

КУЛТУКСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 27 августа 2008 г.**с $M_w=6.3$, $I_0=8-9$ (Южный Байкал)****В.И. Мельникова¹, Н.А. Гилёва², Я.Б. Радзиминович¹, А.И. Середкина¹**¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, vimel@crust.irk.ru²Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, nagileva@crust.irk.ru

27 августа 2008 г. в районе юго-западного замыкания оз. Байкал (рис. 1) произошло Култуковское землетрясение с $M_w=6.3$, которое стало весьма заметным и важным событием в сейсмической жизни Южного Прибайкалья. За более чем полувековой период инструментальных наблюдений во всей акватории озера, кроме указанного события, было зарегистрировано всего два землетрясения с $M \geq 6.0$: Среднебайкальское 29.08.1959 г. с $M=6.8$, $I_0=9$ [1] и Южнобайкальское 25.02.1999 г. с $M_w=6.0$, $I_0=8$ [2, 3].

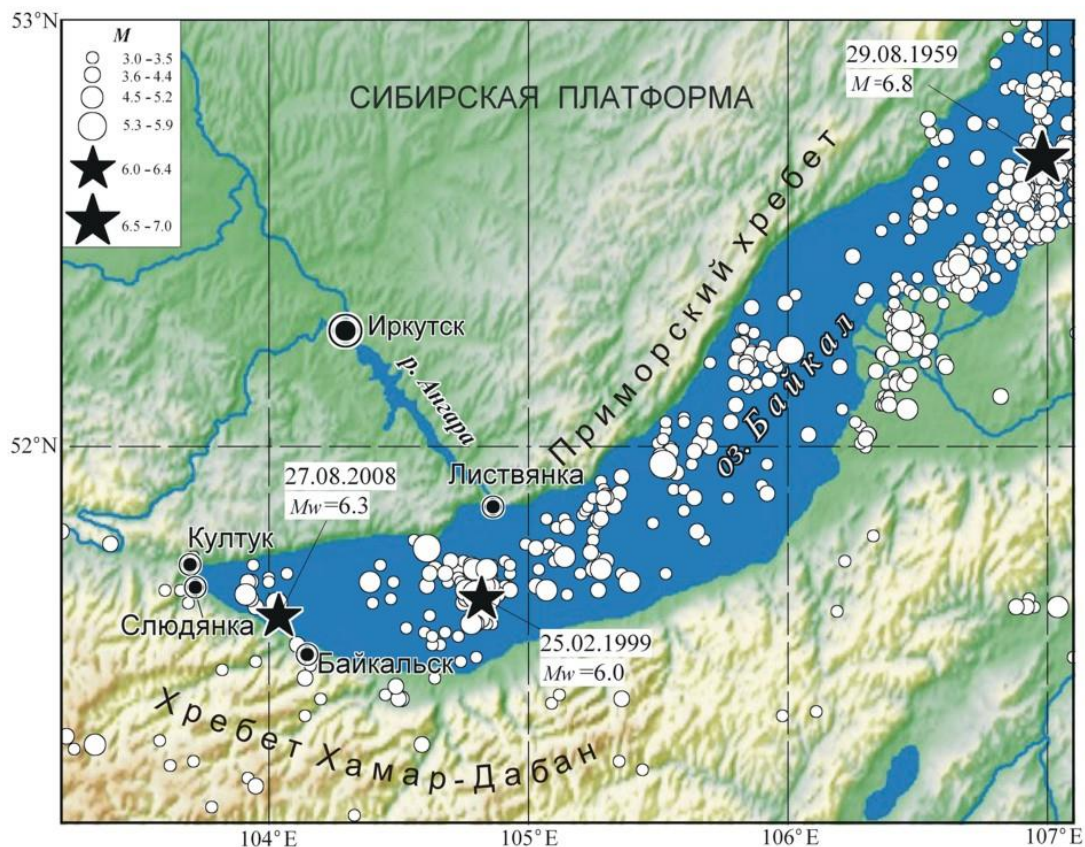


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений ($M \geq 3.0$) Южного и Центрального Байкала за период 1959–2010 гг.

1 – расчетная магнитуда $M = (K_p - 4)/1.8$; 2 – населенный пункт.

Култуковское землетрясение относится к разряду наиболее сильных инструментально зарегистрированных сейсмических событий Байкальского региона и на сегодняшний день является наиболее изученным. Наблюдения за култуковской активизацией удалось осуществить с помощью сети временных цифровых сейсмических станций (табл. 1, Приложение к наст. сб. на CD), организованной БФ ГС СО РАН совместно с ИФЗ РАН [4] в первые дни после землетрясения (рис. 2).

Первая временная станция была установлена 28 августа 2008 г. в пос. Маритуй. Несмотря на раннюю осень, расстановка станций потребовала весьма значительных усилий: автомобильные дороги вдоль северного берега оз. Байкал отсутствуют, что затрудняет обслуживание станций. Стремление приблизиться к эпицентру главного толчка заставляло ставить станции на берегу, где озеро и железная дорога создавали заметные помехи. Для обеспечения сохранности датчики размещались в подсобных помещениях вблизи жилых домов, что, к сожалению, приводило к регистрации весьма высокого уровня микросейсмического шума. Однако одновременная совместная обработка записей нескольких сейсмических станций позволяла достаточно уверенно выделять сигналы от землетрясений даже на фоне сильных импульсных помех.

С момента главного толчка до конца года было зарегистрировано около 1800 афтершоков [5] с $K_p \geq 4$, в Приложении к наст. сб. на CD представлен каталог 414 афтершоков с $K_p \geq 6.6$ [6]. Следует отметить, что Култукское землетрясение не предварялось форшоками, а за предшествующий период инструментальных наблюдений (1960–2007 гг.) в районе очага произошло не более шести землетрясений с $M=3.0-4.5$ ($K_p=10-12$), более того, здесь наблюдался также и дефицит слабых сейсмических событий.

Таблица 1. Сейсмические станции БФ ГС СО РАН и ИФЗ РАН, данные которых использовались для детальных исследований култукской активизации по [4]

№	Станция			Координаты			Сроки работы
	Название	Код		φ°, N	λ°, E	$h, м$	
		межд.	рег.				
1	Талая	TLY		51.681	103.644	579	Постоянная
2	Листвянка	LSTR		51.868	104.832	450	Постоянная
3	Маритуй		BMR	51.78808	104.21883	474	28.08–15.11
4	Утулик		BUT	51.53636	104.04830	476	29.08–15.11
5	Байкальск		BBK	51.51673	104.12471	483	29.08–09.09
6	Садовое		BSA	51.62480	103.80029	482	04.09–15.11
7	Мурино		BMU	51.48252	104.38529	455	04.09–15.11
8	Баклань		BBA	51.76039	104.10017	463	05.09–15.11
9	Шарьжалгай		BSH	51.74935	103.96902	451	05.09–15.11
10	Ангасолка		BAN	51.73277	103.82954	479	05.09–15.11
11	Мангутай		BMN	51.59354	103.91167	486	07.09–15.11
12	Быстрое		BBT	51.74683	103.45848	681	15.09–15.11
13	Теплые озера		BTO	51.39767	104.64848	479	07.10–15.11

Примечание. Данные об аппаратуре станций содержатся в Приложении к наст. сб. на CD.

Первым итогам оперативного обследования Култукского землетрясения посвящено несколько работ [4, 7–10], а результаты более детальных исследований отражены в последующих публикациях [11, 12].

Обработка данных. Эпицентр Култукского землетрясения первоначально был локализован с помощью региональной программы [13], минимизирующей сумму квадратов невязок моментов вступлений прямых продольных (P_g) и поперечных (S_g) сейсмических волн, при этом использовались наблюдения 33 региональных сейсмических станций. На минимальном удалении от эпицентра находилась станция «Талая» ($\Delta=30$ км), максимальном – станция «Чульман» ($\Delta=1465$ км). Три станции («Иркутск», «Аршан», «Закаменск»), располагавшиеся в пределах 150 км от эпицентра, однозначно регистрировали в первых вступлениях волны P_g и S_g . Выделение прямых волн на записях других станций было менее уверенным, так как они вступали на фоне преломленных. В начальном варианте расчетов использовалась однослойная модель земной коры, при этом средние скорости основных сейсмических волн принимались равными: $v_p=6.15$ км/с, $v_s=3.58$ км/с. Более строгий подход к локализации главного толчка заключался в использовании наиболее надежных вступлений P_g - и S_g -волн на записях ближайших станций, в этом случае в обработке участвовало 9 фаз.

При отсутствии определенности в скоростной модели среды в районе Южного Байкала для ее выявления в первом приближении использовалась программа VELEST [14], позволяющая для локальных землетрясений одновременно уточнять положение гипоцентра и скорост-

ную модель среды. Последняя была получена на основе записей афтершоков путем инверсии исходных данных (табл. 2). В дальнейшем эта модель была применена для окончательной локализации гипоцентра Култукского землетрясения по программе HYPOCENTR [15]. В итоге первоначальный эпицентр сдвинулся на 2.9 км к юго-западу (рис. 2). Решения эпицентра Култукского землетрясения другими агентствами расположены преимущественно к востоку от решения ВУКЛ (табл. 3), в стороне от афтершокового эпицентрального поля.

Таблица 2. Скоростная модель земной коры в районе Култукского землетрясения

$h, \text{ км}$	0	2	5	7	9	12	15	20	28	45
$v_p, \text{ км/с}$	4.60	5.45	5.95	6.00	6.25	6.30	6.50	6.54	7.00	8.00

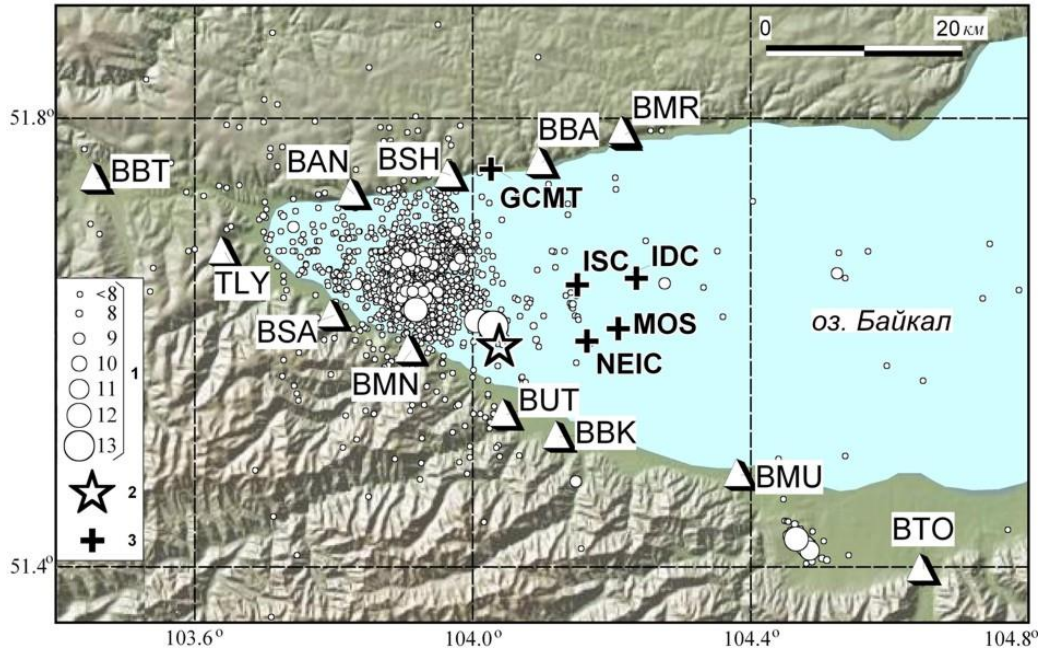


Рис. 2. Карта эпицентров Култукского землетрясения и его афтершоков за период с 27 августа по 31 декабря 2008 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – эпицентр Култукского землетрясения, определенный в БФ ГС СО РАН; 3 – эпицентр Култукского землетрясения, определенный другими агентствами; треугольниками обозначены сейсмические станции.

