

ЗАГАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 1 февраля 2011 г. с $K_p=13.2$, $M_w=4.7$, $I_0=6$ (Забайкалье)

В.И. Мельникова^{1,2}, Н.А. Гилёва², А.И. Середкина¹, Я.Б. Радзиминович^{1,2}, Ц.А. Тубанов³

¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия, vimel@crust.irk.ru

²Байкальский филиал ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия, nagileva@crust.irk.ru

³Геологический институт ГС СО РАН (ГИ ГС СО РАН),
Улан-Удэ, Россия, geos@gin.bsnet.ru

На территории Забайкалья, характеризующейся весьма умеренной сейсмичностью, 1 февраля 2011 г. в 12^h53^m произошло ощутимое землетрясение с $M_w=4.7$ [1], эпицентр которого приурочен к северо-западному склону Заганского хребта (рис. 1). По своему местоположению данное сейсмическое событие было названо Заганским.

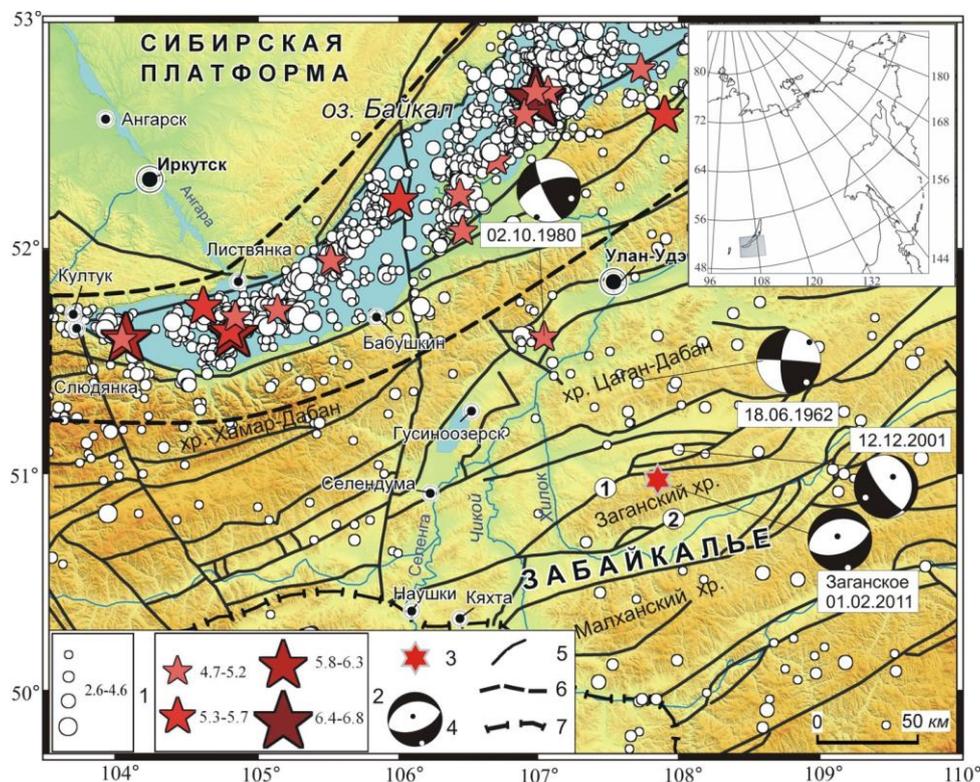


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений юго-западной части Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) и Забайкалья за период 1957–2012 гг.

1 – эпицентры землетрясений с $M \leq 4.6$ (магнитуды пересчитаны из энергетических классов согласно [2]); 2 – эпицентры умеренных и сильных землетрясений и диапазоны их магнитуд [3]; 3 – эпицентр Заганского землетрясения; 4 – стереограмма фокального механизма в проекции нижней полусферы (выходы главных осей сжатия и растяжения указаны черными и белыми точками); 5 – активные кайнозойские разломы по [4], при этом Тугнуй-Кондинский и Хилокский разломы, ограничивающие Заганский хребет с северо-запада и юго-востока, обозначены цифрами в кружках (1 и 2); 6 – условные границы БРЗ; 7 – государственная граница.

