

КАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 июля 2011 г.

с $K_p=14.1$, $MS=6.2$, $I_0=8-9$ (Кыргызстан–Узбекистан)

**М.П. Камчыбеков¹, М.Т. Усманова², А.Г. Фролова¹, А. Джураев², К.А. Егембердыева¹,
У.А. Нурматов², Ы.П. Камчыбеков¹, Т.А. Чаримов¹**

¹Институт сейсмологии Национальной Академии наук Республики Кыргызстан,
г. Бишкек, kis@mail.elcat.kg

²Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, tash.seismo2016@mail.ru

19 июля 2011 г. в 19^h35^m (20.07.2011 г. в 00^h35^m по Ташкентскому времени) во многих населенных пунктах Узбекистана и Кыргызстана ощущалось сильное землетрясение с интенсивностью 7–8 баллов по шкале MSK-64. Отзвуки этого события коснулись и соседних государств – Таджикистана и Казахстана. Эпицентр землетрясения расположен на территории Кыргызстана в 13 км к юго-востоку от пос. Советский. Это землетрясение сильно проявилось в юго-западной части Ферганской долины, в населенных пунктах Алга, Халмион, Орозбеково, Риштан, Капгут, Чимион, Вуадил, Сох и др. Макросейсмическое обследование эпицентральной зоны дало возможность судить о характере повреждений зданий и сооружений и деформаций на поверхности грунтов [1–3].

Инструментальные данные. При определении параметров основного толчка использовались данные 18 сейсмических станций Кыргызстана. Ближайшая к эпицентру станция «Баткен» расположена на расстоянии $\Delta=53$ км. Максимальные скорости по записи поперечных волн на этой станции составили 0.48 см/с (рис. 1).

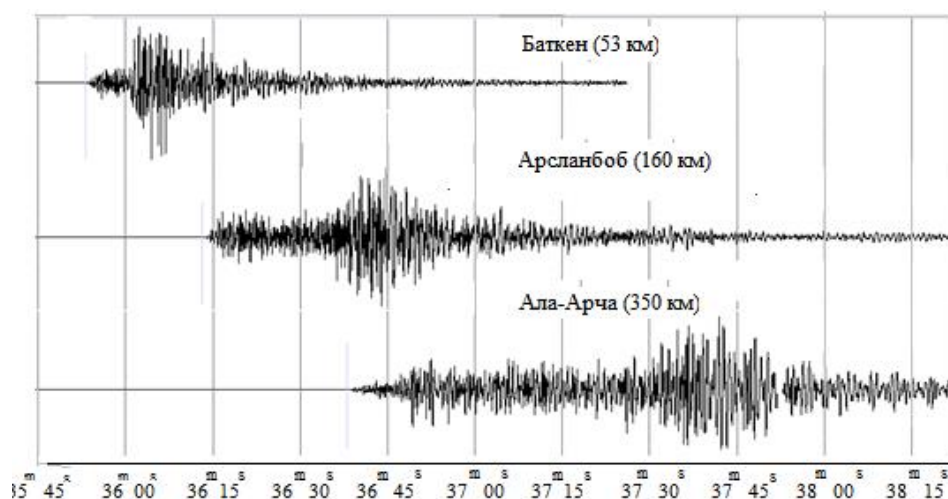


Рис. 1. Велосиграммы Канского землетрясения 19 июля 2011 г., полученные на трех сейсмических станциях региональной сети Кыргызстана (вертикальная компонента)

Согласно бюллетеню ISC [4], Канское землетрясение записали 2502 сейсмические станции Земного шара. Основные параметры главного толчка по материалам различных агентств представлены в табл. 1.

Разброс решений по широте равен 0.31° ($\varphi=39.87^\circ-40.28^\circ N$), по долготе 0.16° ($\lambda=71.35^\circ-71.51^\circ$), по глубине 28.8 км (0–28.8 км), по магнитудам более устойчивы магнитуды MS , Ms по поверхностным волнам на уровне 6.2. Такое же значение имеет для этого землетрясения и моментная магнитуда $M_w=6.2$. Глубина землетрясения $h=19$ км по фазе pP близка к значению глубины $h=17$ км, полученному региональной сетью KRNAT [5].

Таблица 1. Основные параметры землетрясения 19 июля 2011 г. в 19^h35^m по данным различных сейсмологических центров

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			
KRNET	19 35 43.9		40.12	2	71.45	2	17			$K_p=14.1$, $MPVA=6.5$	[5]
IS Usb	19 35 43.1		40.16		71.42		20			$MPVA=6.3$	[1, 2]
NNC	19 35 40.01		39.869	22	71.484	14	0			$K_p=14.26$, $m_b=6.5$, $m_{pv}=6.2$	[4]
MOS	19 35 40.8	1.0	39.979	3.6	71.406	3.6	15			$MPSP=6.2/125$, $MPLP=6.0/8$, $MS=6.2/90$, $M_w=6.2/1$, $M_0=1.90 \cdot 10^{18}$ <i>Н·м</i>	[6]
ISC	19 35 43.4	0.3	40.156	2.6	71.501	2.2	19.5 $h_{pP}=19.0$	1.0		$M_s=(6.2 \pm 0.2)/303$; $m_b=(6.0 \pm 0.2)/539$	[4]
NEIC	19 35 43.48	0.09	40.08	2.8	71.41	1.9	20			$MS=6.2/159$, $m_b=6.1/296$, $M_w=6.2$, $M_0=1.05 \cdot 10^{18}$ <i>Н·м</i>	[4]
GCMT	19 35 43.5	0.10	40.28	1.1	71.36	1.1	28.8	0.3		$M_w=6.2/133$, $M_0=2.12 \cdot 10^{18}$ <i>Н·м</i>	[4]
IDC	19 35 43.44	1.38	40.121	7.6	71.509	6.1	18.6	8.3		$M_s=(6.1 \pm 0.1)/48$; $m_b=(5.6 \pm 0.1)/44$	[4]
BJI	19 35 40.8		40.15		71.35		10	1		$M_s=6.3/92$, $m_b=5.8/73$, $ML=6.3/5$	[4]

Механизм очага землетрясения 19 июля с энергетическим классом $K_p=14.1$ и глубиной $h=17$ км определен по знакам первых вступлений *P*-волн [7]. Знаки собраны на 19 сейсмических станциях региона. Из них 9 станций дали знак «-», остальные станции зарегистрировали волны сжатия «+».