Таблица 3. Основные параметры Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	$t_0, \text{ ч мин с}$	$\delta t_0, \text{ с}$	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			$\varphi^\circ, \text{ N}$	$\delta\varphi^\circ$	$\lambda^\circ, \text{ E}$	$\delta\lambda^\circ$	$h, \text{ км}$	$\delta h, \text{ км}$		
ВУКЛ	01 35 31.21	0.16	51.598	0.012	104.038	0.011	14.1	4.4	$K_p=(15.9/15), M_w=6.3/17$ $M_S=6.4/88, MPSP=5.9/167$ $m_b=5.0/43, M_S=6.1/38$ $m_b=5.8/292, M_S=6.2/198, M_w=6.2$ $M_w=6.3$ $M_S=6.2/296, m_b=5.7/537$ $h_{pp}=16 \text{ км}$	[16, 12]
MOS	01 35 30.40	0.94	51.618	0.029	104.203	0.068	17			[17]
IDC	01 35 29.32	0.32	51.663	0.076	104.229	0.104	0f			[18]
NEIC	01 35 32.15	0.08	51.607	0.023	104.158	0.025	16f			[18]
GCMТ	01 35 38.60	0.10	51.760		104.020		23.5	0.3		[18]
ISC	01 35 31.60	0.06	51.657	0.015	104.144	0.018	10f	1		[18]

Примечание. Буквой «f» отмечены фиксированные глубины, знаком * – h_{pp} .

Афтершоковый процесс. В течение первого часа после землетрясения было зарегистрировано два достаточно сильных ($K_p > 12$) афтершока. Один из них произошел 27 августа в 01^h41^m

с $K_p=13.2$ вблизи эпицентра главного толчка, другой – 27 августа в 02^h08^m $K_p=12.3$ к северо-западу от него (~ 9 км). Еще одно подобное событие произошло на третьи сутки (30 августа в 13^h53^m с $K_p=12.1$) рядом с главным толчком. В октябре на значительном удалении от него и основной массы афтершоков отмечена сейсмическая активизация ($K_{max}=11.7$), которая локализовалась вне акватории озера (и вне очаговой области землетрясения) на участке между реками Снежной и Переемной к юго-востоку от станции «Мурино» (ВМУ) (рис. 2).

В течение 30 часов после Култукского события региональная сеть Байкальского филиала ГС СО РАН зарегистрировала 392 афтершока с $K_p=6-13$ [5, 6], при этом ощущался явный недостаток слабых ($K_p \leq 6$) землетрясений. 28 августа в 8 час по Гринвичу была открыта первая временная станция Байкальского филиала в пос. Маритуй (ВМР), а еще через сутки – в г. Байкальске (ВБК) и пос. Утулик (ВУТ). Это позволило обеспечить представительность землетрясений с $K_p=6$ и регистрацию отдельных немногочисленных афтершоков с $K_p=5$. Полное развертывание временной сети сейсмических станций с участием ИФЗ РАН состоялось 4–5 сентября 2008 г., в результате чего энергетический уровень регистрируемых землетрясений понизился до $K_p=4-5$, а их общее число увеличилось почти вдвое. Ввиду неоднородности каталога афтершоков Култукского землетрясения построение графика Омори для данной активизации стало проблематичным. Тем не менее из рис. 3 видно, что затухание афтершокового процесса произошло довольно быстро, уже в ноябре отмечались лишь единичные толчки с энергетическим классом $K_p \leq 8$.

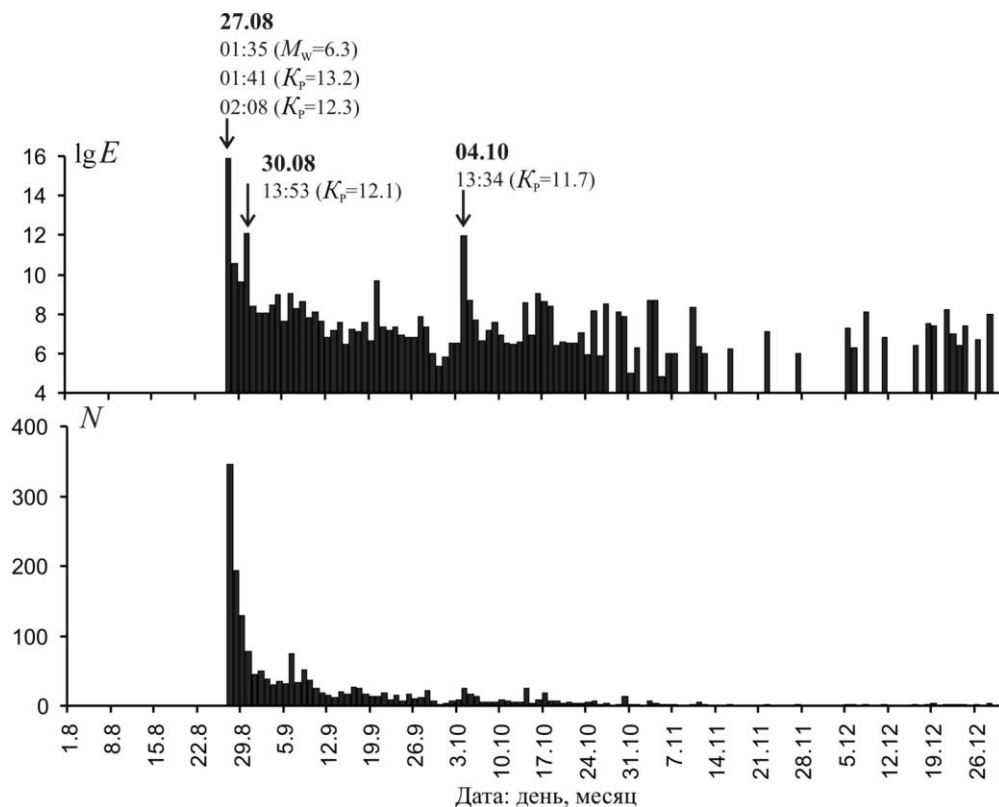


Рис. 3. Распределение во времени сейсмической энергии (вверху) и количества землетрясений (внизу) Култукской последовательности с 1 августа по 31 декабря 2008 г.

Рассматривая пространственно-временной ход развития Култукской активизации с использованием карт плотности эпицентров афтершоков (рис. 4 а, б), можно заметить, что в эпицентральном поле выделилось 9 наиболее активных и компактных в пространстве групп. Порядковый номер каждой группы соответствует очередности ее появления в пространстве. Очевидно, что сразу после главного толчка афтершоковый процесс развивался в двух направлениях – вдоль юго-западного борта впадины и вкрест ее простираения, что свидетельствует об активизации сопряженной системы разрывных нарушений и особенностях деструкции земной коры в данном районе.

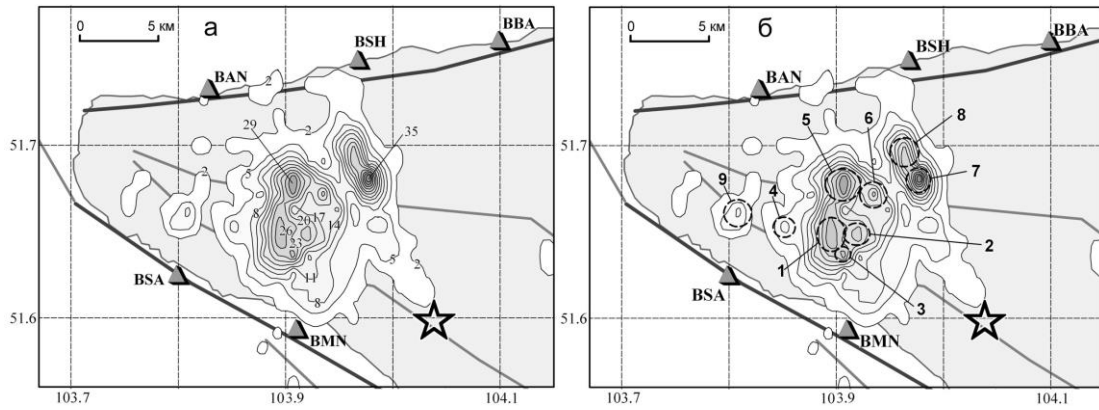


Рис. 4. Карта плотности эпицентров афтершоков Култуковского землетрясения

а – цифрами обозначены значения плотности (единичная площадка осреднения $1 \text{ км} \times 1 \text{ км}$); б – штриховым контуром выделены наибольшие сгущения (группы) эпицентров (группы пронумерованы в порядке их появления в афтершоковой последовательности); звездочкой обозначен эпицентр главного толчка; разломы даны по [19].

Используя кластерный анализ, а также понятия сосредоточенной и рассеянной компонент сейсмичности, С.С. Арефьев установил [11], что основной толчок располагается на периферии облака сосредоточенной составляющей, которая, как предполагается в методике [20, 21], в первом приближении оконтуривает очаг землетрясения. Как видно из рис. 5, разделение основного поля эпицентров афтершоков на сосредоточенную и рассеянную компоненты позволило выделить только два основных кластера. Уже упоминавшийся выше юго-восточный кластер, расположенный далеко за пределами основного облака афтершоков, также выделяется вполне уверенно. Что касается более детальной структуры основного облака афтершоков, то на данном масштабном уровне установить ее не представляется возможным.

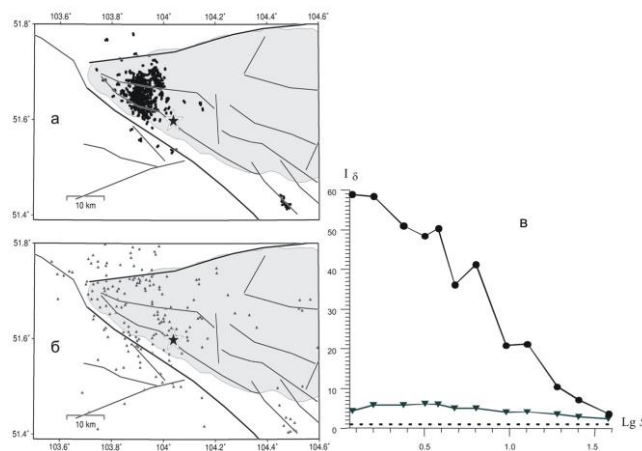


Рис. 5. Результат разделения эпицентрального поля афтершоков на сосредоточенную (а) и рассеянную (б) компоненты.

в – график индекса Моришты (I_{δ}), свидетельствующий о кластеризации сейсмических событий (S – площадь элементарной ячейки). Рисунок заимствован из [11].

Наличие близких станций позволило определить глубины гипоцентров для всех афтершоков, но с разной точностью, поскольку в процессе наблюдений менялись условия регистрации землетрясений. На рис. 6 представлены характеристики гипоцентрального поля 848 афтершоков с наилучшими условиями локализации (все они располагались внутри сети). Как видно из рис. 6, подавляющее большинство гипоцентров землетрясений имеют глубины $h=8-14 \text{ км}$, а стандартные ошибки для большинства событий невелики: $RMS \leq 0.2 \text{ с}$, $ERH \leq 1 \text{ км}$; $ERZ \leq 1.2 \text{ км}$. Исключение составляет, пожалуй, уже упоминавшаяся выше группа толчков в 20 км к юго-востоку от станции «Мурино», зарегистрированная за пределами локальной сети. Удовлетворительную информацию о глубинах этих событий удалось получить только после открытия 7 октября 2008 г. станции «Теплые озера» (ВТО) (рис. 2).

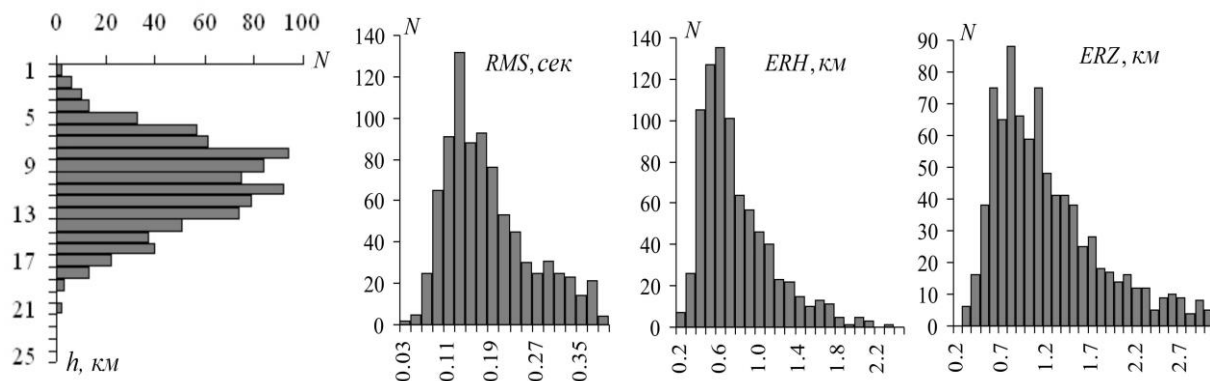


Рис. 6. Гистограммы распределения количества землетрясений по глубине и стандартным ошибкам

h – глубина гипоцентра; RMS , ERH , ERZ – стандартные ошибки определения времени в очаге, эпицентра и глубины соответственно.

