

КАПЧАГАЙСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1 мая 2011 г. с $K_p=13.1$, $M_w=5.2$, $I_0=6$ (Казахстан)

Михайлова Н.Н., Полешко Н.Н.

*Институт геофизических исследований Республики Казахстан,
г. Курчатов, Казахстан, mikhailova@kndc.kz*

Введение. 1 мая 2011 г. в 02^h31^m (в 08^h31^m по местному времени) жители г. Алматы ($\Delta=75$ км) ощутили землетрясение, интенсивность которого на территории города составила $I_i=4-5$ баллов [1]. Событие близкой ($I_i=4$ балла) интенсивности последний раз на территории города отмечалось более трех лет назад (при землетрясении 09.10.2007 г. с $K_p=12.7$ [2]). Особенностью землетрясения 1 мая 2011 г. явилось то, что после него в течение всего дня и последующей ночи неоднократно повторялись ощутимые толчки небольшой интенсивности. Так, уже через 34^m после первого толчка повторились колебания с интенсивностью $I_i=2-3$ балла, через шесть часов – с интенсивностью 3–4 балла [1]. К вечеру 1 мая 2011 г. колебания от землетрясений жители почувствовали не менее шести раз. Сведения о регистрируемых толчках, аналитические обзоры о произошедшем сейсмическом событии и его афтершоках в круглосуточном режиме оперативно предоставлялись на веб-сайте Центра данных РГП ИГИ (www.kndc.kz) [3]. Посещение веб-сайта жителями Алматы за эти сутки было рекордным и достигало десятков тысяч. Расположение эпицентра показано на рис. 1.

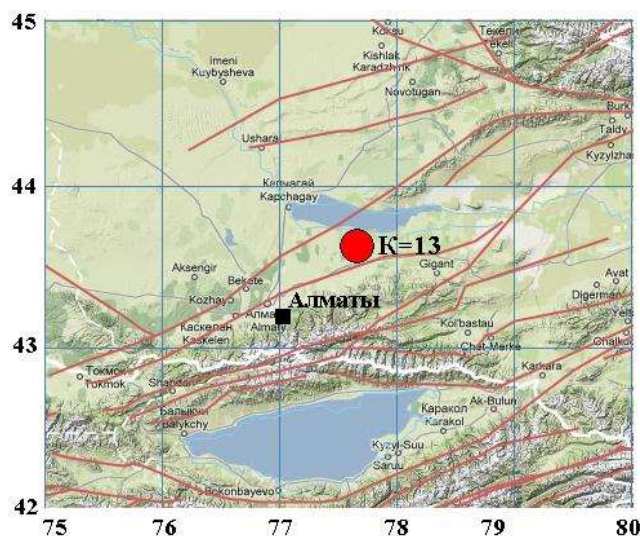


Рис. 1. Расположение эпицентра Капчгайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $M_w=5.2$ [4]

Однако избежать паники в городе не удалось. К ночи многие люди с вещами вышли на улицу с намерением ночевать там в ожидании более сильного землетрясения. Только после полуночи, после выступления по телевидению представителей Министерства по чрезвычайным ситуациям и Института сейсмологии Республики Казахстан, удалось успокоить людей. Следует отметить, что землетрясению 1 мая 2011 г., несмотря на его небольшую ($M_S=M_s=4.8$ [5, 6]) магнитуду по меркам глобальной сейсмологии, уделялось особое внимание и в мировых центрах данных, что объясняется его близостью к крупнейшему мегаполису Казахстана. Так, в Европейском средиземноморском Центре данных (EMSC) этому землетрясению был посвящен специальный отчет, представленный на веб-сайте www.emsc-csem.org [7].

В настоящей статье приводится подробный отчет о землетрясении 1 мая 2011 г. по казахстанским данным (КНЦД – Казахстанский национальный центр данных, СОМЭ – сейсмологическая опытно-методическая экспедиция) и материалам ряда зарубежных Центров обработки данных: EMSC, USGS (United States Geological Survey, США), ГС (Геофизическая служба) РАН и др.

Инструментальные данные. Координаты гипоцентра и магнитуда землетрясения по разным источникам приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. по инструментальным данным

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр					Магнитуда	Источ- ник	
			φ°, N	δ , км	λ°, E	δ , км	h , км			δh , км
KZ	02 31 28.9	0.3	43.58	5	77.70	5	20	5	$K_p=13.1, MS=4.5/11,$ $MPVA=5.4/32$	[1]
SOME _{ISC}	02 31 28.9		43.58		77.70		20		$K_p=13.1, MS=4.3$	[6]
KRNET _{ISC}	02 31 28.08	0.10	43.6440		77.6597		24		$K_p=12.6$	[6]
NNC _{ISC}	02 31 27.47	0.52	43.7149	5.2	77.6582	2.2	1.7	3.5	$K_p=13.3, m_b=5.8, m_{pv}=5.3,$	[6]
MOS	02 31 28.30	1.07	43.636	4.9	77.764	4.6	22		$MS=4.8/60, MPSP=5.3/72$	[5]
ISC	02 31 29.09	0.19	43.6209	2.4	77.6560	2.4	19.7	0.84	$M_s=(4.8\pm 0.2)/187,$ $m_b=(5.2\pm 0.2)/245, h_{pp}=19$	[6]
ISCJB	02 31 29.7	0.25	43.6084	2.3	77.7459	1.8	30.2	1.9		[6]
IDC	02 31 29.33	0.33	43.5459	7.5	77.6902	5.3	22.6	1.8	$M_s=(4.6\pm 0.1)/39,$ $m_b=(4.5\pm 0.1)/41,$	[6]
EMSC	02 31 29		43.63		77.46		23		$m_b=5.4$	
NEIC	02 31 29.62	0.11	43.564	3.1	77.746	2.4	23.2		$M_s=4.8/105, m_b=5.3/126$	[6]
GCMТ	02 31 29.6	0.20	43.72	2.2	77.73	2.2	24.6	1.0	$M_w=5.2/91, M_0=6.47\cdot 10^{16} H\cdot M$	[6]
ВЛ	02 31 26.80	2.07	43.71		77.74		8.0		$M_s=4.8/62, m_b=5.0/57$	[6]

Примечание. Нижним индексом (_{ISC}) отмечены агентства Республики Казахстан и Кыргызской Республики, включенные в сводку ISC ([Event 16485949 Lake Issyk-Kul region](#) [6]) по этому землетрясению.