Параметры фокального механизма, определенные по двум методам: МО и СМТ, приведены в табл. 2, а стереограммы показаны на рис. 2. В решении механизма очага землетрясения по стандартной методике МО (строка 1 в табл. 2) первая нодальная плоскость, более пологая ($DP_1=31^\circ$), наклонена на юг-юго-восток и имеет восток-северо-восточное ($STK_1=76^\circ$) простирание, совпадающее с Северо-Катранским разломом. Вторая плоскость, более крутая ($DP_1=63^\circ$), имеет запад-северо-западное ($STK_2=290^\circ$) простирание. Подвижка по первой плоскости представляет собой надвиг с элементами левостороннего сдвига, по второй – взброс. Ориентация снимаемых в очаге напряжений свидетельствует, что разрыв произошел под действием близгоризонтального ($PL_p=17^\circ$) субмеридионального ($AZM=8^\circ$) напряжения сжатия. Очень близкое решение получено также по первым вступлениям в агентстве MOS и NEIC₃ (строки 2 и 5 в табл. 2).

Таблица 2. Параметры механизма очага землетрясения 19 июля 2011 г. (19^h35^m) с энергетическим классом $K_p=14.1$ и глубиной $h=17$ км

Агентство	t_0 , ч мин с	h км	MS/M_s	M_w	K_p	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости					
						<i>T</i>		<i>N</i>		<i>P</i>		<i>NP1</i>			<i>NP2</i>		
						<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>PL</i>	<i>AZM</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>	<i>STK</i>	<i>DP</i>	<i>SLIP</i>
KRNET	19 35 43.9	17			14.1	68	232	13	102	17	8	76	31	61	290	63	107
MOS	19 35 40.8	15	6.2	6.2		70	229	15	90	12	357	67	35	63	279	59	108
NEIC ₁	19 35 40.0	19	6.2	6.0		74	190	3	89	15	358	84	30	84	271	61	94
NEIC ₂	19 35 43.5	20f	6.2	6.1		75	180	0	0	15	360	90	30	90	270	60	90
NEIC ₃			6.2	6.1		73	215	10	92	14	0	77	32	72	278	60	101
GCMT	19 35 43.5	28.8		6.2		67	191	6	86	22	354	72	24	75	269	67	97

СМТ-решение (строка 6 в табл. 2) получено по методу тензора центра тяжести сейсмического момента (СМТ) по данным Глобальной сети наблюдений и согласуется с решением по стандартной методике (строка 1 в табл. 2), но характеризуется наименьшим наклоном ($DP_1=24^\circ$) плоскости надвига. В целом все решения на рис. 2 близки. 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 изменились.

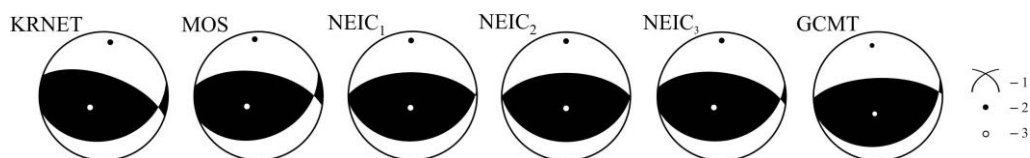


Рис. 2. Стереогаммы Канского землетрясения в проекции нижней полусферы по данным разных агентств

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

Афтершоки приведены в приложении [8], всего их 110 в диапазоне энергетических классов $K_p=4.9-9.8$. Максимальный ($K_p=9.8$) афтершок произошел 19 июля в 20^h46^m , т.е. через 01^h10^m после основного толчка, энергетическая ступень с главным толчком $\Delta K_a=4.3$. Такая большая разница в уровнях энергии главного толчка и максимального афтершока может свидетельствовать о сохранении высоких напряжений в очаговой зоне. Глубина его очага равна 10 км, что меньше, чем у главного толчка. В первые двое суток зарегистрировано 34 афтершока, далее их число пошло на убыль (рис. 3, слева).

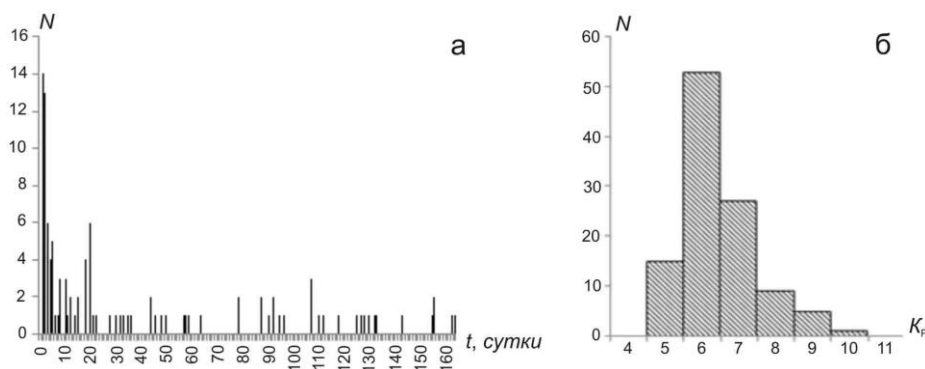


Рис. 3. Посуточная афтершоковая деятельность Канского землетрясения за период с 19 июля по 31 декабря 2011 г. (а) и гистограмма распределения афтершоков по величине энергетического класса (б)

Все более сильные ($K_p \geq 8.6$) афтершоки приведены в табл. 3 и произошли за период с 19 июля по 7 августа.

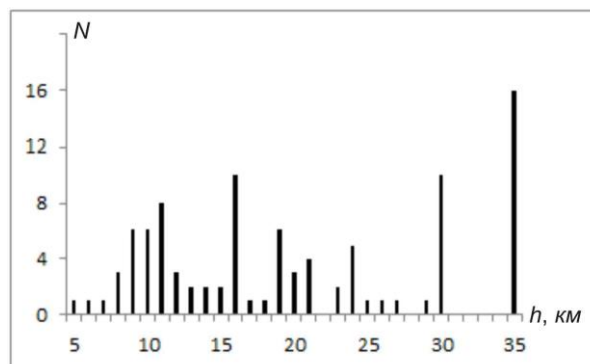
Таблица 3. Афтершоки Канского землетрясения 19 июля в 19^h35^m с $K_p \geq 8.6$

№	Дата, д м	t_0 , ч мин с	Эпицентр		h , км	K_p
			φ°, N	λ°, E		
Главный толчок						
	19 07	19 35 43.9	40.12	71.45	17	14.1
Афтершоки с $K_p \geq 8.6$						
1	19 07	19 57 15.6	40.18	71.48	11	8.7
2	19 07	20 46 00.1	40.15	71.42	10	9.8
3	29.07	18 36 11.5	40.37	71.97	35	8.6
4	29.07	22 41 08.8	39.98	71.33	35	8.6
5	07.08	00 43 08.7	40.35	71.33	8	9.4
6	07.08	01 16 22.8	40.33	71.35	8	8.7

Более слабые толчки с $K_p=5-8$ фиксировались еще длительное время. Максимальное количество афтершоков имело 6-ой энергетический класс (рис. 3, справа).