Общие закономерности в распределении гипоцентров афтершоков видны на рис. 7.

В сейсмоактивном объеме земной коры явно прослеживаются упоминавшиеся выше два крупных кластера. В структуре земной коры они имеют субвертикальную зональность, при этом более мощный кластер круто падает на юго-запад, другой (восточнее) – на северо-восток.

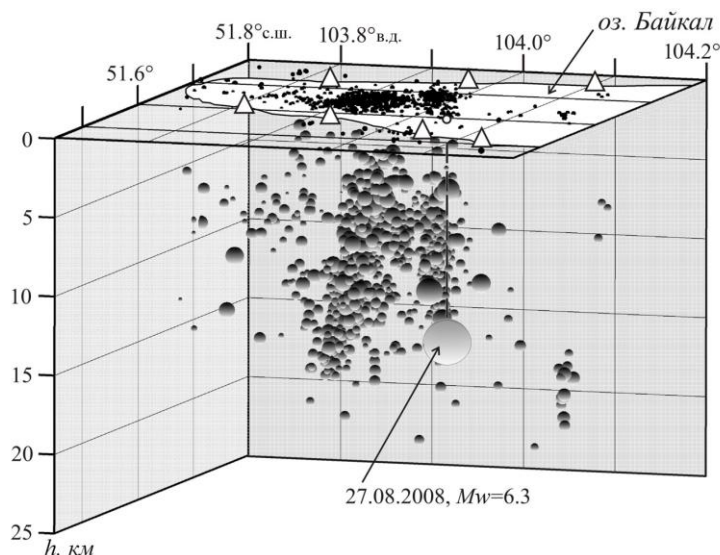


Рис. 7. Гипоцентральное поле Култугских землетрясений в 3D проекции

Тектоническая позиция и механизмы очагов. Эпицентральная область Култугского землетрясения расположена в Култугской депрессии, являющейся составной частью Южнобайкальской впадины, которая наряду с Центральной и Северной входит в состав котловины оз. Байкал. Депрессия со всех сторон ограничена активными в новейший этап развития тектоническими нарушениями различного ранга и морфогенетического типа: с севера и юго-запада Обручевским сбросом и Главным Саянским (ГС) разломами (последний служит краевым швом Сибирской платформы), с юго-востока – системой разломов Черского (тип подвижек – сбросы) и с северо-востока – Ангарским разломом (тип подвижек – правые сдвиги-взбросы) (рис. 8) [19, 22]. Поскольку эпицентр Култугского землетрясения приурочен к прибортовому разлому, ограничивающему юго-западный борт одноименной депрессии, важно еще раз отметить, что вдоль этого борта предполагается продолжение Главного Саянского разлома, который здесь представлен не единым линейным элементом, а серией субпараллельных разломных зон. По мнению К.Г. Леви с соавторами [19], этот разлом может следовать за пределы впадины далее на юго-восток в Забайкалье. В целом в кайнозойский этап развития ГС разлом характеризуется левосторонней взбросо-сдвиговой кинематикой смещений, в то время как в очагах землетрясений, локализованных в зоне разлома, могут проявляться сбросо-сдвиговые и сдвиговые подвижки [23].

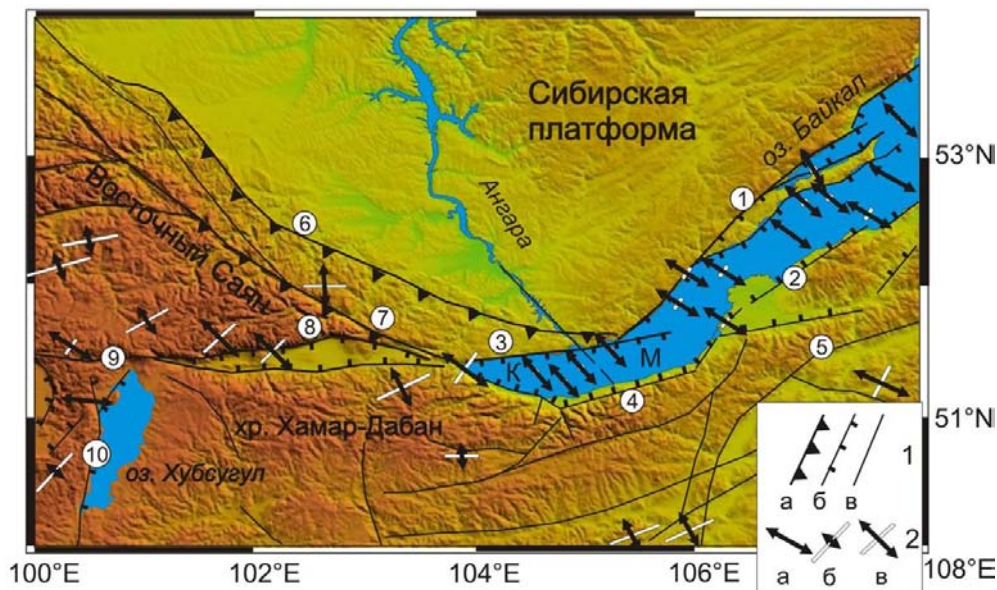


Рис. 8. Карта-схема активных разломов Южного Прибайкалья и режимов сейсмотектонических деформаций (в плоскости земной коры) по данным о механизмах очагов землетрясений за 1950–2007 гг.

1 – разломы кинетического типа: а – взбросы, надвиги; б – сбросы, сбросо-сдвиги; в – сдвиги со взбросовой компонентой; 2 – сейсмотектонические деформации: а – удлинение (растяжение), б – укорочение (сжатие), в – сдвиг. Цифрами в кружках обозначены разломы: 1 – Приморский, 2 – Дельтовый, 3 – Обручевский, 4 – Черского, 5 – Хамбинский, 6 – Краевой, 7 – Главный Саянский, 8 – Тункинский, 9 – Байкало-Мондинский, 10 – Хубсугульский; Депрессии Южнобайкальской впадины: К – Култукская, М – Мишихинская. При составлении схемы использовались опубликованные материалы [12, 19, 24, 25].

Глубинная структура в районе Култукской депрессии характеризуется залеганием непосредственно под подошвой коры слоя аномальной мантии с граничной скоростью $v_p=7.7-7.8$ км/с [26], переменной мощностью залегания кровли кристаллического фундамента, а также наличием в фундаменте разнонаправленных разрывных нарушений, в том числе вертикальных сбросовых разрывов и пологих надвигов [27, 28]. Таким образом, геолого-геофизические данные свидетельствуют о некоторой обособленности отдельных сейсмогенерирующих блоков земной коры в Култукской депрессии. Это, собственно, подтверждает и кластеризация афтершоков Култукского землетрясения, выявленная авторами. Вероятно, при соответствующих условиях подобные блоки способны к аккумуляции значительного количества сейсмической энергии, накопленной в больших объемах литосферы.

Известно, что по геолого-геофизическим данным характер напряженно-деформированного состояния земной коры всей территории юго-западной части БРЗ остается постоянным, по крайней мере в течение голоцена [29–32]. Главные особенности сейсмотектонического деформационного режима, установленные здесь по совокупным данным о механизмах очагов землетрясений, сводятся к устойчивому субгоризонтальному северо-западному растяжению, доминирующему на большей части акватории Байкала, и сдвигам в сочетании с компонентами растяжения или сжатия, господствующим в районе Тункинских впадин, Восточном Саяне и хр. Хамар-Дабан (рис. 8). Непосредственно в Култукской депрессии задолго до одноименного землетрясения [33] был выявлен переходный деформационный режим, при котором условия растяжения сочетались со сдвигами (режим транстенсии). Учитывая вышесказанное, можно предположить, что режим транстенсии проявит себя и в случае Култукской активизации 2008 г. [12]. В связи с этим рассмотрим фокальные механизмы култукских землетрясений.

Механизм очага Култукского землетрясения реконструирован разными методами в различных сейсмологических центрах, при этом особых разночтений в результатах в пределах точности определений не наблюдалось, что подтверждает достоверность полученных решений (табл. 4). Таким образом, можно с уверенностью утверждать, что в очаге Култукского землетрясения реализовались наклонная и субвертикальная плоскости разрывов северо-восточного (в северных румбах) и субширотного простираний со сбросо-сдвиговой и сдвиго-сбросовой подвижками соответственно.

Таблица 4. Очаговые параметры Култуковского землетрясения 2008 г. по данным различных агентств

Агент-ство	Дата, д м	t_0 , ч мин с	h , км	$M_0 \cdot 10^{18}$, Н·м	M_w	Оси главных напряжений						Нодальные плоскости						Ис точ-ник
						T		N		P		NP1			NP2			
						PL	AZ	PL	AZ	PL	AZ	AZM	DP	SLIP	AZM	DP	SLIP	
БФ ГС СО РАН	27.08	01 35 31.21	24	3.2	6.3	6	163	36	257	53	65	220	50	-140	102	61	-47	[11]
HRVD	27.08	01 35 38.6	24	3.4	6.3	8	165	37	262	51	65	220	49	-143	104	63	-47	[18]
NEIC	27.08	01 35 32.1	16	1.7	6.1	1	324	49	232	40	55	197	64	-148	92	62	-30	[18]
ВУКЛ	27.08	01 35 31.4	13			10	167	30	263	58	61	226	44	-136	101	61	-55	[18]
MOS	27.08	01 35 30.4	17			12	325	18	59	68	202	250	60	-69	33	36	-121	[18]

Механизмы очагов афтершоков Култуковского землетрясения определены с учетом скоростной модели среды (табл. 2), для этого из каталога афтершоков было выбрано 59 сейсмических событий с $K_p=7-12$ ($M_w=2.0-4.0$ [11]), имеющих не менее 10 знаков первых вступлений продольных волн P_g и P_n . Надежные решения удалось получить для 32 афтершоков, при этом точность определений оценивалась пределами изменения углов погружения осей главных напряжений (сжатия, растяжения, промежуточной) относительно горизонта и их азимутов [34]. Стереодиаграммы фокальных механизмов, спроецированные на широтный разрез земной коры, представлены на рис. 9.

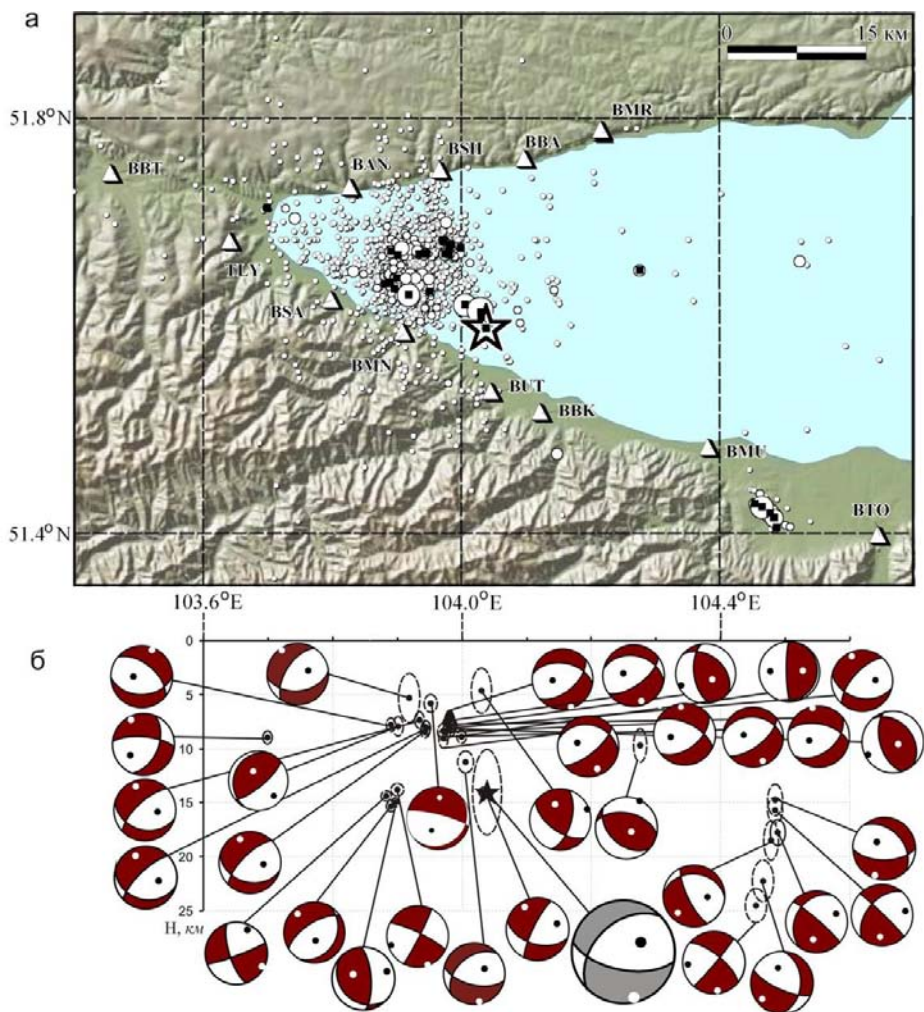


Рис. 9. Карта эпицентров землетрясений Култуковской активизации (а) и механизмы очагов событий, гипоцентры которых представлены в широтном разрезе земной коры (б)

Звездочкой обозначен главный толчок; зачернены эпицентры землетрясений, для которых определен фокальный механизм [34]; гипоцентры землетрясений на фрагменте (б) показаны с эллипсами ошибок.