Как следует из табл. 1, различие в положении гипоцентра землетрясения по разным источникам не превышает 0.2° по широте, 0.3° – по долготе и 23 км – по глубине. Положение эпицентра в соответствии с разными решениями изображено на рис. 2.

Наиболее близки к региональным координатам оказались определения ISC, ISCJB, IDC и NEIC. Заметно отличается эпицентр EMSC, смещенный на запад–северо-запад, и эпицентры NNC и GCMТ, смещенные на север.

Макросейсмические данные, к сожалению малочисленны. Для трех населенных пунктов (Маловодное, Алексеевка, Алматы) имеется описание ощущений людей и для девяти – только значение балльности. Описание ощущений приведено по [7], балльность [8] – в табл. 2.

Согласно [7], в Маловодном описаны «страх и паника, ее просто так не забудешь. Это останется в тебе надолго. Люди на улице Бокина в 37 км от эпицентра нуждаются в помощи, стоят на улице, опасаясь разрушения крыш»; в Байтереке (Ново-Алексеевке) – «50 км от эпицентра. Слышался шум, вначале как трактор, затем еще громче. Испуг.»; в Алматы – «несколько мощных ударов и мощный толчок разбудил меня. Это было несколько толчков (землетрясений) различной интенсивности. Так трясло на 3-м этаже, что, вылезая из постели, я упал на колени. На 8-м этаже пол и стены начали дрожать, слышался низкий гул, амплитуда раскачивания дома была довольно высокой, стены и окна скрипели. Первый толчок был самым сильным, сопровождавшимся ревом, продолжался около минуты,

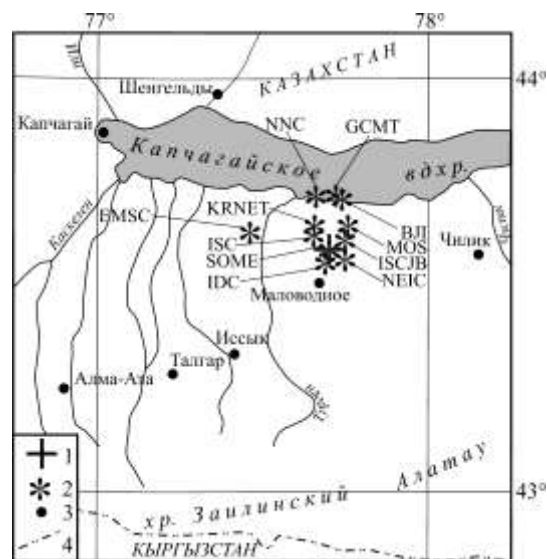


Рис. 2. Расположение разных решений эпицентра Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $M_w=5.2$.

мебель дрожала, было трудно ходить. Неприятный низкочастотный шум. Необычные толчки. Чаще всего дом просто шатает, в этот раз было вертикальное дрожание на протяжении нескольких секунд. Многие подумали, что проезжает какая-то груженная машина по улице. Длительность колебаний примерно 8–12^с. В центре города толчки ощущались сильнее, тряслась посуда, стоял гул, раскачивались люстры. Очень странное ощущение внутри, после толчка на улице тихо, не слышно птиц и кошек и собак. Людей охватила паника. Никогда не ощущалось так много землетрясений в один день.»

Имеющиеся по 9 пунктам макросейсмические сведения собраны в табл. 2.

Таблица 2. Макросейсмические данные о Капчагайском землетрясении 1 мая 2011 г.

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E
	<u>6 баллов</u>					<u>4–5 баллов</u>			
1	Казотком	2.5	43.5803	77.7261	6	Алматы	75	43.2500	76.9000
2	Екпенди	12	43.6311	77.5663		<u>3–4 балла</u>			
	<u>5–6 баллов</u>				7	Нурум	82	44.0619	78.7405
3	Маловодное	8	43.5101	77.6823	8	Басши	106	44.1580	78.7529
4	Байтерек (Ново-Алексеевка)	50	43.4029	77.2251		<u>2–3 балла</u>			
	<u>5 баллов</u>				9	Талдыкорган	169	45.0176	78.3805
5	Есик	32							

Сеймотектоническая позиция очага. По инструментальным данным Республики Казахстан гипоцентр землетрясения расположен южнее Капчагайского водохранилища в Алматинской впадине на глубине 20 км и приурочен к узлу пересечения разломов высших порядков, выделенных по результатам дешифрирования космоснимков. Один из разломов субпараллелен Капчагай-Чиликскому сдвигу, другой имеет северо-восточное простирание (рис. 3).

