

ТЕКЕЛИЙСКОЕ-II ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 13 июня 2009 г.**с $K_p=13.8$, $MLH=5.4$, $I_0=7$ (Казахстан)****Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко**

Республиканское государственное предприятие «Институт геофизических исследований»
Комитета по атомной энергии Министерства энергетики Республики Казахстан
mikhailova@kndc.kz

13 июня 2009 г. в 23^h17^m по местному времени (в 17^h17^m по UTC) в юго-восточном Казахстане произошло сильное землетрясение. В результате землетрясения наиболее сильно пострадал г. Текели, оказавшийся непосредственно в эпицентральной зоне землетрясения. Интенсивность сотрясений I в этом городе достигла 7 баллов по новой шкале MSK-64 (К) [1]. Землетрясение должно быть названо как Текелийское-II, т.к. это уже второе за последние 16 лет землетрясение такой интенсивности в г. Текели [2]. Предыдущее Текелийское-I землетрясение с $K_p=15.0$, $MLH=5.4$ произошло 30.12.1993 г. [3].

Координаты гипоцентров и магнитуды двух Текелийских землетрясений приведены в табл. 1. Видно, что характеристики обоих землетрясений – как расположение гипоцентров, так и их магнитуды – очень близки.

Таблица 1. Основные характеристики сильных ($MLH=5.4$) Текелийских-I и -II землетрясений

№	Дата, д м год	t_0 , ч мин с	Гипоцентр			MLH	MS	$MPSP$	Источник
			φ° , N	λ° , E	h , км				
1	13.06.2009	17 17 37	44.77	78.82	25	5.4	5.2	5.7	[4]
2	30.12.1993	14 24 06.4	44.82	78.77	20	5.4 [5]	5.3	5.7	[3]

Два семибалльных землетрясения практически в одном месте за сравнительно небольшой срок – неординарное явление в сейсмичности Казахстана. Это заставляет подробно проанализировать ситуацию в этом сейсмоактивном районе.

Инструментальные данные. Текелийское-II землетрясение записано большим числом мировых станций – $n=1435$ [6]. В табл. 2 собраны его параметры по региональным и другим данным.

Таблица 2. Основные параметры Текелийского-II землетрясения 13 июня 2009 г. по данным Казахстана и других сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда		Ис- точ- ник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км			
ИГИ НЯЦ РК	17 17 40.0		44.77	0.03	78.82	0.03	25	3	$K_p=13.8$, $MLH=5.4/8$, $MPVA=6.3/19$	[4]	
СОМЭ МОН РК	17 17 37	0.3	44.77	0.05	78.82	0.05	15				
MOS	17 17 39.6	0.9	44.80		78.91		33 f		$MPSP=5.9/146$	[7]	
ISC	17 17 39.2	0.3	44.73	0.02	78.83	0.02	19 19 _{pp}	1	$Ms=5.2/221$, $m_b=5.7/454$	[6]	
NEIC	17 17 37.7	0.1	44.73		78.87		11		$Ms=5.1/117$, $m_b=5.8/243$, $Mw=5.4$	[6]	
GCMТ	17 17 40.6	0.1	44.77		78.83		12		$Mw=5.4$	[6]	
NNC	17 17 40.8	0.5	44.95		78.58		20	2	$m_b=6.1$, $m_{pv}=5.8$	[6]	
IDC	17 17 36.1	0.3	44.72		78.88		0 f		$Ms=4.9/46$, $m_b=5.4/46$, $ML=5.3/7$	[6]	
ВЛ	17 17 38.2		44.78		79.02		21		$Ms=5.7/70$, $m_b=5.4/59$	[6]	

Примечание. Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. сб.

Как видим, разброс по широте равен 0.23° ($\varphi=44.72-44.95$ N), по долготе – 0.46° ($\lambda=78.58-79.02^\circ$ E), по глубине – 13 км (11–25 км). По магнитудам наиболее устойчивы значения MLH и M_w на уровне 5.4.

Механизм очагов Текелийских землетрясений. Механизм очага Текелийского-II землетрясения 13 июня 2009 г. получен по стандартной методике (МО) на основе первых вступлений объемных P -волн [8] и по методике инверсии поверхностных волн (СМТ) (каталог тензора центра сейсмического момента Колумбийского университета) [6, 9]. Для сравнения в табл. 3 приведены также аналогичные параметры для Текелийского-I землетрясения 30.12.1993 г.

Таблица 3. Параметры механизма очагов Текелийских землетрясений 30.12.1993 г. и 13.06.2009 г.

№	Методика	t_0 , ч мин с	φ°	λ°	h , км	M_S	M_w	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						n
									T		N		P		$NP1$			$NP2$			
									PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	$SLIP$	STK	DP	$SLIP$	
13.06.2009 г.																					
1	[8]	17 17 37	44.77	78.83	25			13.8	20	71	63	296	18	168	30	63	2	300	89	154	27
2	[6]	17 17 40.6	44.77	78.83	12	5.1	5.4		57	68	33	247	1	337	39	55	48	276	53	133	24
3	Δ	2.7	0	1	-13				37	-3	-30	-49	-17	169	9	-8	46	-24	-36	-21	-3
30.12.1993 г.																					
4	[10]	14 24 06.4	44.82	78.77	20			15.0	30	73	60	258	2	164	32	68	21	115	70	157	85
5	[11]	14 24 10.2	44.95	78.77	21	6.1			47	78	43	250	4	344	41	62	40	110	55	145	24
6	Δ	3.8	0.08	0	1				-17	-5	17	8	-2	0	-9	-6	5	15	-15	12	61
1993–2009 гг.																					
7	Δ МО		3	-3	-5				10	2	-3	-38	-16	-4	2	5	19	-185	-19	3	58
8	Δ СМТ		11	-4	9	0	0	1.2	-10	10	10	3	3	7	2	7	-8	-166	2	12	0

Примечание. Δ – означает разность параметров (СМТ–МО).

Стереограммы механизмов приведены на рис. 1.

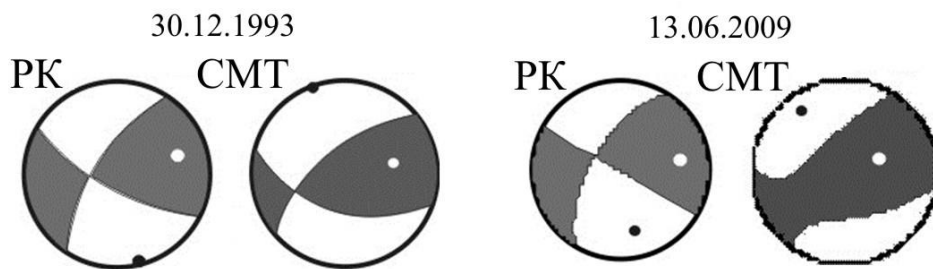


Рис. 1. Стереограммы механизмов очагов землетрясений 1993 и 2009 гг. (в верхней полусфере) по данным регионального каталога МО и СМТ-каталога

В решении механизма очага землетрясения 2009 г. по стандартной методике МО (строка 1 в табл. 3) было использовано 27 знаков первых вступлений P - и S -волн, зарегистрированных сейсмическими станциями сетей СОМЭ и ИГИ НЯЦ РК. Распределение знаков позволило получить решение МО, в котором согласованность знаков составила 100%, разброс определяемых параметров не превышал 15° . Первая нодальная плоскость, ориентированная в северо-восточном направлении, круто падает на юго-восток. Вторая плоскость близвертикальная, она имеет северо-западное простирание, согласующееся с простиранием Южно-Джунгарского разлома. Подвижка по первой плоскости представляет собой левосторонний сдвиг, по второй – сдвиг-взброс с преобладанием правосторонней сдвиговой компоненты. Ориентация снимаемых в очаге напряжений свидетельствует, что разрыв произошел под действием близгоризонтального, субмеридионального напряжения сжатия.