Следует заметить, что в очагах землетрясений с установленными механизмами в 44 % случаев наблюдаются субвертикальные плоскости разрывов, что подтверждает вертикальную зональность поля гипоцентров, при этом в заглубленных очагах преобладает субширотное простирание плоскостей, а в более мелких – северо-восточное.

В [12] по совокупным данным о механизмах очагов афтершоков Култукского землетрясения в его очаговой области для сейсмогенерирующего слоя толщиной 20 км были рассчитаны сеймотектонические деформации по методике С.Л. Юнги [31]. Как и предполагалось, полученные результаты свидетельствовали о доминировании здесь сеймотектонического режима трансенсии, что полностью согласуется с режимом деформаций, наблюдавшимся в западной части депрессии в предшествующий период времени.

Макросейсмические данные. Култукское землетрясение 27 августа 2008 г. ощущалось на огромной территории в пределах Восточной Сибири и Северной Монголии. Землетрясение сопровождалось тяжелыми повреждениями некоторых зданий социального назначения (больницы, школы) и массовыми разрушениями печных труб и печей в деревянных жилых домах в ближней к эпицентру зоне, а также многочисленными случаями камнепадов, обвалов и осыпей на крутых склонах в плейстосейстовой области.

Обследование последствий Култукского землетрясения началось 28 августа 2008 г. Был организован выезд нескольких групп сотрудников Института земной коры СО РАН в эпицентральную зону, а также в населенные пункты, расположенные к западу от эпицентра в Тункинской системе впадин. Наряду с непосредственным полевым обследованием эпицентральной зоны Байкальским филиалом Геофизической службы СО РАН осуществлялась почтовая рассылка опросных листов. В результате были собраны данные с обширной территории, охватывающей Иркутскую область, Республику Бурятия и Забайкальский край. Макросейсмические данные поступили также из пунктов расположения сейсмических станций региональной сети.

Култукское землетрясение послужило поводом для создания на web-сайте БФ ГС СО РАН интерактивного опросного листа, предназначенного для сбора макросейсмических данных посредством сети Internet (<http://seis-bykl.ru/modules.php?name=Anketa>). Опросный лист был введен в действие в середине сентября 2008 г., и, несмотря на некоторую задержку относительно даты землетрясения, были получены 74 сообщения из 15 населенных пунктов Прибайкалья. Большинство сообщений поступило из г. Иркутска, однако сведения поступали также из небольших сельских поселений.

С наибольшей интенсивностью сотрясений землетрясение проявилось в населенных пунктах, расположенных на юго-западном побережье оз. Байкал. В пределах эпицентральной зоны в большинстве случаев у авторов имелась возможность выполнить оценку интенсивности сотрясений по реакции зданий. Реакция людей (испуг, паника) и бытовых предметов (колебания, смещение, падение) на обследованной территории имела массовый характер и во многих случаях достигала порога насыщения. Наиболее пострадавшими пунктами признаны поселки Култук и Утулик, а также г. Слюдянка.

В ближайшем к эпицентру пункте – пос. *Утулик* – землетрясение ощущалось всеми жителями поселка. Отмечены многочисленные случаи частичного или полного разрушения кирпичных печных труб, а также растрескивание печей с выпадением кусков кладки. Дальнейшая эксплуатация поврежденных печей невозможна. Внутри помещений наблюдалось массовое падение различных предметов (мебель, бытовая техника, посуда, книги и пр.).

В пос. *Култук* землетрясение ощущалось всеми жителями как внутри помещений, так и на открытом воздухе. По свидетельствам очевидцев, во время землетрясения было трудно передвигаться и просто стоять на ногах без опоры; волнообразные колебания почвы были заметны «на глаз». Сильный испуг и панику испытывали даже те, кто находился вне помещений. Рядовым эффектом, наблюдавшимся повсеместно, можно считать опрокидывание мебели, в том числе тяжелой (шкафы, мебельные стенки, серванты). Не закрепленные предметы (посуда, книги, легкая бытовая техника и др.) были сброшены со своих мест.

Поселок застроен в основном деревянными одноэтажными домами с печным отоплением. В момент первого толчка были разрушены почти все кирпичные печные трубы, большинство (около 80 %) печей разрушены частично или полностью и дальнейшей эксплуатации не подлежат (рис. 10). Отмечено появление трещин в бетонных фундаментах некоторых деревянных домов; внутри помещений растрескивалась и падала штукатурка. Обвалилась плохо закреплен-

ная наружная кирпичная обкладка стены мебельного магазина, во внутренних кирпичных перегородках здания возникли сквозные трещины шириной до 5 см. Тяжелые повреждения получило кирпичное здание школы № 7 (рис. 11). В стенах возникли сквозные трещины, нарушена целостность кирпичной кладки, деформированы печные трубы, внутри помещений школы обвалилась штукатурка. По результатам инженерного обследования дальнейшая эксплуатация школы признана невозможной. Впоследствии здание школы было снесено; к настоящему времени на его месте закончено строительство нового корпуса, сооруженного с учетом антисейсмических мероприятий.



Рис. 10. Разрушенная печная труба в деревянном одноэтажном доме (типичные повреждения для всей территории поселка) (а); разрушенная печь в одноэтажном деревянном здании детского сада (б)



Рис. 11. Повреждения здания школы в пос. Култук: трещины в стенах и повреждения кирпичной кладки (а–б); обвалы пластов штукатурки (в); деформированная дымовая труба (г)

В г. *Слюдянка* наблюдались эффекты почти такой же интенсивности, что и в пос. Култук. Реакция очевидцев – испуг, паника, стремление покинуть помещение. В помещениях наблюдалось сильное колебание и падение мебели, в том числе тяжелой; смещение и падение не закрепленных предметов; сильное раскачивание и срыв висячих предметов (лампы, люстры). В деревянных одноэтажных домах города разрушено большинство печных труб, тяжелые повреждения получили многие кирпичные печи (крупные сквозные трещины с выпадением кусков кладки). На крышах домов погнулись телевизионные антенны. В кирпичных и крупнопанельных 3–4-этажных домах наблюдалось растрескивание и падение штукатурки, проработка швов между панелями, появление трещин в стенах. Отмечены случаи деформации оконных блоков.

Талая. Землетрясение ощущалось очевидцами, находившимися внутри и вне помещений. На открытом воздухе во время землетрясения было заметно раскачивание столбов и зданий. В здании сейсмической станции разрушены обе печные трубы, кирпичи упали в дымоход; в печах образовались трещины. Было замечено сильное движение стен и потолков. Не закрепленные предметы опрокидывались и падали со шкафов и полок. В одной из форточек лопнуло стекло. После первого толчка прекратилась подача электроэнергии, подключение восстановилось приблизительно через две минуты. Продолжительность ощутимых колебаний оценивается в 2–3 минуты. При землетрясении был слышен подземный гул.

Байкальск. Землетрясение ощущалось как в помещениях, так и на открытом воздухе. В единичных случаях колебания были замечены в движущихся автомашинах. Люди в испуге и панике покидали помещения и выбегали на улицу. В зданиях ощущались очень сильные колебания, слышался треск стен, дребезжали оконные стекла, сильно раскачивались люстры. В магазинах города отмечено массовое падение товаров с витрин; в жилых помещениях не закрепленные предметы падали со шкафов, полок, столов; опрокидывалась бытовая техника. Из открытых емкостей (аквариумы, кухонная посуда) выплескивалась вода. В деревянных одноэтажных домах частного сектора зарегистрированы многочисленные случаи разрушения и повреждения печных труб. В трехэтажной кирпичной школе № 10, построенной в 1962 г., произошло раскрытие антисейсмического шва между блоками здания, внутри помещения вдоль шва осыпалась штукатурка. В крупнопанельных жилых домах наблюдались повреждения штукатурки: трещины и падение отдельных кусков. Отмечен случай разрыва водопровода. Следует отметить, что, несмотря на высокую интенсивность сотрясений, современные крупнопанельные и каркасно-панельные жилые дома в г. Байкальске перенесли землетрясение хорошо, не получив сколько-нибудь серьезных повреждений. Это обстоятельство объясняется соблюдением в данном случае полного набора антисейсмических мер как на стадии проектирования, так и на стадии строительства [7]. Согласно свидетельствам очевидцев, находившихся на берегу оз. Байкал, земля колебалась наподобие волн на озере; стоявшую на берегу легковую автомашину подбрасывало вверх. Жители города наблюдали сильное раскачивание труб Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. При землетрясении был слышен сильный низкочастотный гул.

Маритуй. Землетрясение ощущали почти все жители поселка, с единичными исключениями. Некоторые в испуге выбегали на улицу. Дребезжали стекла, посуда, в отдельных случаях падали предметы, из стыков осыпалась штукатурка. Разрушений или повреждений печных труб не отмечено, хотя по внешнему виду они имеют значительную степень износа. Вдоль береговой линии свежих осыпей не было. По свидетельству железнодорожной бригады, в день землетрясения пути были чистыми, каких-либо бросающихся в глаза изменений в стенках и у подножий скал не было. Следует отметить, что на северном побережье южной впадины Байкала, вдоль линии Кругобайкальской железной дороги, землетрясение проявилось сравнительно слабо, хотя в пунктах, лежащих дальше к северу, интенсивность сотрясений была выше.

Землетрясение неожиданно сильно проявилось в *Тункинской системе впадин*. Более или менее серьезно пострадали печи и печные трубы в населенных пунктах *Быстрое, Анчук, Тибельти, Шулуты, Торы, Зун-Мурино, Зактуй, Никольск, Тунка* на эпицентральных расстояниях от 40 до 100–110 км. По мере удаления от эпицентра на запад повреждения печных труб варьируются от полного обрушения до выпадения отдельных кирпичей и растрескивания. Сильные сотрясения в указанных пунктах ощущались практически всеми жителями, испытавшими сильный испуг и панику; многие с трудом держались на ногах. В помещениях местами растрескалась и обвалилась штукатурка; сильно колебалась мебель, в том числе тяжелая; отмечены многочисленные случаи смещения и падения предметов домашнего обихода и бытовой техники; в магазинах падали товары с витрин и

полок. Очевидцы, бывшие в момент землетрясения на открытом воздухе, визуально наблюдали сильные колебания деревянных домов, шатание деревянных телеграфных столбов и опор линии электропередачи. Люди, находившиеся в близлежащих лесных массивах, отчетливо ощущали колебания почвы под ногами («земля ходила волнами»). Сильно раскачивались деревья и высокая трава (при отсутствии ветра).

Аршан (Республика Бурятия, Тункинский район). Землетрясение ощущалось абсолютным большинством жителей поселка. В помещениях наблюдалась сильная тряска, раскачивались висячие предметы (люстры), дребезжали стекла, падала посуда. По свидетельству опрошенных жителей поселка, повреждений в домах не наблюдалось. На неустойчивых горных склонах были замечены камнепады. В момент землетрясения были отмечены перебои в подаче электроэнергии; такой же эффект наблюдался в пунктах *Тунка* и *Никольск*. Многие люди жаловались на ухудшение самочувствия (повышение давления, головокружение).

