

**ШАЛГИНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 22 августа 2001 года с  $M_w=5.2$ ,  $I_0=6$** **(Центральный Казахстан)****Н.Н. Михайлова<sup>1</sup>, А.И. Неделков<sup>1</sup>, И.Н. Соколова<sup>1</sup>, Е.Н. Казаков<sup>1</sup>, А.В. Беляшов<sup>1</sup>,****Н.Н. Полешко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ИГИ НЯЦ РК, Алматы, Республика Казахстан, [mikhailova@kndc.kz](mailto:mikhailova@kndc.kz)<sup>2</sup>СОМЭ МОН РК, Алматы, Республика Казахстан, [mexanizm-some@mail.ru](mailto:mexanizm-some@mail.ru)

22 августа 2001 г. в 15<sup>h</sup>57<sup>m</sup> в Центральном Казахстане в 198 км юго-восточнее г. Жезказган вблизи пос. Шалгинский произошло землетрясение с интенсивностью в эпицентре  $I_0=6$  баллов по шкале MSK-64 [1]. Землетрясение было зафиксировано сетью сейсмических станций НЯЦ РК, СОМЭ МОН РК, российскими сейсмическими станциями, станциями Международной сети мониторинга (IMS). Основные параметры главного толчка по данным различных служб приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Основные параметры главного толчка по данным различных центров обработки

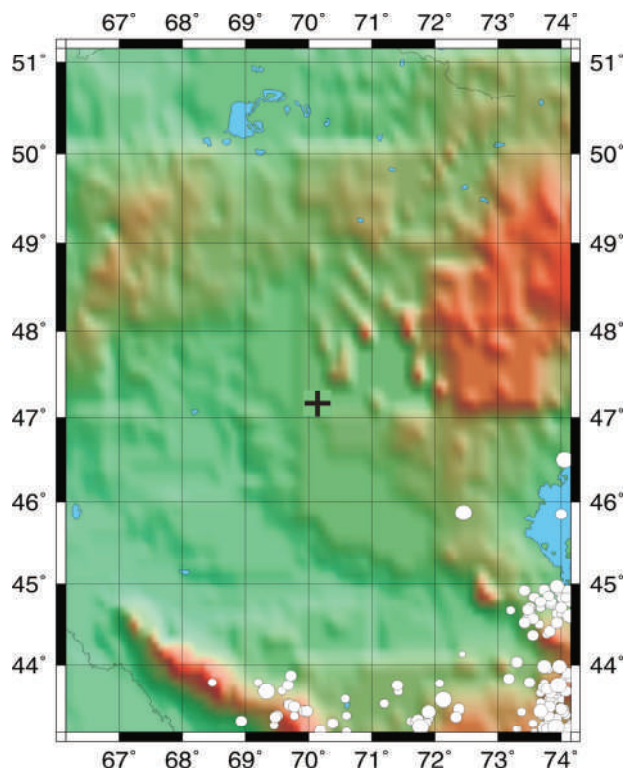
Агентство	Дата. д м	$t_0$ , ч мин с	$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E	$h$ , км	$M_s$	$K_p$
NEIC	22.08	15 58 01.82	47.16	70.20	з/к	5.0	
REB IDC	22.08	15 57 59.24	47.112	69.950	0 (фикс.)	4.7	
ИСЦ ГС РАН	22.08	15 57 58.8	47.20	70.14	з/к	5.0	
ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК	22.08	15 57 57.70	47.20	70.20	19	5.0 ( $MPV=5.4$ )	13.2
СОМЭ МОН РК	22.08	15 57 59.0	47.13	70.33	15	5.4 ( $MPVA=5.8$ )	14.2

Примечание. NEIC – Национальный центр информации о землетрясениях Геологической службы США, Денвер; REB – обзорный бюллетень Международного центра данных, Вена, Австрия; ИСЦ ГС РАН – Информационный сейсмологический центр Геофизической службы Российской академии наук, Обнинск; ЦСОССИ; ИГИ НЯЦ РК – Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан, Алматы; СОМЭ МОН РК – Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства образования и науки Республики Казахстан.

Событие вызвало большой резонанс в среде специалистов-сейсмологов, поскольку произошло в районе, необычном в сейсмическом отношении, где, согласно карте общего сейсмического районирования территории Казахстана [2, 3], проявления землетрясений такой интенсивности не ожидалось. В каталогах землетрясений территории Казахстана в этом районе ранее не было зарегистрировано даже слабых событий.

Институт геофизических исследований НЯЦ РК (ИГИ НЯЦ РК) организовал и провел экспедицию в эпицентральный район Шалгинского землетрясения. Ее основными задачами были макросейсмическое обследование и регистрация афтершоков сетью полевых станций. Результаты полевых и камеральных работ по изучению этого землетрясения приведены в настоящей статье.

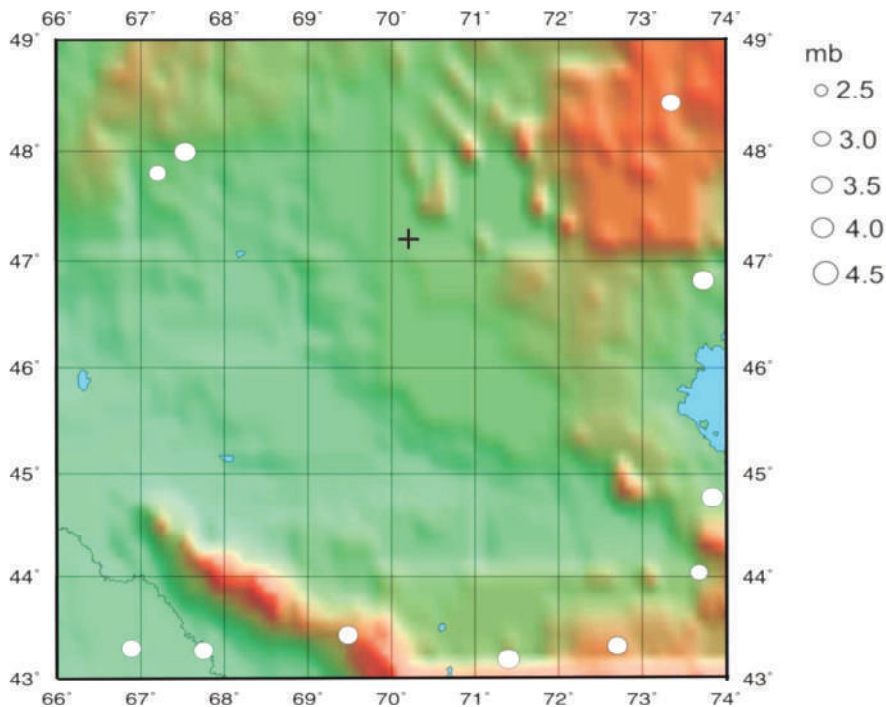
**Историческая сейсмичность** на территории Центрального Казахстана неизвестна, поэтому выше указано, что по существующей нормативной карте сейсмического районирования Казахстана она считается асейсмичной и в течение долгого времени не привлекала внимания сейсмологов Казахстана. На рис. 1 приведена карта эпицентров землетрясений по каталогу, составленному в Институте сейсмологии МОН РК, с 250 г. до н.э. до 2000 г. [4, 5]. В районе эпицентра Шалгинского землетрясения эпицентров других землетрясений не отмечено.



