

УДК 550.34

## ТЕКЕЛИЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В КАЗАХСТАНЕ В 2009 ГОДУ: ОЧАГ И ВОЗДЕЙСТВИЯ.

Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко

Институт геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан,  
Алматы, Казахстан

**АННОТАЦИЯ.** Рассмотрены вопросы параметризации основного толчка землетрясения 13 июня 2009 г. магнитудой  $m_b = 6.3$ , проявившегося в г. Текели с интенсивностью 7 баллов. Изучены пространственные характеристики очага, механизм и СМТ, закономерности афтершоковой деятельности. С большой вероятностью установлена плоскость разрыва в очаге. В 1993 г. практически в этом же месте произошло такое же по параметрам очага и проявлениям землетрясение. Отмечены практически одинаковые параметры сейсмических воздействий на территории г. Алматы при двух одинаковых очагах.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** параметры очага, Текелийское землетрясение, механизм, карта изосейст, акселерограммы, спектр реакции.

### ВВЕДЕНИЕ

13 июня 2009 г. в 23 ч 17 мин по местному времени (в 17 ч 17 мин по UTC) в юго-восточном Казахстане произошло сильное землетрясение. Наиболее сильно пострадал г. Текели, оказавшийся непосредственно в эпицентральной зоне землетрясения. Интенсивность сотрясений в этом городе достигла 7 баллов. Интересно, что это уже второе за последние 16 лет землетрясение такой силы в г. Текели. Предыдущее землетрясение произошло в 30 декабря 1993 г. [Калмыкова и др., 1999]. Координаты гипоцентров и магнитуды двух Текелийских землетрясений приведены в табл. 1. Видно, что

основные характеристики обоих землетрясений – расположение гипоцентров и магнитуды – очень близки.

На рис. 1 представлены фотографии из г. Текели, сделанные «по горячим следам» после землетрясения и помещенные на сайте <http://www.today.kz/ru/news/kazakhstan/2009-06-16/tekeli13>. Два 7-балльных землетрясения практически в одном месте за сравнительно небольшой срок – неординарное явление в сейсмичности Казахстана. Это заставляет подробно проанализировать ситуацию в этом сейсмоактивном районе.

Таблица 1. Инструментальные характеристики очагов Текелийских землетрясений

Дата, д.,м.,г.	Время в очаге $T_0$ , ч:мин:с. (UTC)	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Глубина, км	$m_b$	$M_s$
13.06.2009	17:17:40.0	44.77	78.82	25	6.3	5.4
30.12.1993	14:24:06.4	44.82	78.77	20	6.4	5.4



Рис.1. Повреждения зданий в г. Текели в результате землетрясения 13.06.2009 г. (с сайта www.today.kz)

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕКТОНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В РАЙОНЕ ТЕКЕЛИЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Джунгарский регион, наряду с Северо-Тянь-Шаньским, является наиболее изученным в сейсмоактивном поясе Казахстана. В работе [Сейсмическое ..., 2000] представлена карта сейсмогенерирующих зон Джунгарии (рис. 2). На нее нанесены местоположения эпицентров Текелийских землетрясений 1993 и 2009 гг.

Судя по этой карте, в Джунгарском Алатау могут происходить землетрясения с магнитудой

до 8.0. Особую опасность представляют Бороталинская (№ 22) и Южно-Джунгарская зоны (№ 23), расположенные в непосредственной близости от очагов Текелийских землетрясений. 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 магнитудой 7.0.

Западно-Джунгарская сейсмогенерирующая зона связана с одноименным разломом, кото-



**Рис 2.** Сейсмогенерирующие зоны Джунгарского региона. Звёздочками показаны эпицентры Текелийских землетрясений за 1993 и 2009 гг.

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

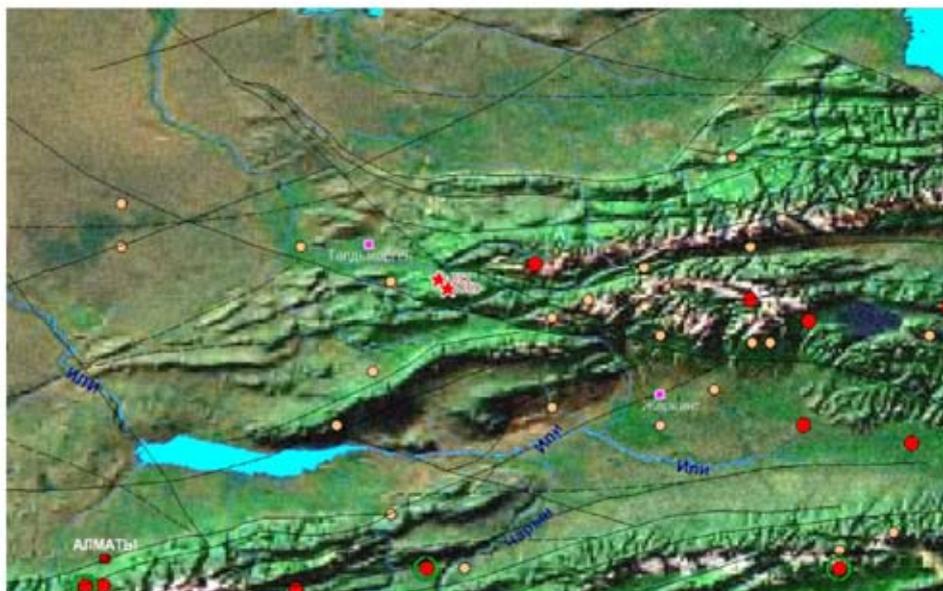
Примыкающая с юга к изучаемому району Южно-Джунгарская сейсмогенерирующая зона приурочена к глубинному разлому, разделяющему Южно – и Центрально-Джунгарский блоки. Зона протягивается из Китая далее на северо-запад и уходит под кайнозойские отложения Южно-Прибалхашской впадины, расчленяясь поперечными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

По данным инструментальных наблюдений с 1951 г. вдоль Южно-Джунгарской зоны разломов отмечены землетрясения с магнитудой 5.9–6.5. 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 7.0–8.0, а к северо-западу снижается до 6.5, в Прибалхашье до 6.0.