Глубины гипоцентров определены для 99 афтершоков [8], гистограмма их распределения в земной коре приведена на рис. 4.

Рис. 4. Гистограмма глубин очагов афтершоков Канского землетрясения 19 июля 2011 г. с $K_p=14.1$ в пределах земной коры



Большое их число ($N_{\text{афт}}=10$) зарегистрировано на глубине $h=16$ км, близкой к глубине главного толчка, а также в горизонте 9–11 км ($N_{\text{афт}}=20$) и у подошвы земной коры 30–35 км ($N_{\text{афт}}=26$).

Облако афтершоков в целом имеет северо-запад–юго-восточное и близширотное направления и связано с современными тектоническими движениями Южно-Ферганских глубинных разломов (рис. 5).

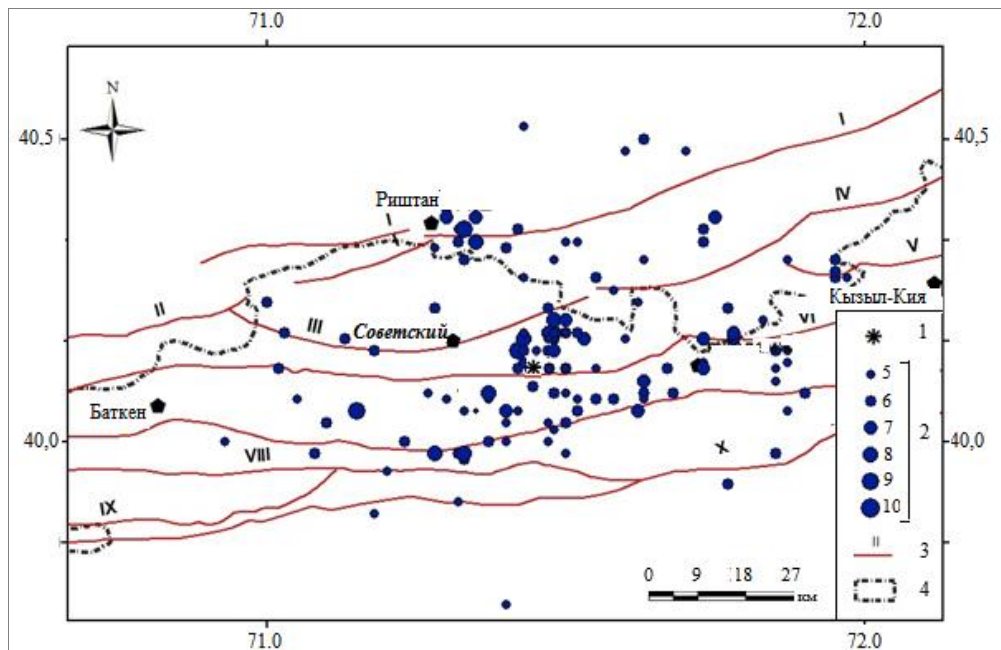


Рис. 5. Карта афтершоков Канского землетрясения за период с 19 июля 2011 г. по 1 мая 2012 г.

1 – эпицентр; 2 – энергетический класс K_r ; 3 – глубинные разломы: I – Южно-Ферганский; II – Гузанский; III – Белсуйский; IV – Чимонский; V – Кувайский; VI – Северо-Катранский; VII – Южно-Катранский; VIII – Хайдарканский; IX – Ворухский; X – Предтуркестанский; 4 – государственная граница.

Результаты макросейсмических обследований. Канское землетрясение, произошедшее в трансграничной зоне Узбекистана и Кыргызстана, вызвало повреждения и отдельные разрушения построек в населенных пунктах вблизи эпицентра. Макросейсмическое обследование последствий землетрясения, проведенное силами этих двух государств, дало возможность судить о характере повреждений зданий и сооружений и о деформациях на поверхности грунтов [1–3].

Согласно опросу жителей, землетрясению предшествовал и сопровождал его сильный подземный гул. На склонах гор отмечены камнепады и обвалы. В эпицентральной зоне было замечено свечение. Подобные явления ранее сопровождали ряд сильных землетрясений в регионе: Бричмуллинское 1959 г. с $M=5.9$; Ташкентские землетрясения 1966 г. с $M=5.3$ и 2008 г. с $M=4.8$ и др. [1, 2].

В эпицентральной зоне наблюдались остаточные деформации в грунтах в виде заметных трещин, доходящих местами до 10 см в ширину и 200 м в длину.

$I=8-8.5$ баллов. По материалам обследований последствий землетрясения на территории Кыргызстана, в зону максимальных сотрясений 8–8.5 баллов попал поселок Советский [3]. Застройка поселка осуществлена в середине прошлого столетия по типовым проектам шахтерских городов малоквартирными жилыми домами, в основном, двух типов: с несущими стенами из рваного камня и деревянными щитовыми. Дома с несущими стенами из рваного камня имели разрушения в виде сквозных трещин, проломов в стенах, обрушения частей зданий, разрушения связей между отдельными частями домов, обрушения внутренних стен и стен заполнения каркаса. В деревянных домах наблюдались небольшие трещины в стенах и откалывание кусков штукатурки, падение кровельной черепицы, трещины в дымовых трубах, падение частей дымовых труб, сдвигалась, иногда опрокидывалась тяжелая мебель. Люди испытывали сильный испуг.

Серьезные повреждения в п. Советский получило здание школы с несущими кирпичными стенами со сборным железобетонным перекрытием и кровлей из шифера: в стенах имелось большое количество сквозных трещин со значительным раскрытием. Наименьшие повреждения отмечены в зданиях, выполненных с антисейсмическими мероприятиями, в которых железобетонное перекрытие обеспечило совместную работу всех конструкций.

$I=8$ баллов. В 8-балльной зоне оказались селения Алга, Халмион, Орозбеково, Таш-Кыя. В селе Алга отмечены большие повреждения домов, что связано с близким залеганием к дневной поверхности грунтовых вод и проходящего здесь Сох-Шахимарданского канала. В постройках преимущественно из кирпича-сырца отмечены трещины в несущих стенах, частичное обрушение перегородок и отдельных частей домов, дымоходных труб и печей.

В селах, где преобладала застройка глинобитными домами, наблюдалось падение штукатурки, разрушение дымоходных труб и печей, падение тяжелых предметов, мебели, иногда нарушение связей между частями построек.

$I=7$ баллов. В 7-балльную зону в Кыргызстане вошли города Айдаркен, Кадамжай, Баткен, а также селения, расположенные в основном у подножия гор, окаймляющих зону с севера и юга: Ормош, Сырт, Сай, Таян, Газ, Согмент, Кара-Булак, Боз-Адыр, Чон-Талаа, Джаны-Джер, Кыргыз-Кыштак, Пульгон, Чал-Таш, Марказ, Кескен-Таш, Гайрат. В этой зоне во многих домах имелись такие повреждения, как разрушение дымоходных труб, осыпание штукатурки. В домах из сырцового кирпича появились трещины в несущих стенах, произошло частичное разрушение перегородок.