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений с 250 г. до н.э. до 2000 г. по каталогу Института сейсмологии МОН РК [5].

Крестик – эпицентр Шалгинского землетрясения

Анализ каталогов Международного сейсмологического центра ISC (рис. 2) и Геологической службы США NEIC (рис. 3) показал, что в 1994 и 1996 гг. в Центральном Казахстане близко друг к другу произошли два землетрясения вблизи г. Жезказган на расстояниях порядка  $2.5^\circ$  от эпицентра Шалгинского землетрясения.



**Рис. 2.** Карта эпицентров землетрясений Центрального Казахстана по каталогу ISC 1964–1998 гг.

Крестик на карте – эпицентральная зона Шалгинского землетрясения

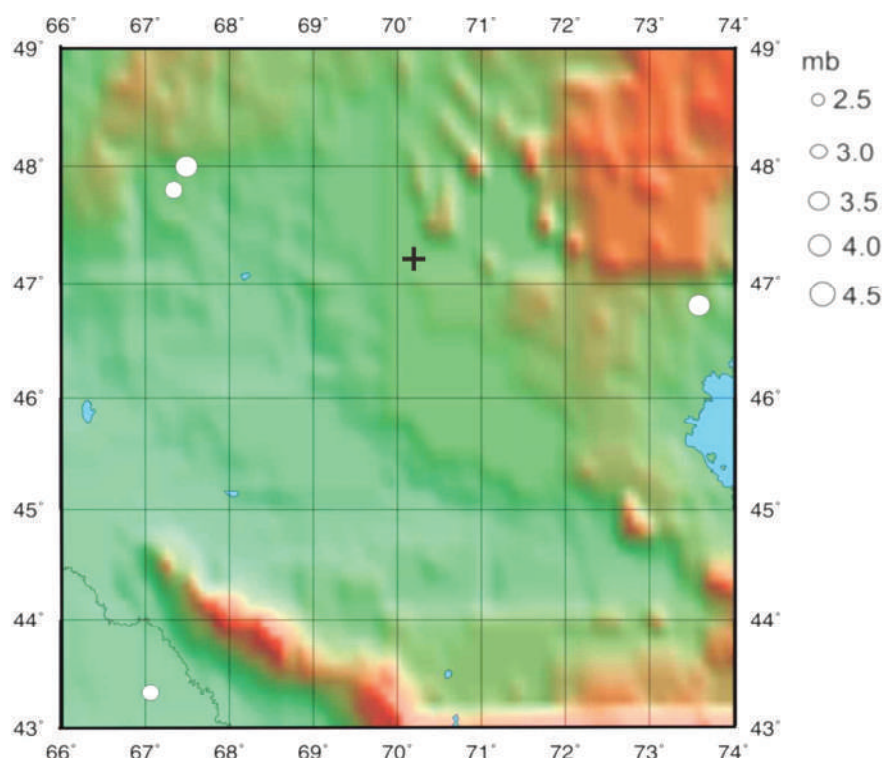


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений Центрального Казахстана по каталогу NEIC 1638–2000 гг.

Крестик на карте – эпицентр Шалгинского землетрясения

По записям цифровых станций НЯЦ РК, сделанным, начиная с 1994 г., в районе г. Жезказган удалось обнаружить четыре события, данные о которых приведены в табл. 2. Таким образом удалось установить, что в Центральном Казахстане существует естественная сейсмичность, не отраженная в каталогах землетрясений Казахстана.

Таблица 2. Параметры землетрясений в районе г. Жезказгана по данным станций сети НЯЦ РК

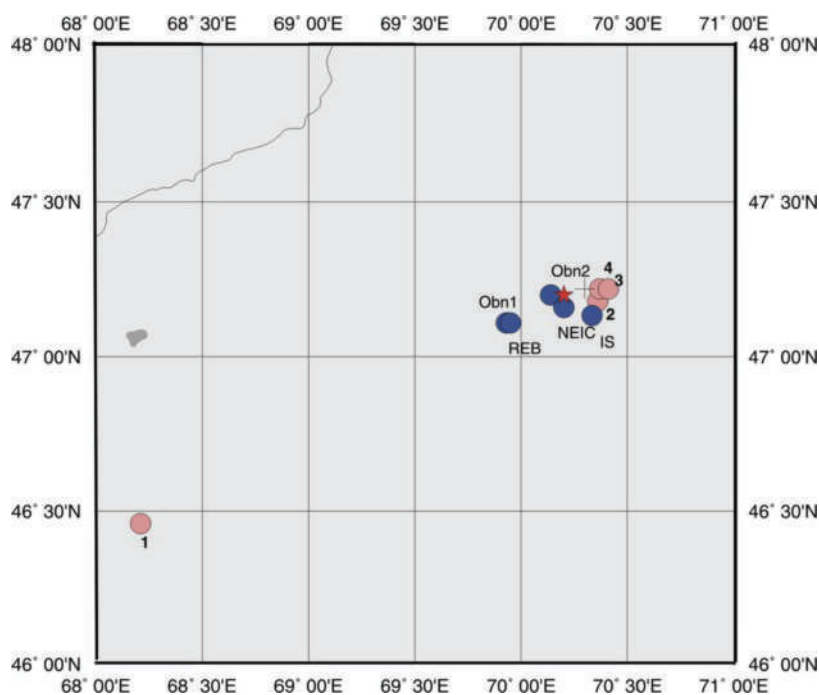
№	Дата д м год	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	MPVA	$K_p$
			$\varphi^\circ$ , N	$\lambda^\circ$ , E			
1	01.08. 1994	04 15 39.7	47.83	67.45	20	4.6	12.2
2	17.07. 1995	19 08 33.6	47.94	67.55	22	3.9	9.9
3	23.06.1996	18 28 26.7	47.91	67.57	0–5	4.2	11.0
4	01.08. 1996	00 06 04.5	47.90	67.54	0–5	4.3	10.2

**Определение координат.** Первые сведения о местоположении эпицентра главного толчка Шалгинского землетрясения в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации (ЦСОСИ) ИГИ НЯЦ РК получены через несколько минут после землетрясения благодаря данным, поступившим в режиме реального времени от двух станций – «Курчатов» (сейсмическая группа KURK) и «Маканчи» (сейсмическая группа MKAR). Результаты автоматической локализации события по этим данным приведены в табл. 3 (вариант 1) – эпицентр землетрясения получился в Центральном Казахстане примерно в 130 км на юг от г. Жезказган, что сразу же вызвало интерес к этому событию. В соответствии с технологией, принятой в ЦСОСИ, данные станций, полученные в режиме реального времени («Курчатов», «Маканчи» и «Боровое»), пересматриваются оператором в интерактивном режиме. Было установлено, что при автоматической обработке сигналов очень точно были выделены вступления волны  $P_n$  и определены времена вступлений этой фазы. Однако фазы  $S_n$  и  $L_g$  в автоматическом режиме были выделены неправильно, с ошибкой приблизительно в 20 с (практически на максимумах этих волн). После введения корректировок в интерпретацию сейсмических волн была проведена перелокализация эпицентра. Для этой цели использованы два имеющихся в ЦСОСИ

программных пакета – Datascope (dbloc 2) и Geotool. Согласно новым результатам (вариант 2 в табл. 3), положение эпицентра изменилось (рис. 4). Он сдвинулся почти на 150 км на северо-восток по определениям обеих программ относительно автоматического решения. Но между решениями по двум программам существовала большая разница – примерно 20 км. Она обусловлена использованием разных вариантов годографов IASPEI, заложенных в программы, разной детальностью задания этих годографов, различием алгоритмов определений.