СМТ-решение (строка 2 в табл. 3) получено по данным 24 станций Глобальной сети наблюдений и в целом согласуется с решением по стандартной методике (строка 1 в табл. 3). Разница между центроидным временем и начальным временем по региональному каталогу составляет 2.7^s , она может характеризовать время развития процесса в очаге [12]. Положение эпицентров центроида и очага в первом движении совпадает, существенно отличаются только значения глубин. Сопоставление решений механизмов по двум методам показывает, что ориентация первой плоскости практически одинакова, расхождение ее параметров не превышает 9° , т.е. находится в пределах точности решения. Несколько большее расхождение параметров отмечено для второй плоскости: ее падение в главной фазе более пологое, а простирание – субширотное. Ориентация напряжения сжатия при развитии разрыва сохраняется, тогда как параметры напряжений растяжения и промежуточного существенно изменяются. Этим обусловлено изменение в характере подвижки: по обеим нодальным плоскостям уменьшается сдвиговая составляющая, а взбросовая – растет. В результате тип подвижки меняется на взброс, с таким движением по плоскости разрыва согласуется меньшая глубина гипоцентра по каталогу СМТ относительно регионального.

Решение механизма очага в рамках использованной модели предполагает два равновероятных положения плоскости разрыва. Для установления истинной плоскости разрыва протяженного очага применена, в частности, методика И.В. Горбуновой [13], основанная на построении и анализе азимутального годографа. Годограф построен по материалам станций СОМЭ, по вертикальной шкале значения δ ($t_{P_{\max}} - t_{P1}$), где $t_{P_{\max}}$ – время наступления максимума в цуге P -волн, t_{P1} – время первого вступления P -волны (рис. 2).

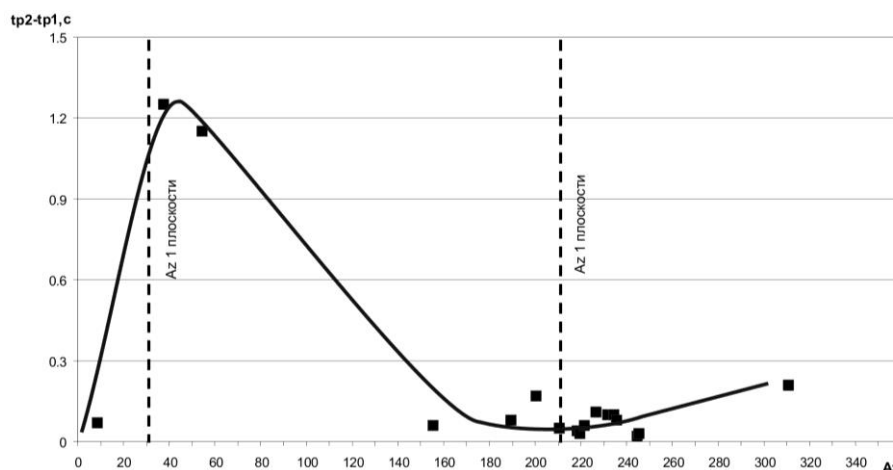


Рис. 2. Азимутальный годограф Текелийского-II землетрясения 13 июня 2009 г. с $K_p=13.8$, $MLH=5.4$

Из рис. 2 видно, что годограф имеет один четкий максимум, приуроченный к азимуту 40° , минимум годографа тяготеет к значениям $180-220^\circ$. Эти значения близки, соответственно, к прямому и обратному азимутам простирания первой нодальной плоскости, показанным на рисунке вертикальными линиями. Из такого вида азимутального годографа следует, что ориентация плоскости разрыва близка к 40° , разрыв был однонаправленным и распространялся от азимута 40° к 220° . Данные азимутального годографа хорошо согласуются с параметрами механизма очага и позволяют предположить, что действующей была первая нодальная плоскость ($STK = 30$ и 39°) с северо-востока на юго-запад.

Сопоставление решений механизмов очагов двух Текелийских землетрясений 1993 и 2009 гг., как по МО, так и по СМТ, свидетельствует об их подобии (рис. 1), разница в значениях параметров не выходит за пределы точности решений (строки 7, 8 в табл. 3). В обоих случаях решение механизма представляет собой комбинацию из крутопадающих плоскостей северо- и юго-восточного простирания, подвижки по которым реализовались в условиях близгоризонтального субмеридионального сжатия. В первом движении превалирует горизонтальная составляющая подвижек по крутопадающим плоскостям, а в главной фазе – взброс, причем падение плоскостей при развитии разрыва становится более пологим.

Одинаковыми оказались также основные характеристики механизмов очагов афтершоков этих двух сильных землетрясений. В 71% афтершоков Текелийского-I землетрясения 30.12.1993 г. присутствовала плоскость северо-восточного простираения.

Причем в 32% случаев обе плоскости имели северо-восточное направление, а в остальных вторая плоскость простиралась на северо-запад. Примерно одинаково представлены взбросы (55%) и сбросы (в 45%) в очагах. Почти во всех афтершоках (как взбросового, так и сбросового типа) снимались вторичные напряжения.

Афтершоки. В каталог и сейсмологические бюллетени 2009 г. включено более 150 афтершоков главного толчка [14] в диапазоне энергетических классов $K_p=5.2-10.7$. Гистограмма распределения их по энергетическим классам изображена на рис. 3.

Максимальный ($K_a=10.7$) афтершок произошел через 7^м после главного толчка, следовательно величина энергетической ступени с главным толчком составила

$$\Delta K_a = K_0 - K_a = 13.8 - 10.7 = 2.1.$$

Он ощущался в г. Текели с интенсивностью $I=7$ баллов [4]. В плане облако афтершоков сконцентрировано в блоке между Западно- и Южно-Джунгарским разломами и вытянуто в юго-восточном направлении (рис. 4 справа). Размеры области афтершоков Текелийского-II землетрясения в плане оцениваются следующими величинами: длина $L=21$ км, ширина – $W=10$ км. Подобную картину можно наблюдать и при Текелийском-I землетрясении 30.12.1993 г. [2], только местоположение главного толчка Текелийского-II землетрясения и связанное с ним поле афтершоков сдвинуто на северо-запад (рис. 4 слева).