Основные параметры Заганского землетрясения были определены по данным 28 региональных станций Байкальского и Бурятского филиалов ГС СО РАН [5, 6]. В качестве дополнительной информации использовались материалы наблюдений станций Улан-Батор (Монголия) и Хайлар (Китай) [3]. Ближайшими к эпицентру были станции «Хурамша» ($\Delta=95.1$ км) и «Улан-Удэ» ($\Delta=99.7$ км), а в целом эпицентральные расстояния не превышали 1000 км (рис. 2 а).

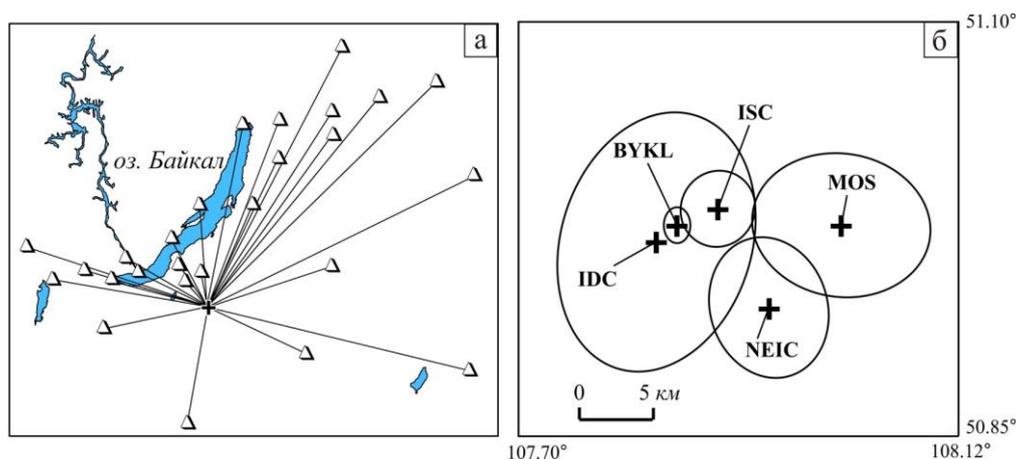


Рис. 2. Пространственное положение эпицентра Заганского землетрясения

a – схема местоположения эпицентра относительно региональных сейсмических станций, записи которых использовались при обработке материалов наблюдений; *б* – решения эпицентра главного толчка и эллипсы горизонтальных ошибок по данным разных сейсмологических агентств (см. [3]).

Основные параметры данного события, полученные в различных сейсмологических агентствах, представлены в табл. 1, из которой следует, что все имеющиеся решения неплохо согласуются между собой, при этом максимальный разброс в местоположении эпицентра не превышает 12 км (рис. 2 б), а наименьшие ошибки локализации отмечаются в решении агентства ВУКЛ (Байкальский филиал ГС СО РАН).

Таблица 1. Основные параметры Заганского землетрясения 1 февраля 2011 г., определенные в различных сейсмологических агентствах [3]

Агент-ство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источ-ник
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
ВУКЛ	12 53 51.30	0.20	50.98	0.01	107.85	0.02	26*		$K_p=(13.2\pm 0.2)/24$, $M_w^*=4.7/10$	[1]
MOS	12 53 53.10	1.38	50.98	0.04	108.01	0.09	20		$MPSP=4.9/37$	[7]
IDC	12 53 52.39	0.35	50.97	0.08	107.83	0.09	16.6	2.2	$m_b=4.1/25$, $M_s=3.9/28$	[3]
NEIC	12 53 53.05	0.18	50.93	0.04	107.94	0.06	17.1		$m_b=4.7/46$	[3]
ISC	12 53 52.45	0.24	50.99	0.02	107.89	0.03	12.7	1.3	$M_s=4.0/28$, $m_b=4.6/89$	[3]

Примечание. Звездочкой (*) обозначены значения глубины гипоцентра (h) и моментной магнитуды (M_w) из работы [8].
 Расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. ежегоднику.

Для определения очаговых параметров Заганского землетрясения были использованы его записи на широкополосных каналах цифровых сейсмических станций сетей IRIS. Анализу подвергались только сейсмограммы с высоким соотношением сигнал/шум и нормальной поляризацией. Всего для инверсии тензора сейсмического момента были отобраны записи 10 станций, расположенных в разных азимутах от эпицентра рассматриваемого сейсмического события (рис. 3). Диапазон эпицентральных расстояний составил от 2304 до 4628 км.

Спектры основной моды поверхностных волн были получены для каждой трассы «эпицентр-станция» с помощью метода спектрально-временного анализа (СВАН) [9] в диапазоне периодов колебаний $T=30-55$ с.