**Таблица 3.** Параметры гипоцентра Шалгинского землетрясения по различным методам

№ варианта	Способ определения или источник	Эпицентр		h, км
		φ°, N	λ°, E	
1	Автоматическое определение ЦСОССИ (2 станции)	46.46	68.21	
2	Интерактивное определение (3 станции) dbloc 2	47.18	70.36	0 (фикс.)
3	Оперативное определение ИСЦ «Обнинск»	47.11	69.93	з/к
4	Международный центр данных REB	47.11	69.95	28
5	Определение ЦСОССИ по сети НЯЦ РК	47.22	70.38	26
6	Определение ЦСОССИ по сети НЯЦ РК и KNET	47.22	70.41	19
7	ИСЦ «Обнинск» (Сейсмологический бюллетень)	47.20	70.14	10
8	Геологическая служба США (бюллетень NEIC)	47.16	70.20	33
9	Макросейсмический эпицентр	47.22	70.30	
10	Окончательные координаты	47.20	70.20	19



**Рис. 4.** Результаты определения эпицентров главного толчка

1 – автоматическое определение (ЦСОССИ); 2 – определение оператором (ЦСОССИ) по данным, поступившим в реальном времени; 3 – по сети станций НЯЦ РК (ЦСОССИ); 4 – по сети станций (ЦСОССИ) НЯЦ РК и KNET; Obn1 – срочная обработка в ИСЦ «Обнинск»; Obn2 – окончательное определение ИСЦ «Обнинск»; REB – определение Международного центра данных (ИДС); NEIC – определение Геологической службы США. Крестик – макросейсмический эпицентр, звездочка – наиболее вероятное положение эпицентра.

Срочная обработка, проведенная Информационным сейсмологическим центром Российской геофизической службы (г. Обнинск) с использованием данных двух казахстанских станций, дала следующие результаты: эпицентр находится примерно в 20 км от варианта Datascope, но в другую сторону от варианта Geotool (вариант 3). Такой большой разброс между разными данными обусловлен отсутствием в районе эпицентра сейсмических станций. Ближайшей в этих вариантах была станция «Боровое» (на расстоянии около 700 км от очага). В таких усло-

виях хорошее решение может быть получено при достаточном азимутальном окружении эпицентра станциями наблюдения.

В последующие дни был проведен сбор данных других станций Казахстана и киргизской сейсмической телеметрической сети KNET [6], установленной Ренселлеровским политехническим институтом США, и повторена обработка этого события с интерпретацией всех записей оператором. Результаты новой локализации приведены в табл. 3 (варианты 5 и 6). В новых определениях участвовали 9 трехкомпонентных станций, одна сейсмическая группа сети НЯЦ РК и 10 станций KNET. Результаты получились довольно близкими между собой и практически совпадающими с оперативным определением ЦСОССИ по данным Datascope.

Примерно через две недели был получен вариант решения Международного центра данных в Вене – бюллетень REB. Его решение (вариант 4, табл. 3) совпадало с оперативным определением Обнинска, но существенно отличалось от наших решений (на 30 км). В решении участвовало 36 станций Международной сети сейсмического мониторинга (IMS).

В более поздний период, спустя несколько месяцев, были получены уточненные данные Российской геофизической службы и Геологической службы США. В них участвовали данные около 100 станций мира. Результаты приведены в табл. 3 (варианты 7 и 8). Они достаточно близки между собой и находятся примерно в 15 км от решения ЦСОССИ. Именно эти решения, по нашему мнению, наиболее близки к истинному эпицентру, который был уточнен по данным полевой регистрации афтершоков.

Таким образом, все определения с участием человека по разным службам лежат в области с апертурой 30 км ( $\pm 15$  км от истинного эпицентра), что, по всей видимости, является реальной точностью определений для этого района. Магнитуда этого события по разным источникам  $m_b=4.6-5.8$ ,  $M_s=4.7-5.4$ ,  $K=13.6-14.2$ .

Полные данные об использованных временах вступлений региональных фаз на станциях НЯЦ РК и KNET для Шалгинского землетрясения приведены в табл. 4.

**Таблица 4.** Времена вступлений основных региональных фаз (станции KNET и НЯЦ РК)

Станция	$\Delta$ , км	Вступления основных сейсмических фаз						
		$P_n$	$P_2$	$P_g$	$S_n$	$L_{g1}$	$L_g$	$R_g$
USP	552	15 59 14.523	15 59 26.619		16 00 11.795		16 00 31.967	
EKS2	577	15 59 18.351			16 00 18.548	16 00 38.341	16 00 43.752	
CHM	588	15 59 19.112		15 59 33.133			16 00 42.108	
AAK	610	15 59 22.225		15 59 40.061	16 00 24.760		16 00 46.932	
VOS	621	15 59 23.382	15 59 27.075	15 59 44.622	16 00 25.783		16 00 57.924	
AML	626	15 59 25.006	15 59 29.953		16 00 31.814		16 00 52.819	
KBK	628	15 59 24.689		15 59 43.734		16 00 50.782	16 00 58.446	
TKM2	638	15 59 24.707		15 59 39.206		16 00 49.227	16 00 58.782	
UCH	649	15 59 27.877			16 00 34.717		16 01 01.534	
ZRNM	649	15 59 27.032	15 59 30.686	15 59 47.372	16 00 32.984		16 01 02.062	16 01 27.321
BRVK	656	15 59 27.913			16 00 33.672		16 01 03.803	16 01 37.216
KZA	695	15 59 34.627			16 00 47.585			
TLG	706	15 59 33.428			16 00 43.067		16 01 17.981	
CHKZ	725	15 59 36.282		15 59 58.789	16 00 49.246		16 01 21.224	16 01 58.955
ULHL	729	15 59 38.292		16 00 00.057		16 01 22.793	16 01 26.139	
KURK	735	15 59 36.784	15 59 40.210	16 00 01.636	16 00 47.940		16 01 24.108	16 01 52.704
PDG	848	15 59 50.450					16 01 55.954	
MAKZ	900	15 59 55.996			16 01 26.354		16 02 09.595	
MK05	924	15 59 59.138						
MK06	924	15 59 59.157						
MK31	924	15 59 59.163			16 01 30.304		16 02 18.122	16 03 27.654
MK01	925	15 59 59.176						
MK04	925	15 59 59.100						
MK02	926	15 59 59.270						
MK07	927	15 59 59.270						
AKTK	964	16 00 05.106			16 01 40.734		16 02 32.591	16 03 17.619

Эллипсы ошибок, рассчитанные по данным станций IMS в Международном Центре данных (REB) и в ЦСОССИ по данным станций НЯЦ и KNET (KNDC), показаны на рис. 5. Звездочкой показано наиболее вероятное положение реального эпицентра.