На рис. 3 представлена система активных разломов и историческая сейсмичность Джунгарии. Разломы выделены в соответствии с результатами работ по проекту МНТЦ CASRI (2006–2009 гг.) [Финальный ..., 2009] и уточнены А.Е. Великановым с использованием космических снимков. По карте рис. 3 видно, что очаги происшедших 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.

Анализ сеймотектонической обстановки в этом районе по результатам изучения механизмов очагов за последние 30 лет показал следующее [Нусипов и др., 2007]. Система напряжений в Джунгарии характеризуется близгоризонтальным субмеридиональным сжатием



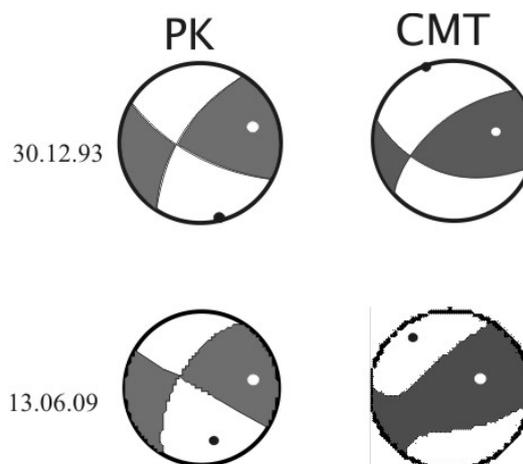
**Рис 3.** Карта рельефа Джунгарского региона. Звёздочками отмечены эпицентры Текелийских землетрясений за 1993 и 2009 годы, линиями черного цвета – активные тектонические разломы; 1–3 – землетрясения с  $M_s \geq 7.1$  (1),  $7.0 \geq M_s \geq 6$  (2),  $5.9 \geq M_s \geq 5.0$  (3)

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.

#### МЕХАНИЗМ ОЧАГОВ ТЕКЕЛИЙСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Механизм очага Текелийского землетрясения 13 июня 2009 г. определен по стандартной методике на основе первых вступлений объемных волн (МО) и по методике инверсии поверхностных волн (каталог тензора центра сейсмического момента (СМТ) Гарвардского университета) [www.seismology.harvard.edu]. Стереогаммы механизма приведены на рис. 4. Для сравнения приведены также МО и СМТ для землетрясения 1993 г. (рис. 4, табл. 2).

В решении механизма очага землетрясения 2009 г. по стандартной методике МО (строка 4) были использованы 27 знаков первых вступлений *P*- и *S*-волн, зарегистрированных сейсмическими станциями сетей Сейсмологической



**Рис. 4.** Стереогаммы механизмов очагов землетрясений 1993 и 2009 гг. по данным регионального каталога МО и СМТ- каталога

опытно-методической экспедиции (СОМЭ) и Института геофизических исследований Национального ядерного центра Республики Казахстан (ИГИ НЯЦ РК).

Распределение знаков позволило получить решение МО, в котором согласованность знаков составила 100%, разброс определяемых параметров не превышал  $15^\circ$ . Первая нодальная плоскость, ориентированная в северо-восточном

**Таблица 2.** Параметры Текелийских землетрясений 1993 и 2009 гг. по данным регионального и СМТ каталогов

№	каталог	дата	время	$n$	$\lambda$	$H$	$M_b$	$AzP$	$eP$	$AzT$	$eT$	$AzN$	$eN$	$STR$	$DIP$	$SLIP$	$STR$	$DIP$	$SLIP$	$N$
1	МО	30.12.93	142406.4	4449	7846	20		164	2	73	30	258	60	32	68	21	115	70	157	85
2	$\Delta$ (СМТ-МО)		3.8	8	0	1		0	-2	-5	-17	8	17	-9	-6	-19	5	-15	12	61
3	СМТ		142410.2	4457	7846	21	5,8	344	4	78	47	250	43	41	62	40	110	55	145	24
4	МО	13.06.09	171737.9	4446	7849	25		168	18	71	20	296	63	30	63	2	300	89	154	27
5	$\Delta$ (СМТ-МО)		2.7	0	1	-13		169	-17	-3	37	-49	-30	9	-8	46	-24	-36	-21	-3
6	СМТ		171740.6	4446	7850	12	5,8	337	1	68	57	247	33	39	55	48	276	53	133	24
7	$\Delta$ МО	1993-2009		3	-3	-5		-4	-16	2	10	-38	-3	2	5	19	-185	-19	3	58
8	$\Delta$ СМТ	1993-2009		11	-4	9	0	7	3	10	-10	3	10	2	7	-8	-166	2	12	0

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 – сдвиго-взброс, с преобладанием правосторонней сдвиговой компоненты. Ориентация снимаемых в очаге напряжений свидетельствует, что разрыв произошел под действием близгоризонтального субмеридионального напряжения сжатия.