Тензор сейсмического момента (в приближении двойной пары сил – double-couple) и глубина гипоцентра рассчитывались по полученным амплитудным спектрам поверхностных волн по программе, разработанной в ИТПЗ РАН [10]. Корректность применения данного метода к региональным сейсмическим событиям средних магнитуд рассмотрена в работах [11, 12].

В качестве дополнительной информации были использованы знаки первых вступлений объемных волн, полученные по записям короткопериодных региональных сейсмических станций [13]. Для каждой комбинации очаговых параметров рассчитывалась диаграмма направленности излучения объемных волн и производилось ее сравнение с наблюдаемыми знаками вступлений. Оценка качества полученного решения осуществлялась с помощью функции нормированной невязки (ϵ) [13].

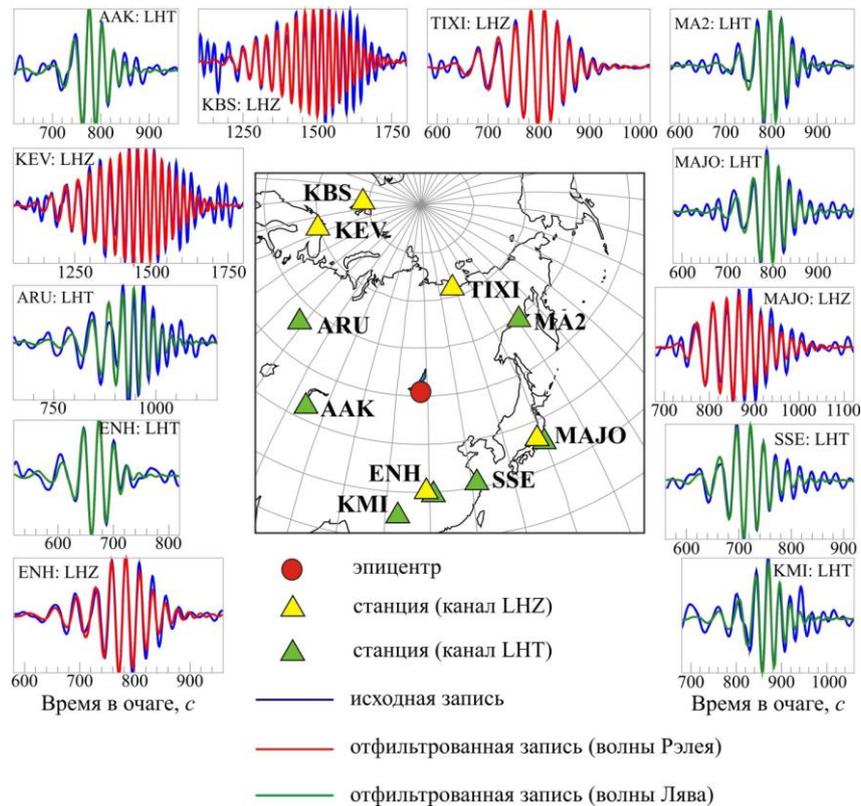


Рис. 3. Азимутальное распределение сейсмических станций, используемых для анализа очаговых параметров с отфильтрованными записями

Коды сейсмических станций соответствуют международному стандарту.

Строение земной коры под сейсмическими станциями задавалось моделью 3SMAC [14] в окрестности очага землетрясения – моделью CRUST 2.0 [15]. Для описания верхней мантии и расчета затухания поверхностных волн использовалась сферически симметричная модель PREM [16].

В результате инверсии было получено решение механизма очага со следующими параметрами плоскостей разрыва (STK , DP , $SLIP$): NP_1 : 71° , 55° , -94° ; NP_2 : 258° , 35° , -84° (рис. 4 а). Глубина гипоцентра составила 26 км (рис. 4 б), скалярный сейсмический момент $M_0=0.12 \cdot 10^{17}$ Н·м, моментная магнитуда $M_w=4.7$ и значение функции нормированной невязки $\varepsilon=0.219$.