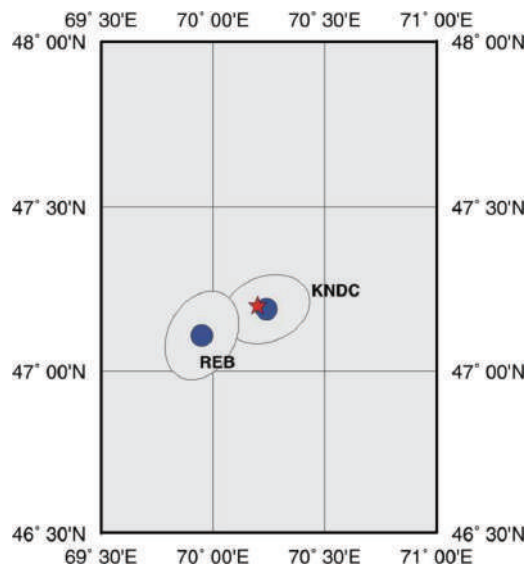


Рис. 5. Эллипсы ошибок определения эпицентра Шалгинского землетрясения по данным IDC (REB) и ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК

**Геолого-тектоническая характеристика** района эпицентра землетрясения рассмотрена по материалам исследований Чу-Илийского региона, проведенных А.А. Абдулиным, В.М. Волковым, Г.Н. Щербой и другими [7–13].

Пространственно эпицентр Шалгинского землетрясения располагается в северо-западной части Бурунтауского антиклинория, входящего в северо-восточное, Прибалхашское крыло Чу-Илийского мегантиклинория (рис. 6). Прибалхашское крыло протягивается от южного края Жаильминской синклинали до Заилийского Алатау на 750 км. Оно ограничено системой глубинных региональных разломов – на юге и западе Сарытумским разломом, переходящим на западе в северную ветвь Жалаир-Найманского разлома, на востоке – Атасу-Балхашским (Атасуйским). Простираение разломов северо-западное, падение северо-восточное.

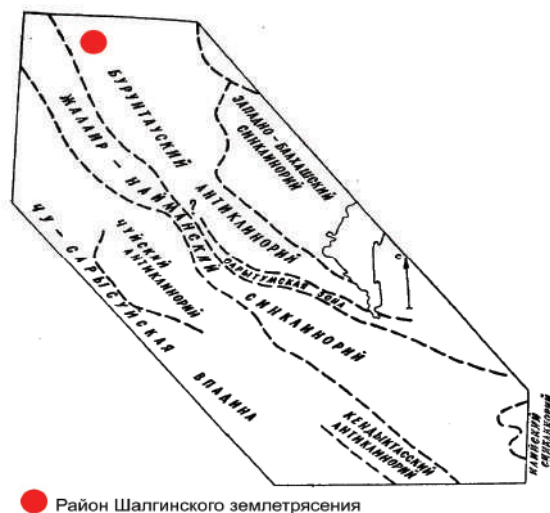


Рис. 6. Схема районирования Чу-Илийского региона (геологические структуры I порядка)

Глубинное строение земной коры Прибалхашского крыла сложное. Оно сложно сочленяется на севере с Успенским отрогом, а на юге – с Северо-Тянь-Шаньским. Мощность земной коры резко колеблется от 40 до 52 км. В районе эпицентра Шалгинского землетрясения ее мощность

составляет примерно 50 км. Прибалхашское крыло расчленено на отдельные блоки системой продольных, поперечных и диагональных разломов, составляющих ортогональную систему. Многие разломы являются естественными границами геологических структур разного порядка.

Структуры Бурунтауского антиклинория разбиты разрывными нарушениями различной ориентировки. Выделяются несколько систем разломов: первая – генеральная система северо-западного простирания (Жалаир-Найманский (Сарытумский, являющийся продолжением северо-восточной ветви Жалаир-Найманского разлома), Атасу-Балхашский, Шалгия-Караобинский, Мунлинский и другие параллельные им разломы); вторая – поперечная система разломов северо-восточного простирания (Пстанский надвиг, Бектаутинский и ряд других параллельных им разломов). Эти разломы создают ортогональную систему разломов. Встречаются диагональные субширотные и западные–северо-западные разломы, которые оперяют Жалаир-Найманскую зону разломов (рис. 7).



Рис. 7. Схема основных разломов Чу-Илийского региона [12]

1 – сплошная линия – достоверные разломы, пунктир – по геофизическим данным; 2 – контуры основных структур. Разломы (цифры в кружочках): 1, 2 – Жалаир-Найманский (1 – юго-западная ветвь, 2 – северо-восточная ветвь, ), 3 – Сарытумский, 4 – Анархайский, 5 – Бектаутинский, 6 – Атасуйский, 7 – Чуйский, 8 – Костарыкский, 9 – Шалгинский, 10 – Западно-Балхашский, 11 – Балхашский, 12 – Мунлинский, 13 – Пстанский.

Непосредственно в районе эпицентра Шалгинского землетрясения (рис. 8) проходят следующие крупные разломы: Сарытумский (являющийся продолжением северо-восточной ветви Жалаир-Найманского разлома), Мунлинский, Шалгия-Караобинский (Шалгинский) северо-западного генерального направления, региональный разлом северо-восточного направления (8), параллельный Пстанскому разлому, а также разломы близмеридионального направления – Костакырский (Ушкольский) и другие. Ниже приводится краткая характеристика наиболее крупных разломов этого района по [11].

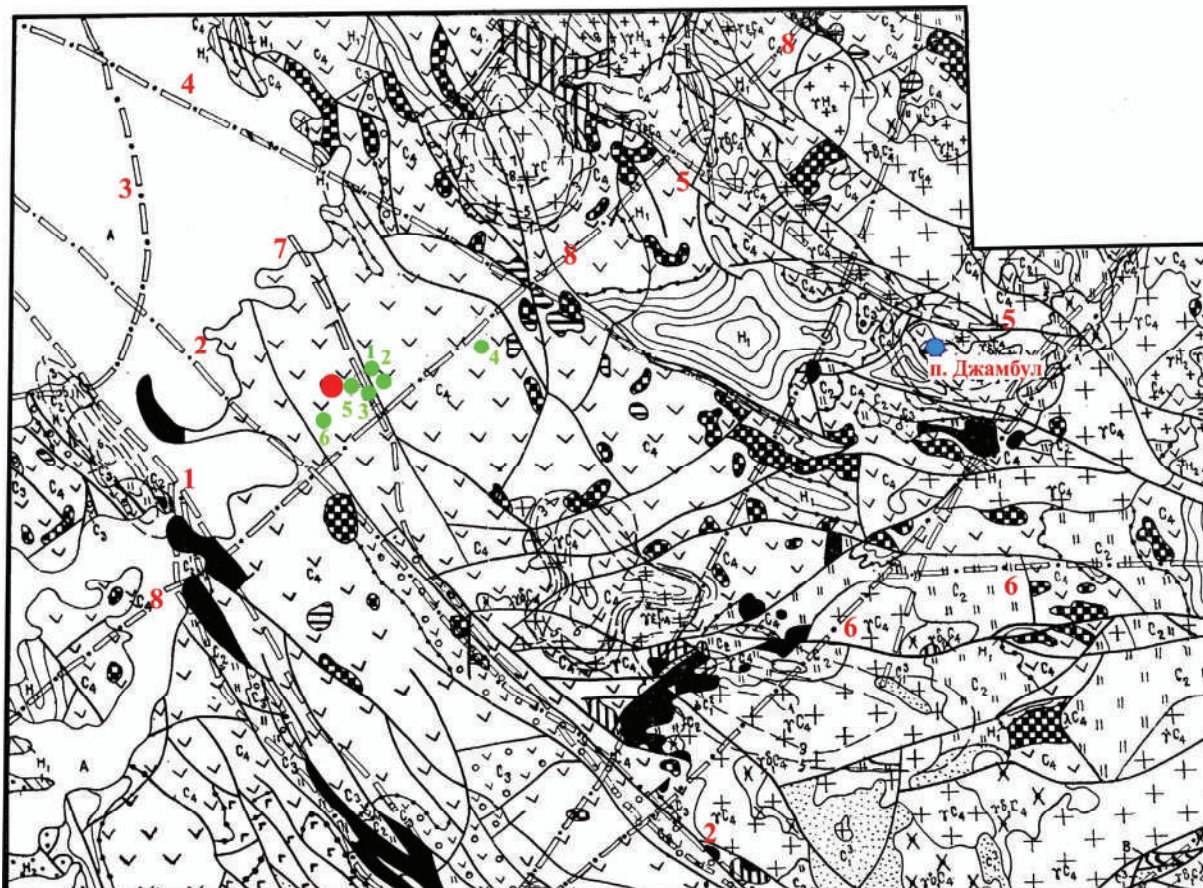
*Жалаир-Найманский глубинный (мантийный) разлом* северо-западного направления протяженностью более 500 км от гор Койжарылган простирается на юго-востоке через весь Чу-Илийский регион, примыкая на северо-западе к Чуйскому разлому. Жалаир-Найманский разлом был заложен в байкальскую эпоху тектогенеза и неоднократно подновлялся. В отношении направления падения Жалаир-Найманского разлома существуют разные точки зрения, наиболее вероятным признано крутое юго-западное падение с возможным изменением на северо-восточное в пределах глубины 1–5 км.