Сильные повреждения получили все саманные дома. Типичными для них являлись сквозные трещины в стенах различной направленности, иногда с повреждением углов стропильных, что свидетельствует о разрушении связей между отдельными их частями. В отдельных домах повреждены печи, построенные из жженого глиняного кирпича.

$I=6$ баллов. Основные типы повреждений 6-балльной зоны – это трещины в штукатурке, осыпание побелки и т.п.

Из сообщения МЧС Кыргызстана: «Землетрясением разрушено свыше двухсот строений. Серьезный ущерб нанесен более шестистам жилым домам и пятидесяти общественным зданиям, за медицинской помощью обратились 15 человек. В Кадамжайской области Кыргызстана десятки тысяч жителей оставались без электричества. Спасательные службы возвели 85 тентов для людей, чьи дома были разрушены землетрясением. В горных районах дороги заблокированы обвалами».

На территории Узбекистана отмечено увеличение интенсивности на $\delta I=0.5-1$ балл. Это связано с неблагоприятными грунтовыми условиями: высоким уровнем подземных вод и, как следствие, заболоченностью отдельных участков. В приграничных селениях Лангар, Алтыарик и в г. Риштан, находящихся севернее Сох-Шахимарданского канала, грунтовые воды, идущие с уклоном в северном направлении от него, имеют близкое залегание к дневной поверхности. Вследствие чего дома, стоящие на рыхлых отложениях, подверглись значительным разрушениям [1, 2], нежели постройки в пределах территории Кыргызстана, находящихся в иных, более прочных, грунтовых условиях.

По материалам обследования последствий землетрясения на территории Узбекистана, максимальная сейсмическая интенсивность до 7–8 баллов по шкале MSK-64 [9] наблюдалась в кишлаках Лангар, Риштан, Сох [1, 2]. В кишлаке Лангар в индивидуальных жилых домах с частичным деревянным каркасом (с заполнением межкаркасного пространства из «гуваляка») наблюдались трещины в саманной штукатурке по каркасам, обваливание межкаркасного заполнения, частичное обрушение стен, а иногда и полный обвал дома (рис. 6).

В г. Риштан полностью разрушились дымовые трубы двухэтажного кирпичного жилого здания, расположенного на главной улице (рис. 7). В городской больнице в детском отделении произошло обрушение балкона второго этажа. Многие корпуса городской больницы получили повреждения разной степени. На третьем этаже здания хокимията на перегородочной стене возникли тонкие сквозные трещины. При выезде из города в направлении кишлака Яйпан было зарегистрировано множество песчаных вулканчиков, свидетельствующих о деформациях в эпицентральной зоне.



Рис. 6. Частичное обрушение стен в п. Лангар (фото М. Усмановой)



Рис. 7. Обрушение печных труб на крыше жилого кирпичного здания в г. Риштан (Джураев А., Джураев Н., Усманова М., Нурматов У.)

Трехэтажный колледж в г. Риштан, построенный в 2011 г., получил серьезные повреждения в виде крестообразных сквозных трещин (рис. 8). Другие лица, колледжи также потребовали капитального ремонта.

В кишлаке Сох имелись сильно поврежденные и обрушенные полностью жилые дома, построенные из местных строительных материалов методом «пахса» и «синч» (рис. 9).



Рис. 8. Риштан: крестообразные трещины в стене классной комнаты на третьем этаже (Джураев А., 2011)



Рис. 9. Обрушение дома из сырцового кирпича в п. Сох Багдадского района Ферганской области Узбекистана (Усманова М.Т., 2011)

Сейсмическая интенсивность в 7 баллов на территории Узбекистана проявилась в населенных пунктах Алтыарик, Вуадил, Шахимардан, Фергана, Багдад. В Багдадском районе при обрушении «айвана» погибли люди. На рис. 10 показан обвал пристройки «айван» к дому с деревянным каркасом среднеазиатского типа «синч» в кишлаке Каптут. В кишлаке имелись десятки сильно поврежденных, обрушенных полностью жилых домов, построенных из местных строительных материалов методом «пахса» и «синч».

Обследование кирпичных зданий Атыарикского агропромышленного комплекса показало, что верхние этажи повреждены сильнее, чем нижние.

В г. Вуадил степень повреждения кирпичных жилых, административных и общественных зданий варьирует от 1 до 3. Во многих двухэтажных жилых домах разрушились дымовые трубы.



Рис. 10. Кишлак Каптут, Багдадский район, Ферганской области: обрушения айванов (террас) (Усманова М.Т., 2011)

Бытовало мнение [1–3], что здания, построенные методом «гуваляк» и «синч», могут выдержать даже 8-балльные землетрясения. Но, как показала практика обследования данного землетрясения, все жилые здания, построенные из местных строительных материалов методом «пахса» и «синч», не выдержали сейсмического воздействия 8-балльного землетрясения.

Наряду с повреждениями зданий в отдельных местах 7-балльной зоны наблюдались деформации грунтов на побережьях дренажно-коллекторной системы (рис. 11). Грунты на побережьях насыпные, рыхлые и сильно увлажненные, уровень грунтовых вод находится очень близко – 0.5–1.0 м к поверхности земли. Трещины шириной от 20 до 40 см протягивались вдоль левого берега коллектора на север–северо-запад. На правом берегу такого эффекта не наблюдалось.



Рис. 11. Трещины, деформации коллектора в п. Каптут (фото М. Усмановой)

Из сообщения МЧС Республики Узбекистан: «В результате подземных толчков в некоторых населенных пунктах Багдадского, Риштанского и Узбекистанского районов Ферганской области разрушены отдельные старые жилые постройки. В результате разрушений жилых домов погибло 13 человек. Бригадами скорой медицинской помощи на месте оказана первичная помощь 86 пострадавшим, 35 человек госпитализированы в ближайшие лечебные учреждения».

Пресс-служба сообщила об одном погибшем в Таджикистане: 43-летний житель г. Худжанд, спасаясь от стихии, упал со второго этажа своего дома.

По данным МЧС Казахстана подземные толчки ощущались в Алматы с $I=2-2.5$ балла, Таразе – 3 балла, Чимкенте – 3–4 балла по шкале MSK-64.

Результаты макросейсмических обследований [1–3] даны в табл. 4.