Иркутск. В областном центре землетрясение ощущали практически все, кто находился в помещениях, и многие из тех, кто был на открытом воздухе. Очень многие в испуге и панике покидали помещения, и долгое время после землетрясения оставались на улице. Колебания отчетливо ощущались в припаркованных легковых автомашинах и в стоявшем в этот момент на остановках общественном транспорте. На железнодорожной станции Иркутск-Пассажирский землетрясение ощущалось в стоящем электропоезде, были также замечены колебания проводов контактной сети. Люди, находившиеся на улице, наблюдали заметное «на глаз» раскачивание домов, столбов уличного освещения и опор линий электропередачи; под ногами чувствовались колебания почвы. В различных районах города отмечены случаи полного или частичного разрушения печных труб в одно- и двухэтажных домах (рис. 12 а). Во внутренних помещениях зданий местами образовались трещины в углах и на стыках стен и потолков (рис. 12 б). В квартирах горожан наблюдалось движение мебели, дребезжание стекол, звон посуды, сильное раскачивание люстр, смещение с места и падение не закрепленных предметов (посуда, книги, вазы и пр.), осыпание побелки. Из открытых емкостей выплескивалась вода. На верхних этажах макросейсмические проявления были заметнее – отмечены случаи падения тяжелой бытовой техники; многие с трудом удерживались на ногах без дополнительной опоры. В торговых павильонах на рынках и в магазинах города наблюдались многочисленные случаи падения товаров с полок.



Рис. 12. Повреждения зданий в г. Иркутске: разрушенная печная труба в одноэтажном деревянном доме (а); трещина на стыке стены и потолка в здании Института земной коры СО РАН (б)

Закаменск. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в помещениях на первых–пятых этажах в зданиях различных типов. Люди в испуге и панике покидали помещения, спавшие просыпались. Типичные макросейсмические проявления сводились к следующему: скрипели полы и потолки, самопроизвольно открывались и закрывались дверцы мебели, а также межкомнатные и балконные двери. Дребезжала посуда, звенели стекла окон, скрипела мебель, колебались и раскачивались висячие предметы (лампочки, люстры), незакрепленные предметы сдвигались с места и падали на столах и на полках. На верхних этажах отмечены случаи смещения и падения мебели. Наблюдалось сотрясение зданий в целом. В квартире на пятом этаже кирпичного здания с мебельной стенки упала антресоль с одеждой, разбилось

упавшее зеркало, упали висевшие картины. В нескольких случаях разбилась посуда, вазы, банки. В магазинах дрожали витрины, дребезжали бутылки и посуда. Во время землетрясения отмечено сильное беспокойство домашних животных.

Кабанск. Во время землетрясения в помещениях тряслись стены, раскачивались предметы мебели (шкафы, диваны). В кирпичном здании больницы отмечено движение больничной кровати на колесах в течение 10–15 с. Колебания были замечены на открытом воздухе идущими по улице людьми. В то же время в частном деревянном доме землетрясение замечено не было. При землетрясении отмечено беспокойство животных.

Тырган. Землетрясение ощущалось всеми людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях на первых-вторых этажах; многие ощущали землетрясение на открытом воздухе; некоторыми оно было замечено в стоявших автомашинах. В деревянных домах скрипели полы и потолки; колебалась жидкость в открытой посуде, звенела посуда, дребезжали стекла окон, дрожала и скрипела мебель, колебались висючие предметы. В магазине с полок падали товары (бутылки и продукты). В единичных случаях наблюдалось небольшое осыпание чешуек побелки или штукатурки. Продолжительность колебаний оценивается очевидцами в 30 с. Опрошенные люди указывали в основном на отсутствие гула.

Оценки интенсивности сотрясений в населенных пунктах, выполненные на основе всех имеющихся макросейсмических данных, приведены в табл. 5.

Таблица 5. Макросейсмические данные о Култукском землетрясении 27 августа 2008 г. с $M_w=6.3$

№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	Звук	№	Пункт	Δ , км	φ° , N	λ° , E	Звук
<u>7–8 баллов</u>						<u>5–6 баллов</u>					
1	Утулик	8	51.54	104.06		31	Выдрино	44	51.47	104.64	гул
2	Култук	27	51.72	103.70		32	Шаманка	52	52.07	103.82	гул
<u>7 баллов</u>						33	Садовая	55	52.11	104.10	гул
3	Байкальск	14	51.51	104.15	гул	34	Голубые Ели	57	52.14	104.07	гул
4	Слюдянка	25	51.66	103.71		35	Никола	61	51.90	104.83	
5	с/ст. Талая	29	51.68	103.64		36	Шелехов	66	52.21	104.10	
6	Быстрое	44	51.75	103.46		37	Танхой	74	51.55	105.13	гул
<u>6–7 баллов</u>						38	Тальяны	84	52.19	103.27	
7	Анчук	44	51.75	103.46		39	Раздолье	109	52.44	103.20	гул
<u>6 баллов</u>						40	Большая Елань	110	52.58	103.68	гул
8	Солзан	18	51.50	104.23	гул	41	Харбяты	123	51.67	102.28	
9	Старая Ангасолка (КБЖД)	20	51.74	103.83	гул	42	Олой	157	52.91	105.04	
10	Ангасолка	26	51.75	103.74		43	Михайловка (Черемховский р-н, Иркутская обл.)	158	52.96	103.28	
11	Подкаменная	40	51.97	103.91	гул	44	Гусиное Озеро	163	51.11	106.26	гул
12	Тибельти	58	51.77	103.25		45	Белькова	169	52.99	102.98	
13	Листвянка	61	51.86	104.86	гул	46	Хохорск	171	53.16	103.93	
14	Шулуты	67	51.80	103.14		47	Протасова	171	53.01	102.95	
15	Иркутск	74	52.27	104.33		48	Козлова	175	53.04	102.93	
16	Торы	75	51.79	103.00	гул	49	Чернухина	176	53.05	102.94	
17	Далахай	76	51.81	103.01	гул	50	Шергино	192	52.11	106.74	гул
18	Зун-Мурино	83	51.74	102.88		51	Сплавная	209	52.97	101.91	
19	Ходарей	92	52.26	103.22	гул	52	Аляты	215	53.21	102.23	
20	Урик	94	52.46	104.25	гул	53	Нукуты	248	53.72	102.80	
21	Зактуй	99	51.69	102.63		<u>5 баллов</u>					
22	Никольск	103	51.72	102.57		54	Маритуй	22	51.79	104.22	
23	Тунка	105	51.74	102.54		55	Мурино	28	51.48	104.40	
24	Жемчуг	110	51.69	102.46	гул	56	Моты	52	52.08	103.90	
25	Охор-Шибирь	114	51.68	102.41		57	Кедровая	62	51.51	104.94	
26	Хужиры	136	51.67	102.09	гул	58	Баклаши	67	52.23	104.05	
27	Бельск	154	52.88	103.08	гул	59	Переменная	83	51.58	105.26	гул
28	Свирск	170	53.09	103.33		60	5450 км	100	51.63	105.50	
29	Верхний Булай	171	53.03	103.04	гул	61	Мишиха	101	51.64	105.52	
30	Онот	185	52.74	102.05	гул	62	Ангарск	102	52.54	103.89	

№	Пункт	Δ, км	φ°, N	λ°, E	Звук	№	Пункт	Δ, км	φ°, N	λ°, E	Звук
63	Борисова	104	52.44	103.33		119	Тырган	200	52.76	106.35	
64	Большое Голоустное	104	52.04	105.41		120	Забитуй	202	53.28	102.83	
65	Большежилкина	107	52.54	103.59		121	Еланцы	207	52.80	106.41	гул
66	Большая Черемшанка	107	52.43	103.20		122	Монды	211	51.68	100.99	
67	Оёк	111	52.59	104.46		123	Анга	212	52.77	106.55	гул
68	Манинск	114	52.39	102.97		124	Верхний Жирим	220	51.32	107.20	
69	Октябрьский	115	52.41	102.98		125	Селенга	230	51.63	107.40	гул
70	Малое Голоустное	115	52.30	105.32		126	Заречье	235	52.55	107.15	гул
71	Малый Жемчуг	117	51.69	102.36	гул	127	Залари	240	53.56	102.51	
72	Аршан (Тункинский р-н, Республика Бурятия)	117	51.91	102.43		128	Харёты	260	53.82	102.72	
73	Клюевка	117	51.69	105.76	гул	129	Услон	292	53.93	101.97	
74	Бабушкин	125	51.71	105.87		130	Зулумай	295	53.69	101.32	
75	Большой Нарын	126	50.53	104.56	гул	131	Орлик	305	52.51	99.83	
76	Нуген	129	51.68	102.20	гул	132	Балахта	313	52.50	99.70	
77	Усолье-Сибирское	129	52.75	103.65		133	Куйтун	347	54.34	101.50	
78	Кырен	133	51.68	102.13		134	Икей	390	54.19	100.08	
79	Санага	133	50.73	102.79			4-5 баллов				
80	Михайловка (Закаменский р-н, Республика Бурятия)	135	50.41	104.16		135	Галбай	106	51.79	102.54	
81	Усть-Ордынский	139	52.80	104.75	гул	136	Алзак	112	50.67	104.62	
82	Дутулур	140	50.44	103.38		137	Армак	119	50.61	104.60	
83	Боярск	140	51.83	106.07		138	Нижний Торей	133	50.53	104.82	гул
84	Тунгуска	143	52.65	102.80		139	Нилова Пустынь	164	51.70	101.68	
85	Олонки	144	52.90	103.70	гул	140	Туран	165	51.64	101.67	
86	Хужир (Закаменский р-н, Республика Бурятия)	144	50.42	103.27	гул	141	Гусиноозерск	173	51.28	106.50	
87	Тайгурка	145	52.87	103.46		142	Новая Ида	175	53.18	103.69	
88	Култушная	146	51.90	106.13		143	Хойто-Гол	177	51.72	101.50	гул
89	Закаменск	148	50.38	103.27		144	Каменск	179	51.97	106.60	
90	Енгорбой	148	50.51	102.91		145	Черемхово	183	53.16	103.07	
91	Нурта	150	50.41	103.11		146	Нижняя Иреть	185	52.98	102.50	гул
92	Мото-Бодары	150	52.64	102.62		147	Баяндай	188	53.07	105.51	
93	Наумовка	155	52.84	105.16		148	Селенгинск	197	52.01	106.87	
94	Хадай	156	52.82	105.27		149	Оймур	205	52.33	106.84	
95	Холтосон	157	50.29	103.30		150	Инга	207	52.97	101.95	
96	Хандабай	161	52.86	105.27		151	Прииск «Холбинский»	210	52.05	101.08	
97	Хиней	162	52.86	105.31		152	Чернушка первая	210	52.97	101.88	
98	Горный	166	51.97	106.41		153	Хандагай	210	53.17	105.85	
99	Загатуй	166	52.89	105.35		154	Кутулик	211	53.35	102.78	
100	Русиновка	168	53.14	103.98	гул	155	Новостройка	214	52.98	101.82	
101	Юлиноск	169	52.74	102.39		156	Жданово	215	53.55	103.70	
102	Укыр	169	53.14	104.14		157	Хогот	217	53.24	105.87	гул
103	Нововоскресенка	170	53.15	104.04		158	Бильчир	218	53.57	103.71	
104	Бахай Первый	170	52.92	105.38		159	Духовщина	219	53.21	105.97	
105	Тунгусы	170	52.79	102.45		160	Старый Хогот	219	53.29	105.79	
106	Тальники	171	52.78	102.41		161	Приморский	220	53.59	103.72	
107	Харатирген	171	53.15	103.88		162	Кутанка	225	53.64	103.82	
108	Бохан	172	53.16	103.77		163	Кайзаран	228	53.30	106.00	
109	Бугульдейка	172	52.55	106.07	гул	164	Шитхулун	228	53.32	105.94	
110	Шунта	172	53.16	103.82		165	Окино-Ключи	241	50.59	107.11	
111	Тихоновка	174	53.18	104.23		166	Троицк	242	53.46	102.16	гул
112	Ижилха	178	53.22	103.94		167	Старые Ключи	242	50.56	107.08	
113	Дундай	179	53.22	104.35		168	Манзурка	247	53.49	106.05	
114	Тимлюй	180	52.00	106.61		169	Мухоршибирь	269	51.05	107.83	
115	Кабанск	184	52.05	106.65		170	Харбатово	270	53.75	106.01	
116	Оса	197	53.39	103.88		171	Нестерово	274	52.37	107.88	
117	Попово	198	52.74	106.31		172	Сорок	277	52.32	100.17	
118	Петрово	199	52.76	106.32		173	Самара	283	53.85	102.01	
						174	Хужир (Ольхонский р-он, Иркутская обл.)	283	53.19	107.34	
						175	Качуг	287	53.96	105.88	гул