*Сарытумский глубинный разлом* протягивается в северо-западном направлении более чем на 500 км от южного окончания оз. Балхаш до гор Шибанды (район эпицентра Шалгинского землетрясения), где он примыкает к Жалаир-Найманскому разлому, далее являясь продолжением северо-восточной ветви Жалаир-Найманского разлома, отделяет Приатасуйский прогиб от Жалаир-Найманского синклинория. Сарытумский разлом имеет крутое падение, близкое к вертикальному. Вертикальная амплитуда перемещения пород по разлому составляет около 3 км.

*Шалгия-Караобинский глубинный разлом* прослеживается в северо-западном направлении на 170 км от гранитного массива Матурттюбек через Шалгинский массив габброидов, затухая в районе крупного гранитного массива, не выходящего на дневную поверхность, за пределами описываемого района. Имеет крутое юго-западное падение плоскости сместителя. Вертикальная

амплитуда перемещения пород по разлому составляет около 3 км. Разлом затухает в базальтовом слое. Все эти разломы имеют надвиговый характер [12].

Как видно из рис. 8, область эпицентра Шалгинского землетрясения приурочена к пересечению безымянного регионального глубинного разлома (8) северо-восточного направления и разлома (7), имеющего близмеридиональное направление и являющегося одним из ответвлений Сарытумского глубинного разлома. Примыкает к последнему южнее эпицентра землетрясения в 20–25 км. Региональный глубинный разлом (8) северо-восточного направления параллелен Пстанскому глубинному разлому и относится к другой главной системе разломов региона. Региональный глубинный разлом пересекается с крупными глубинными разломами: юго-западнее района эпицентра с Жалаир-Найманским и Сарытумским, северо-восточнее с Мунлинским и Шалгинским.



Цифрами на схеме показаны следующие разломы: 1 - Жалаир-Найманский, 2 - Сарытумский (северная ветвь Жалаир-Найманского разлома), 3 - Костакырский (Ушкольский), 4 - Мунлинский, 5 - Шалгия-Караобинский (Шалгинский), 6 - Пстанский, 7 - Близмеридиональное ответвление Сарытумского разлома, 8 - Региональный глубинный разлом северо-восточного направления.

● Эпицентр Шалгинского землетрясения, определенный по данным сейсмических станций ИГИ НЯЦ РК.

● Эпицентры афтершоков Шалгинского землетрясения ● Населенный пункт Джамбул

Рис. 8. Геолого-структурная схема северо-восточной части Чу-Илийского региона

Эпицентры главного толчка и большинства афтершоков, о которых речь пойдет ниже, располагаются в северо-западном крыле регионального (8) разлома северо-восточного простирания, что может указывать на то, что этот разлом имеет северо-западное направление падения плоскости сместителя. Близмеридиональный разлом имеет, скорее всего, более крутое юго-западное падение (примерно  $70^\circ$ ), что согласуется с направлением падения разломов генерального направления (Жалаир-Найманского, Сарытумского и др.).

Следует отметить, что на карте сейсмогенерирующих зон территории Казахстана за 2000 г. [3] в районе эпицентра Шалгинского землетрясения сейсмогенерирующих зон не выделено. Хотя южнее, от подножий гор Северного Тянь-Шаня до юго-западного окончания озера Балхаш вдоль Жалаир-Найманского разлома проходит Кендыктасская сейсмогенерирующая зона.



**Макросейсмическое обследование** было начато через шесть суток после землетрясения в 12 населенных пунктах по маршруту: г. Алматы – г. Сарышаган – г. Балхаш – пос. Акчатау – пос. Агадырь – пос. Кызылтау – пос. Атасу – г. Каражал – пос. Шалгинский – г. Жайрем – район расположения эпицентра. Их малое число объясняется тем, что эпицентр события находится в малонаселенном районе Казахстана. Наиболее близко к эпицентру расположен пос. Шалгинский – 43 км.

Интенсивность сотрясений определялась по шкале MSK-64. Макросейсмические данные приведены в табл. 5.

**Таблица 5.** Макросейсмические данные о Шалгинском землетрясении 22.08.2001 г.

№	Пункт	Δ, км	№	Пункт	Δ, км
1	<u>6 баллов</u>	43	6	Атасу	202
	Шалгинский		7	Акчатау	302
2	<u>5 баллов</u>	107	<u>3 балла</u>		198
	Каражал		8	Жезказган	
	3		Кызылтау	9	
4	Агадырь	238	<u>2 балла</u>		458
	Жайрем		10	Астана	
5	<u>4 балла</u>	122	11	Тараз	483
	Жайрем		12	Алматы	685

Землетрясение вызвало шестибалльные колебания в эпицентральной области. В 43 км на северо-запад от инструментального эпицентра в пос. Шалгинский землетрясение ощутили практически все жители, находившиеся как в помещениях, так и вне их. Большинство построек в поселке представлено деревянными сборно-щитовыми, рубленными, шлакоблочными одноэтажными домами. В помещениях ощущалась сильная вибрация, качалась мебель, звенела посуда, качались люстры, в некоторых домах качались стены, полы, на крышах некоторых домов стучал шифер. В некоторых постройках образовались трещины, как правило, на стыке двух стен. Вибрация была сильной, сопоставимой с работой тяжелого грузовика, толкающего дом и длилась 5–15 с. Люди слышали гул, который сопровождал вибрацию и прекратился с окончанием колебаний. Гул и колебания, по словам очевидцев, пришли в поселок с юго-западного направления. Люди, находившиеся во дворе дома, видели волну, распространявшуюся по земле, высотой 5–6 см, также пришедшую с юго-западного направления.