Таблица 4. Макросейсмические данные о Канском землетрясении 19 июля 2011 г. в 19^h35^m с $K_p=14.1$

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	Страна	Источник	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	Страна	Источник
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
	<u>8–8.5 баллов</u>						39	г. Исфара	60.6	40.12	70.61	РТ	[4, 6]
1	Эпицен-тр	0	40.08	71.33	КР	[3]	40	г. Кызыл-Кия	70.6	40.25	72.13	КР	[3]
	п. Советский	10.5	40.17	71.31	КР	[3]	41	п. Ноокат	111	40.26	72.62	КР	[3]
	<u>8 баллов</u>							<u>5 баллов</u>					
2	п. Алга	22.1	40.23	71.50	КР	[3]	42	п. Шураб	66.5	40.05	70.55	РТ	[4, 6]
3	п. Халмион	28.8	40.20	71.63	КР	[3]	43	г. Канибадам	80.5	40.28	70.42	РТ	[4]
4	п. Орозбеково	29.1	40.05	71.67	КР	[3]	44	п. Пунган	85.2	40.74	70.82	РУ	[1, 2]
5	п. Таш-Кыя	33.6	40.13	71.72	КР	[3]	45	г. Андижан	115	40.75	72.37	РУ	[1, 2]
	<u>7–8 баллов</u>						46	г. Ош	132	40.52	72.78	КР	[3]
6	п. Сох	21.5	39.93	71.17	РУ	[1, 2]		<u>4–5 баллов</u>					
7	п. Лангар	27.4	40.26	71.55	РУ	[1, 2]	47	г. Наманган	104	41.00	71.67	РУ	[1, 2]
8	г. Риштан	28.3	40.33	71.27	РУ	[1, 2]	48	п. Кайрак-Кум	130	40.27	69.82	РТ	[4, 6]
	<u>7 баллов</u>						49	г. Худжанд	147	40.28	69.62	РТ	[4, 6]
9	г. Айдаркен	16.7	39.93	71.33	КР	[3]	50	г. Гулистан	221	40.48	68.78	РУ	[1, 2]
10	п. Ормош	18.0	39.93	71.25	КР	[3]		<u>4 балла</u>					
11	п. Сырт	20.7	39.91	71.23	КР	[3]	51	п. Джиргиталь	96.4	39.22	71.19	РТ	[4, 6]
12	п. Сай	22.1	39.90	71.22	КР	[3]	52	п. Хаит	108	39.18	70.87	РТ	[4, 6]
13	п. Кыргыз-Кыштак	24.5	40.30	71.35	КР	[3]	53	п. Гарм	143	39.03	70.37	РТ	[4, 6]
14	п. Боз-Адыр	24.8	39.98	71.07	КР	[3]	54	г. Ангрен	144	41.02	70.15	РУ	[1, 2]
15	п. Капгут	26.7	40.32	71.32	РУ	[1, 2]	55	г. Джалал-Абад	167	40.92	72.90	КР	[3]
16	п. Чимион	27.1	40.27	71.53	РУ	[1, 2]	56	г. Алмалык	168	40.83	69.6	РУ	[1, 2]
17	п. Таян	28.0	39.90	71.10	КР	[3]	57	г. Истаравшан	199	39.91	69.01	РТ	[4, 6]
18	п. Кадамжай	33.5	40.12	71.72	КР	[3]	58	п. Рогун	205	38.70	69.75	РТ	[4, 6]
19	п. Пульгон	34.5	40.13	71.73	КР	[3]	59	п. Оби-Гарм	206	38.72	69.71	РТ	[4, 6]
20	п. Согмент	33.9	39.88	71.03	КР	[3]	60	г. Ташкент	220	41.32	69.30	РУ	[1, 2]
21	г. Шахимардан	34.6	39.97	71.71	РУ	[1, 2]	61	п. Айни	251	39.39	68.54	РТ	[4, 6]
22	п. Чал-Таш	34.7	40.14	71.73	КР	[3]	62	п. Нурек	255	38.39	69.32	РТ	[4, 6]
23	п. Газ	35.3	39.87	71.02	КР	[3]	63	г. Душанбе	276	38.57	68.79	РТ	[4, 6]
24	п. Гайрат	35.5	40.02	71.74	КР	[3]		<u>3–4 балла</u>					
25	п. Вуадил	35.8	40.18	71.73	РУ	[1, 2]	64	г. Чимкент	288	42.32	69.60	РК	[4, 6]
26	п. Кеске-Таш	36.2	40.03	71.75	КР	[3]		<u>3 балла</u>					
27	п. Алтыарик	36.5	40.39	71.47	РУ	[1, 2]	65	г. Тараз	311	42.88	71.37	РК	[4, 6]
28	п. Джаны-Джер	36.8	40.12	70.90	КР	[3]	66	п. Сарбанд	322	37.87	68.92	РТ	[4, 6]
29	п. Кара-Булак	37.9	39.93	70.93	КР	[3]	67	г. Самарканд	377	39.66	66.95	РУ	[1, 2]
30	п. Чон-Таала	39.6	40.17	70.88	КР	[3]		<u>2–3 балла</u>					
31	г. Баткен	43.5	40.05	70.82	КР	[3]	68	г. Бишкек	411	42.87	74.57	КР	[3]
32	г. Багдад	44.8	40.48	71.27	РУ	[1, 2]	69	г. Алматы	582	43.25	76.90	РК	[4, 6]
33	п. Марказ	51.2	40.23	71.90	КР	[3]		<u>2 балла</u>					
34	г. Фергана	52.1	40.39	71.79	РУ	[1, 2]	70	г. Талдыкорган	796	45.02	78.37	РК	[4, 6]
	<u>6–7 баллов</u>							<u>Ощущалось</u>					
36	п. Кара-Дёбё	61.8	40.23	72.03	КР	[3]	71	г. Чкаловск	140	40.23	69.69	РТ	[4, 6]
37	г. Уч-Коргон	63.4	40.23	72.05	КР	[3]	72	п. Ургут	358	39.41	67.24	РУ	[1, 2]
38	г. Коканд	60.6	40.53	70.93	РУ	[1, 2]							

Примечание. В столбце 6: КР – Киргизская Республика, РУ – Республика Узбекистан, РТ – Республика Таджикистан, РК – Республика Казахстан.

На основании результатов совместных обследований [1–3], представленных в табл. 4, построена карта изосейст, изображенная на рис. 12 в варианте лишь внутренней зоны, от 8 до 5 баллов.