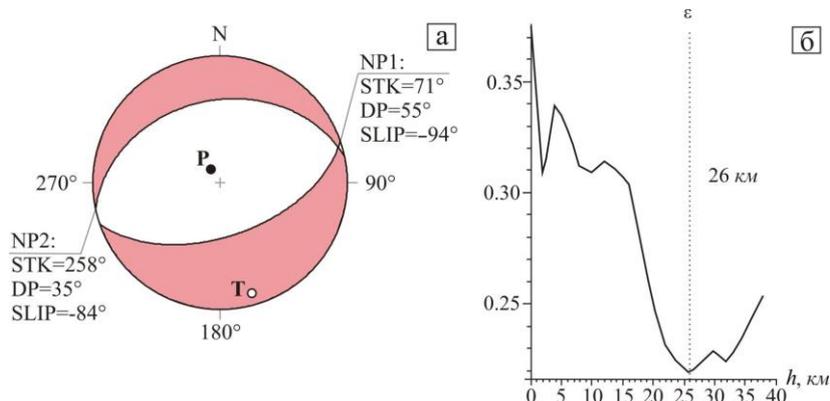


Рис. 4. Механизм очага Заганского землетрясения (а) в проекции нижней полусферы и зависимость функции нормированной невязки от глубины очага землетрясения (б)

Выходы осей напряжений сжатия и растяжения обозначены черной и белой точками.

Тектоническая позиция очага. Территория, в пределах которой расположен Заганский хребет и эпицентр приуроченного к нему одноименного землетрясения, характеризуется разно-

возрастными геологическими структурами, сформированными в различных сеймотектонических обстановках. Новейшие тектонические движения здесь при общем слабом воздымании земной поверхности могут проявляться по-разному (от сбросов до сдвигов с компонентой сжатия). Об этом свидетельствуют механизмы очагов отдельных землетрясений, локализованных в радиусе приблизительно 100 км от эпицентра рассматриваемого события (рис. 1).

Сама структура Заганского хребта образует комплекс метаморфического ядра (КМЯ), выделяемого ранее как одноименный гранитогнейсовый вал, вытянутый в северо-восточном направлении и ограниченный с северо-запада и юго-востока мезозойскими впадинами [17]. В пределах КМЯ выделяется зона самого ядра, сложенная разнообразными гранитоидами, и зона пластического течения (срыва), которая обрамляет ядро и сложена разгнейсованными гранитоидами и разнообразными по структуре и составу тектонитами. Область срыва связана с высокими скоростями тектонических деформаций, именно здесь возможно резкое снятие тектонических напряжений и развитие хрупких дислокаций.

Макросейсмические данные. Полевое обследование последствий Заганского землетрясения в населенных пунктах, испытавших наибольшие сотрясения, было выполнено сотрудниками Геологического института СО РАН и Бурятского филиала ГС СО РАН. Кроме этого, Байкальским филиалом ГС СО РАН была осуществлена почтовая рассылка опросных листов, позволившая установить границы области осязтимости и оценить интенсивность сотрясений в дальней зоне (рис. 5).