№	Пункт	Δ, км	φ°, N	λ°, E	Звук	№	Пункт	Δ, км	φ°, N	λ°, E	Звук
176	Заиграево	290	51.83	108.27		232	Саянск	305	54.12	102.17	
177	Верхоленск	292	54.09	105.58		233	Буря	317	54.27	102.29	шорох
178	Кустова	293	53.95	102.01		234	Онгурен	327	53.64	107.59	
179	Челяба	295	53.96	101.99		235	Красный Чикой	356	50.37	108.75	
180	Анга (Качугский р-н, Иркутская обл.)	298	53.97	106.18		236	Барлук	359	54.54	101.72	
181	Бутаково	308	54.09	106.14		237	Жигалово	361	54.81	105.16	
182	Уян	332	54.34	102.00		238	Аталанка	362	54.83	103.09	
183	Аносово	341	54.65	103.25		239	Едогон	388	54.25	100.25	
184	Аршан (Тулунский р-н, Иркутская обл.)	378	53.92	99.91		240	Новая Деревня	403	54.56	100.51	
185	Гадалей	380	54.40	100.74		241	Мугун	406	54.47	100.25	
186	Чикан	380	54.90	105.66		242	Хараманут	410	54.50	100.19	
187	Тулун	406	54.60	100.53		243	Александровка	417	54.79	100.70	
188	Шеберта	436	54.63	99.84		244	Катарбей	422	54.36	99.68	
189	Станция Шеберта	436	54.63	99.85		245	Новое Приречье	433	55.08	101.06	
190	Вершина	438	54.65	99.83		246	Чехово	448	54.48	99.32	
191	Большеверстовск	440	54.72	99.92		247	Чистяково	449	55.10	100.60	
192	Прибрежный	456	55.21	100.69		248	Пушкинский	451	54.53	99.35	
193	Нижнеудинск	494	54.90	99.03		249	Порог	457	54.55	99.25	
	<u>4 балла</u>					250	Кирей-Муксут	459	54.63	99.33	
194	Ташир	141	50.98	105.82	гул	251	Привольное	460	54.55	99.17	
195	Байкальский прибор	147	51.91	106.15		252	Тангуй	463	55.38	101.04	
196	Белоозерск	158	50.65	105.71		253	Солонцы	468	54.67	99.19	
197	Гаханы	167	53.05	104.87		254	Большеокинское	482	55.75	101.75	гул
198	Хабаровская	176	53.10	105.00	гул	255	Новодолоново	496	55.87	101.70	
199	Жаргаланта	181	51.42	106.67		256	Широково	524	55.44	99.39	
200	Усть-Кяхта	197	50.52	106.28		257	Ырбан	580	52.72	95.72	
201	Местность Улугуй	213	50.59	106.63			<u>3–4 балла</u>				
202	Кяхта	218	50.35	106.45	гул	258	Зырянск	266	52.28	107.80	
203	Энхалук	222	52.49	106.99		259	Кудара-Сомон	285	50.16	107.40	
204	Билютай	231	50.78	107.10	гул	260	Гремячинск	295	52.80	107.95	
205	Сухая	232	52.54	107.11		261	Харайгун	297	54.06	102.23	
206	Татаурово	239	52.14	107.44		262	Петровск-Забайкальский	332	51.28	108.83	
207	Улан-Удэ	246	51.83	107.62		263	Дальняя Загора	342	54.67	104.76	
208	Новонкутский	248	53.70	102.71	гул	264	Тэгда	345	52.40	108.95	
209	Верхний	249	53.46	101.96		265	Малоархангельск	360	50.40	108.83	
210	Большая Заимка	250	53.55	102.15		266	Барахоево	364	50.43	108.92	
211	Чикой	250	50.27	106.92		267	Коротково	366	50.45	108.97	
212	Турунтаево	252	52.20	107.62		268	Красные Речки	374	50.46	109.10	
213	Моисеевка	253	53.53	102.01	гул	269	Захарово	390	50.55	109.38	
214	Благодатный	253	53.51	101.95		270	Карахун	445	55.59	103.16	гул
215	Тыреть первая	256	53.67	102.31		271	Братск	526	56.13	101.61	
216	Тагна	263	53.59	101.89		272	Каймоновский	532	56.38	103.10	
217	Новолетники	267	53.62	101.86		273	Вихоревка	534	56.12	101.18	
218	Балаганск	274	54.01	103.05		274	Видим	535	56.41	103.11	
219	Глинки	276	53.85	102.27		275	Чистополянский	535	56.42	103.20	
220	Малый Куналей	285	50.61	107.82	гул	276	Сарыг-Сеп	584	51.50	95.60	гул
221	Сологубово	288	53.92	102.07		277	Соляная	598	55.53	97.82	
222	Анучинск	288	54.06	102.58	гул	278	Тайшет	622	55.93	97.99	
223	Зима	290	53.93	102.04		279	Юрты	647	56.05	97.63	
224	Ухтуй	291	53.95	102.07		280	Кызыл	661	51.70	94.45	
225	Норы	291	53.96	102.12		281	Верхнемарково	662	57.33	107.02	
226	Центральный Хазан	292	53.89	101.86			<u>3 балла</u>				
227	Усть-Уда	292	54.17	103.04		282	Дархан (Монголия)	271	49.49	105.92	
228	Большая Тарель	293	53.76	106.62		283	Удинск	358	52.14	109.21	
229	Басалаевка	293	53.79	101.57		284	Тэрэпхан	403	51.37	109.88	
230	Мордина	294	53.98	102.08		285	Бада	404	51.38	109.90	
231	Батама	299	53.87	101.62	гул	286	Зурун	409	51.40	109.97	
						287	Баргузин	435	53.62	109.62	

№	Пункт	Δ , км	φ°, N	λ°, E	Звук	№	Пункт	Δ , км	φ°, N	λ°, E	Звук
288	Худоеланское	452	54.70	99.62		305	Абакан	880	53.72	91.43	
289	Улаанбаатар (Монголия)	459	47.92	106.92		306	Красноярск	883	56.01	92.79	
290	Железногорск-Илимский	550	56.57	104.12		307	Дивногорск	904	55.96	92.36	
291	Квиток	615	56.08	98.47			<u>Не ощущалось</u>				
	<u>2-3 балла</u>					308	Турка	318	52.95	108.22	
292	Усть-Баргузин	389	53.45	108.98		309	Максимиха	363	53.25	108.72	
293	Северобайкальский	565	55.65	109.32		310	Гусиха	405	53.43	109.26	
294	Бирюсинск	632	55.96	97.81		311	Курбулик	408	53.72	109.04	
	<u>2 балла</u>					312	Загустай	461	51.97	110.75	
295	Кижинга	403	51.83	109.92		313	Хуртэй	467	51.94	110.84	
296	Усть-Эгита	453	52.33	110.58		314	Кулькисон	479	52.04	111.02	
297	Тосонцэнгел (Монголия)	519	48.76	98.28		315	Сосново-Озерское	522	52.52	111.57	
298	Чунский	574	56.09	99.65		316	Майский	558	54.59	110.82	
299	Лесогорск	574	56.04	99.52		317	Усть-Джилинда	576	53.65	111.93	
300	Чита	652	52.03	113.55		318	Романовка	615	53.22	112.77	
301	Тинской	685	56.15	96.92		319	Варваринский	631	54.33	112.37	
302	Усть-Илимск	714	58.00	102.58		320	Телемба	638	52.72	113.27	
303	Абан	764	56.68	96.06		321	Северомуйск	791	56.15	113.43	
304	Кодинск	843	58.69	99.18		322	Таксимо	878	56.34	114.88	

Карта изосейст Култуковского землетрясения представлена на рис. 13. В связи с большой площадью территории, охваченной ощутимыми колебаниями, и мелким масштабом карты отобразить на ней все населенные пункты не представляется возможным. Полная карта изосейст в более крупном масштабе (с указанием всех населенных пунктов) представлена в виде Приложения на компакт-диске.

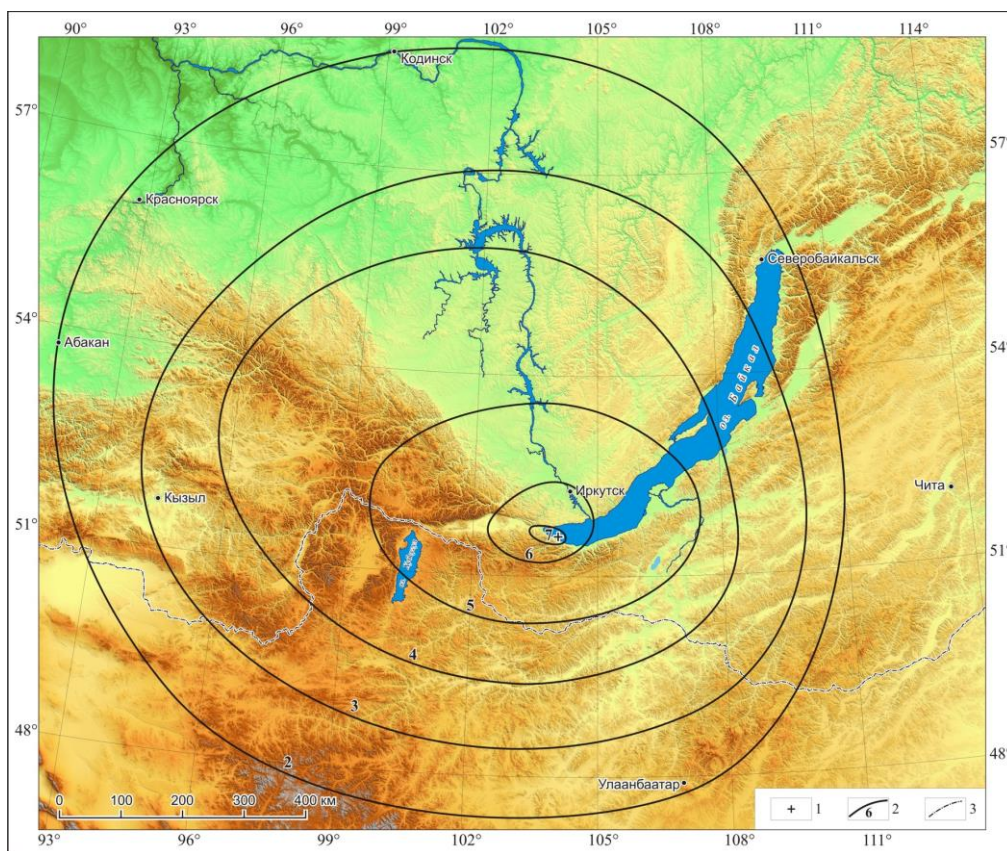


Рис. 13. Карта изосейст Култуковского землетрясения 27 августа 2008 г. с $M_w=6.3$

1 – эпицентр землетрясения по инструментальным данным; 2 – изосейста; 3 – государственная граница.

Култукское землетрясение отличается ярко выраженной неравномерностью распределения интенсивности сотрясений относительно эпицентра. Сильные сотрясения распространялись преимущественно в западном и северо-западном направлении, к востоку от эпицентра затухание колебаний было более быстрым. Например, расстояние, на котором наблюдались сотрясения интенсивностью 6 баллов, превышает 100 км к западу от эпицентра, в то время как в восточных румбах это расстояние в полтора-два раза меньше. Аналогичной, но еще более резкой асимметрией характеризуется 7-балльная изосейста. Если ее геометрический центр рассматривать в качестве макросейсмического эпицентра, то он окажется смещенным относительно инструментального приблизительно на 17 км к западу. Вероятно, этот эффект связан с направленностью сейсмического излучения из очага землетрясения.