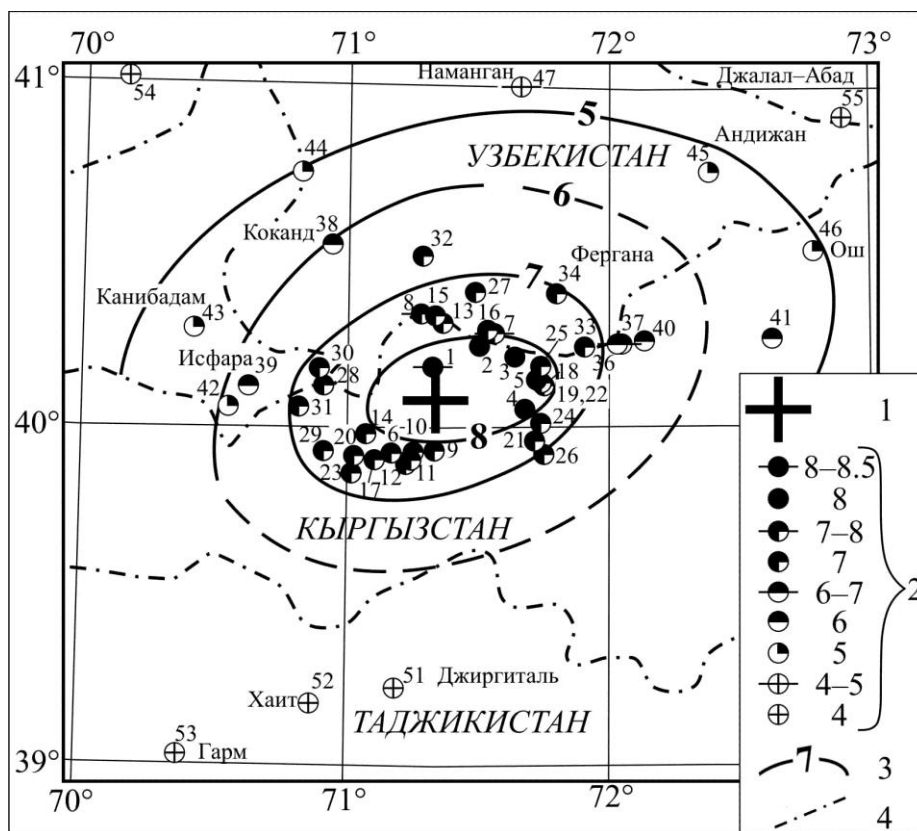


Рис. 12. Карта изосейст Канского землетрясения 19 июля 2011 г. с $K_p=14.1$, $M_S=6.2$

1 – макросейсмический эпицентр (максимальные разрушения); 2 – интенсивность сотрясений I , баллы по [8]; 3 – изосейста; 4 – государственная граница.

График затухания балльности. При построении графика затухания использовались также сведения об интенсивности сотрясений в некоторых пунктах табл. 4 по данным других источников. На основе данных об интенсивности сотрясений в населенных пунктах при Канском землетрясении были рассчитаны коэффициенты кривой затухания $I(r)$ в виде:

$$I = 13.38 - 4.1 \lg r. \quad (1)$$

На рис. 13, кроме наблюдаемых данных и установленной для них зависимости (1), приведены кривые затухания балльности, полученные для территории Кыргызстана и сопредельных районов К.Д. Джанузаковым [9]. В зависимости от направления распространения волн относительно основных геологических структур, эти кривые представлены следующими уравнениями макросейсмического поля:

$$I = 1.5M - 3.6 \lg \sqrt{(R^2 + h^2) + 3.4} \quad \text{– вдоль структур,} \quad (2)$$

$$I = 1.5M - 3.8 \lg \sqrt{(R^2 + h^2) + 3.4} \quad \text{– средний радиус,} \quad (3)$$

$$I = 1.5M - 4.0 \lg \sqrt{(R^2 + h^2) + 3.4} \quad \text{– вкрест структур.} \quad (4)$$

В уравнениях (2–4) использовалась магнитуда M (MLH), которая связана с магнитудой M_S соотношением из [10]:

$$M = 0.98 M_S + 0.13. \quad (5)$$

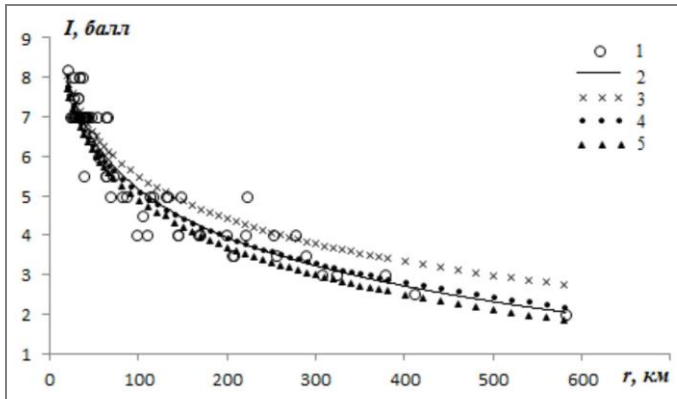


Рис. 13. График зависимости I сотрясений Канского землетрясения от гипоцентрального расстояния r

1 – наблюдаемые данные $I(r)$; 2 – установленная для них зависимость (1); 3, 4, 5 – по уравнениям макросейсмического поля для Кыргызстана (2), (3) и (4) соответственно при $M=6.2$ и $h=17$ км.

наблюдались более сильные сотрясения по сравнению с заложенными в уравнении (4) для магнитуды $M=6.2$ и $h=17$ км.

Геолого-тектоническая обстановка. Эпицентральный район Канского землетрясения (междуречье рек Сох – Ак-Суу) расположен в Южно-Ферганской сейсмогенной зоне, выделенной в работе [11], где возможны землетрясения с интенсивностью до 9 баллов [12]. В Южно-Ферганскую сейсмогенную зону входят Южно-Ферганский глубинный разлом и оперяющая его флексурно-разрывная зона. На западе Южно-Ферганский разлом имеет субширотное простирание, к востоку от долины р. Исфайрамсай – северо-восточное. В рельефе он выражен увалисто-грядовыми адырами, простирающимися до отрогов Алайского хребта.

При обследовании эпицентральной области Канского землетрясения в районе п. Сох были найдены обнажения, в которых хорошо видны интенсивная складчатость палеозойских пород с их надвиганием на четвертичные отложения, а также современные голоценовые отложения. Во время землетрясения жители п. Сох и соседних кыргызских поселков слышали шум, грохот, падение камней в горах. Вблизи обнажений были видны свежие осыпи, трещины. Трещины также были видны на фундаментах домов и на поверхности земли в населенных пунктах в районе р. Сох (рис. 14).



Рис. 14. Обнажения палеозойских пород в районе р. Сох (Усманова М.Т., 2011)

Согласно (5), $M=MS=6.2$. В качестве параметров Канского землетрясения приняты магнитуда $MS=6.2$ и глубина очага $h=17$ км. При таких значениях магнитуды и глубины интенсивность колебаний в эпицентре землетрясения по уравнениям (2–4) составляет 7.7–8 баллов, что чуть ниже принятой интенсивности в эпицентре Канского землетрясения (8–8.5 баллов).