СМТ-решение (строка 6 табл.2) получено по данным 24 станций Глобальной сети наблюдений и в целом согласуется с решением по стандартной методике (строка 5 табл. 2). Разница между центроидным и начальным временем по региональному каталогу составляет 2.7 с, оно может характеризовать время развития процесса в очаге [Smith et al., 1997]. Положение эпицентров центроида и очага в первом движении совпадает, существенно отличаются только значения глубин. Сопоставление решений механизмов, полученных двумя методами, показывает, что ориентация первой плоскости практически одинакова, расхождение ее параметров не превышает  $9^\circ$ , т.е. находится в пределах погрешности 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 истинного направления разрыва протяженного очага применена, в частности, методика И.В. Горбуновой [1992], основанная на построении и анализе азимутального годографа. Годограф построен по материалам станций СОМЭ, по вертикальной шкале отложены значения  $\delta (tp_{\max} - tp_1)$ , где  $tp_{\max}$  – время наступления максимума в цуге  $P$ -волн,  $tp_1$  – время первого вступления  $P$ -волны. Из рис. 5 видно, что годограф имеет один четкий максимум, приуроченный к азимуту  $40^\circ$ , 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  $40^\circ$ , разрыв был однонаправленным и распространялся от азимута  $40^\circ$  к азимуту  $220^\circ$ . Данные азимутального годографа хорошо согласуются с параметрами механизма очага и позволяют предположить, что разрыв распространялся по первой нодальной плоскости ( $Az = 30-39^\circ$ ) 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 (см. рис. 4), разница в значениях параметров не выходит за пределы погрешности

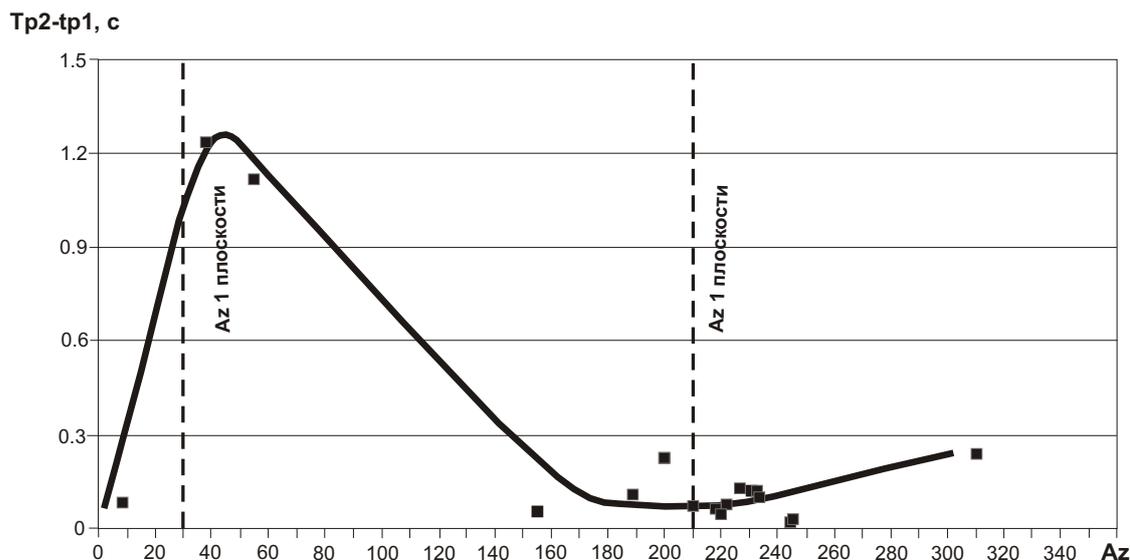


Рис. 5. Азимутальный годограф для землетрясения 2009 г.

решений (строки 7, 8, табл. 2). 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 круто падающим плоскостям, а в главной фазе – взброс, причем падение плоскостей при развитии разрыва становится более пологим.

Одинаковыми оказались также основные характеристики механизмов афтершоков этих двух сильных землетрясений. В 71% афтершоков 1993 г. присутствовала плоскость северо-восточного простирания, 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%). Почти во всех афтершоках (как взбросового, так и сбросового типа) снимались вторичные напряжения.

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ АФТЕРШОКОВ ТЕКЕЛИЙСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 13.06.2009 г.**

В каталог и сейсмологические бюллетени 2009 г. включено более 150 афтершоков главного толчка в диапазоне энергетических классов  $K$

$= 5-11$  (рис. 6). Самый сильный афтершок с  $K = 10.7$  произошел через 7 мин после главного толчка, он ощущался в г. Текели с интенсивностью 5 баллов. В плане облако афтершоков сконцентрировано в блоке между Западно- и