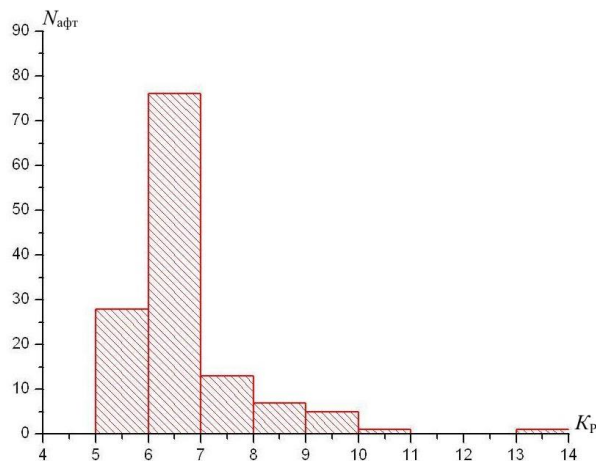


Рис. 3. Распределение числа афтершоков Текелийского-II землетрясения по энергетическому классу K_p

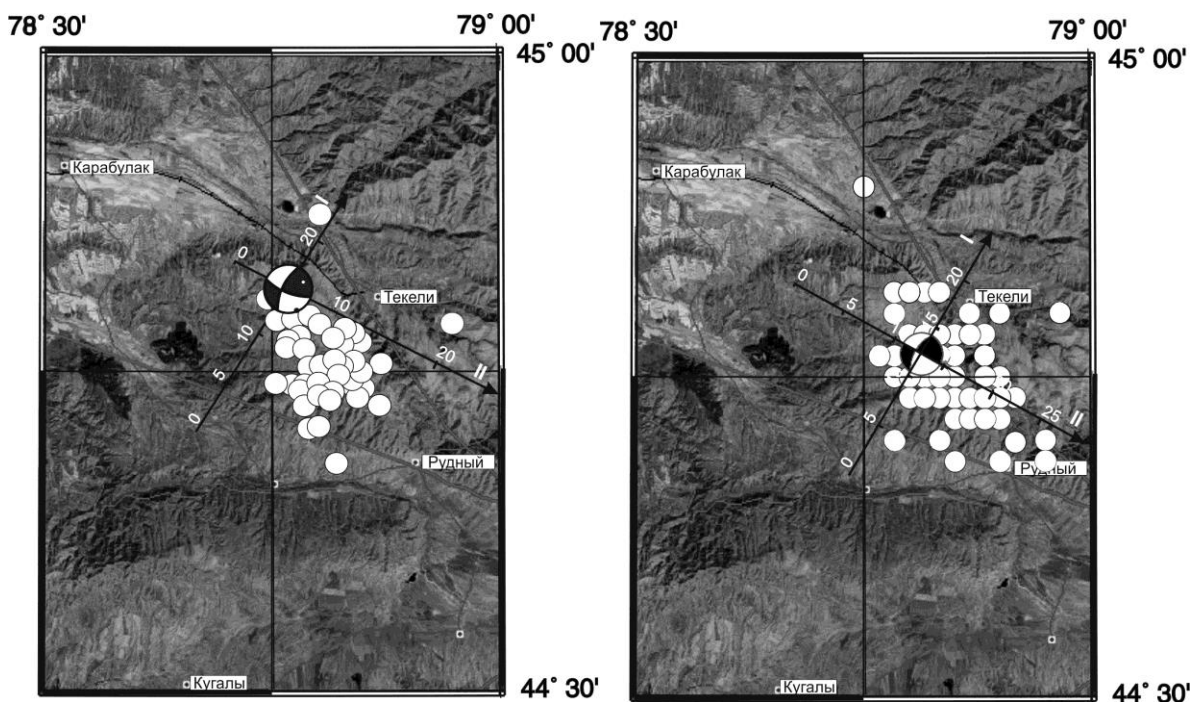


Рис. 4. Карты эпицентров главных толчков и афтершоков Текелийских землетрясений 30.12.1993 г. (слева) и 13.06.2009 г. (справа)

Заметим, что в исследуемом случае только по положению облака афтершоков в плане нельзя решить вопрос о направлении и размерах разрыва при главном толчке. Необходимо проанализировать объемную модель очага в земной коре. С этой целью рассмотрено распределение проекций гипоцентров афтершоков Текелийского-II землетрясения на две ортогональные вертикальные плоскости по простиранию первой и второй нодальных плоскостей главного толчка (рис. 5).

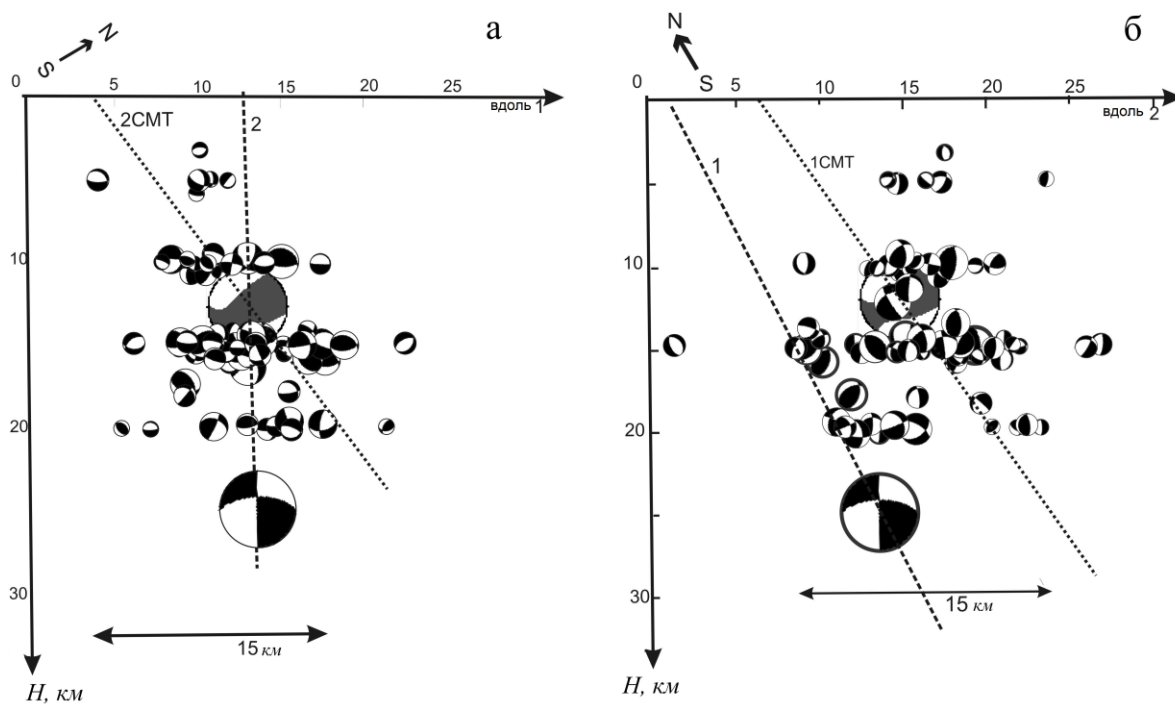


Рис. 5. Глубинные разрезы облака афтершоков Текелийского-II землетрясения 13.06.2009 г. по первой нодальной плоскости $NP1$ (а) и по второй $NP2$ (б)