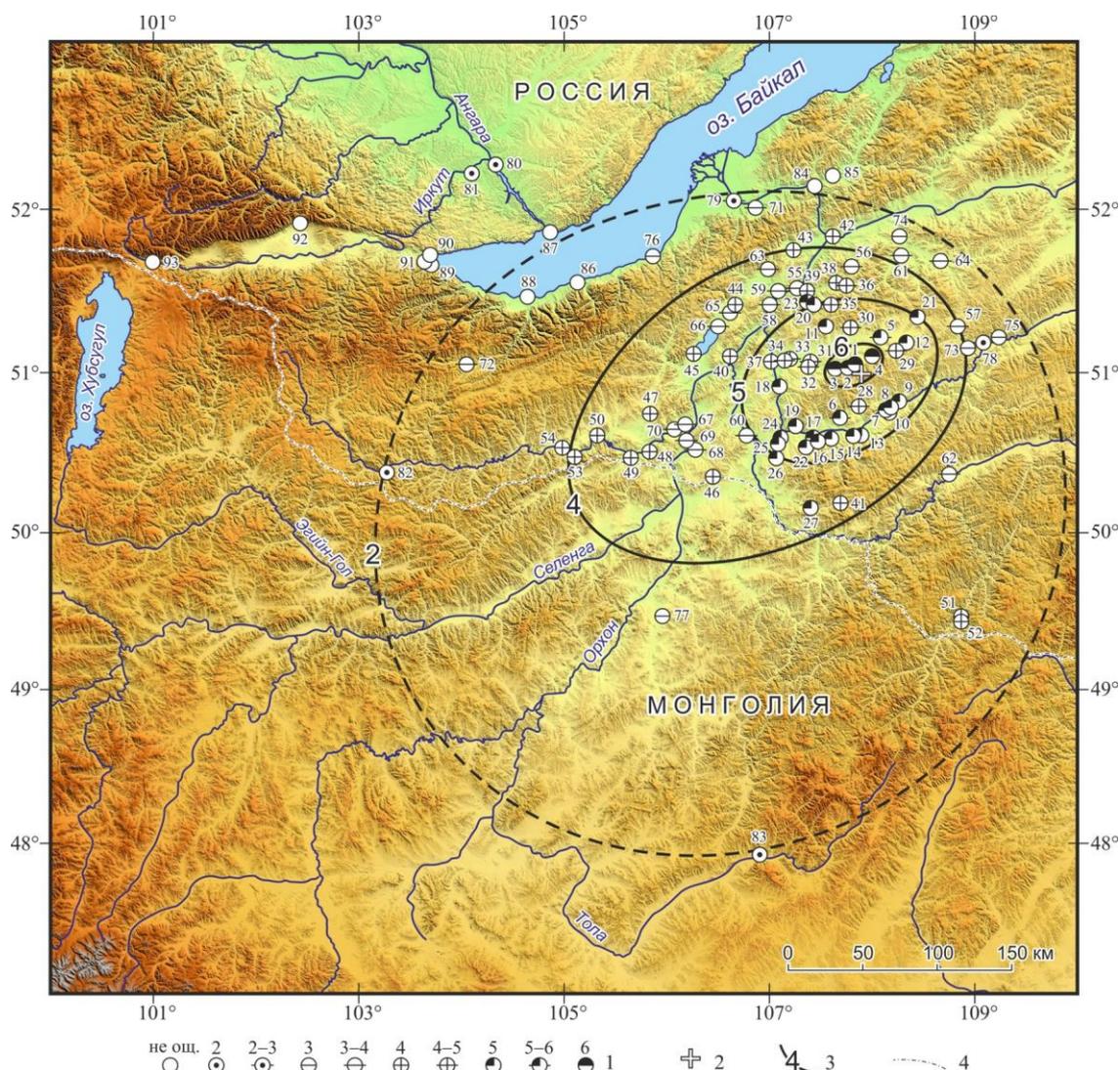


Рис. 5. Схема изосейст Заганского землетрясения 1 февраля 2011 г. в 12^h53^m с $M_w=4.7$

1 – интенсивность сотрясений, баллы по шкале MSK-64; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – изосейста; 4 – государственная граница.

Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений в ближней к эпицентру зоне составила $I=6$ баллов по шкале MSK-64 (рис. 6, табл. 2). В населенных пунктах *Мухоршибирь*, *Новый Заган*, *Харашибирь* и *Шаралдай*, при эпицентральных расстояниях до ~ 20 км, землетрясение отчетливо ощущалось всеми жителями. Их реакция варьировалась от испуга до паники; некоторые жители в спешке покидали помещения. Отдельные люди, находившиеся в момент землетрясения на открытом воздухе, ощущали «толчки» или «дрожь». Повреждения зданий сводились главным образом к трещинам в штукатурке и выпадению отдельных ее кусков (рис. 7), кроме этого, согласно результатам опроса очевидцев, зафиксированы случаи нарушения кладки кирпичных печей. В единичных случаях отмечено образование трещин в оконных стеклах. Макросейсмические проявления, имевшие массовый характер, включали сильные колебания мебели (в том числе тяжелой), падение незакрепленных предметов на столах и полках, звон и дребезжание посуды в шкафах, сильное раскачивание висячих предметов.

Интенсивность сотрясений $I=5$ баллов наблюдалась на расстояниях до ~ 100 км. В населенных пунктах, расположенных в зоне пятибалльных сотрясений, землетрясение также ощущалось всеми жителями, находившимися в помещениях. Люди испытывали испуг, некоторые в панике покидали помещения. В зданиях отмечено появление тонких трещин в штукатурке; прочие макросейсмические эффекты сводились к дрожанию и раскачиванию мебели, падению или смещению незакрепленных предметов, скрипу стен, раскачиванию висячих предметов. Многие очевидцы описывают землетрясение как резкий, сильный толчок – «как будто тяжелая машина ударила в стену дома».