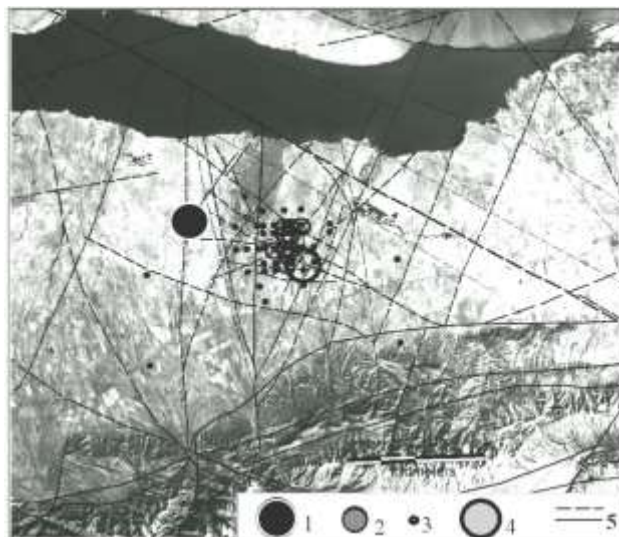


Рис. 3. Эпицентры главного толчка Капчагайского землетрясения и его афтершоков

1 – главный толчок; 2, 3 – афтершоки с $MPVA \geq 4$ и < 4 соответственно; 4 – землетрясение 23.08.1960 г. из [9]; 5 – разлом, неуверенный и уверенный соответственно.

Алматинская впадина является слабосейсмичной зоной, разделяющей Северо-Тянь-Шаньскую и Жонгарскую (Джунгарскую) сейсмоактивные зоны Казахстана. Кристаллический фундамент каледонской консолидации перекрыт здесь толщами мезо-кайнозойских пород. По данным карты сейсмогенных зон А.В. Тимуша в [10], сейсмopotенциал ближайшей сейсмогенерирующей Алтынэмельской зоны (№ 27) на севере составляет $M_{\max}=6.5$. На юге, в Алматинской сейсмогенерирующей зоне (№ 31), максимально сильными могут быть землетрясения с магниту-

дой 7.0. Основная масса слабых землетрясений, зарегистрированных ранее, приурочена к Алматинскому прогибу, небольшая их часть трассирует Капчагай-Чиликский разлом. Южнее этого разлома 23.08.1960 г. было зарегистрировано событие с $M=4$ (рис. 4), которое до описываемого Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. являлось самым сильным в Алматинской впадине.



Рис. 4. Схема расположения эпицентров землетрясений в Северном Тянь-Шане и Джунгарии за весь исторический период

1 – катастрофические землетрясения с магнитудой $M \geq 7.1$; 2–5 – землетрясения с $M=6.1-7.0$, $5.1-6.0$, $4.1-5.0$ и $3.1-4.0$ соответственно; звездочка – эпицентр Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $M_w=5.2$.

На рассматриваемой территории Капчагай-Чиликский разлом относится к наиболее крупным (трансрегиональным) сдвигам, он протягивается от хребтов Кокшаал-Тау под кайнозойские отложения Южно-Прибалхашской впадины. Простираение разлома северо-западное $300^\circ-305^\circ$, падение плоскости разлома крутое, почти вертикальное.

Фокальный механизм главного толчка (табл. 3) получен двумя методами: по методу тензора центроида сейсмического момента (СМТ) с использованием данных 23 станций в Гарвардском университете в [11] и в [12] – по первым смещениям P -волн (МО), зарегистрированным сейсмическими сетями Республики Казахстан. О надежности решения фокального механизма по первым вступлениям объемных волн свидетельствует использование 51 равномерно распределенного знака, согласованность которых составила 98 %, а вариации параметров не превысили $1-2^\circ$. Параметры фокального механизма, определенные по двум методам: МО и СМТ приведены в табл. 3, а стереограммы показаны на рис. 5.

Таблица 3. Параметры механизма очага Капчагайского землетрясения регионального каталога [12] и Global CMT Catalog [11]

Агентство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км			K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Число зна- ков
				M_w	M_S		T		N		P		$NP1$			$NP2$			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
МО(КНИЦД)	01.05	02 31 28.6	20	4.5	13.1	61	118	25	265	14	2	122	38	135	252	64	62	51	
СМТ(GCMT)			25	5.2		52	137	18	251	32	353	129	21	149	248	79	72	23	

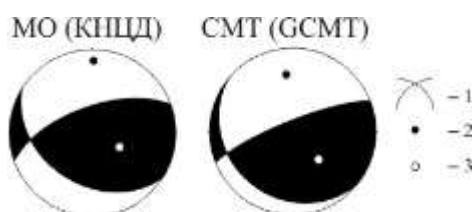


Рис. 5. Стереогаммы механизма очага Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $M_w=5.2$ по [11, 12]

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Как видим, решения по двум методам хорошо согласуются, максимальная разница в значениях параметров не превышает 19° . По результатам решения механизма очага землетрясение реализовалось под действием системы напряжений, характеризуемой близгоризонтальной и субмеридиональной ориентацией оси напряжения сжатия и круто погружающейся в юго-восточном направлении оси напряжения растяжения. Одна из нодальных плоскостей (NP_2) имеет запад–юго-западное ($STR_2=252^\circ$) простирание и крутое ($DP_2=64$) падение в северо-западном направлении, подвижка по этой плоскости характеризуется взбросом с небольшими компонентами левостороннего сдвига. Более значительные компоненты сдвига, уже правостороннего – по другой плоскости NP_1 юго-восточного ($STR_1=122^\circ$) простирания, полого ($DP_1=38$) падающей на юго-запад. Висячее юго-западное крыло смещено по простиранию этой плоскости в северо-западном направлении и вверх. Подобие решений по стандартной методике и по методу СМТ, отражающих, соответственно, первое движение по разрыву и характер разрыва в главной фазе, свидетельствует о том, что характер подвижки и ориентация разрыва при его развитии не изменяются. Найденная ориентация разрывов в очаге согласуется с направлением разломов высшего порядка, к пересечению которых приурочен эпицентр землетрясения. В результате подвижки по одному из них и произошло снятие напряжений в блоке.

