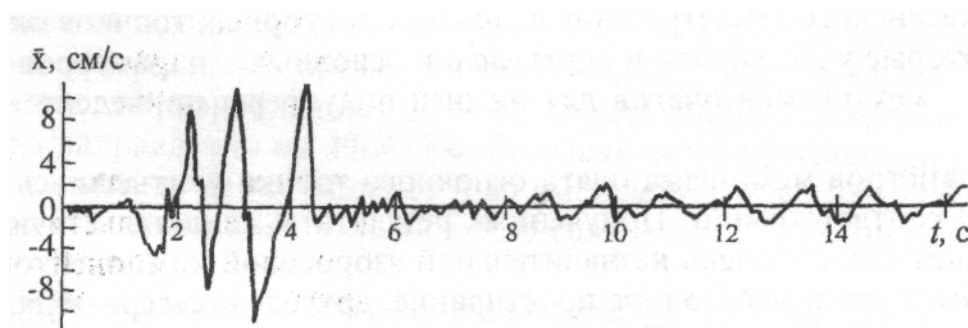


Рис. 3. Велосиграмма сильного повторного толчка 3 августа

Таким образом, исходя из имеющейся записи, можно утверждать, что в эпицентральной области землетрясения 3 августа имело место эффекты интенсивностью в 6-7 баллов.

**Макросейсмическое обследование** проводилось со стороны Казахстана и СУАР КНР. Обработка данных и оценка интенсивности сотрясений проводились независимо в Алма-Ате и Урумчи. Средняя интенсивность сотрясения определялась по шкале MSK-64. Следует отметить, что во всех населенных пунктах (и со стороны Казахстана, и СУАР КНР) преобладают постройки из местных строительных материалов (саман, бутовый камень).

С наибольшей интенсивностью землетрясение проявилось в населенных пунктах Рожково и Бакасу, находящихся соответственно в 22 и 37 км южнее эпицентра, где сила сотрясений достигала 8 баллов. Во многих саманных и каменных зданиях наблюдались повреждения в виде сквозных трещин и проломов в стенах, обрушения отдельных частей зданий, полное обрушение внутренних стен, кирпичных печей. Отдельные строения указанного типа были полностью обрушены.

Всего было обследовано 185 населенных пунктов (табл. 3). На рис. 4 приведена карта изосейст Зайсанского землетрясения. Все изолинии имеют эллипсовидную форму и вытянуты в северо-западном направлении.

По макросейсмическим данным были оценены некоторые параметры очага и среды. При  $I_0 = 8$  баллов коэффициент затухания  $v_0 = 3.7$ , а глубина очага  $h = 30$  км, что в пределах точности хорошо согласуется с инструментальными данными [6].

Аналогичную оценку глубины очага дает использование макросейсмической палетки Н.В.Шебалина [6]. Определение макросейсмической магнитуды проводилось в соответствии с методикой, предложенной Т.Г.Раутиан [7]. Величина  $M$  оказалась равной 7.2.

Оценка горизонтальной протяженности очага  $l_x$  по макросейсмическим данным  $l_x = d_{lmax} - d_{lmin} = 70$  км, где  $d_{lmax}$  и  $d_{lmin}$  – максимальный и минимальный диаметры первой изосейсты.