Анализ глубинного распределения афтершоков показывает, что, во-первых, все гипоцентры распределены в земной коре на глубине от 5 до 25 км и, во-вторых, с удалением от гипоцентра главного толчка на юг глубины очагов афтершоков уменьшаются. Но совершенно четко видно, что очаги всех афтершоков расположены только с одной стороны плоскости разрыва, а именно с южной, что может свидетельствовать о падении плоскости разрыва в южном направлении. Наилучшим образом такому распределению афтершоков соответствует простирание первой нодальной плоскости. Это четко видно на рис. 5 б – все афтершоки сконцентрированы в южном, висячем крыле разрыва. Таким образом, несмотря на то, что по распределению афтершоков в плане создается впечатление развития разрыва в главном толчке в юго-восточном направлении, анализ распределения афтершоков по вертикальным разрезам позволяет считать, что разрыв в очаге произошел по крутопадающей на юго-восток плоскости северо-восточного простирания ($STK=30$ и 39°).

Геометрические размеры очага, оцененные по вертикальным разрезам распределения афтершоков на рис. 5, составляют: $L=15$ км, $W=15$ км, $H=25$ км. Такие размеры очага по существующим зависимостям [15], связывающим размеры очага с магнитудой, соответствуют $M=6$ и геологически фиксированы размерами блока.

Исследование затухания во времени афтершоковой деятельности (рис. 6) показало резкое уменьшение числа афтершоков в первые 15 дней.

Быстро уменьшалась и величина выделившейся сейсмической энергии, как видно из рис. 7.

Проведено сопоставление афтершоковой активности при двух Текелийских землетрясениях. Глубины гипоцентров афтершоков Текелийского-I землетрясения 30.12.1993 г. были определены лишь для нескольких афтершоков и равны 12–18 км. Подобие наблюдается в проявлении афтершокового процесса во времени – это резкое затухание их числа в первые дни.

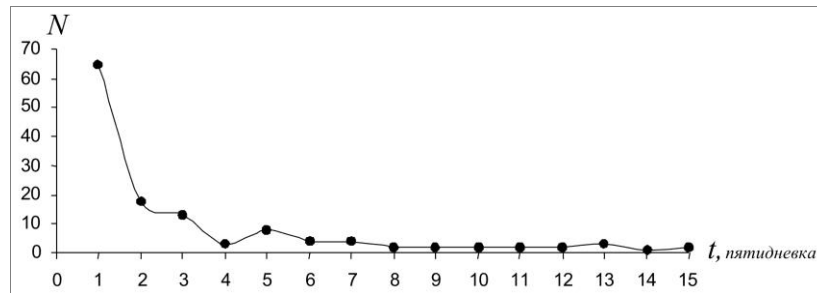


Рис. 6. Затухание афтершоковой деятельности Текелийского-II землетрясения 13 июня 2009 г.

По оси абсцисс показаны номера пятидневок, начиная с главного толчка.

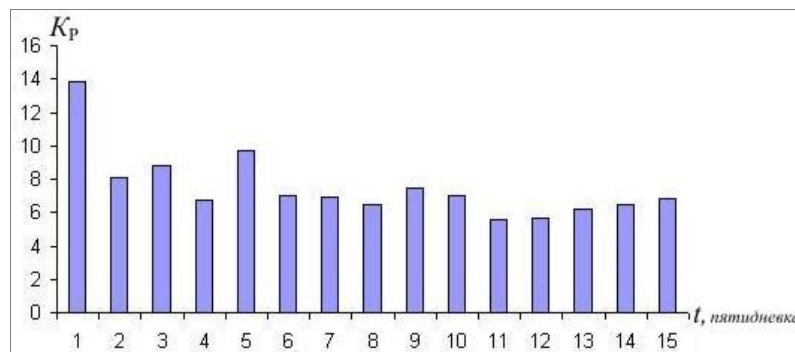


Рис. 7. Максимальные энергетические классы афтершоков Текелийского землетрясения за пятидневки

По оси абсцисс показаны номера пятидневок, начиная с главного толчка.

Результаты макросейсмического обследования. Макросейсмическое обследование было выполнено в период с 14 по 20 июня 2009 г. группой научных сотрудников и инженеров Института сейсмологии РК, Сейсмологической опытно-методической экспедиции МОН РК и НПК «Прогноз» МЧС РК [14].

На рис. 8 представлены фотографии из г. Текели, сделанные «по горячим следам» после землетрясения и помещенные на сайте www.today.kz.

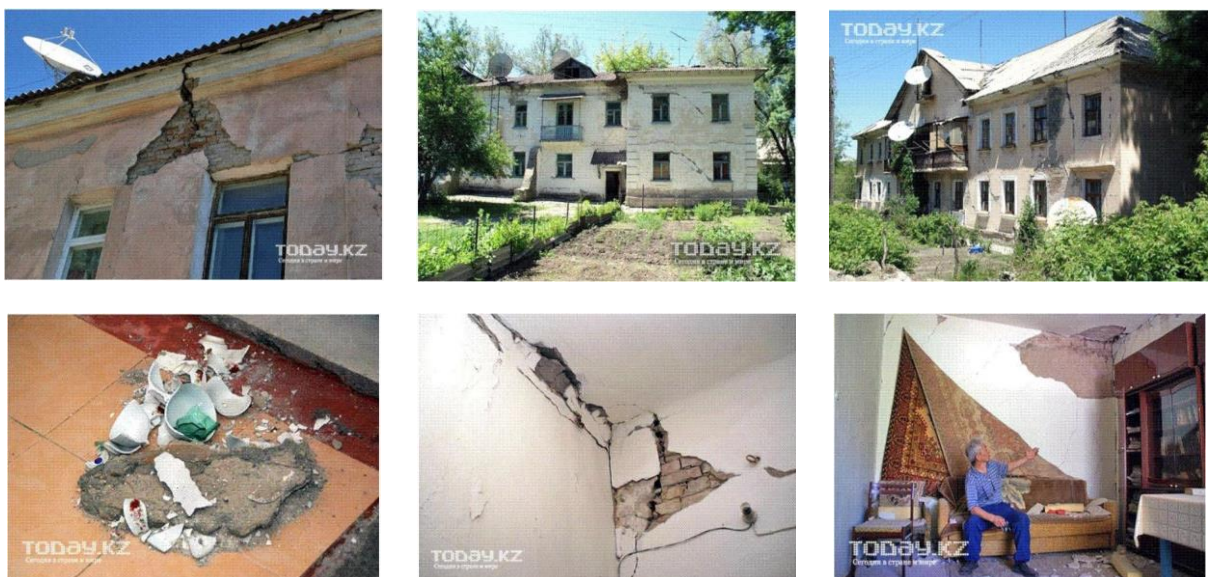


Рис. 8. Фотографии повреждений зданий в г. Текели в результате землетрясения 13 июня
<http://www.today.kz/ru/news/kazakhstan/2009-06-16/tekeli13>