Истинное направление разрыва.

Для установления истинного направления разрыва протяженного очага применена методика И.В. Горбуновой [13], основанная на построении и анализе азимутального годографа. Годограф построен с использованием материалов станций СОМЭ. По вертикальной шкале приведены значения $\delta t=(t_{P_{max}}-t_{P_1})$, где $t_{P_{max}}$ – время наступления максимума в цуге P -волн, t_{P_1} – время первого вступления P -волны (рис. 6).

Из рис. 6 видно, что годограф имеет два нечетко выраженных максимума, разнесенных на $\approx 180^\circ$, что характерно для двунаправленного разрыва. Однако на основании того, что максимумы годографа выражены слабо, можно предположить, что распространение разрыва происходило как по простиранию плоскости в обе стороны, так и по падению плоскости. Сопоставление с механизмом очага показывает соответствие максимумов азимутам простирания первой нодальной плоскости в табл. 3 (пунктирные линии на рис. 6). Из такого вида азимутального годографа следует, что ориентация плоскости разрыва близка к 301° (122°), вдоль этой плоскости разрыв распространялся как в северо-западном, так и юго-восточном направлении и вверх по падению плоскости.

Афтершоки. После главного толчка Капчагайского землетрясения последовала серия афтершоков, аномально высокая как по общему числу повторных толчков для такого сравнительно несильного главного толчка, так и по количеству относительно сильных ($K_p \geq 9$) афтершоков. Всего в каталог и сейсмологические бюллетени включено более 200 афтершоков этого землетрясения, большая часть из которых была зарегистрирована в первые 10 дней [14, 15]. Распределение афтершоков по энергии и во времени характеризует рис. 7: тринат-

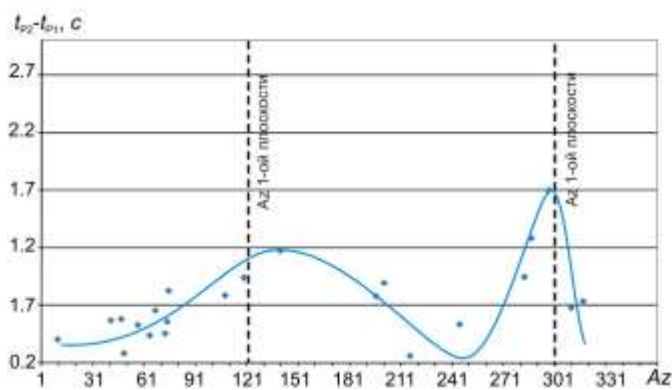


Рис. 6. Азимутальный годограф для Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г.

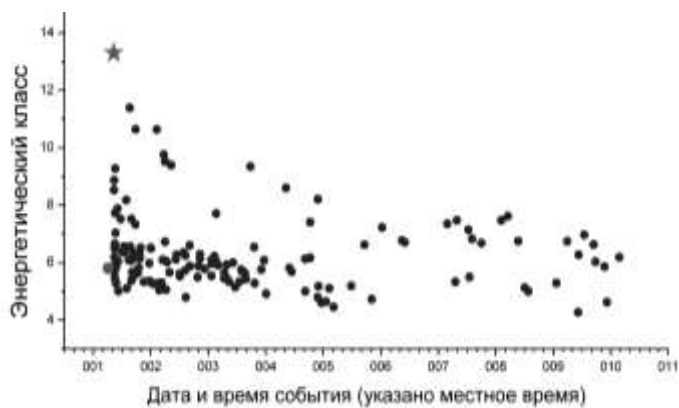


Рис. 7. Затухание афтершоковой деятельности в очаге Капчагайского землетрясения

дцать наиболее сильных толчков с $K_p \geq 9$ произошли в первые четыре дня. Через месяц, 2 июня, был зарегистрирован еще один афтершок с $K_p=10.2$, вызвавший сотрясения с интенсивностью $I_i=3$ балла в Талгаре (51 км), 2–3 балла – в Тургене (25 км), 2 балла – в Алматы (75 км) [1].

Афтершоковая активизация происходила в компактном объеме геологической среды изометричной формы, ограниченном со всех сторон разломами высокого порядка – субпараллельными и секущими Капчагай-Чиликский сдвиг. Все наиболее сильные повторные толчки с $K_p \geq 9$ сконцентрированы в области еще меньших размеров (рис. 8). Линейные размеры основного облака афтершочков в плане составляют 10×10 км. Примерно в 10 км западнее основной афтершоковой области, в равновеликом блоке, расположен эпицентр землетрясения 23.08.1960 г. с $M=4$ [9]. Следует отметить приуроченность очага этого землетрясения, как и очага Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. к узлу пересечения разрывов, ориентированных субпараллельно и вкрест Капчагай-Чиликскому сдвигу.

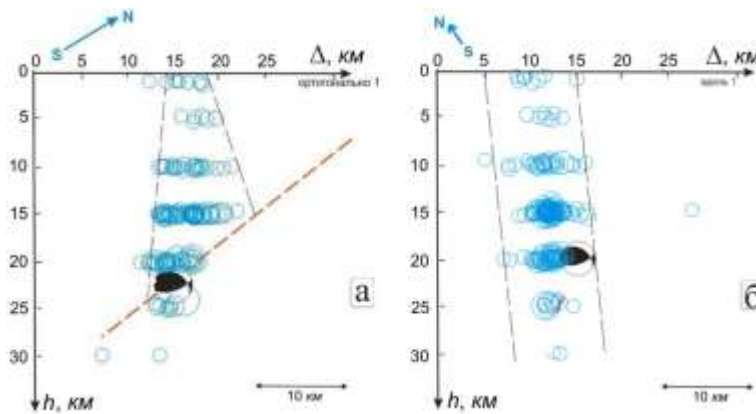


Рис. 8. Облака афтершочков по глубинным разрезам, ориентированным ортогонально (а) и по простиранию (б) первой нодальной плоскости главного толчка Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г.