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 14 июня

№п/п	Пункт	Δ, км	№ п/п	Пункт	Δ, км	№ п/п	Пункт	Δ, км
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	8 баллов		42	Приозерный	67	86	Кызылши	82
1	Рожково	22	43	Энбек	68	87	Николаевка	83
2	Бакасу	37	44	Кордон № 9	69	88	Сагындык	92
	7-8 баллов		45	Майтерек	73	89	Чиликты	92
3	Куаныш	27	46	Аккаин	74	90	Кыстау-Курчум	94
	7 баллов		47	Пункт 1 (КНР)	75	91	Пугачеве	96
4	Зим. Курган	3	48	Пункт 2 (КНР)	78	92	Платове	101
5	Новый Курган	4	49	Алексеевка	79	93	Маралиха	101
6	Правый Усть-Кальжыр	14	50	Тимуны (КНР)	80	94	Койгас	101
7	Мост через Иртыш	21	51	Пункт 3 (КНР)	81	95	Успенка	102
8	Буран		52	Наст (КНР)	84	96	Кирове	102
9	Одынка	23	53	Кызылогиз	85	97	Жанаавл	103
10	Прииртыш	25	54	Дархан (КНР)	89	98	Халон (КНР)	104
11	Акарал	26	55	Байтогас	91	99	Тосты (КНР)	106
12	Чернявка	27	56	Кунэбэ (КНР)	95	100	с/х Ластинский	107
13	Шенгальды	31	57	Сарыолен	100	101	Теректабулак	114
14	Даирово	32	58	Кабахэ(КНР)	101	102	Алгадай	124
15	Погран. застава" Акжон"	33	59	Пазальхуны (КНР)	102	103	Им. Джамбула	125
16	Саржира	36	60	Бурабай	103	104	Тарбагатай	125
17	Джамбул	38	61	Покровка	105	105	Шердожак	126
18	Сарыкудук	39	62	Аксуат	107	106	Хардио(КНР)	128
19	Жарсу	44	63	Акжар	108	107	Пункт 4 (КНР)	128
20	Айнабулак	45	64	Шорга	110	108	Пункт5 (КНР)	133
21	Карабулак	48	65	Белая школа	120	109	Бультин(КНР)	135
22	Калинине	61	66	Карасу	121	ПО	Телек (КНР)	136
23	Каратогай	69	67	Курчум	126	111	Хобоксар (КНР)	
	6-7 баллов		68	Токай	129	112	Пункт 6 (КНР)	141
24	Кабыогатал	23		6 баллов		113	Бэхапа (КНР)	153
25	Скотобаза- 1	28	69	Пржевальск (Кендырлык)	47	114	Вунай(КНР)	203
26	Такыр	28	70	Теректы	50		5-6 баллов	
27	Скотобаза-2	35	71	Карашоки	55	115	Тайжузген	79
28	Улькен-Каратал	35	72	Зайсан	55	116	Карасай	93
29	Каратал	35	73	Застава	56	117	3 отд. с/х им. Крупской	100
30	Лесная застава	41	74	Талды	59	118	Чаган-Обо	101
31	Южный	47	75	Спасовка	66	119	Асусай	121
32	Сатпай	48	76	Батпакбулак	67	120	Бозша	121
33	Карашилик	48	77	Сарыший	67	121	Жанаталап	121
34	Аманат	49	78	Безбугы	68	122	Ахметбулак	122
35	Северный	55	79	Сарыбулак	68	123	Комсомол	122
36	Булгарытабыты	56	80	Каракунгей	68	124	Камысты	123
37	Приречное	58	81	Архиповка	69	125	Урунхайка	125
38	Карой	59	82	Ашалы	69	126	Новоберезовка	145
39	Аксиыр	60	83	Жьшанды	74	127	Дойлат (КНР)	147
40	Горное	61	84	Кызылкаин	75	128	Свинчатка	147
41	Майкапчагай	62	85	Караунгур	76	129	Большенарымское	148

						Окончание табл. 3		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
130	Малонарымка	152	149	Кульбабас	161	163	Прохладное	187
131	Солоновка	158	150	Шыбынды	165	169	Кокпекты	216
132	Жаланаш	158	151	Казнаковка	166	170	Николаевка	264
133	Самсоновка	275	152	Аксуат	167		4 балла	
134	Усть-Каменогорск	283	153	Сатпаев	168	171	Маканчи	260
	5 баллов		154	Султал	169	172	Навалы	267
135	Кемпирбулак	80	155	Самарское	175	173	Урджар	272
136	Тасбастау	82	156	Ханас(КНР)	176	174	Барлык-Арасан	295
137	Большой Кесык	133	157	Новополяковка	177	175	Георгиевка	297
138	Маимыр	141	158	Кожира	179	175	Жангизтобе	315
139	Медведка	143	159	Пантелемоновка	191	177	Шингожа	330
140	Топкаин	145	160	Бэтун(КНР)	217	173	Таскескен	332
141	Катон-Карагай	148	161	Таинты	222	179	Аягуз	345
142	Верхнее зимовье	149	162	Анытай(КНР)	228	180	Андреевка	410
143	Киинжира	150	163	Кызылкесек	238		3-4 балла	
144	Узунбулак	152	164	Таргын	238	181	Криуши	325
145	Чингистай	153	165	Скалистое	252	182	Аи	336
146	Ойчилик	157	166	Бестерек	259	183	Сарканд	480
147	Кызылжүлдүз	158		4-5 баллов		184	Сагабиен	523
148	Кумколь	161	167	Тарбагатай	153	185	Кызылагаш	555