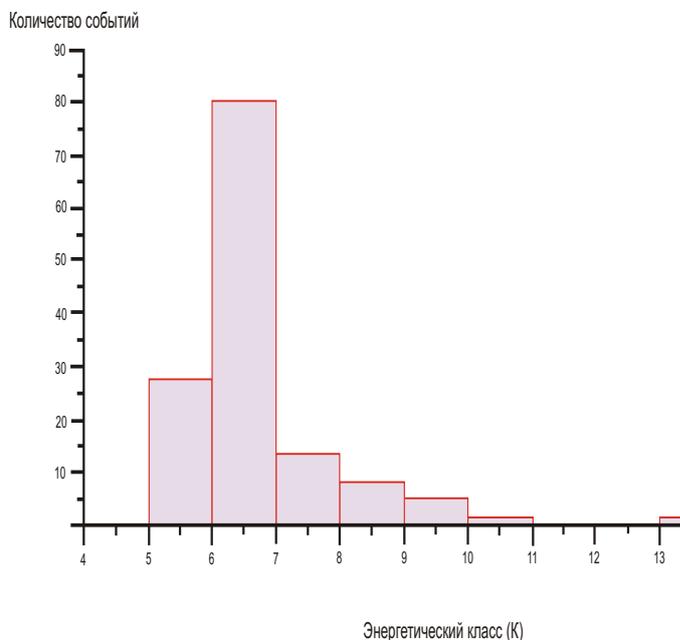


Рис. 6. Гистограмма распределения афтершоков по энергетическому классу

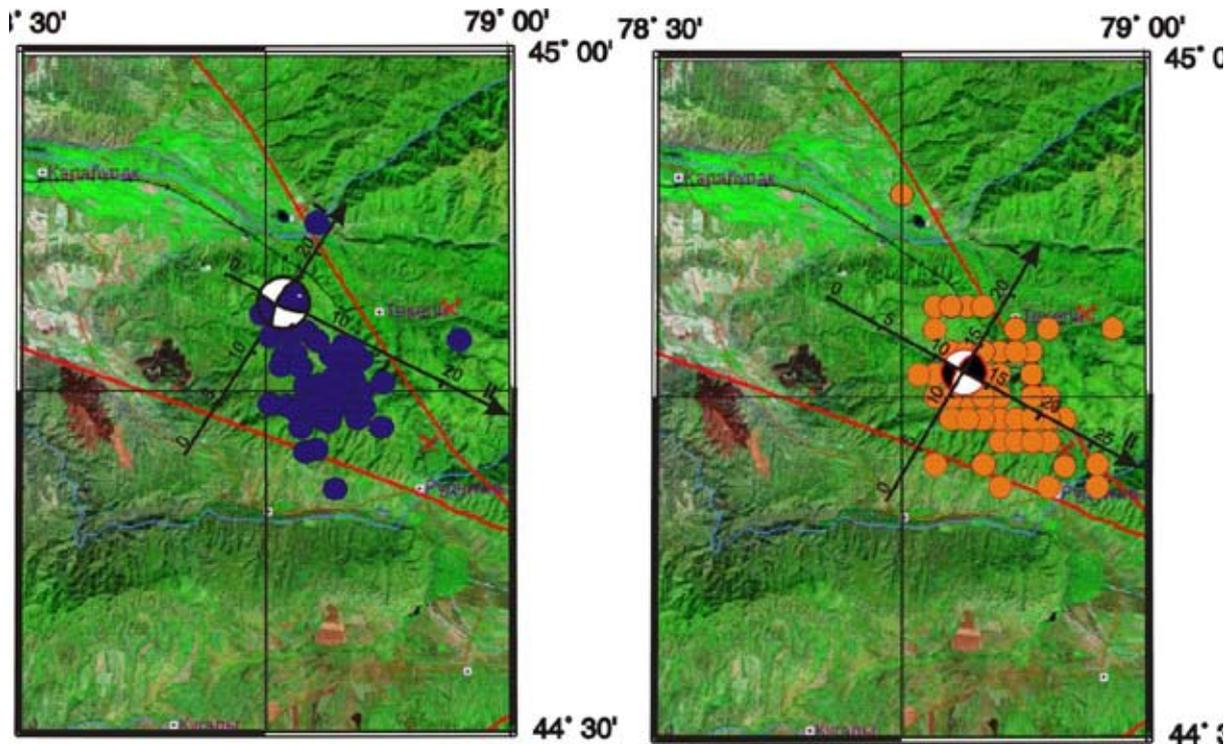
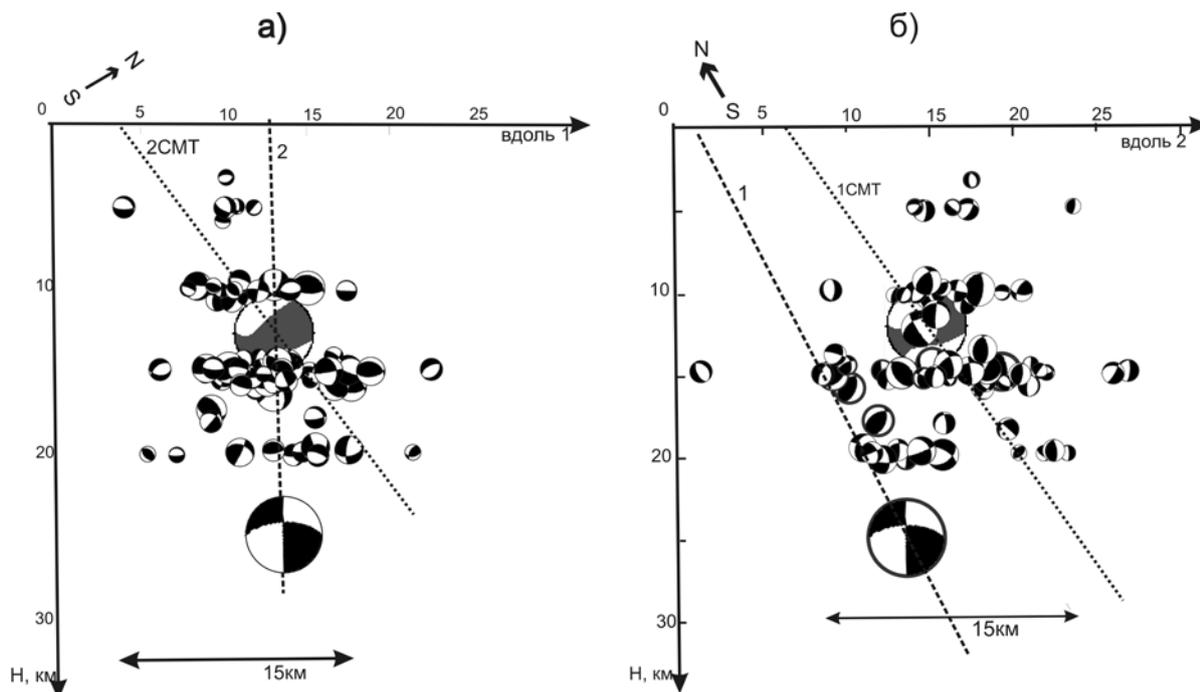