В ряде населенных пунктов (Агадырь, Кызылтау, Каражал) землетрясение вызвало пятибалльные колебания. Землетрясение ощутили многие жители поселков. В помещениях ощущалась вибрация. Качались люстры, вибрировала мебель, оконные стекла, звенела посуда. Вибрация была сопоставима с воздействием при движении тяжелого транспорта и длилась от нескольких секунд до минуты. В поселках присутствуют постройки различных конструкций. В большей степени колебания ощущались на верхних этажах пятиэтажных домов. В постройках повреждений не наблюдалось. Многие перед колебаниями слышали гул. В г. Каражал опрошенные люди указывали, что колебания и гул пришли с южного, юго-западного направления. В пос. Агадырь в магазинах с полок падали полные пластиковые бутылки.

В населенных пунктах Акчатау, Атасу, Жайрем землетрясение вызвало четырехбалльные колебания. В этих населенных пунктах преобладают одно-двухэтажные каменные постройки. В пос. Жайрем колебания особенно ощущали люди, находящиеся в пятиэтажных домах, в пос. Акчатау – люди, находившиеся на вторых и третьих этажах. Вибрация длилась меньше минуты, качались люстры, позвякивала посуда. В пос. Атасу вибрацию ощутили многие люди, находящиеся в помещении (качались люстры, у некоторых покачивались предметы мебели, звенела посуда). Повреждений в домах и хозяйственных постройках не было.

В г. Балхаш, где преобладают пятиэтажные дома, землетрясение вызвало трехбалльные колебания. Его ощутили многие люди, живущие выше второго этажа в виде слабой вибрации, длившейся короткое время. Люстры, посуда, мебель оставались в покое. Люди, находящиеся на улице, вибрации и колебаний не ощутили.

Хотя число обследованных пунктов было относительно небольшим, по полученным данным построена карта изосейст этого землетрясения (рис. 9). Отмечается четкая вытянутость изосейст в северо-восточном направлении, что согласуется с направлением регионального разлома северо-восточного простирания (рис. 8), который является ортогональным по отношению к разломам главного северо-западного направления в Чу-Илийском регионе, да и для всей Казахстанской складчатости. По результатам макросейсмического обследования положение макросейсмического эпицентра может быть описано следующими координатами:  $47.17^\circ$  северной широты,  $70.30^\circ$  восточной долготы.

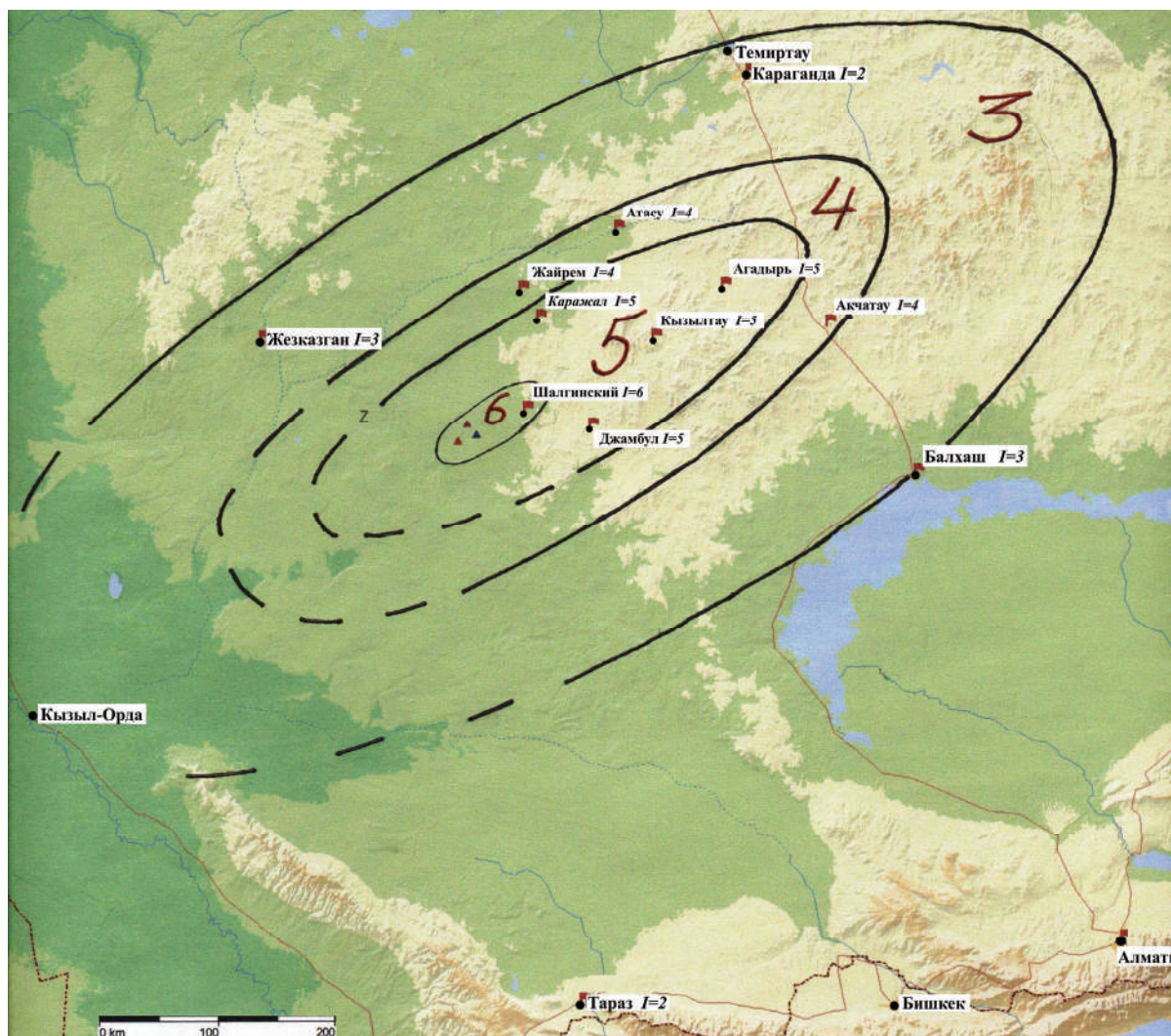


Рис. 9. Карта изосейст Шалгинского землетрясения 22.08.2001 г.

**Афтершоки.** Через три часа после основного толчка автоматическим детектированием в ЦСОССИ ИГИ НЯЦ РК по данным сейсмической группы «Маканчи» было обнаружено еще одно сейсмическое событие из района эпицентра Шалгинского землетрясения. Это был первый афтершок. Его основные параметры представлены в табл. 6. Наличие афтершока позволило, во-первых, надеяться на регистрацию полевыми станциями других последующих толчков, а, во-вторых, утверждать с большей уверенностью, что произошедшее сейсмическое событие является землетрясением (существовали разные версии природы этого события в средствах массовой информации).

В район эпицентра выехала экспедиция с полевой сейсмической аппаратурой. Пять сейсмических станций «Карс» с трехкомпонентными сейсмоприемниками были установлены по ортогональной сети с расстоянием 10 км между станциями – центральной и радиальными.