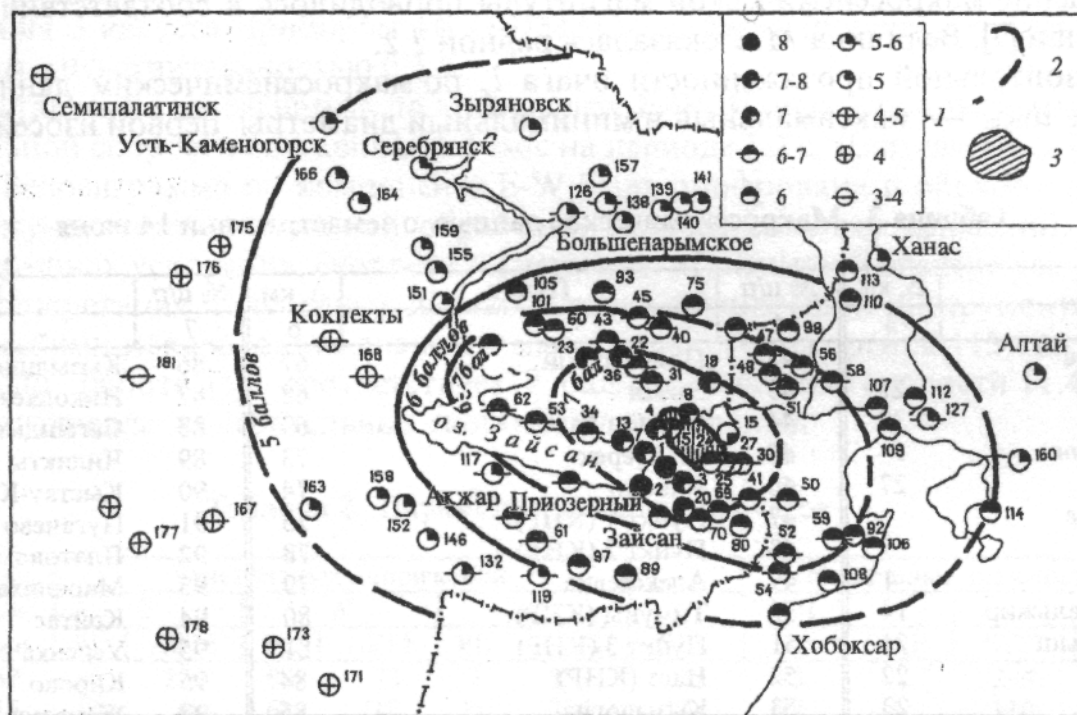


Рис. 4. Карта изосейст Зайсанского землетрясения. Сост. А. Нурмагамбетов, А. Садыков, Бэ Мыцян, Т. Абаканов, А.В. Пак, М.М. Сабитов, Б.Д. Джумагалиев  
1 — балльность; 2 — изосейста; 3 — область афтершоков