Коэффициент затухания наблюдаемой интенсивности при Канском землетрясении $\nu=4.1$ близок к коэффициенту макросейсмического поля при распространении сейсмических волн вкост основных геологических структур: $\nu=4.0$ (4), но установленная зависимость (1) лежит выше по уровню, т.е. при Канском землетрясении

На основании материалов дешифрирования аэрофотоснимков исследуемой территории было отмечено, что в структурном отношении Южно-Ферганская зона в какой-то мере подобна западной части Южно-Иссык-Кульской зоны, где также развиты короткие молодые структуры с южной вергентностью. Это позволило применить к исследуемому району геодинамическую модель Южно-Иссык-Кульской зоны, которая представляет собой «козырек» – выполаживающийся к поверхности разлом (рис. 15), что объясняет особенности строения и развития новейших структур Тянь-Шаня [13].

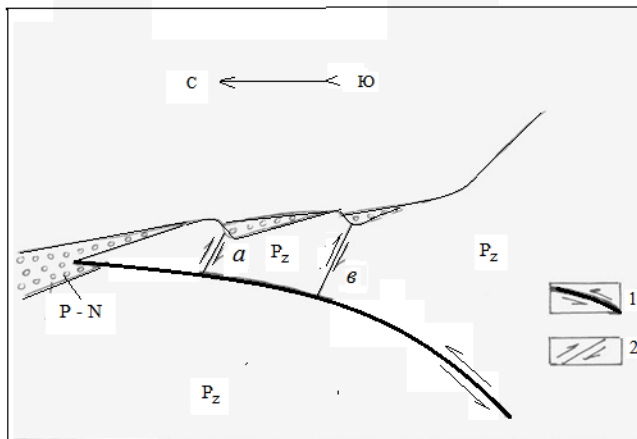


Рис. 15. Схема-модель козырькового разлома

1 – Южно-Ферганская флексурно-разрывная зона; 2 – Северо (а) и Южно (б) Катранские разломы.

ге и, как следствие, близширотную вытянутость изосейст (рис. 12). Области максимальных разрушений также имеют направление с северо-запада на юго-восточное (районы Багдада, Риштана) и широтное направления (район Сох). Облако афтершоков однозначно связано с современными тектоническими движениями Южно-Ферганского глубинного разлома, которое соответствует региональному направлению тектонических движений структур Западного Тянь-Шаня. По всей видимости, очаг Канского землетрясения расположен на месте переработки Южно-Ферганского глубинного разлома с его одноименной флексурно-разрывной зоной тектоническими силами, действующими по направлению с северо-запада на юго-восток. Наши доводы подтверждаются высокими значениями скоростей современных движений земной коры в зоне Южно-Ферганского разлома по данным GPS [14].

К геолого-тектоническим последствиям Канского землетрясения относятся проявления множества песчаных вулканчиков (грифонов), которые были обнаружены в окрестностях г. Риштана в западном направлении в сторону района Яйпан Ферганской области. Эти грифоны были также отмечены в ряде произошедших сильных землетрясений. Например, при Газлийских землетрясениях 1976 г., с $M=7.0$ и $M=7.3$, были зарегистрированы подобные песчаные вулканчики [15].

Структурная позиция очага. Макросейсмическое обследование территории эпицентральной зоны показало, что подвижки во время Канского землетрясения произошли по Бельсуйскому (на севере) и Северо-Катранскому (на юге) краевым разломам. По данным исследователей Ферганского региона [16], в четвертичное время в Южно-Ферганской зоне преобладал режим поднятий. В позднем плейстоцене-голоцене максимальная скорость поднятий достигала 10 мм/год [17], что было подтверждено GPS-измерениями скорости современных движений земной коры.

История сейсмичности территории исследования. Район землетрясения характеризуется достаточно высокой сейсмичностью. Если проследить за историческим процессом развития данной сейсмогенной зоны, то первые исторические сведения о разрушительных землетрясениях относятся к Ферганской долине.

По летописным источникам известны землетрясения 838–839 гг. в районе г. Фергана и землетрясение 1620 г., при котором был полностью разрушен г. Ахсы, располагавшийся на правом берегу р. Сыр-Дарьи у слияния ее с р. Касан-Сай [18]. Кроме того, сообщается также

На основании такой модели, вероятно, можно объяснить (при условии наличия единой зоны – региональной Южно-Ферганской флексурно-разрывной зоны), что последняя также имеет форму полого падающего к югу козырькового поддвига. При этом необходимо признать, что Южно-Ферганская флексурно-разрывная зона не является «краевой» в классическом понимании этого термина, т.е. не разделяет структуры, формировавшиеся на протяжении новейшего этапа и отличающиеся режимом движения, т.е. зона является долгоживущей.

Область афтершоков имеет северо-запад–юго-восточное и близширотное направления (рис. 5), указывая на сложный механизм вспарывания в очаге

о землетрясении, разрушившем старейший город Ферганской долины Коканд в 1822 или 1823 году. Для более позднего времени имеются сведения о сильных землетрясениях, таких как в табл. 5 и на рис. 16.

Таблица 5. Основные данные о сильных землетрясениях Южно-Ферганской зоны за период с 838 г. по 2011 г.

Дата г.мес.д	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	K_p	Название	Дата г.мес.д	t_0 , ч мин с	φ° , N	λ° , E	h , км	K_p	Название
838.01.01		40°18'	71°48'	10	13.6		1962.12.18	02 06 03	39°59'	71°31'	20	12.6	
1822.09.00		40°18'	71°48'	12	15.2		1974.01.22	06 08 07	40°12'	71°42'	24	12.7	Кадамжайское
1823.01.01		40°18'	71°30'	12	15.2		1977.01.31	14 26 14.6	40°05'	70°52'	20	15.5	Исфара- Баткенское
1902.04.17	21 10 00	40°00'	71°00'	30	14.4		1977.04.21	10 03 51.4	40°05'	70°48'	15	12.8	
1913.06.30	12 00 00	40°24'	71°48'	10	12.6		1977.06.03	01 05 23.8	40°00'	71°49'	15	14.2	Хайдарканское
1914.01.13	21 00 00	40°18'	71°48'	20	13.7		1982.05.06	15 42 20.9	40°10'	71°30'	20	14.4	Чимионское
1915.04.09	23 30 25	40°00'	71°18'	20	12.8		2011.07.19	19 35 43.8	40°07'	71°27'	17	14.1	Канское
1933.09.09	19 34 21	40°06'	71°42'	26	13.6								