Эффекты землетрясения в окружающей среде. Наряду с эффектами в урбанизированной среде Култукское землетрясение спровоцировало довольно многочисленные обвалы, осыпи, камнепады и оползни на расстояниях до 40 км от эпицентра. Область распространения сейсмогравитационных эффектов протягивается вдоль южного побережья Байкала и далее на запад вдоль первых 10–15 км Тункинского тракта (автодорога А-164). Суммарная протяженность этой области составляет около 60 км при ширине около 15–20 км, ее общая площадь составляет более 1000 км². Ширина области поражения оценивается как по непосредственным наблюдениям авторов, так и по свидетельствам опрошенных очевидцев, наблюдавших эффекты землетрясения в природной обстановке. По сообщениям местных жителей и туристов, находившихся в горах, крупные смещения масс наблюдались на склонах речных долин, на обнаженных северных склонах хр. Хамар-Дабан, а также в распадках на восточном фланге хр. Тункинские гольцы.

Перечисленные эффекты наблюдались в естественной среде в горной местности и на искусственно подрезанных придорожных склонах. Большинство отмеченных авторами осыпей приурочено к крутым склонам вдоль автомагистралей М-55 и А-164 (рис. 14). Довольно крупная осыпь перегородила дорожное полотно Тункинского тракта приблизительно на треть его ширины, однако она была своевременно замечена дорожными службами и убрана с трассы.

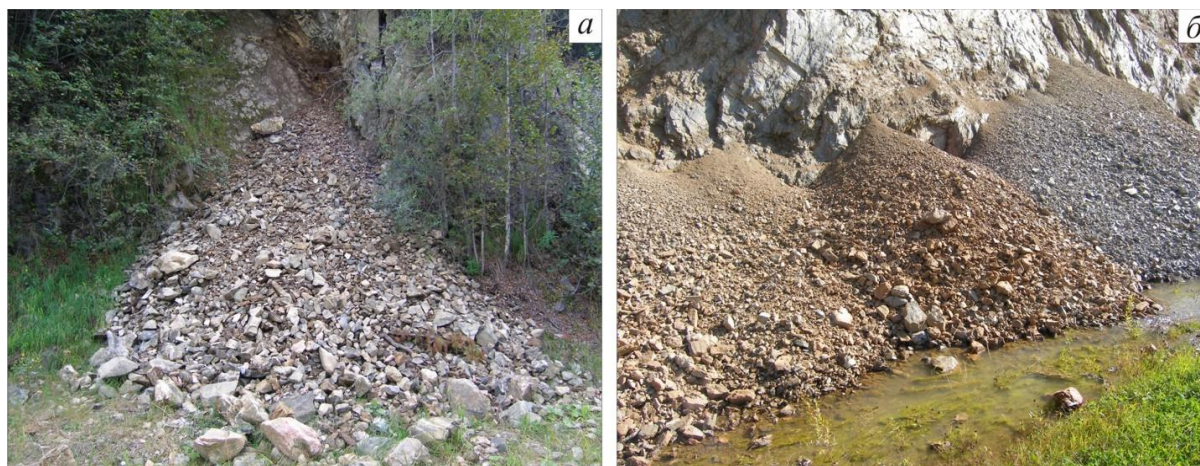


Рис. 14. Примеры осыпей, образовавшихся в результате Култукского землетрясения на склонах вблизи автомагистралей Южного Прибайкалья: *а* – автодорога М-55 в районе пос. Утулик; *б* – 6–9 км Тункинского тракта (автодорога А-164)

Один из наиболее крупных обвалов возник в районе г. Слюдянка, на левом борту долины р. Слюдянка. Обвальной массой была перегороджена старая грунтовая дорога, катящимися камнями были сбиты росшие на склоне молодые деревья (рис. 15). Объем отдельных сорвавшихся вниз камней достигал ~0.5–0.7 м³.

Несколько оползней на крутых склонах отмечено в районе пос. Култук. Один из них возник на склоне искусственного обнажения: слои почвы сползли вместе с деревьями, несколько деревьев оказалась поваленными (рис. 16). Другой оползень образовался на подрезанном склоне возле железнодорожных путей.

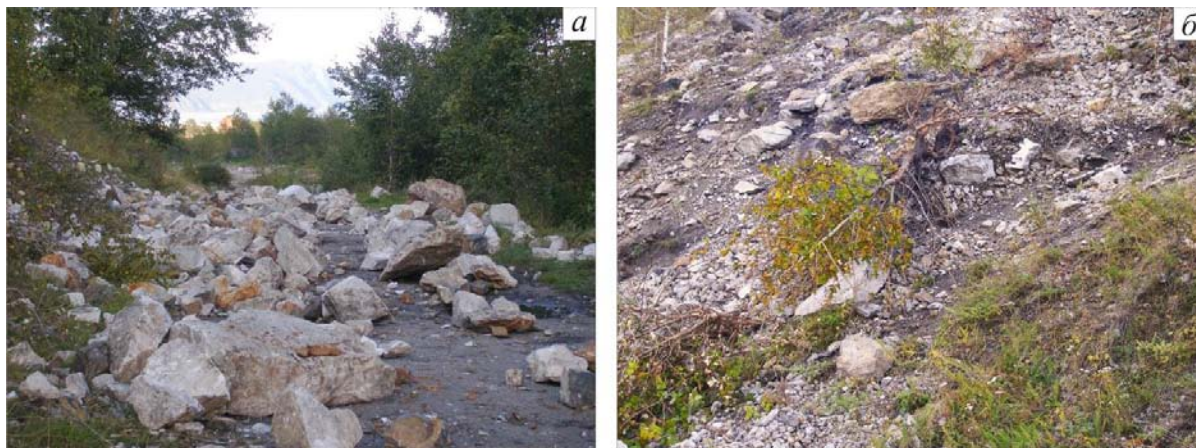


Рис. 15. Обвал в районе г. Слюдянка

а – валуны, перегородившие старую грунтовую дорогу; б – сбитое обвальной массой дерево.

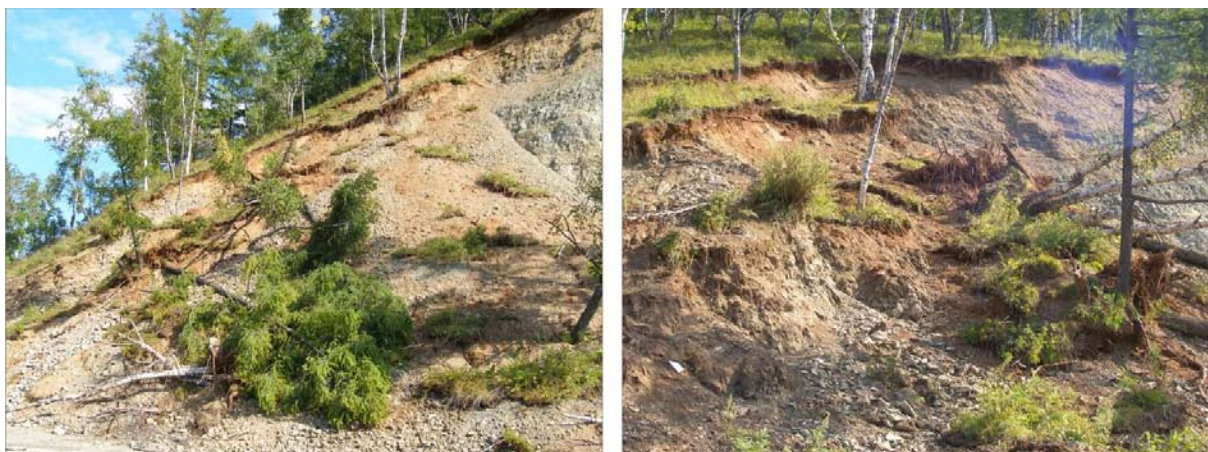


Рис. 16. Оползни, возникшие на склоне старого карьера на территории пос. Култук

Имеются также сообщения о камнепадах и небольших обвалах в долине р. Кынгарга в районе пос. Аршан на эпицентральной расстоянии около 120 км. В самом поселке интенсивность сотрясений, судя по наблюдавшимся эффектам, оценивается лишь в $I=5$ баллов, однако на возникновение обвалов, по-видимому, повлияла тектоническая раздробленность склонов долины. Влияние последнего фактора на проявления сейсмогравитационных эффектов в этой же местности было детально рассмотрено Б.П. Агафоновым [35, 36] на примере Еловского (Тункинского) землетрясения 29.06.1995 г. с $M_S=5.9$, $I_0=7$ [37].

Култукское землетрясение сказалось на состоянии подземных вод. В пос. Култук жители отметили повышение уровня воды в колодцах; на приусадебных участках значительно увлажнилась почва, чего раньше не наблюдалось. В колодцах и колонках отмечено сильное помутнение воды, ставшей непригодной для питья; мутная вода около трех дней шла из автономной водоканализационной станции общественного пользования. Отмечено изменение дебита (в сторону увеличения) существующих источников. Подобные явления отмечены также в пос. Зун-Мурино. По сообщению очевидцев, после землетрясения вода в колодце стала мутной и грязной; то же самое произошло с водой, закачиваемой с помощью глубинного насоса.

Сильные движения. Култукское землетрясение 27 августа 2008 г. представляет особый интерес в плане регистрации сильных движений. Это первое по настоящему сильное сейсмическое событие в Южном Прибайкалье, произошедшее после перевода региональной сети станций на цифровую регистрацию. Землетрясение дало возможность сопоставить макросейсмические оценки интенсивности сотрясений (в том числе на уровне высоких баллов) с инструментально зарегистрированными значениями ускорений на ближайших ($\Delta=29-204$ км) шести сейсмических станциях (рис. 17, табл. 6). К сожалению, не удалось получить записи

сильных движений на сейсмической станции «Листвянка» ($\Delta=61$ км, $I=6$ баллов) в связи с отключением электроэнергии практически в момент главного толчка. Удачей можно считать регистрацию сильных движений на ближайшей ($\Delta=29$ км) к эпицентру сейсмической станции «Талая». Максимальное значение ускорений составило здесь 130 см/с², что согласно инструментальной части шкалы MMSK-92 [38], соответствует интенсивности сотрясений $I=7$ баллов. Именно таким значением оценивается макросейсмическая интенсивность сотрясений на станции «Талая» по наблюдаемым эффектам. Точное соответствие макросейсмических и инструментальных оценок интенсивности сотрясений отмечается также для станций «Иркутск», «Закаменск» и «Тырган». Для станций «Аршан» и «Кабанск» расхождения между макросейсмическими и инструментальными оценками не превышают одного балла.

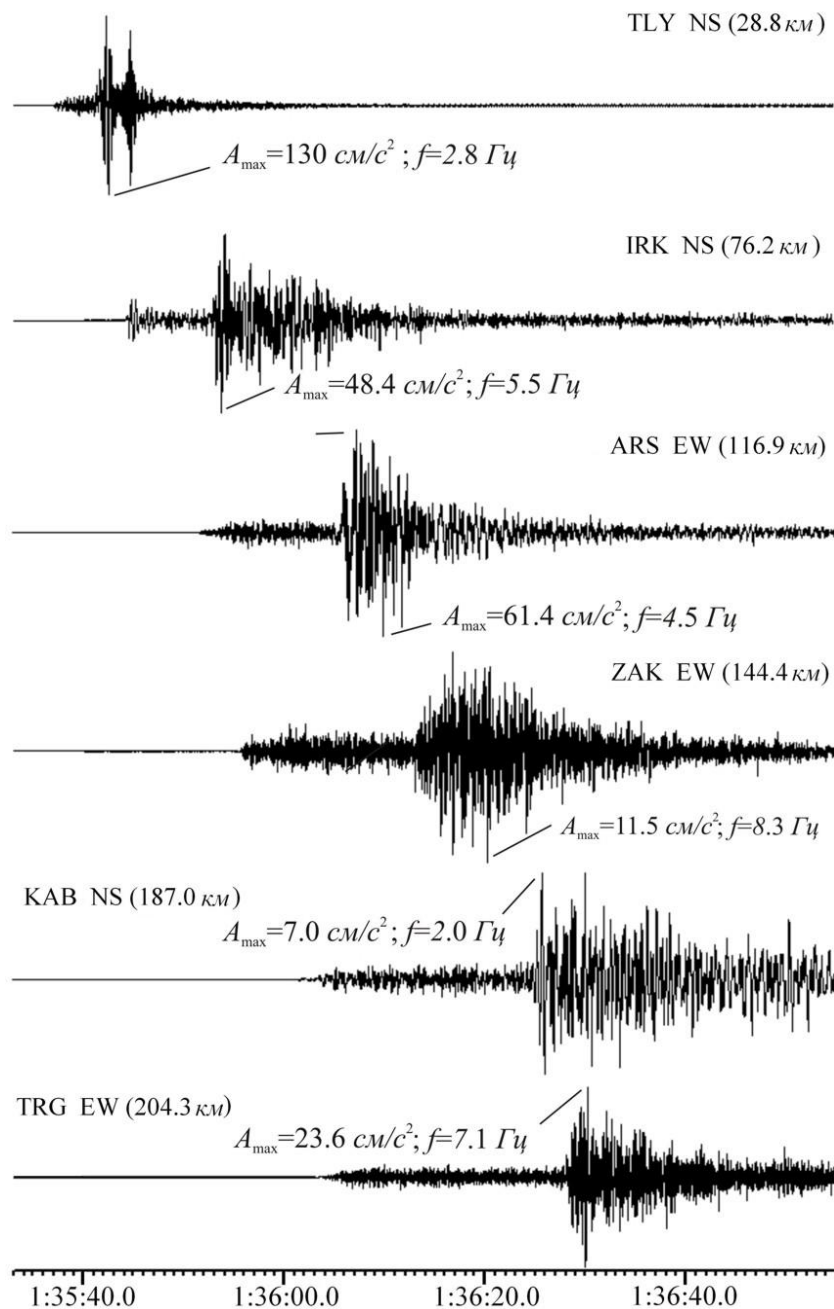


Рис. 17. Акселерограммы Кулдукского землетрясения 27 августа 2008 г. с $M_w=6.3$, полученные на ближайших к эпицентру сейсмических станциях Байкальского филиала ГС СО РАН

Из двух горизонтальных (NS, EW) компонент показаны те, на которых значения максимальных амплитуд (A_{\max}) больше.