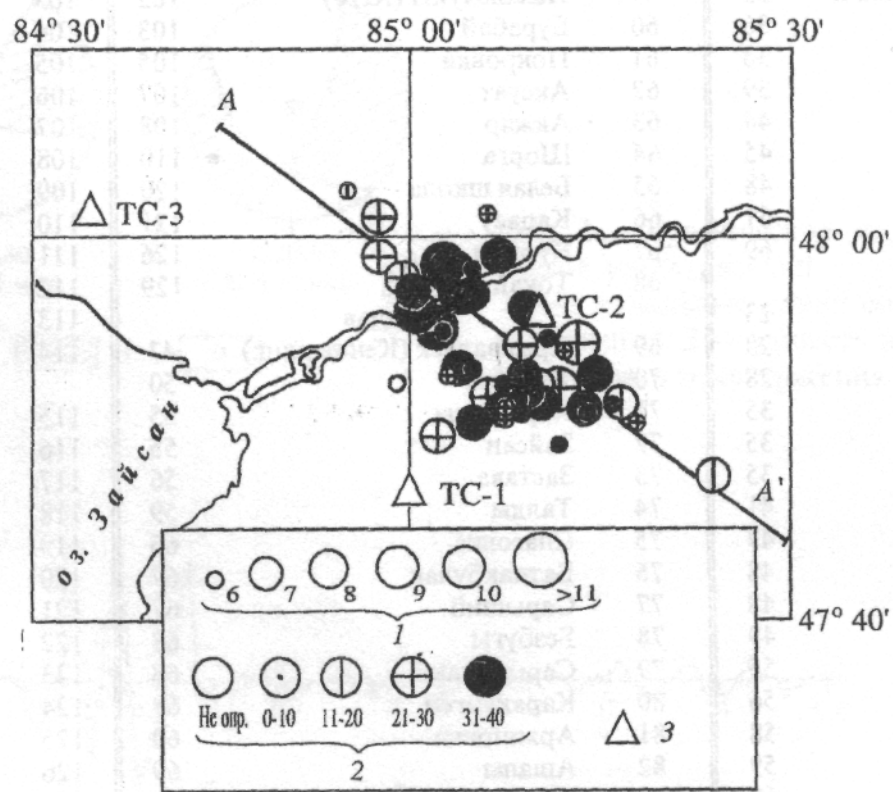


Рис. 5. Карта эпицентров афтершоков Зайсанского землетрясения по данным локальной сети  
1 — энергетический класс; 2 — глубина, км; 3 — телеметрическая станция; 4 — профиль А-А'

Рис. 6. Распределение афтершоков по глубине вдоль линии А-А'