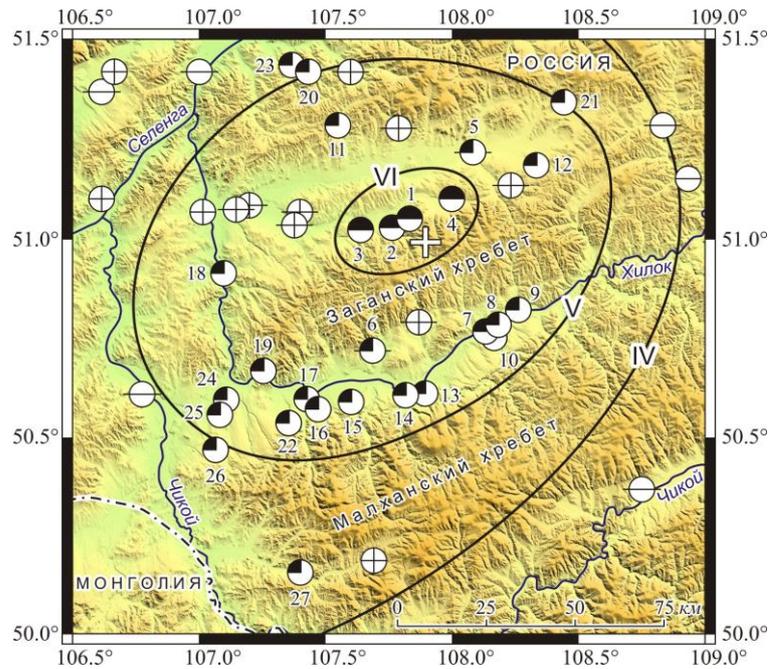


Рис. 6. Макросейсмические проявления Заганского землетрясения в пределах зоны 5-балльных эффектов

Условные обозначения см. на рис. 5. Номера населенных пунктов соответствуют табл. 2.



Рис. 7. Повреждения штукатурки (указано красными стрелками) в зданиях при Заганском землетрясении а – в здании психоневрологического диспансера, с. Новый Заган; б – в двухэтажном деревянном здании Дома детского творчества, с. Мухоршибирь.

Таблица 2. Макросейсмические сведения о Заганском землетрясении 1 февраля 2011 г. с $M_w=4.7$