С наибольшей интенсивностью $I_{\max}=7$ баллов землетрясение проявилось в г. Текели и в г. Рудничный. Город Текели расположен в 8 км от инструментального эпицентра. Согласно карте сейсмического микрорайонирования г. Текели, восточная его часть расположена на неблагоприятной в сейсмическом отношении территории – повсеместно проявлены просадочные лессовидные суглинки мощностью от 20 до 30 м. Некоторые постройки находились на склонах. Вероятно, эти факторы повлияли на сейсмический эффект от этого землетрясения. В результате землетрясения в г. Текели саманные жилые дома повсеместно получили тяжелые повреждения в виде глубоких больших сквозных трещин и частичное обрушение. Кирпичные дымовые трубы повсеместно выпали, имеются случаи разрушения печей. Большинство зданий типа «А» получили повреждения 3-й степени, отдельные жилые дома получили повреждения 4-й степени, характеризующиеся сквозными трещинами и проломами в стенах, разрушениями связей между отдельными частями зданий, обрушениями внутренних стен. Жертв и пострадавших от землетрясения не было. Ущерб от землетрясения по заключению специально созданной комиссии составил 400 миллионов тенге (примерно 2.7 миллиона долларов).

На рис. 9 приведена карта изосейст Текелийского землетрясения, построенная Абакановым Т.Д., Ли А.Н., Нысанбаевым Т.Е., Паниным В.И., Тарадаевым Н.А., Узбековым Н.Б. [16].

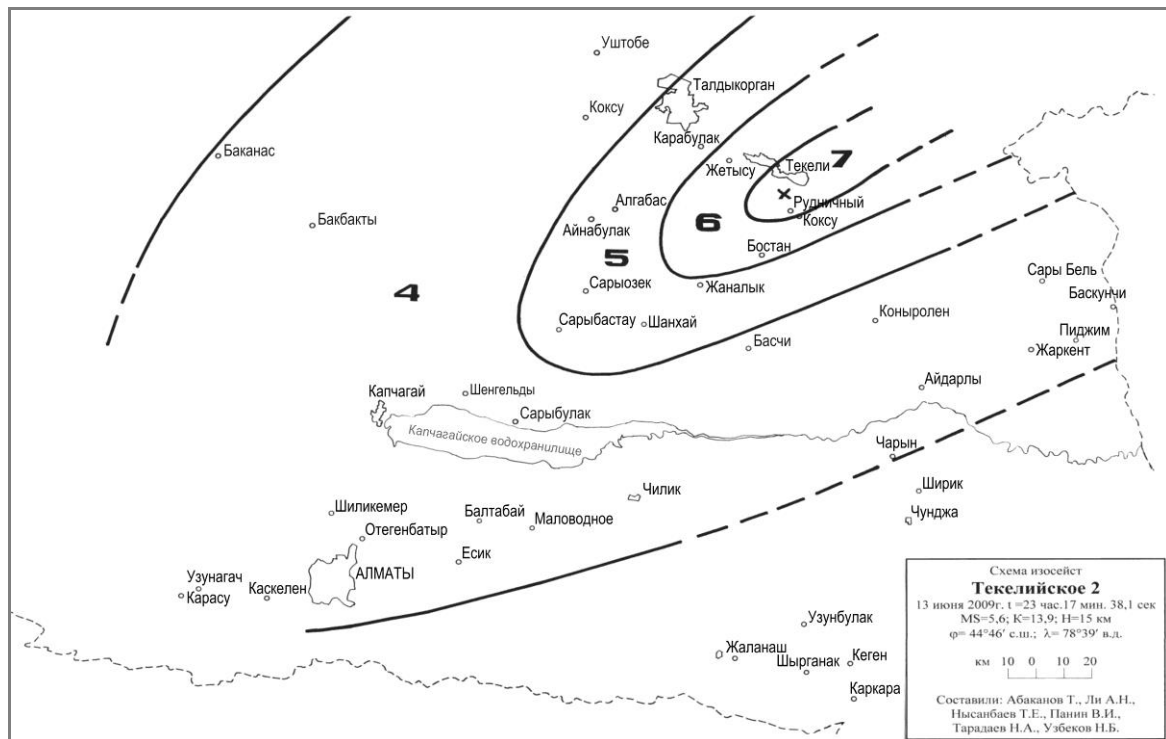


Рис. 9. Карта изосейст Текелийского-II землетрясения 13 июня 2009 г. с $K_p=13.8$, $MLH=5.4$

Параметры сильных движений. К сожалению, авторы не располагают записями сильных движений в ближней к эпицентру зоне. Имеются лишь записи сильных движений на территории г. Алматы на расстоянии 230 км от эпицентра Текелийского-II землетрясения, полученные станцией KNDC. Станция находится в южной части города на мощной толще валунно-галечников. Она размещена на территории Центра данных ИГИ НЯЦ РК, где установлен цифровой акселерометр (АПТ+Quanterra), с помощью которого получены записи землетрясения 13.06.2009 г. В пункте регистрации землетрясение ощущалось с интенсивностью $I=3-4$ балла. На рис. 10 показаны записи ускорений. Максимальные значения ускорений на расстоянии 230 км составили $a_{\max}=2.6 \text{ см/с}^2$. После интегрирования ускорений получены записи скоростей колебаний. Максимальные значения амплитуд колебательной скорости составили $v_{\max}=0.17 \text{ см/с}$.

Как по амплитудам ускорений, так и по амплитудам скоростей по ранее полученной инструментальной шкале интенсивности MSK-64 (K) [1] можно оценить значение интенсивности в баллах в месте регистрации сильных движений. Оно составляет $I=3-4$ балла.