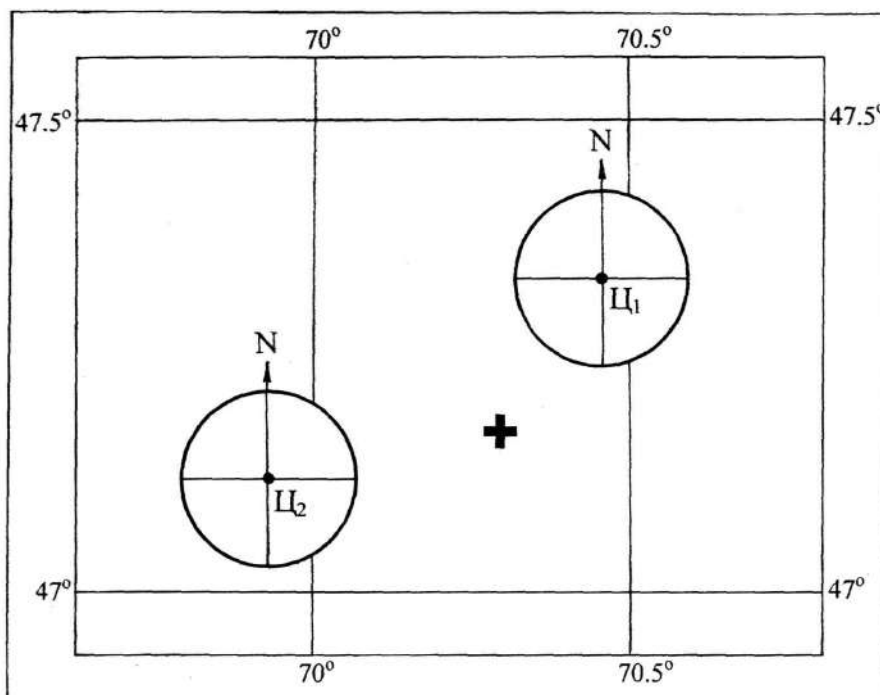
Координаты мест установки полевых сейсмостанций приведены в табл. 7. Положение площадок и мест размещения сейсмических станций показано на рис. 10. Продолжительность одного цикла наблюдений составила пять суток. Было отработано два цикла: 30.08.– 03.09. и 04.09.– 09.09.2001 г.

**Таблица 3.** Основные параметры афтершоков Шалгинского землетрясения 22 августа в  $15^{\text{h}}57^{\text{m}}$  с  $K_p=13.2$ ,  $MS=5.0$

№	Дата, д м	$t_0$ , ч мин с	Эпицентр		$h$ , км	$MS$	$MPVA$	$K_p$
			$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$				
Основной толчок								
	<b>22.08</b>	<b>15 57 57.70</b>	<b>47.20</b>	<b>70.20</b>	<b>19</b>	<b>5.0</b>	<b>5.4</b>	<b>13.2</b>
Афтершоки								
1	22.08	18 37 01.0	47.18	70.24	15		3.0	6.8
2	31.08	05 18 21.4	47.1754	70.2631	11.5			
3	31.08	22 53 59.8	47.1648	70.2264	5			
4	01.09	19 53 47.6	47.1782	70.4873	15			
5	04.09	22 35 56.4	47.1711	70.1780	7			
6	07.09	08 53 24.8	47.1273	70.1393	10			

**Таблица 7.** Координаты полевых сейсмических станций

№ пункта	№ станции	Название пункта	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$	№ пункта	№ станции	Название пункта	$\varphi^\circ, N$	$\lambda^\circ, E$
1	91	С1	47°25'12"	70°27'36"	6	77	С2	47°12'00"	69°55'48"
2	28	Ю1	47°14'24"	70°27'36"	7	91	Ю2	47°01'12"	69°55'48"
3	95	З1	47°19'48"	70°19'15"	8	32	З2	47°06'36"	69°47'27"
4	32	В1	47°19'48"	70°35'57"	9	28	В2	47°06'36"	70°04'09"
5	77	Ц1	47°19'48"	70°27'36"	10	95	Ц2	47°06'36"	69°55'48"



**Рис. 10.** Положение площадок наблюдения

Крестом обозначен окончательный эпицентр главного толчка Шалгинского землетрясения.

Всего за это время было зарегистрировано пять афтершоков. Их очаги находились в непосредственной близости от станций регистрации. Координаты гипоцентров афтершоков приведены в табл. 6, а расположение показано на рис. 4 (не залитые кружки) и рис. 8. Эпицентр афтершока (4) расположен отдельно от группы эпицентров других афтершоков. В целом же направление облака афтершоков совпадает с направлением от инструментального к макросейсмическому эпицентру, с направлением разлома, с которым связывается разрыв в очаге этого землетрясения. Диапазон глубин афтершоков составляет от 5 до 15 км.

Энергетические характеристики афтершоков определить не удалось. Можно лишь сказать, что энергетический класс самого сильного из них, который был зарегистрирован стационарной станцией сейсмической группы «Маканчи», был равен 6.8. Остальные афтершоки существенно слабее его, поскольку не были записаны ни одной станцией стационарной сети.

Координаты эпицентров афтершоков определены достаточно точно, поскольку сеть станций расположена в непосредственной близости от их очагов. Разница времен вступления  $S$  и  $P$ -волн на некоторых станциях составляет 1.65–2.5 с, т.е. станции практически находились над гипоцентрами. Это позволяет предположить, что гипоцентр Шалгинского землетрясения расположен вблизи области концентрации афтершоков. Полученные координаты эпицентра близки к определенным в окончательных каталогах NEIC, ISC и «Обнинск», несколько дальше находятся эпицентры по данным ЦСОССИ и REB.

**Механизм очага** определен по сведениям о направлениях первых смещений в продольных волнах. В качестве исходного материала были привлечены данные сейсмических станций сети НЯЦ РК, сейсмологической опытно-методической экспедиции МОН РК (СОМЭ МОН РК), опытно-методической сейсмологической экспедиции ИС НАН КР (ОМСЭ ИС НАН КР), а также ряда российских и мировых станций, данные которых опубликованы в сейсмологических бюллетенях Центра сейсмической информации ГС РАН. Использованы знаки первых вступлений  $P$ -волн 47 станций, из них 32 знака снято непосредственно с сейсмограмм. Отметим, что по станциям сети НЯЦ РК имелись цифровые записи этого события, по другим службам знаки определялись по аналоговым фотозаписям.

Расчет параметров механизма очага проводился по программе Масаки Накамура [14]. Полученное распределение наблюдаемых знаков позволяет получить два равновероятных варианта решения механизма, в которых степень согласованности используемых знаков практически одинакова и составляет 80%, а разброс значений определяемых параметров не превышает  $16^\circ$ . В табл. 8 представлены возможные вариации центрального угла, характеризующие точность оценок углов выхода осей напряжений и полюсов плоскостей. В табл. 9 приведены полученные параметры механизма очага. На рис. 11 показаны стереограммы механизма очага для двух вариантов решений.