Рис. 7. Карты эпицентров главных толчков и афтершоков землетрясений 1993 г. (слева) и 2009 г. (справа)

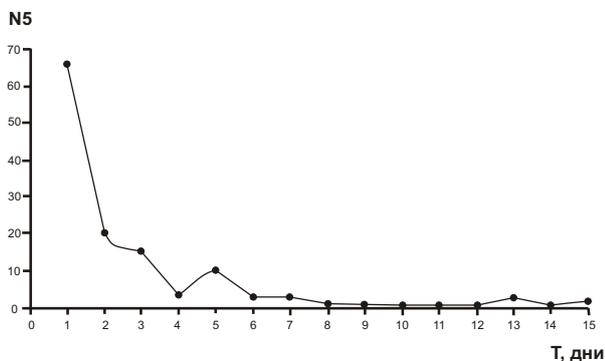
Южно-Джунгарским разломами (рис. 7) и вытянуто в юго-восточном направлении. Размеры области афтершоков в плане оцениваются следующими величинами: длина  $L = 21$  км, ширина  $W = 10$  км. Подобную картину можно наблюдать и при землетрясении 1993 г., только как главный толчок, так и связанное с ним поле афтершоков сдвинуто на северо-запад.

Заметим, что 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. Мы рассмотрели распределение проекций гипоцентров афтершоков на две ортогональные вертикальные плоскости, ориентированные по простиранию первой и второй нодальных плоскостей главного толчка (рис. 8). Анализ глубинного распределения афтершоков показывает, что все гипоцентры распределены в земной коре на глубине от 5 до 25 км. С удалением от гипоцентра главного толчка на юг глубины очагов афтершоков уменьшаются. Но совершенно четко

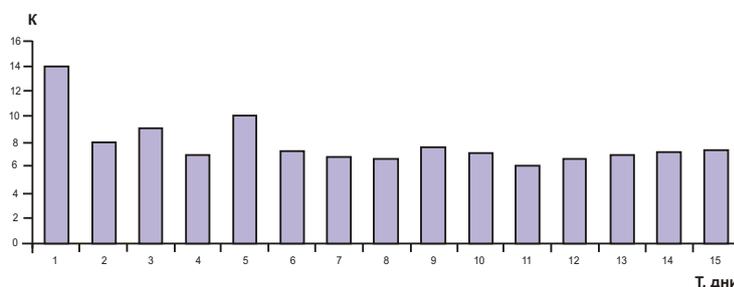
видно, что все очаги афтершоков расположены только с одной стороны плоскости разрыва, а именно с южной, что может свидетельствовать о падении плоскости разрыва в южном направлении. Наилучшим образом такому распределению афтершоков соответствует ориентация первой нодальной плоскости. Это четко видно на рис. 8,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 круто падающей на юго-восток плоскости северо-восточного простирания ( $Str = 30-39^\circ$ ). Геометрические размеры очага, оцененные по вертикальным разрезам распределения афтершоков (см. рис. 8), составляют:  $L = 15$  км,  $W = 15$  км,  $H = 25$  км. По существующим зависимостям, связывающим размеры очага с магнитудой [Сыдыков, 2004], такие размеры очага



**Рис. 8.** Глубинные разрезы облака афтершоков землетрясения 2009 г. *а* – по первой нодальной плоскости, *б* – по второй нодальной плоскости



**Рис. 9.** Затухание афтершоковой деятельности Текелийского землетрясения. По оси абсцисс показаны номера пятидневок начиная с главного толчка



**Рис. 10.** Максимальные энергетические классы афтершоков Текелийского землетрясения за пятидневки

соответствуют  $M = 6$  и геологически фиксированы размерами блока.

Исследование затухания во времени афтершоковой деятельности показало резкое уменьшение количества афтершоков в первые 15 сут (рис. 9). Быстро уменьшалась и величина выделявшейся сейсмической энергии, как видно из рис. 10.

Проведено сопоставление афтершоковой активности при двух Текелийских землетрясениях. Глубины гипоцентров афтершоков в 1993 г. были определены лишь для нескольких афтершоков, они составляют 12–18 км. Подобие наблюдается в проявлении афтершокового процесса во времени – это резкое затухание активности в первые сутки.

### РЕЗУЛЬТАТЫ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

Макросейсмическое обследование было выполнено в период с 14 по 20 июня 2009 г. группой научных и инженерных сотрудников Института сейсмологии Республики Казахстан, Сейсмологической опытно-методической экспедиции МОН РК, НПК «Прогноз» МЧС РК [Землетрясение..., 2009]. На рис. 11 приведена карта изосейст Текелийского землетрясения, построенная Т.Д. Абакановым, А.Н. Ли, Т.Е. Нысанбаевым, В.И. Паниным, Н.А. Тарадаевым и Н.Б. Узбековым

С наибольшей интенсивностью 7 баллов землетрясение проявилось в городах Текели и 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 – здесь повсеместно проявлены проса-

дочные лессовидные суглинки мощностью от 20 до 30 м. Некоторые постройки находились на склонах. Вероятно, эти факторы повлияли на сейсмический эффект Текелийского землетрясения.

В результате землетрясения в г. Текели саманные жилые дома повсеместно получили тяжёлые 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 степени, отдельные жилые дома получили повреждения 4 степени, характеризующиеся сквозными трещинами и проломами в стенах, разрушениями связей между отдельными частями зданий, обрушениями внутренних стен.