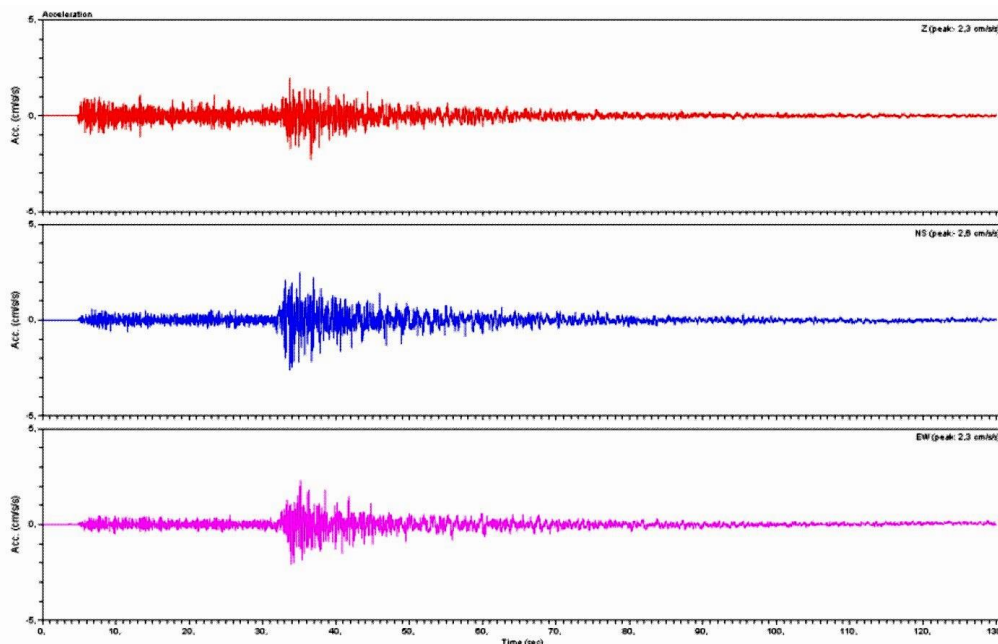


Рис. 10. Акселерограммы Текелийского-II землетрясения 13 июня 2009 г. по станции KNDC (г. Алматы)

Рассчитанный спектр реакции при 5%-ном затухании приведен на рис. 11.

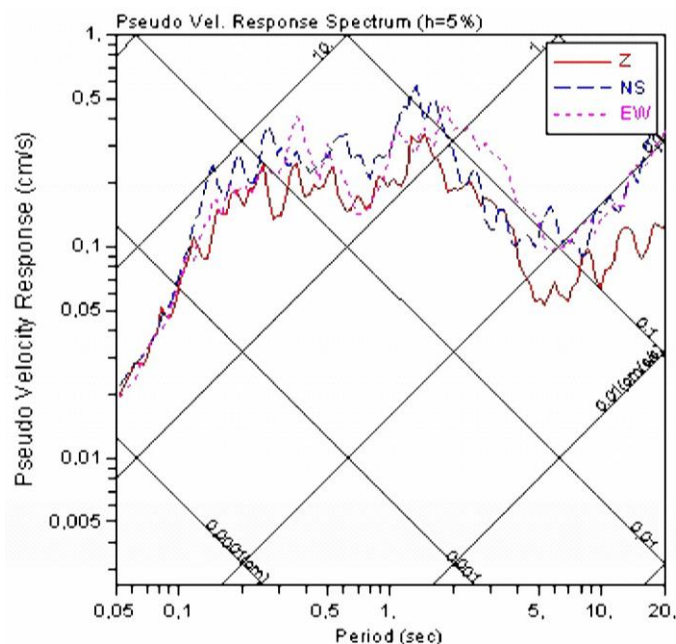


Рис. 11. Спектры реакции Текелийского-II землетрясения 13.06.2009 г. по трем компонентам записей станции KNDC

Четко видно, что диапазон периодов ΔT , при которых отмечены максимальные ускорения, составил $\Delta T = 0.11\text{--}0.40^s$. По скоростям колебаний максимум спектра реакции относится к периодам $1\text{--}2^s$.

Близкие характеристики сильных движений получены на территории г. Алматы и при Текелийском-I землетрясении 30.12.1993 г. [2]: по ускорениям доминантные периоды составили в разных точках города 0.15^s , а по скоростям – 1.0^s . Относительная длительность колебаний также характеризуется близкими значениями при двух землетрясениях. Отметим, что в 1993 г. регистрация колебаний проводилась только в аналоговой форме. В табл. 4 для сравнения представлены параметры записей на близких по расположению станциях г. Алматы в 1993 и 2009 гг.

Таблица 4. Параметры сильных движений на территории г. Алматы при Текелийских землетрясениях 30.12.1993 г. и 13.06.2009 г.

Дата	Станция	Регистрируемый кинематический параметр	Параметры колебаний			
			компонента	$a, \text{см/с}^2$ и $v, \text{см/с}$	$T, \text{с}$	$d, \text{с}$
30.12.1993	Алматы, Аль-Фараби	ускорение	Z	1.4	0.15	11
			E	1.7	0.15	11
13.06.2009	Алматы, KNDC	ускорение	Z	2.3	0.18	10
			E	2.3	0.13	8
			N	2.6	0.12	8
30.12.1993	Алматы, Маркова	скорость	N	0.30	1.0	30.0
13.06.2009	Алматы, KNDC	скорость	Z	0.13	1.8	28.0
			E	0.34	1.3	26.0
			N	0.19	1.2	27.0

Интерпретация положения разрывов в очагах Текелийского-I и Текелийского-II землетрясений. Таким образом, анализ всей совокупности разнородных материалов позволяет сделать вывод, что Текелийское-II землетрясение 13 июня 2009 г. произошло под действием регионального близгоризонтального напряжения сжатия субмеридиональной ориентации. Очаг главного толчка и облако его афтершоков располагались между Южно- и Западно-Джунгарским разломами.

Процесс разрывообразования в очаге происходил, вероятнее всего, с северо-востока на юго-запад. Афтершоковая активность сосредоточена в юго-восточном крыле разрыва. В процессе афтершоковой деятельности снимались вторичные напряжения, вызванные главным толчком. Релаксация напряжений происходила в результате взбросовых и сбросовых подвижек по плоскостям либо северо-восточного простирания, ориентированных вдоль структур хребтов, либо северо-западного, согласующегося с простиранием главных разломов, преимущественно на глубине $h > 10 \text{ км}$.

Предлагаемая интерпретация процессов в очагах Текелийского-I и Текелийского-II землетрясений, зарегистрированных в блоке между Южно- и Западно-Джунгарским разломами, отражена на рис. 12.

Это крутопадающие в юго-восточном направлении субпараллельные разрывы северо-восточного простирания. В первом движении подвижки представляют собой сдвиги по крутым плоскостям, по мере развития разрыва тип дислокации меняется на взброс, плоскость падения становится более полой. Геометрические размеры очагов ограничены размерами блока: $L \approx 15 \text{ км}$, $W \approx 15 \text{ км}$, $H = 20\text{--}25 \text{ км}$, что достаточно хорошо согласуется с магнитудой землетрясений.

Два Текелийских землетрясения настолько похожи по всем параметрам, что могут считаться двумя «актами одной драмы», происходящей по единому сценарию. Второе землетрясение продолжило начатые первым разрушения в блоке земной коры, развивая на юго-восток релаксационные процессы в одном и том же напряженном объеме за счет последующих толчков.