**Таблица 8.** Характеристика точности определения параметров механизма очага Шалгинского землетрясения

Параметр	Диапазон разброса (центральный угол)
Ось сжатия ( $P$ )	$6^\circ$
Ось растяжения ( $T$ )	$16^\circ$
Промежуточная ось ( $N$ )	$0^\circ$
Ось $A$ (пл.2)	$14^\circ$
Ось $B$ (пл.1)	$4^\circ$

**Таблица 9.** Параметры механизма очага Шалгинского землетрясения

№	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
	$T$		$N$		$P$		$NP1$			$NP2$		
	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$PL$	$AZM$	$STK$	$DP$	$SLIP$	$STK$	$DP$	$SLIP$
1 вариант	65	101	25	281	0	191	78	50	57	305	50	124
2 вариант	16	112	64	239	19	16	244	88	-25	336	64	-178

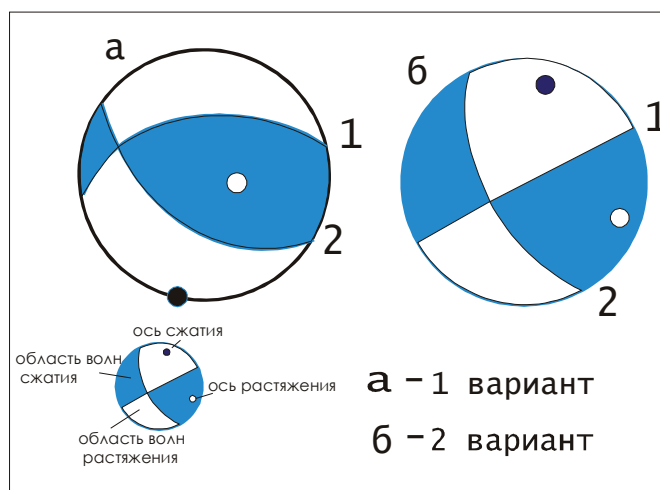


Рис. 11. Стереогаммы механизма очага землетрясения 22 августа 2001 г.

*Первый вариант решения:* в очаге землетрясения произошел взброс с незначительной сдвиговой составляющей по обеим возможным плоскостям разрыва (рис. 11, а). *Второй вариант решения:* в очаге землетрясения произошел сдвиг (рис. 11, б).

При различии характера подвижки в очаге в обоих вариантах наблюдается подобие в ориентации осей напряжений. Оси напряжений сжатия в обоих случаях близгоризонтальны и ориентированы близмеридионально, с небольшим отклонением от меридиана на северо-восток.

Оси напряжений растяжения имеют близширотное простирание при различных углах наклона к горизонту: в первом варианте – довольно крутое, а во втором – близгоризонтальное.

Первая плоскость имеет северо-восточное простирание, падение ее в первом варианте –  $50^\circ$  на юго-восток, а во втором – крутое (близвертикальное) на северо-запад. Простирание второй плоскости – северо-западное. Падение лежачего крыла на северо-восток под углом  $50^\circ$  (1-й вариант) и  $64^\circ$  (2-й вариант).

Для выбора из двух возможных плоскостей разрыва одной наиболее вероятной были привлечены дополнительные сведения об этом очаге. Во-первых, по макросейсмическим данным эллипсы изосейст (рис. 9) вытянуты в северо-восточном направлении, что может свидетельствовать о произошедшем разрыве в очаге, который распространялся именно в этом направлении. Азимут большой оси эллипса изосейст может варьировать в силу малого числа обследованных пунктов в диапазоне  $50^\circ$ – $65^\circ$ . Во-вторых, эпицентры афтершоков Шалгинского землетрясения также вытянуты в цепочку северо-восточного направления (по азимуту примерно  $AZM \sim 70^\circ$ ).

Попытаемся объединить и проанализировать все имеющиеся сведения об очаге Шалгинского землетрясения для выяснения вопроса о наиболее вероятном механизме очага и действующей плоскости разрыва (рис. 12).

Видно, что разнородные сведения, характеризующие процесс разрываобразования в очаге Шалгинского землетрясения, тяготеют к плоскости разрыва северо-восточного простирания с  $AZM \sim 64^\circ$  (обратный  $AZM \sim 244^\circ$ ). Таким образом, наиболее вероятно, что движение в очаге произошло по плоскости  $NPI$  (вариант 2). По этой плоскости проявился левосторонний сдвиг, плоскость крутопадающая. Напряжения в районе очага, которые могут вызвать такой разрыв, должны быть близгоризонтальными. При этом напряжения сжатия направлены близмеридионально, а напряжения растяжения – близширотно.

Таким образом, считаем, что полученные данные позволили с разных сторон изучить столь необычное и интересное для Казахстана землетрясение. Впервые были получены достоверные материалы об активности этого района Казахстана. Впервые получены данные о напряженном состоянии земной коры. Это землетрясение послужило стимулом к изучению сейсмичности других районов Казахстана, ранее считавшихся асейсмичными. По-новому поставлен вопрос создания системы сейсмических наблюдений в Казахстане. Новые сведения о сейсмичности Центрального Казахстана необходимо будет учитывать при работах по оценке сейсмической опасности и сейсмическому районированию.

## Л и т е р а т у р а

1. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
2. **Строительство в сейсмических районах (СНиП РК В. 1.2–4.48).** Алматы: Комитет по жилищной и строительной политике Министерства энергетики, индустрии и торговли РК, 1998. – 39 с.
3. **Сейсмическое районирование Республики Казахстан.** Алматы: Эверо, 2000. – 219 с.
4. **Михайлова Р.С., Каток А.П., Матасова Л.М., Джанузаков Л.М., Сыдыков А. (отв. сост.).** III. Средняя Азия и Казахстан [300 до н.э. – 1974 гг.,  $M \geq 5.0$ ,  $MPSP \geq 5.6$ ,  $MPVA \geq 5.3$ ;  $I_0 \geq 6.0$ ] // 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. 198–296.
5. **Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня и Джунгарского Алатау с 1927 по 2000 гг.** – Алматы: Фонды ИС МОН РК, 2001. – 54 с.
6. **Vernon F.** Kyrgyzstan seismic telemetry network // IRIS Newsletter. – 1992. – **11.** – № 1. – P. 7–9.
7. **Чу-Илийский рудный пояс.** В 3-х томах. / Научные руководители и редакторы: А.А. Абдулин, В.М. Волков, Г.Н. Щерба (главный редактор). – Алма-Ата: Наука, 1980.
8. **Абдулин А. А.** Геология Казахстана. – Алма-Ата: Наука, КазССР, 1981. – 312 с.
9. **Абдулин А. А., Шлыгин А. Е., Жуков П. К.** Важнейшие черты геологии и металлогении Урало-Монгольского складчатого пояса. – Алма-Ата: Наука, КазССР, 1987. – 375 с.
10. **Абдулин А.А., Паталаха Е.И.** Геодинамика земной коры Казахстана. – Алма-Ата: Наука, КазССР, 1980. – 360 с.
11. **Геологическое строение СССР и закономерности размещения полезных ископаемых. Т. 6. Казахстан и Средняя Азия.** – Л.: Недра, 1989. – 236 с.
12. **Щерба Г.Н. и др.** Геотектоногены и рудные пояса. – Алма-Ата: Наука, КазССР, 1970. – 184 с.
13. **Геология СССР. Т. XX.** Кн. 1. – М.: Недра, 1972. – 582 с.
14. **Masaki Nakamura.** Determination of focal mechanism solution using initial motion polarity of *P* and *S* waves // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 2002. – № 130. – P. 17–29.