№	Пункт	φ° , N	λ° , E	Δ , км	Звук	№	Пункт	φ° , N	λ° , E	Δ , км	Звук
<u>6 баллов</u>						46	Кяхта	50.35	106.45	121	
1	Мухоршибирь	51.05	107.83	8	гул	47	Боргой	50.74	105.84	143	
2	Новый Заган	51.03	107.76	8	гул	48	Ёнхор	50.51	105.83	151	
3	Шаралдай	51.02	107.64	15	гул	49	Боций	50.47	105.65	165	
4	Харашибирь	51.10	108.00	17	гул	50	Петропавловка	50.61	105.32	182	
<u>5–6 баллов</u>						51	Укыр	49.47	108.87	183	
5	Тугнуй	51.22	108.08	31	гул	52	Менза	49.43	108.87	186	
6	Новосретенка	50.72	107.69	31		53	Желтура	50.47	105.10	201	
<u>5 баллов</u>						54	Оёр	50.53	104.98	207	
7	Пески	50.77	108.13	31	гул	<u>3–4 балла</u>					
8	Новая Зардама	50.78	108.18	32		55	Николаевский	51.65	107.80	74	
9	Красная Долина	50.82	108.26	34		56	Петровск-Забайкальский	51.28	108.83	76	
10	Старая Зардама	50.75	108.17	34		57	Большой Луг (Республика Бурятия)	50.61	106.78	86	
11	Бар	51.28	107.55	40	гул	58	Новая Брянь	51.72	108.28	87	гул
12	Никольск (Мухорши бирский район)	51.18	108.33	41		59	Красный Чикой	50.37	108.75	93	
13	Поселье	50.61	107.89	41	гул	60	Новоильинск	51.68	108.67	96	гул
14	Малый Куналей	50.61	107.82	42		61	Тохой	51.37	106.62	96	гул
15	Бичура	50.59	107.60	47		62	Гусиноозерск	51.28	106.50	100	
16	Дунда-Киреть	50.58	107.46	52		63	Джида	50.68	106.18	122	гул
17	Ара-Киреть	50.59	107.43	52		64	Усть-Кяхта	50.52	106.28	122	гул
18	Подлопатки	50.91	107.10	53	гул	65	Зарубино	50.58	106.19	125	
19	Верхний Мангиртуй	50.67	107.26	54	гул	66	Дырестуй	50.65	106.07	130	
20	Десятниково	51.42	107.43	56	гул	67	Селенгинск	52.01	106.86	133	
21	Саган-Нур	51.34	108.44	57		68	Булык	51.05	104.05	265	
22	Елань	50.54	107.36	60	гул	<u>3 балла</u>					
23	Бурнашево	51.43	107.37	61	гул	69	Баялга	51.15	108.93	78	
24	Окино-Ключи	50.59	107.11	67	гул	70	Заиграево	51.83	108.27	99	гул
25	Старые Ключи	50.56	107.08	72		71	Новопавловка	51.22	109.23	100	
26	Топка	50.47	107.07	79	гул	72	Бабушкин	51.71	105.86	160	
27	Кудара-Сомон	50.15	107.40	97	гул	73	Дархан (Монголия)	49.47	105.96	215	
<u>4–5 баллов</u>						<u>2–3 балла</u>					
28	Шибертуй	50.79	107.87	21	гул	74	Тарбагатай (Забайкальский край)	51.18	109.08	89	
29	Хонхой (Мухорши бирский район)	51.13	108.23	32		75	Кабанск	52.05	106.65	145	
30	Калиновка	51.28	107.79	33	гул	<u>2 балла</u>					
31	Зандин	51.07	107.40	33		76	Иркутск	52.27	104.33	281	
32	Гашей	51.03	107.38	33		77	Шелехов	52.21	104.10	293	
33	Цолга	51.08	107.20	47	гул	78	Закаменск	50.38	103.27	329	
34	Балта	51.07	107.15	50		79	Улан-Батор (Монголия)	47.92	106.91	346	
35	Большой Куналей	51.42	107.60	51		<u>Не ощущалось</u>					
36	Куйтун (Республика Бурятия)	51.53	107.75	62	гул	80	Татаурово	52.14	107.44	132	
<u>4 балла</u>						81	Турунтаево	52.20	107.62	136	
37	Зурган-Дэбэ	51.07	107.02	59	гул	82	Танхой	51.55	105.13	199	
38	Надеино	51.55	107.65	65		83	Листвянка	51.86	104.86	228	
39	Тарбагатай (Республика Бурятия)	51.50	107.37	67		84	Выдрино	51.47	104.64	229	
40	Новоселенгинск	51.10	106.62	87	гул	85	Слюдянка	51.66	103.71	297	
41	Малая Кудара	50.19	107.69	89		86	Култук	51.72	103.70	299	
42	Улан-Удэ	51.83	107.62	96		87	Талая	51.68	103.64	302	
43	Иволгинск	51.75	107.23	96		88	Аршан	51.91	102.43	389	
44	Жаргаланта	51.42	106.67	96		89	Монды	51.68	100.99	482	
45	Гусиное Озеро	51.11	106.26	112	гул						

Макросейсмические эффекты интенсивностью 4 балла были отмечены на расстоянии до ~200 км. Сотрясения отчетливо ощущались жителями сельских населенных пунктов, а также столицы Республики Бурятия – г. Улан-Удэ. При том, что численность населения города превышает 420000 человек, землетрясение почувствовали многие жители, вне зависимости от типа здания и этажа. В г. Улан-Удэ макросейсмические проявления сводились к скрипу полов и стен в деревянных домах, дребезжанию посуды и оконных стекол, а также раскачиванию висячих предметов.

В целом, область ощутимых эффектов при Заганском землетрясении 1 февраля 2011 г. охватила значительное пространство. Максимальные расстояния, на которых оно ощущалось с интенсивностью 2 балла, составило: 1) ~280–290 км к северо-западу (г. Иркутск, г. Шелехов), 2) ~330 км к западу (г. Закаменск) и 3) ~350 км к югу от эпицентра (г. Улан-Батор, Монголия).

Факт ощутимости Заганского землетрясения на большом удалении от эпицентра отчасти можно объяснить наличием в перечисленных населенных пунктах высотных зданий (пять этажей и выше). Такое объяснение отчасти подтверждается тем, что землетрясение не ощущалось в пунктах, расположенных на побережье оз. Байкал, между эпицентральной зоной и Иркутском. Эти пункты застроены преимущественно одноэтажными деревянными домами, в которых слабые сотрясения, возможно, не превышали порога ощутимости.