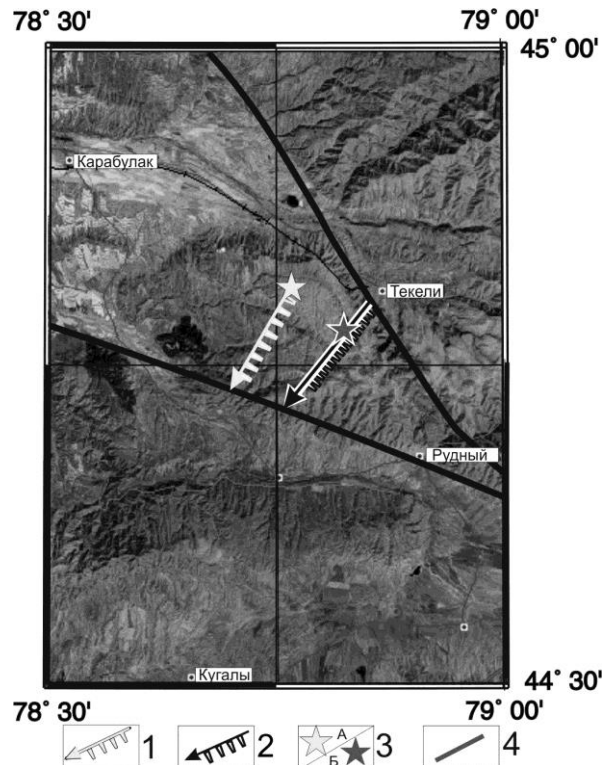


Рис. 12. Интерпретация положения очагов Текелийских землетрясений 1993 и 2009 гг.

1, 2 – крутые взбросы, генерировавшие землетрясения (стрелка показывает направление разрыва, зубцы – падение разрыва): 1–1993 г.; 2–2009 г.; 3 – эпицентры землетрясений: А – 1993 г.; Б – 2009 г.; 4 – линии основных активных разломов.

Характеристика тектонических условий в районе Текелийского-II землетрясения. Джунгарский регион, наряду с Северо-Тянь-Шаньским, является наиболее изученным в сейсмоактивном поясе Казахстана. В [17] представлена карта сейсмогенерирующих зон Джунгарии. На нее нанесены местоположения двух эпицентров Текелийских землетрясений – 1993 и 2009 гг. (рис. 13).



Рис. 13. Сейсмогенерирующие зоны Джунгарского региона; звёздочками показаны эпицентры Текелийских землетрясений за 1993 и 2009 гг.

Судя по этой карте, в Джунгарском Алатау могут происходить землетрясения с магнитудой до $MLH_{max}=8.0$. Особую опасность представляют Бороталинская (№ 22) и Южно-Джунгарская сейсмогенерирующие зоны (№ 23), в непосредственной близости к которым произошли Текелийские землетрясения (рис. 13). Эпицентры обоих изучаемых землетрясений находятся в зоне сложного сочленения разнонаправленных разломов в южной части Западно-Джунгарской (№ 18) сейсмогенерирующей зоны. Здесь максимально сильными могут быть землетрясения с магнитудой до $MLH_{max}=7.0$.

Западно-Джунгарская сейсмогенерирующая зона связана с одноименным разломом, который относится к числу глубинных. Совместно с Актасским разломом в Северном Прибалхашье Западно-Джунгарский разлом составляет единую зону протяженностью около 500 км. Толщина земной коры здесь составляет 44–46 км. В историческом прошлом здесь отмечались землетрясения с магнитудой до $MLH=5.5$. Имеются указания на сейсмогравитационную природу завала, прорыв которого в 1958 г. вызвал катастрофический селевой поток в районе г. Текели.

Примыкающая с юга к изучаемому району Южно-Джунгарская сейсмогенерирующая зона приурочена к глубинному разлому, разделяющему Южно- и Центрально-Джунгарский блоки. Зона протягивается из Китая далее на северо-запад и уходит под кайнозойские отложения Южно-Прибалхашской впадины, расчлняясь поперечными разломами. В этом же направлении уменьшается и мощность коры от 50 до 44 км.

История сейсмичности. По данным инструментальных наблюдений с 1951 г. вдоль Южно-Джунгарской зоны разломов отмечены землетрясения с магнитудой $MLH=5.9–6.5$ [18].

На рис. 14 представлена система активных разломов и историческая сейсмичность Джунгарии. Разломы выделены в соответствии с результатами работ по проекту МНТЦ CASRI (2006–2009 гг.) [19] и уточнены А.Е. Великановым с использованием космических снимков. По карте рис. 14 видно, что очаги произошедших Текелийских землетрясений «зажаты» между

двумя глубинными разломами – Южно-Джунгарским и Западно-Джунгарским. Размеры очаговых областей ограничены границами клинообразного блока, который находится в зоне разнонаправленного действия сил сжатия с северо-востока и юго-запада.

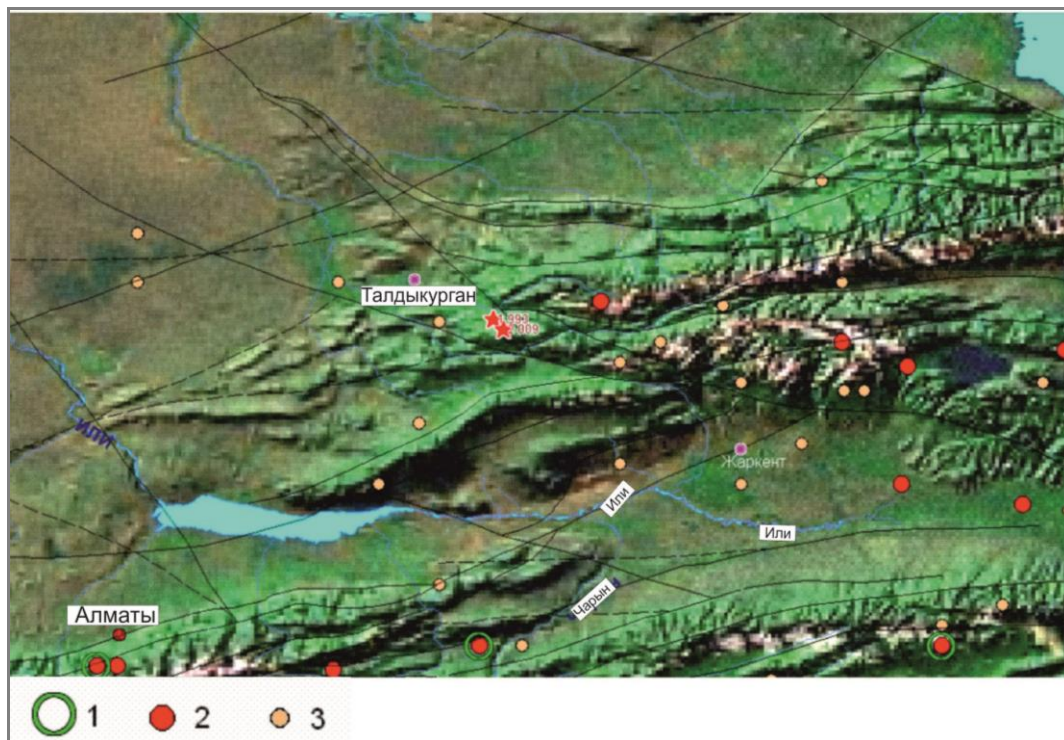


Рис. 14. Карта рельефа Джунгарского региона

Звездочками отмечены эпицентры Текелийских землетрясений 1993 и 2009 гг., линиями черного цвета – активные тектонические разломы; 1 – катастрофические землетрясения с магнитудой $MS \geq 7.1$; 2 – землетрясения с $7.0 \geq MS \geq 6.0$; 3 – землетрясения $5.9 \geq MS \geq 5.0$.