Жертв и пострадавших от землетрясения не было. По заключению специально созданной комиссии, ущерб от землетрясения составил 400 миллионов тенге (примерно 2.7 миллиона долларов).

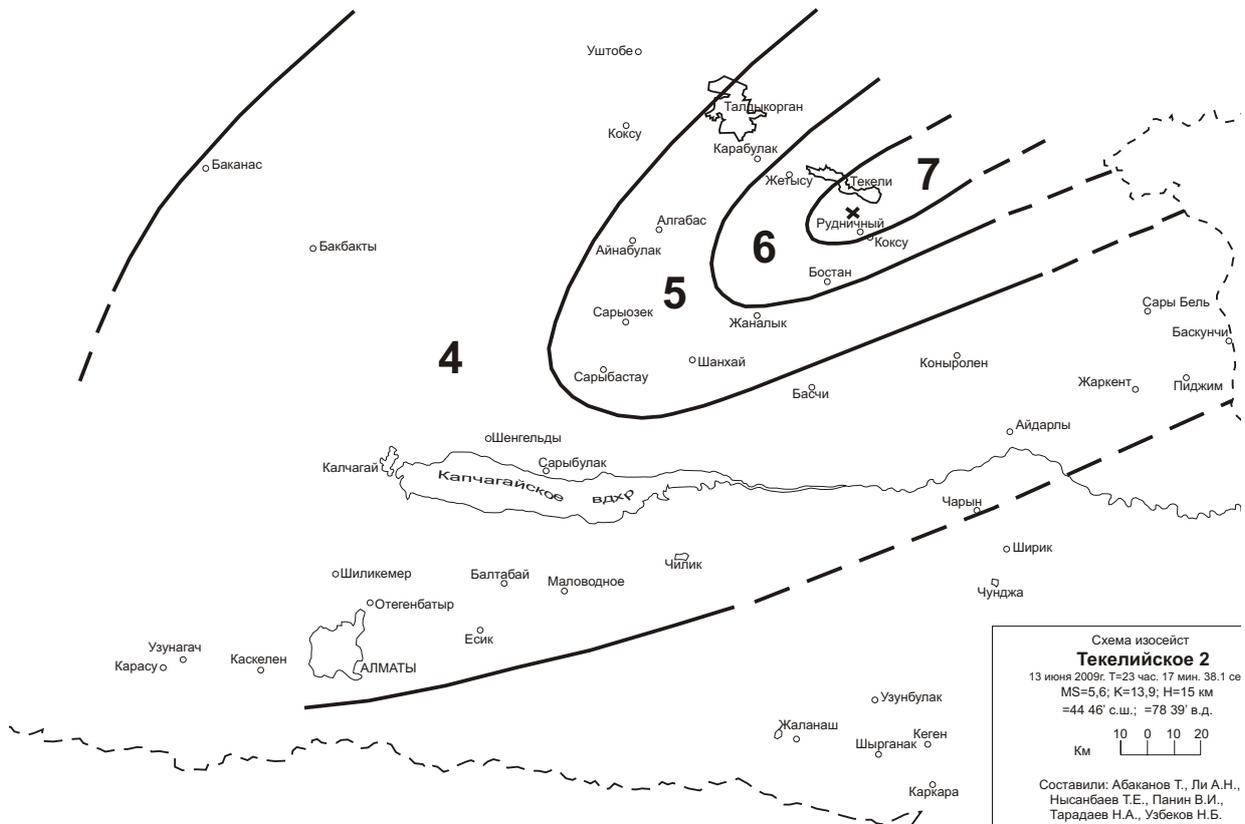


Рис. 11. Карта изосейст Текелийского землетрясения 13.06.2009 г.

### ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛОЖЕНИЯ РАЗРЫВОВ В ОЧАГАХ ТЕКЕЛИЙСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Таким образом, анализ всей совокупности разнородных материалов позволяет сделать вывод, что землетрясение 13.06.2009 г. произошло под действием регионального близгоризонтального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении. 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 прости-

ранием главных разломов, преимущественно на глубине  $H > 10$  км.

Предлагаемая интерпретация процессов в очагах Текелийских землетрясений, зарегистрированных в блоке между Южно- и Западно-Джунгарским разломами, отражена на рис. 12. Это круто падающие 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:  $L \approx 15$  км,  $W \approx 15$  км,  $H = 20-25$  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.

### ПАРАМЕТРЫ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ

К сожалению, авторы не располагают записями сильных движений в ближней к эпицентру зоне. Имеются записи сильных движений на территории г. Алматы на расстоянии 230 км от эпицентра, 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 3–4 балла. На рис. 13 показаны записи ускорений, их максимальные значения составляют  $2.6 \text{ см/с}^2$ .

После интегрирования ускорений получены записи скоростей колебаний. Максимальные значения амплитуд колебательной скорости составили  $0.17 \text{ см/с}$ .