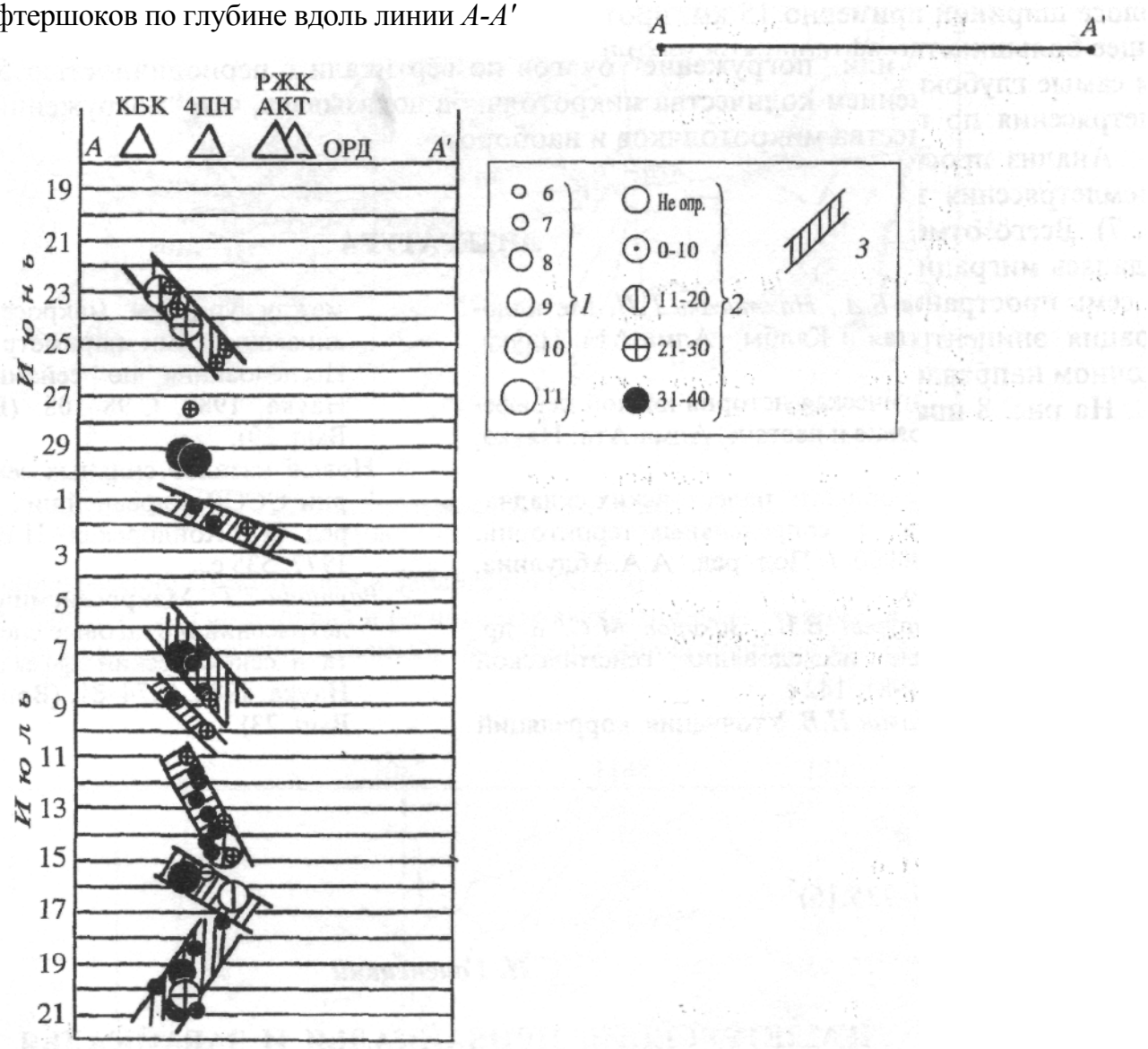


Рис. 7. Пространственно-временной график распределения афтершоков

1 — энергетический класс; 2 — глубина, км; 3 — пространственно-временные полосы миграции эпицентров

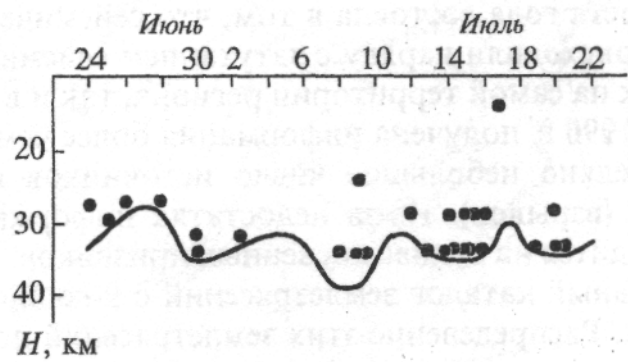


Рис. 8. Изменение глубин афтершоков во времени

**Афтершоковая последовательность** изучалась по материалам полевых сейсмических станций, оснащенных аппаратурой разного типа. Система регистрации землетрясений состояла из трех телеметрических и трех временных полевых станций регионального типа.

За период работы эпицентральной экспедиции с 15 июня по 10 ноября 1990 г. было зарегистрировано 464 повторных толчка. На рис. 5 показаны эпицентры повторных толчков, для которых определены параметры очага. Основная их масса сосредоточена в эпицентральной зоне происшедшего землетрясения

в полосе шириной примерно 15 км, протянувшейся в северо-западном направлении на 40-45 км. Подавляющее большинство афтершоков находится на глубине 25-35 км и лишь единицы — на 15 и 10 км. При этом самые глубокие из них приурочены в основном к центральной части скопления, т.е. очаговая зона землетрясения по глубине (по линии А-А') имеет вид трапеции (рис. 6).

Анализ пространственно-временной эволюции повторных толчков показывает, что практически все землетрясения возникли группами, причем периоды активизации чередовались с периодами покоя (рис. 7). Всего отмечалось шесть периодов повышения активности. Кроме того, во многих случаях наблюдалась миграция афтершоков в юго-восточном направлении. В период с 23 июня по 19 июля отмечается семь пространственно-временных миграционных полос, при этом, за исключением одного случая, миграция эпицентров начинается с северо-западного фланга очаговой зоны и происходит в юго-восточном направлении. При этом скорость миграции колеблется в пределах от 4 до 50 км/сутки.

На рис. 8 приведен график изменения во времени глубин очагов повторных толчков, на котором видно "всплывание" или "погружение" очагов по вертикали с периодичностью 5-7 сут. Сопоставление этих данных с изменением количества микротолчков показывает, что "погружению" очагов соответствует увеличение количества микротолчков и наоборот.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Щерба Г.Н., Дьячков Б.А., Нахтигаль Г.П. Металлогения рудного Алтая и Калбы. Алма-Ата: Наука, 1984. С.5-47.
2. Ерофеев В.С. Геологическая история южной периферии Алтая в палеогене и неогене. Алма-Ата: Наука, 1969. 166с.
3. Тектоническая карта области палеозойских складчатостей Казахстана и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 1500000 / Под ред. А.А.Абдулина, Ю.А.Зайцева. 1976.
4. Раутиан Т.Г., Халтурин В.И., Закиров М.С. и др. Экспериментальные исследования сейсмической коды. М.: Наука, 1981. 142 с.
5. Антикаев Ф.Ф., Шебалин Н.В. Уточнения корреляций между уровнем макросейсмического эффекта и динамическими параметрами движения грунта // Исследования по сейсмической опасности. М.: Наука, 1988. С.98-108. (Вопр. инж. сейсмологии; Вып. 29).
6. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г./ Отв. ред. Н.В.Кондорская, Н.В.Шебалин. М.: Наука, 1977.535с.
7. 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)