Анализ глубинного распределения афтершочков показал, что большинство гипоцентров распределено в земной коре на глубине 20–10 км, а наиболее сильных толчков – на глубине не менее 15 км. Выше отметки 10 км зафиксированы только единичные очаги. Наилучшим образом распределению афтершочков в разрезе соответствует ориентация первой нодальной плоскости главного толчка (STK_1). Все афтершочки расположены в южном висячем крыле первой нодальной плоскости (рис. 8 а), глубины их гипоцентров уменьшаются вдоль пологой плоскости с удалением от главного толчка на север. Выше глубины 15 км распределение гипоцентров изменяется, они выстраиваются вдоль крутой плоскости, составляющей клинообразную структуру с плоскостью NPI главного толчка. Такой же крутой плоскостью ограничено распределение афтершочков к югу от очага.

Полученное распределение афтершочков на разрезе, ортогональном простиранию первой нодальной плоскости, позволяет предположить, что имеющиеся в этой зоне тектонические разрывы, субпараллельные Капчагай-Чиликскому сдвигу, круто падают в противоположные стороны и являются естественным ограничением очага с юга и севера. Вдоль простирания плоскости NPI (рис. 8 б) распределение афтершочков с востока и запада ограничено крутыми плоскостями, которые в плане соответствуют разрывам, ориентированным вкрест Капчагай-Чиликскому сдвигу. Геометрические размеры очага, оцененные по вертикальным разрезам распределения афтершочков (рис. 8), составляют: $20 \times 10 \times 10$ км. Такие размеры очага по существующим зависимостям [16], связывающим размеры очага с магнитудой, соответствуют $M=5$ и фиксированы размерами блока между разломами высокого порядка. Одинаковые вертикальные и горизонтальные размеры очага свидетельствуют об одинаковом развитии разрыва по падению плоскости вверх и по ее простиранию, что подтверждает сделанные выше выводы.

Механизмы очагов афтершочков. Для 10 наиболее сильных афтершочков найдены решения фокальных механизмов [12]. В табл. 4 и на рис. 9 приведены параметры механизмов и их стереограммы.

Известно, что только по положению облака афтершочков в плане нельзя делать выводы о направлении и размерах разрыва в главном толчке. Необходимо проанализировать объемную модель очага в земной коре. Поэтому было рассмотрено распределение проекций гипоцентров афтершочков на вертикальные плоскости, ориентированные по простиранию и ортогонально первой и второй нодальным плоскостям главного толчка (рис. 8).

Таблица 4. Параметры механизмов очагов афтершоков Капчагайского землетрясения

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	Магнитуда		K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис- точ- ник
				MPVA	MLV		T		N		P		NP1			NP2			
							PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP	
1	01.05	03 05 51.2	20	4.6		10.1	24	103	39	215	41	350	145	41	-165	43	80	-49	[12]
2	01.05	09 13 55.4	25	5.2	3.7	11.7	81	232	7	93	6	2	84	39	79	279	51	100	-"-
3	01.05	11 37 09.9	20	5.1	3.2	11.4	56	119	30	267	15	6	131	40	142	253	66	57	-"-
4	01.05	20 29 05.3	20	5.1	3.2	11.3	14	93	64	213	22	357	136	64	-174	44	85	-25	-"-
5	01.05	23 27 26.5	15	4.7		10.3	84	104	6	266	2	356	92	43	100	260	47	82	-"-
6	01.05	23 52 41.3	20	4.8		10.4	1	272	69	179	21	2	45	75	-13	139	76	-164	-"-
7	02.05	02 31 09.8	20	4.6		10.1	30	113	47	241	28	5	148	47	179	239	89	43	-"-
8	03.05	11 33 48.8	15	4.7		10.2	6	276	71	24	18	184	322	73	-171	229	82	-16	-"-
9	02.06	05 13 59.1	15	4.6	2.9	10.2	44	100	37	239	22	347	123	41	160	229	77	51	-"-
10	17.10	11 44 48.9	20	4.7	2.6	10	6	245	42	340	48	148	300	53	-146	187	63	-41	-"-

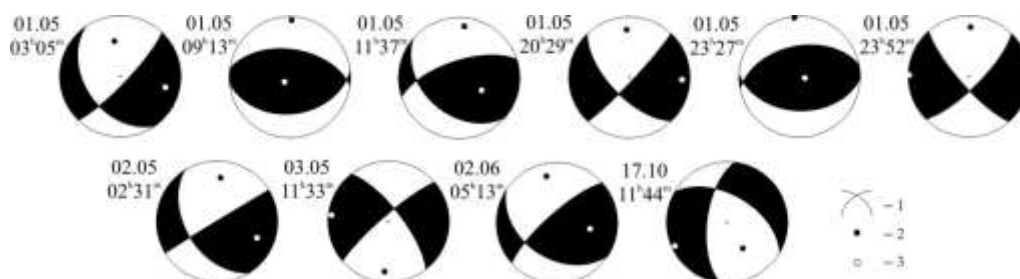


Рис. 9. Стереогаммы десяти афтершоков Капчагайского землетрясения 2011 г.