Как по амплитудам ускорений, так и по амплитудам скоростей по ранее полученной инструментальной шкале интенсивности [Шкала ..., 2004] можно оценить значение интенсив-

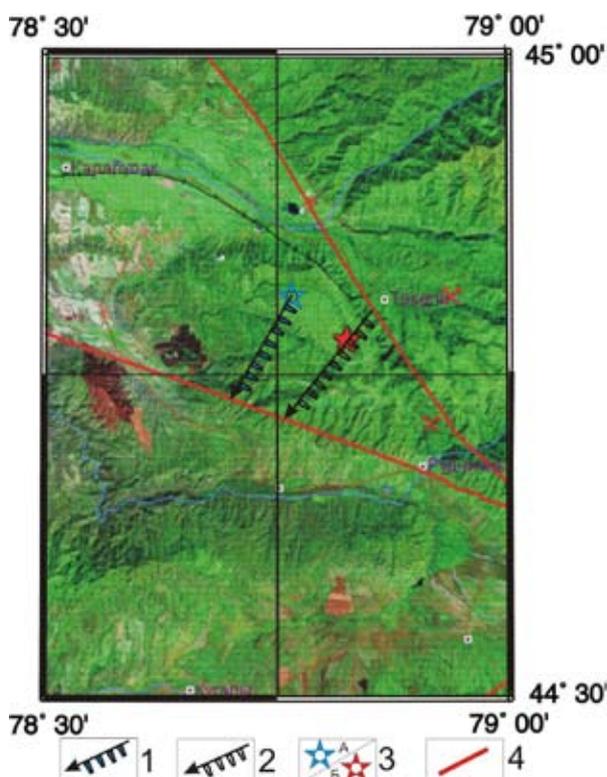


Рис. 12. Интерпретация положения очагов Текелийских землетрясений 1993 и 2009 гг.

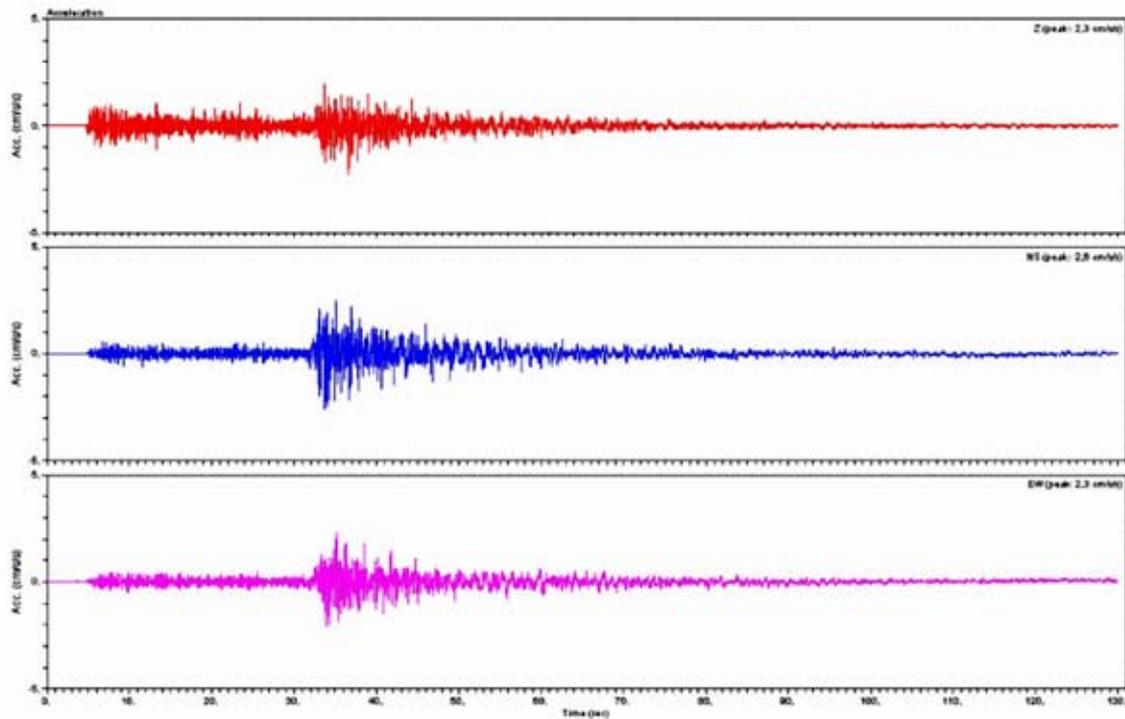


Рис. 13. Акселерограммы Текелийского землетрясения 13.06.2009 года по станции KNDC (г. Алматы)

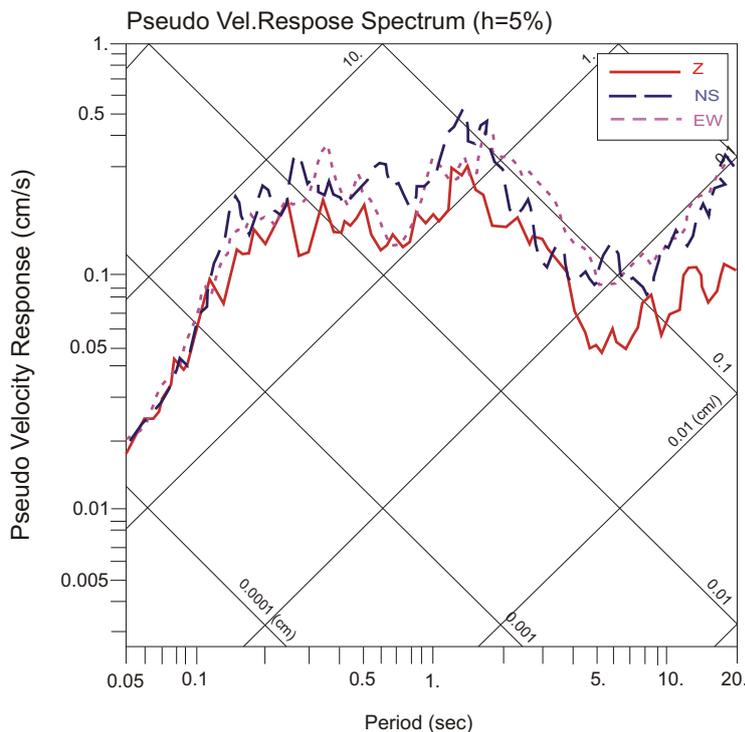


Рис. 14. Спектры реакции по трем компонентам записей станции KNDC

ности в баллах в месте регистрации сильных движений. Оно составляет 3–4 балла.