Но потенциальные возможности этой зоны, видимо, значительно выше. Об этом свидетельствуют интенсивные движения новейшего этапа, выразившиеся в надвиговых перемещениях вдоль разлома и образовании приразломных складок в неогеновых отложениях, деформациях и разрывах голоценовых террас. По всему комплексу имеющихся данных на восточном фланге Южно-Джунгарской зоны максимальная магнитуда предполагается в пределах $M_{\max} = 7.0-8.0$, а к северо-западу снижается до $M_{\max} = 6.5$, в Прибалхашье – до $M_{\max} = 6.0$.

Анализ сеймотектонической обстановки в этом районе по результатам изучения механизмов очагов за последние 30 лет показал следующее [20]. Система напряжений в Джунгарии характеризуется близгоризонтальным субмеридиональным сжатием и близгоризонтальным растяжением в субширотном направлении. Преобладающим типом деформирования в этих условиях является горизонтальный сдвиг, на фоне которого выделены локальные зоны, деформированные одноосным сжатием и одноосным растяжением. Именно одна из таких зон одноосного растяжения расположена в блоке между Южно- и Западно-Джунгарским разломами.

Выводы

1. Два одинаковых по интенсивности и местоположению землетрясения, вызвавшие 7-балльные сотрясения в г. Текели в 1993 и 2009 гг., представляют уникальную возможность для изучения условий, способствующих их возникновению.

2. Установлено подобие механизмов двух очагов, которое свидетельствует, что землетрясения реализовались под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении. Сопоставление решений МО и СМТ позволяет сделать следующие выводы: в начальном движении разрывы представляют собой сдвиги по крутопадающим на юго-восток плоскостям северо-восточного простирания. По мере развития разрыва тип подвижки меняется на взбросы по более пологим плоскостям. Геометрические размеры разрывов ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой $M = 6$.

3. Вся афтершоковая деятельность, как при первом, так и при втором землетрясениях, развивается только в южном, висячем крыле разрывов, преимущественно на глубине $h>10$ км. Афтершоковая активизация быстро затухает во времени, при этом отмечается чередование процессов дилатансионного упрочнения и разупрочнения.

4. Параметры сильных движений на территории г. Алматы демонстрируют большое сходство при двух событиях, что говорит о закономерной связи воздействий с очаговыми параметрами при одинаковом пути распространения сейсмических волн. Одинаковые механизмы очагов при одинаковых размерах источников обуславливают повторяемость параметров воздействий в одном и том же месте наблюдений.

5. Ориентация разрывов в очагах главных толчков и их афтершоков свидетельствует о том, что в блоке между Южно- и Западно-Джунгарским разломами северо-западного простирания, по всей вероятности, существует система сейсмоактивных разломов более высокого порядка, круто падающих на юго-восток вдоль хребтов северо-восточного простирания и проникающих в земную кору на глубину не менее 20–25 км.

Л и т е р а т у р а

1. **Шкала для оценки интенсивности землетрясений MSK-64 (К).** – Алматы: Комитет по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан, 2004. – 16 с.
2. **Калмыкова Н.А., Михайлова Н.Н., Неверова Н.П.** Землетрясения Северного Тянь-Шаня // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – Обнинск: ГС РАН, 1999. – С. 55–59.
3. **Неверова Н.П. (отв. сост.), Ахметова Р.А., Климова Т.Ю., Полешко Н.Н., Проскурина Л.П., Умурзакова Р.А., Шипулина С.А.** Каталог землетрясений Северного Тянь-Шаня за 1993 г. // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – М.: ГС РАН, 1999. – С. 175–182.
4. **Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК), Михайлова Н.Н. (РГП ИГИ КАЭ МЭ РК) (отв. сост.), Проскурина Л.П., Бектурганова Б.Б., Проскурина А.В., Далеебаева Ж., Досайбекова С.К. (от СОМЭ МОН РК); Мукамбаев А.С. (РПГ ИГИ КАЭ МЭ РК) (сост.).** Каталог землетрясений Казахстана за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
5. **Неверова Н.П. (отв. сост.), Ахметова Р.А., Климова Т.Ю., Полешко Н.Н., Проскурина Л.П., Умурзакова Р.А., Шипулина С.А.** Северный Тянь-Шань // Землетрясения Северной Евразии в 1993 году. – Обнинск: ГС РАН, 1999. – С. 175–182.
6. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2009.** – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2011.
7. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2009 год /** Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2009–2010. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2009/.
8. **Полешко Н.Н. (СОМЭ МОН РК) (отв. сост).** Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. **Global CMT** – URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
10. **Полешко Н.Н. (СОМЭ МОН РК) (отв. сост).** Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 1993 г. – Личный архив.
11. **Bulletin of the International Seismological Centre for 1993.** – Thatcham, United Kingdom: ISC, 1995.
12. **Smith G.P., Ekstrom G.** Interpretation of earthquake epicenter and CMT centroid lokations, in terms of rupture length and direction // Phys. Earth Planet. Int. – 1997. – **102.** – N 1–2. – P. 123–132.
13. **Горбунова И.В., Бойчук А.Н., Доцев Н.И., Кальметьева З.А., Капитанова С.А., Кучай О.А., Михайлова Н.Н., Пустовитенко Б.Г., Симбирёва И.Г., Товмасын А.К.** Интерпретация очаговых волн на записях землетрясений. – Москва–Бишкек: Наука, 1992. – 130 с.
14. **Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК) (отв. сост.).** Основные параметры главного толчка и афтершоков Текелийского землетрясения 13 июня 2009 г. с $K_p=13.8$, $MLH=5.4$ за 2009 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
15. **Сыдыков А.** Сейсмический режим территории Казахстана // Алматы: Гылым, 2004. – 268 с.
16. **Землетрясение в Алматинской области (г. Текели, 13 июня 2009 г.)** // Сборник научных трудов научно-технической конференции. Департамент по ЧС г. Алматы МЧС РК. – Алматы: Прогноз, 2009. – С. 79–80.

17. **Сейсмическое районирование Республики Казахстан.** – Алматы: Эверо, 2000. – 219 с.
18. **Михайлова Р.С., Каток А.П., Матасова Л.М., Джанузаков Л.М., Сыдыков А. (отв. сост.). Ш.** Средняя Азия и Казахстан [300 до н.э. – 1974 г., $M \geq 5.0$, $MPSP \geq 5.6$, $MPVA \geq 5.3$; $I_0 \geq 6.0$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 198–296.
19. **Финальный технический отчет по проекту МНТЦ КР-1176** «Оценка сейсмического риска в Центральной Азии». 2009.
20. **Нусипов Е., Сыдыков А., Полешко Н.Н.** Сеймотектоническое деформирование среды по данным о механизмах очагов землетрясений // Геодинамика и сейсмичность литосферы. – Алматы: ИС МОН РК, 2007. – С. 243–244.