1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Анализ простирания нодальных плоскостей и характера подвижек в очагах афтершоков показал их большое разнообразие. Очаги трех афтершоков (№ 3, 7, 9 в табл. 4), как и главного толчка, реализовались в условиях регионального поля напряжений, характеризующегося горизонтальным сжатием в субмеридиональном направлении и близвертикальным или крутым растяжением. В очагах № 2 и № 5 реализовались чистые взбросы, но есть и сдвиго-сбросы (№№4, 8, 9) и сбросо-сдвиги (№ 6 и № 10).

Интерпретация положения разрывов в очаге Капчагайского землетрясения. Анализ совокупности разнородных сейсмологических материалов позволяет сделать вывод, что Капчагайское землетрясение произошло под действием регионального близгоризонтального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении, но в ослабленной среде с контрастными параметрами сейсмотектонического деформирования. Предлагаемая интерпретация процесса в очаге Капчагайского землетрясения отражена на рис. 10.

Очаг главного толчка и облако афтершоков располагались в блоке между разломами высокого порядка, ориентированными субпараллельно и вкрест простирания Капчагай-Чиликского сдвига. Они генетически связаны с этими разломами. Геометрические размеры очага ограничены размерами: $L \approx 10$ км, $W \approx 10$ км, $h = 20$ км, что достаточно хорошо согласуется с магнитудой землетрясения. По пологому разрыву северо-западного простирания ($STK_1 = 122^\circ$) произошло смещение южного крыла вверх и на северо-запад. Вспарывание разрыва, вероятнее всего, развивалось одновременно по падению плоскости вверх и в обе стороны по ее простиранию. На всем протяжении разрыва сохраняется ориентация смещений, зафиксированная в начальной стадии. Вся афтершоковая активизация сосредоточена в висячем юго-восточном крыле разрыва. В процессе афтершоковой деятельности продолжали сниматься напряжения, сформировавшиеся в очаговой зоне перед землетрясением, хотя релаксация напряжений происходила в результате как чисто взбросовых подвижек, так и взбросо-сдвиговых и даже сбросо-сдвиговых подвижек по плоскостям либо северо-восточного, либо северо-западного направления, согласующегося с простиранием имеющихся в зоне разломов высокого порядка, преимущественно на глубине $h > 10$ км. Следует отметить, что рассматриваемая зона Алматинской впадины расчленена разломами высокого порядка на примерно равновеликие блоки, что хорошо видно на рис. 10.



Рис. 10. К интерпретации положения плоскостей разрывов $NP1$, $NP2$ в очаге Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $M_w=5.2$

1 – пологий взбросо-сдвиг на глубине 20 км, генерировавший землетрясение (стрелки показывают направление разрыва в горизонтальной плоскости, зубцы – падение разрыва); 2, 3 – эпицентры землетрясений 01.05.2011 г. и 23.08.1960 г. соответственно; 4 – линии разломов, неуверенных и уверенных соответственно.

В дизъюнктивных узлах двух таких блоков произошли землетрясения: 23.08.1960 г. в $04^{\text{h}}51^{\text{m}}$ с $\varphi=43.7^\circ$, $\lambda=77.5^\circ$, $M=4.0$ [9] и 01.05.2011 г. в $02^{\text{h}}31^{\text{m}}$ с $\varphi=43.583^\circ$, $\lambda=77.700^\circ$, $h=20$ км, $M=4.5$ [1]. В условиях следующей активизации подобные блоки вдоль Капчагай-Чиликского сдвига можно рассматривать как места будущих землетрясений с аналогичными геометрическими размерами и $M \approx 5$.

Параметры сильных движений. Для анализа использованы записи ускорений колебаний грунта в двух пунктах: на станции KNDC в г. Алматы (главного толчка и девяти афтершоков) и на станции «Подгорная» (главного толчка). Станция KNDC находилась на расстоянии 79 км от эпицентра, станция Подгорная – 153 км. Оценены характеристики записей и соответствующих им спектров реакции. Акселерограммы землетрясения Капчагайского 1 мая в $02^{\text{h}}31^{\text{m}}$, зарегистрированные станцией «KNDC», приведены на рис. 11, а на рис. 12 – станцией «Подгорная» (PDGN).

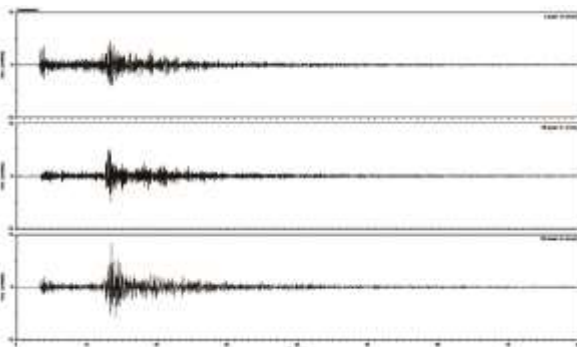


Рис. 11. Акселерограммы главного толчка, станция KNDC

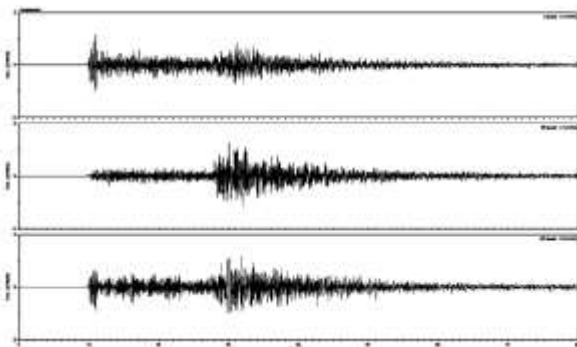


Рис. 12. Акселерограммы главного толчка, станция PDGN

При главном толчке пиковые ускорения грунта в пункте KNDC составили $a=8.4$ см/с². По шкале интенсивности землетрясений MSK-64 (K) [8] такие значения характеризуют интенсивность $I_i=4$ балла. Станция KNDC расположена в южной части города. Сильнее это землетрясение ощущалось в северной части г. Алматы, где интенсивность могла достигать $I_i=5$ баллов. Как следует из значений амплитуд, приведенных в табл. 5, афтершок 1 мая в $20^{\text{h}}29^{\text{m}}$ имел такие же амплитуды ускорений, как и при главном толчке – на уровне $a=8$ см/с².