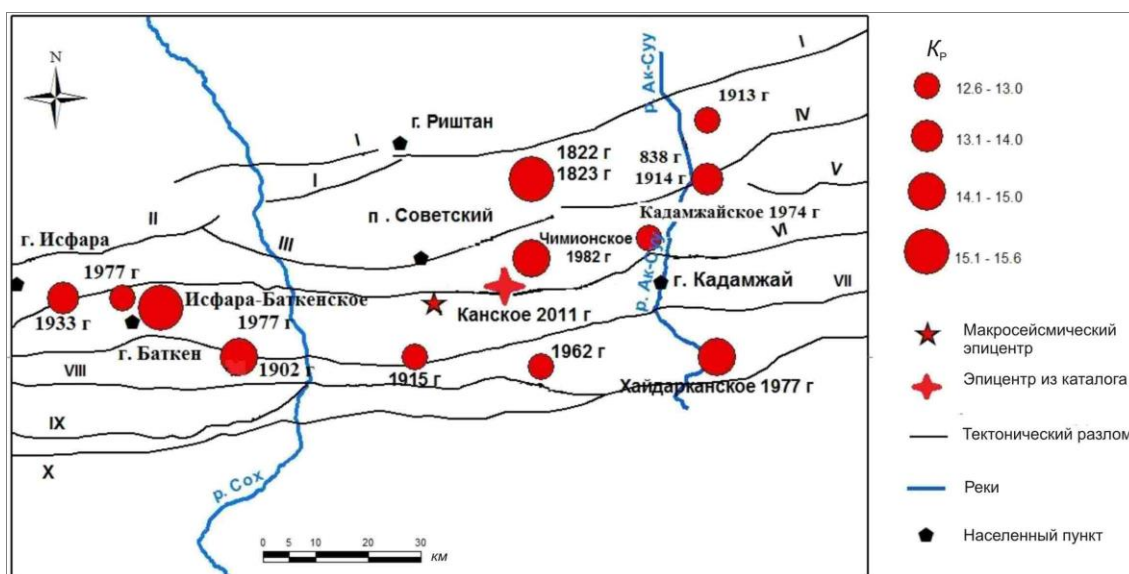


Рис. 16. Карта эпицентров исторических землетрясений с $K_p \geq 12.7$ на ближайшей Канскому землетрясению территории с 838 г. до 19 июля 2011 г.

K_p – энергетический класс; тектонические разломы: I – Южно-Ферганский, II – Гузанский, III – Бельсуйский, IV – Чимионский, V – Куvasайский, VI – Северо-Катранский, VII – Южно-Катранский, VIII – Хайдарканский, IX – Ворухский, X – Предтуркестанский.

Канское землетрясение 19 июля 2011 г. с магнитудой $M_S=6.2$ дополнило ряд сильных землетрясений Южно-Ферганской зоны. Вызванные им разрушения связаны, в основном, с низкой сейсмостойкостью построек из местных строительных материалов.

В заключение отметим, что результаты изучения каждого крупного землетрясения Центральной Азии вносят важный вклад в понимание их природы и способствуют уточнению оценок сейсмической опасности исследуемой территории.

Л и т е р а т у р а

1. Зияудинов Ф.Ф., Джураев А., Джураев Н.М., Усманова М.Т., Нурматов У.А., Артиков Т.У., Хамидов Л.А., Захидов Т.К., Юсупджанова У.А., Джураев Одил, Джураев Олим. Канское землетрясение 20 июля 2011 года // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – 2012. – № 9. – С. 3–8.
2. Усманова М.Т., Нурматов У.А., Захидов Т.К., Юсупджанова У.А. Дополнительные данные о сильном Канском землетрясении 2011 г. // Вестник Национального университета Узбекистана. – 2012. – № 3. – С. 127–131.

3. Камчыбеков М.П., Егембердиева К.А., Чаримов Т.А., Камчыбеков Ы.П. Макросейсмическое обследование Канского землетрясения // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2013. – № 1. – С. 32–41.
4. International Seismological Centre (ISC), On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
5. Фролова А.Г. (по региону), Шукурова Р. (по региону), Берёзина А.В. (по региону), Соколова Н.П. (Кыргызстан), Гессель М.О. (Казахстан), Тулаганова М.Т. (Узбекистан) (отв. сост.), Молдобекова С., Першина Е.В., Афонина Л.Р., Неверова Н.П., Бектурганова Б.Б., Содикова Н.М., Кучкарова К.И. (сост.). Каталог землетрясений Центральной Азии за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
6. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2011 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2011–2012. – URL: ftp://ftp.gsr.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2011.
7. Муралиев А.М. (отв. сост.), Малдыбаева М.Б., Абдыраева Б.С., Полешко Н.Н., Досайбекова С.К., Калмыкова Н.А., Холикова М.А. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Центральной Азии за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
8. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64 // Сейсмическое районирование СССР (Ред. С.В. Медведев). – М.: Наука, 1968. – С. 158–162.
9. Джанузакوف К.Д. Региональные особенности затухания интенсивности сильных землетрясений Кыргызстана и прилегающих к нему районов // Вестник Института сейсмологии НАН КР. – 2013. – № 2. – С. 11–16.
10. Джанузакوف К.Д. Сопоставление различных магнитудных и энергетических определений величины землетрясений Центральной Азии ($M \geq 4.8$, $h \leq 70$ км) // Геолого-геофизические исследования в Институте сейсмологии Национальной Академии наук Кыргызской Республики. – Бишкек: Фонды ИС НАН КР, 2006. – С. 38–46.
11. Ибрагимов Р.Н. Сейсмогенные зоны Среднего Тянь-Шаня (на примере Восточного Узбекистана) // Ташкент, Фан, 1976. – 144 с.
12. Хусанбаев Д.Д., Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.А. Сеймотектонический потенциал земной коры и оценка M сейсмогенных зон // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. – Ташкент: Гидроингео, 2002. – С. 64–68.
13. Ормуков Ч.А. Особенности позднечетвертичных движений Южного Прииссыккуля. Автореф. дис. на соиск. уч. степ. к-та г.-м. наук. – Бишкек, 2007. – 21 с.
14. Усманова М.Т. О геодинамических моделях и сейсмичности Центральной Азии // Каталог сеймопрогностических наблюдений на территории Азербайджана. – Азербайджан, Баку: РЦСС НАНА, 2011. – С. 138–145.
15. Якубов Д.Х. Исследование остаточных деформаций // Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. Глава 4. Поверхностные деформации в эпицентральной зоне. – Ташкент: Фан, 1986. – С. 110–117.
16. Серебряный Л.Р., Халмухамедова Р.А. Развитие озёр и болот на юге Ферганской долины в голоцене // История озёр и внутренних морей аридной зоны. Т. 4. – Ленинград: 1975. – С. 93–97.
17. Трофимов А.К. Ярусность рельефа гор Средней Азии и проблема коррелятных отложений // Закономерности геологического развития Тянь-Шаня в кайнозое. – Фрунзе, Илим, 1973. – С. 116–128.
18. Джанузакوف К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии). – Бишкек: Илим, 2003. – 216 с.