Рассчитанный спектр реакции при 5%-затухании приведен на рис. 14. Четко видно, что диапазон периодов, при которых отмечены максимальные ускорения, составил 0.11–0.4 с. По

скоростям колебаний максимум спектра реакции относится к периодам 1–2 с.

Близкие характеристики сильных движений получены на территории г. Алматы и при землетрясении 1993 г. [Калмыкова и др., 1999]: по ускорениям доминантные периоды составили

Таблица 3. Параметры сильных движений на территории г. Алматы при Текелийских землетрясениях

Дата	Станция	Регистрируемый кинематический параметр	Параметры колебаний			
			компонента	A, см/с <sup>2</sup> и см/с	T, с	d, 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

в разных точках города 0.15 с, а по скоростям – 1.0 с. Относительная длительность колебаний также характеризуется близкими значениями при двух землетрясениях. Отметим, что в 1993 г. регистрация колебаний проводилась только в аналоговой форме. В табл. 3 для сравнения представлены параметры записей на близких по расположению станциях г. Алматы в 1993 и 2009 гг.

#### Выводы

- 1. Два одинаковых по силе и местоположению землетрясения, вызвавшие 7-балльные сотрясения в г. Текели в 1993 г. и 2009 г., 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 представляли собой сдвиги по круто падающим на юго-восток плоскостям северо-восточного простирания. По мере развития разрыва тип подвижки менялся на взбросы по более пологим плоскостям. Геометрические размеры разрывов ограничены размера-

ми блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений магнитудой  $M = 6$ .

- 3. Вся афтершоковая деятельность как при первом, так и при втором землетрясениях развивалась только в южном, всiachем крыле разрывов, преимущественно на глубине  $H > 10$  км. Афтершоковая активизация быстро затухала во времени, при этом отмечалось 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.

## ЛИТЕРАТУРА.

- Горбунова И.В., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н. и др. Интерпретация очаговых волн на записях землетрясений. Бишкек – Москва: Наука, 1992.
- Землетрясение в Алматинской области (г. Текели, 13 июня 2009 г.) // Сборник научных трудов научно-технической конференции. Департамент по ЧС г. Алматы МЧС РК. Алматы, 2009. С. 79–80.
- Калмыкова Н.А., Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Землетрясения Северного Тянь-Шаня // Землетрясения Северной Евразии. М.: НИИ-Природа, 1999. С.55–59.
- Нусипов Е., Сыдыков А., Полешко Н.Н. Сейсмотектоническое деформирование среды по данным о механизмах очагов землетрясений // Геодинамика и сейсмичность литосферы. Алматы: ИС МОН РК, 2007. С. 243–244.
- Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. // Алматы: Гылым, 2004. 268 с.
- Сейсмическое районирование Республики Казахстан. Алматы: Эверо, 2000. 219 с.
- Финальный технический отчет по проекту МНТЦ КР-1176 «Оценка сейсмического риска в Центральной Азии». 2009.
- Шкала для оценки интенсивности землетрясений MSK-64 (К). Алматы: Изд-во Комитета по делам строительства и жилищно-коммунального хозяйства Министерства индустрии и торговли Республики Казахстан, 2004. 16 с.
- Smith G. P., Ekstrom G. Interpretation of earthquake epicenter and CMT centroid locations, in terms of rupture length and direction // Phys. Earth Planet. Int. 1997.V. 102, No. 1-2. P. 123-132. [www.seismology.harvard.edu](http://www.seismology.harvard.edu)

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Михайлова Наталья Николаевна**, доктор физико-математических наук, заместитель директора, Институт геофизических исследований Национального ядерного центра РК, Алматы, Казахстан, тел.: 2631330, e-mail: [mikhailova@kndc.kz](mailto:mikhailova@kndc.kz)

**Полешко Наталья Николаевна**, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, Институт геофизических исследований Национального ядерного центра РК, Алматы, Казахстан, контактный телефон 2699472, Email: [mexanizm-some@mail.ru](mailto:mexanizm-some@mail.ru)

**Mikhailova Natalya Nikolayevna**, Doctor of Physical and Mathematical Science, Deputy Director, Institute of Geophysical Researches of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan. Contacts: tel.: 263-13-30, e-mail: [mikhailova@kndc.kz](mailto:mikhailova@kndc.kz)

**Poleshko Natalya Nikolayevna**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, leading research scientist, Institute of Geophysical Researches of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan. Contacts: tel.: 269-94-72, Email: [mexanizm-some@mail.ru](mailto:mexanizm-some@mail.ru)

## THE TEKELI EARTHQUAKE OF 2009 IN KAZAKHSTAN: SOURCE AND EFFECTS

N.N. MIKHAILOVA, N.N. POLESHKO

Institute of Geophysical Researches of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

**Abstract:** The article investigates parametrization issues of the main shock from the earthquake of June 13, 2009,  $m_b=6,3$  felt in Tekeli town with intensity 7. Spatial characteristics of the source, mechanism and CMT, aftershock activity regularities were studied. Rupture plane in the source was defined with high probability. Information and pictures about destructions and damages of buildings on the territory of Tekeli town as well as isoseismal map are shown. In 1993 almost at the same place the earthquake with the same focal parameters and processes occurred. Very close parameters of seismic effects on the territory of Almaty having two almost the same sources were noted.

**Key words:** focal parameters, Tekeli earthquake, mechanism, isoseismal map, accelerograms, response spectrum.