Таблица 5. Максимальные амплитуды ускорений при главном толчке Капчагайского землетрясения и его афтершоков

Дата, д м	t_0 , ч мин с	KNDC			PDGN			Дата, д м	t_0 , ч мин с	KNDC			PDGN		
		A_{N_s} , см/с ²	A_{E_s} , см/с ²	A_{Z_s} , см/с ²	A_{N_s} , см/с ²	A_{E_s} , см/с ²	A_{Z_s} , см/с ²			A_{N_s} , см/с ²	A_{E_s} , см/с ²	A_{Z_s} , см/с ²			
01.05	02 31 28.9	5.1	8.4	4.5	1.3	1.2	1.2	01.05	20 29 05.3	8.7	8.7	1.6			
01.05	03 05 51.2	0.6	0.3	0.2				01.05	23 27 26.5	1.4	1.0	0.3			
01.05	09 13 55.4	2.2	2.1	1.3				01.05	23 52 41.3	1.3	1.2	0.3			
01.05	11 37 09.9	3.7	1.8	1.1				02.05	02 31 09.8	1.1	0.7	0.3			

Однако магнитуда этого афтершока была намного меньше, чем у главного толчка ($m_{pVNNC}=4.25$ против $m_{pVNNC}=5.34$ [6]). На самом деле, при этом афтершоке высоких значений достигла амплитуда только одного колебания (рис. 13), чем и объясняется его меньшая интенсивность по сравнению с главным толчком.

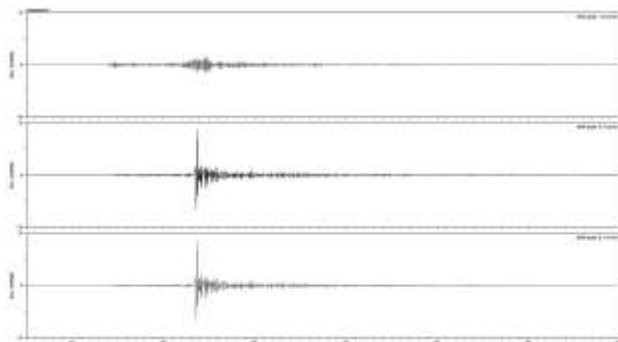


Рис. 13. Акселерограммы афтершока землетрясения 1 мая 2011 г. в 20^h29^m с $m_{pV}=4.25$

большие периоды колебаний – $T=0.22$ с. Максимальные ускорения спектров реакции достигают значений 25 см/с².

По каждой акселерограмме были построены спектры реакций, позволившие оценить преобладающие периоды колебаний при землетрясении и его афтершоках. На рис. 14 представлены результаты обработки акселерограмм главного толчка с использованием программы View Wave (автор Т. Кашима [17]). Спектры реакции строились для наиболее интенсивной части акселерограммы, включающей S-волну. Максимальные воздействия при горизонтальных колебаниях были достаточно высокочастотны. Преобладающие периоды составляют $T=0.13$ с. На вертикальной компоненте отмечаются несколько больше периоды колебаний – $T=0.22$ с. Максимальные ускорения спектров реакции достигают значений 25 см/с².

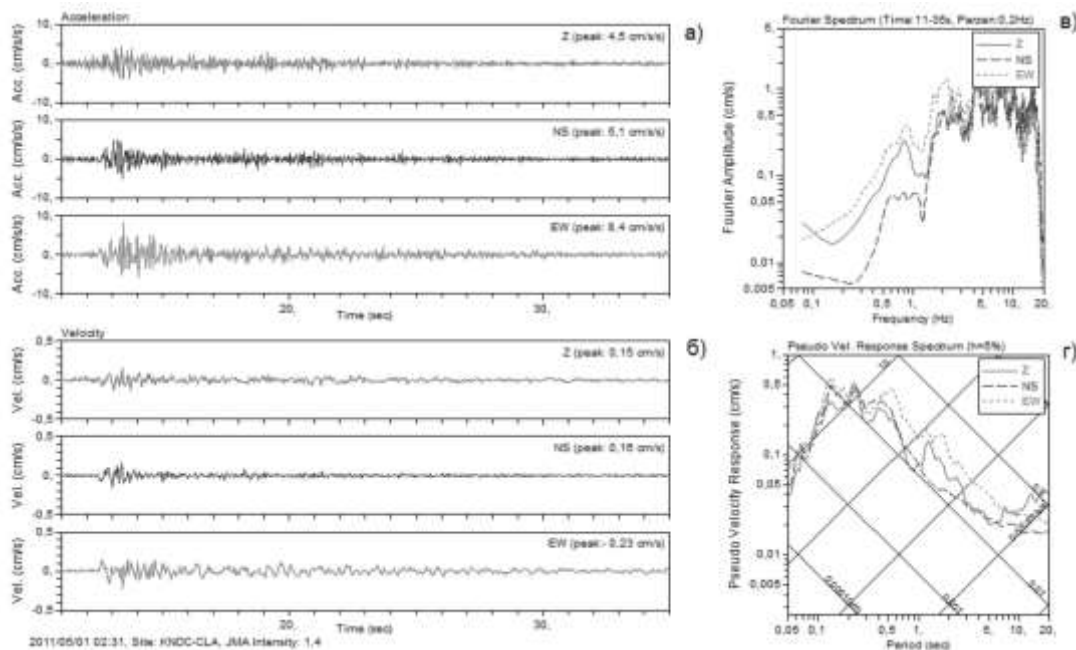


Рис. 14. Результаты обработки акселерограмм главного толчка Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $M_w=5.2$ по записям станции KNDC