Таблица 6. Инструментальные данные о сильных движениях грунтов при Култукском землетрясении 27 августа 2008 г. на ближайших к эпицентру сейсмических станциях

Название станции (компонента)	Δ , км	Акселерограмма			
		A_{\max} , см/с ²	f , Гц	$I_{\text{MMSK-92}}$	$I_{\text{макр}}$
Талая (NS)	28.8	130.0	2.8	7	7
Иркутск (NS)	76.2	48.4	5.5	6	6
Аршан (EW)	116.9	61.4	4.5	6	5
Закаменск (EW)	144.4	11.5	8.3	5	5
Кабанск (NS)	187.0	7.0	2.0	4	5
Тырган (EW)	204.3	23.6	7.1	5	5

Среди всех зарегистрированных максимальных амплитуд ускорений выделяется явно пониженное значение этого параметра для станции «Кабанск» ($A_{\max}=7.0$). Достигнутая здесь амплитуда ускорений втрое меньше, чем на станции «Тырган», расположенной на чуть большем эпицентральной расстоянии. Возможно, в случае Култукского землетрясения данный эффект объясняется более быстрым затуханием колебаний к востоку от впадины оз. Байкал. В пользу такого предположения свидетельствует также распределение макросейсмической интенсивности в пределах области осязчивости: более сильные эффекты наблюдались на больших расстояниях к западу и северо-западу от эпицентра, тогда как к востоку, на территории Забайкалья, колебания сравнительно быстро затухали. В целом же полученные данные следует считать весомым вкладом в формирование банка данных о сильных движениях в Прибайкалье.

Подводя итоги проведенного исследования, отметим, что в результате изучения очаговой зоны Култукского землетрясения 2008 г. и его афтершоков получены новые сведения об особенностях генерации тектонических напряжений и деструкции земной коры Южного Байкала. Собрана обширная макросейсмическая информация, позволившая оценить интенсивность сотрясений в разных азимутальных створах от эпицентра главного толчка. Важно отметить, что данная активизация сформировалась в сеймотектоническом режиме трансенсии (сочетание сдвиговых и сбросовых подвижек), характерном для земной коры всего юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны и связанного с его геолого-структурной позицией. В целом представленные сейсмологические материалы дополняют имеющуюся геолого-геофизическую информацию о юго-западном участке рифта и уточняют деструктивные особенности земной коры Култукской депрессии.

Л и т е р а т у р а

1. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. В. Прибайкалье [(2000 до н.э. – 500 н.э.)–1974 гг.; $M \geq 5.0$; $I_0 \geq 6$] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.
2. Radziminovitch N., Déverchère J., Melnikova V., San'kov V. and Giljova N. The 1999 M_w 6.0 earthquake sequence in the Southern Baikal rift, Asia, and its seismotectonic implications // Geophys. J. Int. – 2005. – 161. – P. 387–400. doi:10.1111/j.1365-246X.2005.02604.x.
3. Радзиминович Н.А., Мельникова В.И., Саньков В.А., Леви К.Г. Сейсмичность и сеймотектонические деформации земной коры Южно-Байкальской впадины // Физика Земли. – 2006. – № 11. – С. 44–62.
4. Арефьев С.С., Быкова В.В., Гилёва Н.А., Масальский О.К., Матвеев И.В., Матвеева Н.В., Мельникова В.И., Чечельницкий В.В. Предварительные результаты эпицентральных наблюдений Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2008. – 35. – № 4. – С. 5–15.
5. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Меньшико-

- ва Ю.А., Терешина Е.А., Борисова О.А., Папкина А.А., Зиброва Е.С. Каталог (оригинал) землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2008 г. с $K_p \geq 4$ ($N=9098$). – Иркутск: Фонды БФ ГС СО РАН, 2009. – 166 с.
6. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Терешина Е.А., Борисова О.А., Папкина А.А., Зиброва Е.С. Каталог Култукской последовательности землетрясений с $K_p > 6.5$ ($N=414$) в 2008 г., с сильным землетрясением 27 августа 2008 г. с $M_w=6.3$, $I_0=8-9$. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
 7. Бержинский Ю.А., Бержинская Л.П., Иванькина Л.И., Ордынская А.П., Радзиминович Я.Б., Черных Е.Н. Землетрясение на Южном Байкале 27 августа 2008 года // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 6. – С. 53–57.
 8. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Радзиминович Н.А. К вопросу об условиях генерации сильных землетрясений в Южном Байкале // ДАН. – 2009. – 429. – № 3. – С. 393–397.
 9. Леви К.Г., Бержинская Л.П., Бержинский Ю.А., Гилева Н.А., Имаев В.С., Лухнев А.В., Масальский О.К., Мельникова В.И., Ордынская А.П., Радзиминович Н.А., Радзиминович Я.Б., Ружич В.В., Саньков В.А., Смекалин О.П., Черных Е.Н., Чечельницкий В.В. Култукское землетрясение // Природа. – 2009. – № 7. – С. 56–63.
 10. Радзиминович Я.Б., Имаев В.С., Радзиминович Н.А., Ружич В.В., Смекалин О.П., Чипизубов А.В. Эффекты Култукского землетрясения 27 августа 2008 года с $M_w=6.3$ в ближней к эпицентру зоне: результаты макросейсмического обследования // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2009. – 36. – № 1. – С. 56–71.
 11. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Арефьев С.С., Быкова В.В., Масальский О.К. Култукское землетрясение 2008 г. с $M_w=6.3$ на юге Байкала: пространственно-временной анализ сейсмической активизации // Физика Земли. – 2012. – № 7. – С. 42–62.
 12. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Арефьев С.С., Быкова В.В., Середкина А.И. Култукское землетрясение 2008 г. с $M_w=6.3$ на юге Байкала: напряженно-деформированное состояние очаговой области по данным об афтершоках // Физика Земли. – 2013. – № 4. – С. 120–134. doi:10.7868/S0002333713040078.
 13. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
 14. Kissling E. Programm VELEST users Guide-Short Introduction, Internet version. <ftp://ftp-server.rm.ingv.it/pub/mario.anselmi/velest.pdf>.
 15. Lienert B.R. HYPOCENTER 3.2 A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. – 1994. https://www.google.com/search?q=HYPOCENTER+3.2+A+Computer+Program&aq=chrome..69i57.1789j0j4&sourceid=chrome&espv=210&es_sm=93&ie=UTF-8
 16. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Терешина Е.А., Борисова О.А., Папкина А.А., Зиброва Е.С. Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2008 г.. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
 17. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2008 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2008–2009. URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2008.
 18. Bulletin of the International Seismological Centre for 2008. – Thatcham, United Kingdom: ISC, 2010. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
 19. Леви К.Г., Бабушкин С.М., Бадардинов А.А., Буддо В.Ю., Ларкин Г.В., Мирошниченко А.И., Саньков В.А., Ружич В.В., Вонг Х.К., Дельво Д., Колман С. Активная тектоника Байкальской впадины // Геология и геофизика. – 1995. – 36. – № 10. – С. 154–163.
 20. Арефьев С.С. О картировании основных параметров сейсмического режима // Оценка эффекта сильных землетрясений (Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 30). – М.: Наука, 1989. – С. 4–14.
 21. Шебалин Н.В., Арефьев С.С., Васильев В.Ю., Татевосян Р.Э. От сейсмичности площадей к структуре сейсмичности // Физика Земли. – 1991. – № 9. – С. 20–28.

22. **Логачев Н.А.** История и геодинамика Байкальского рифта // Геология и геофизика. – 2003. – **44**. – № 5. – С. 391–406.
23. **Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Н.А., Масальский О.К., Чечельницкий В.В.** Сейсмичность Байкальской рифтовой зоны за период цифровой регистрации землетрясений (2001–2006 гг.) // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2009. – **36**. – № 1. – С. 40–55.
24. **Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий.** М-б 1:8000000 / Под ред. В.Г. Трифонова. – М.: ГИН АН СССР, 1986. – 1 л.
25. **Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы** / Под ред. В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, СО, 1977. – 303 с.
26. **Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Шелудько И.Ф., Мандельбаум М.М., Селезнёв В.С., Соловьёв В.М.** Изучение земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинного сейсмического зондирования // Физика Земли. – 1999. – № 7–8. – С. 74–93.
27. **Крылов С.В., Селезнёв В.С., Соловьёв В.М., Петрик Г.В., Шелудько И.Ф.** Изучение Байкальской рифтовой впадины методом сейсмической томографии на преломленных волнах // ДАН. – 1995. – **345**. – № 5. – С. 674–677.
28. **Зорин Ю.А., Мордвинова В.В., Турутанов Е.Х., Беличенко В.Г., Мазукабзов А.М., Косарев Г.Л.** Новые геофизические данные о надвигах в Прибайкалье, Западном Забайкалье и Центральной Монголии // Геотектоника. – 2002. – № 3. – С. 40–52.
29. **Шерман С.И., Днепровский Ю.И.** Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения. – Новосибирск: Наука, СО, 1989. – 157 с.
30. **Парфеевец А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И., Лухнев А.В.** Эволюция напряженного состояния земной коры Монголо-Байкальского подвижного пояса // Тихоокеанская геология. – 2002. – **21**. – № 1. – С. 14–28.
31. **Юнга С.Л.** Сеймотектонические деформации и напряжения в складчатых поясах неотектонической активизации Северной Евразии // Физика Земли. – 1996. – № 12. – С. 37–58.
32. **Мельникова В.И., Радзиминович Н.А.** Параметры сеймотектонических деформаций земной коры Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным // ДАН. – 2007. – **416**. – № 4. – С. 543–545.
33. **Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Балжинням И.** Юго-западная граница Байкальской рифтовой зоны по данным о механизме очагов землетрясений // Вулканология и сейсмология. – 1983. – № 2. – С. 74–83.
34. **Мельникова В.И., Гилёва Н.А., (отв. сост.), Ландер А.В., Середкина А.И., Татомир Н.В.** Каталог механизмов очагов землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
35. **Агафонов Б.П.** Денудация склонов при сейсмовоздействиях умеренной интенсивности (на примере Тункинского землетрясения 1995 г.) // Геоморфология. – 1999. – № 4. – С. 50–55.
36. **Агафонов Б.П.** Тектонически раздробленные склоны в зонах активных разломов – чувкие индикаторы умеренных сейсмических воздействий // Вулканология и сейсмология. – 2002. – № 1. – С. 61–71.
37. **Голенецкий С.И.** Еловское землетрясение 29 июня 1995 года с $M_S=5.9$, $I_0=7$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 183–187.
38. **Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф.** Развитие шкал типа MSK // Магнитное поле Земли: математические методы описания. Проблемы макросейсмологии. (Вычислительная сейсмология; Вып. 34.). – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.