а – записи ускорений S-волн, некорректированные; б – расчетные трассы скоростей колебаний грунта; в – спектр Фурье; г – спектры реакции для затухания осцилляторов при $P=5\%$

Выводы. Капчагайское землетрясение реализовалось под действием регионального напряжения сжатия в субмеридиональном направлении вблизи границ зон с контрастными параметрами сейсмотектонического деформирования.

Гипоцентры главного и повторных толчков располагались в блоке между разломами высокого порядка, ориентированными субпараллельно и вкрест простирания Капчагай-Чиликского сдвига, и генетически с ними связаны. Геометрические размеры очаговой зоны ограничены размерами блока и соответствуют средним размерам очагов землетрясений с магнитудой $M=5$.

По пологому разрыву северо-восточного простирания произошло смещение южного крыла вверх и на северо-запад, что согласуется с ориентацией и кинематикой Капчагай-Чиликского трансрегионального сдвига.

Вспарывание разрыва с большой вероятностью происходило одновременно по падению плоскости вверх и в обе стороны по ее простиранию. На всем протяжении разрыва сохранялась ориентация смещений, зафиксированная в начальной стадии.

Продолжительная во времени афтершоковая активизация сконцентрирована в южном, висячем крыле разрыва, преимущественно на глубине $h>10$ км.

Параметры сильных движений на территории г. Алматы демонстрируют преимущественно высокочастотные сейсмические воздействия с преобладающими периодами $T=0.13$ с. Интенсивность воздействий определяется ускорением на уровне $a=8$ см/с².

Ориентация разрывов в очагах главных толчков и их афтершоков и пространственное распределение гипоцентров свидетельствуют о том, что разрывы высоких порядков в Алматинской впадине, по всей вероятности, имеют крутое падение и проникают в земную кору на глубину 10–25 км, разбивая ее на блоки.

В условиях следующей активизации такие блоки вдоль Капчагай-Чиликского сдвига можно рассматривать как места будущих землетрясений с аналогичными геометрическими размерами очагов и магнитудой $M\approx 5$.

Л и т е р а т у р а

1. Неверова Н.П. (СОМЭ МОН РК), Михайлова Н.Н. (РГП ИГИ МЭ РК) (отв. сост.), Проскурина Л.П., Бектурганова Б.Б., Проскурина А.В., Далбаева Ж.А., Досайбекова С.К. (СОМЭ МОН РК), Мукамбаев А.С. (РГП ИГИ МЭ РК) (отв. сост.). Каталог землетрясений Казахстана за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
2. Калмыкова Н.А., Неверова Н.П., Михайлова Н.Н. (отв. сост.), Бектурганова Б.Б., Гайшук Л.Н., Досайбекова С.К., Проскурина Л.П., Смирнова Е.Ю., Ульянина И.А., Мукамбаев А.С. (сост.). Каталог землетрясений Казахстана за 2007 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – (На CD).
3. Казахстанский национальный центр данных. – URL: <http://www.kndc.kz>.
4. Белослюдов О.М. Краткосрочные предвестники землетрясения 1 мая 2011 г., $K_p=13$ // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана. – Баку: РЦСС НАНУ, 2012. – С. 119–123.
5. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2011 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2011–2012. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2011.
6. International Seismological Centre (ISC), On-line Bulletin, Internat. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
7. European-Mediterranean Seismological Centre – URL: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/>.
8. 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.
9. Среднеазиатская зона. Подробные данные о землетрясениях // Бюллетень сети сейсмических станции СССР. – 1960. – № 2, апрель–июнь. – М.: Совет по сейсмологии АН СССР, 1961. – С. 69.
10. Тимуш А.В. Сейсмогенные зоны // Сейсмическое районирование Республики Казахстан. – Алматы: Эверо, 2000. – С. 160–180.

11. **Global CMT Catalog Search.** – URL: <http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>.
12. **Полешко Н.Н. (РГП ИГИ МЭ РК) (отв. сост.), Досайбекова С. К. (СОМЭ МОН РК) (сост.).** Каталог механизмов очагов землетрясений Казахстана за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
13. **Горбунова И.В., Кальметьева З.А., Михайлова Н.Н. и др.** Интерпретация очаговых волн на записях землетрясений. – Москва-Бишкек: Наука, 1992. – 130 с.
14. **Неверова Н.П., Проскурина Л.П., Бектурганова Б.Б., Проскурина А.В., Далбаева Ж.А., Досайбекова С.К. (сост.).** Каталог (оригинал) землетрясений за 2011 г. с $K_p>3.5$ ($N=1426$). – Алматы: Фонды СОМЭ, 2011. – 29 с.
15. **Неверова Н.П. (сост.).** Афтершоки Капчагайского землетрясения 1 мая 2011 г. с $K_p=13.1$, $M_w=5.2$, $I_0=6$ // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
16. **Сыдыков А.** Сейсмический режим территории Казахстана // Алматы: Гылым, 2004. – 268 с.
17. **Kashima T.** ViewWave Help. – 2002. – ISEE, BRI.