Согласно модели источников землетрясений [18], разработанной в рамках подготовки карт общего сейсмического районирования территории России ОСР-2012, активные структуры в районе исследований обладают магнитудным потенциалом $M_{\max}=6.5$. Карта ОСР-2012-В, предназначенная для гражданского и промышленного строительства, предполагает повторяемость сейсмических воздействий интенсивностью 7 баллов в среднем раз в 500 лет. Характеристики Заганского землетрясения, в частности, магнитуда ($M_w=4.7$) и максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений ($I=6$ баллов), находятся в пределах, предусмотренных картой ОСР-2012-В, что не исключает возникновения в пределах Забайкалья более сильных сейсмических событий.

Обсуждение. На фоне слабых и средних по магнитуде землетрясений ($M \leq 4.0$), характерных для территории Забайкалья, Заганское землетрясение 1 февраля 2011 г. с $M_w=4.7$ стало одним из заметных и редких сейсмических событий. В период инструментальных наблюдений оно стало вторым по значимости после землетрясения 2 октября 1980 г. с $M_S=5.1$ (рис. 1), локализованного в районе Оронгойских впадин [19, 20]. Однако, согласно сохранившимся до наших дней историческим сведениям, в XIX веке в пределах рассматриваемого района все же отмечались сильные землетрясения, при этом магнитуда некоторых из них могла превышать 6.0 [21].

Сопоставляя полученную сейсмологическую информацию и результаты детального изучения геологической структуры Заганского хребта и смежных впадин, можно заметить, что очаг Заганского землетрясения хорошо вписывается в модель образования и эволюции одноименного комплекса метаморфического ядра, основанную на соотношении процессов магматизма и растяжения [17]. Так, глубина гипоцентра ($h=26$ км) этого события позволяет предположить, что при землетрясении активизировалась зона глубинного срыва (детachment) в области его сочленения с листрическими разломами смежной Тугнуйской впадины. Этим, возможно, и объясняется тот факт, что в сейсмическом очаге в плоскостях разрывов северо-восточного простирания (в северных румбах) реализовались сбросовые смещения (рис. 4).

Структурная позиция очага, по всей видимости, оказала влияние и на конфигурацию макросейсмического поля, показывающую весьма неравномерное распределение интенсивности сотрясений в пределах области ощутимости (рис. 5). Макросейсмические эффекты интенсивностью более 4 баллов распространены главным образом к западу и юго-западу от эпицентра. Напротив, к северу и северо-востоку от его местоположения изосейсты сближаются, а интенсивность сотрясений быстро затухает с расстоянием. Не исключено, что это связано с механизмом сейсмического источника и эффектом направленности излучения.

Выводы

1. Заганское землетрясение 1 февраля 2011 г. с $M_w=4.7$ можно рассматривать как одно из наиболее значительных сейсмических событий, зарегистрированных в Забайкалье за период инструментальных сейсмологических наблюдений. Подобные землетрясения на рассматриваемой территории могут создавать реальную угрозу повреждения или разрушения зданий и сооружений, характеризующихся недостаточной сейсмостойкостью.

2. Характер разрядки напряжений в очаге данного сейсмического события обусловлен его тектонической позицией и свидетельствует о локальных проявлениях в регионе Забайкалья малоинтенсивных процессов континентального растяжения.

Л и т е р а т у р а

1. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Анисимова Л.В., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Дворникова В.И., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Терёшина Е.Н., Зиброва Е.С., Борисова О.А., Папкина А.А., Архипенко Н.С. (сост.). Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p > 7.5$ за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.
2. Rautian T.G., Khalturin V.I., Fujita K., Mackey K.G., Kendall A.D. Origins and methodology of the Russian energy K -class system and its relationship to magnitude scales // Seismological Research Letters. – 2007. – 78. – № 6. – P. 579–590. doi:10.1785/gssrl.78.6.579.
3. International Seismological Centre (ISC), On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2014. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
4. Булгатов А.Н., Гордиенко И.В., Зайцев П.Ф., Турунхаев В.И. Геодинамическая карта Байкальского региона и сопредельных территорий. М 1:2 000 000. Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН, 2003.
5. Гилёва Н.А., Кобелева Е.А., Масальский О.К. (отв. сост.). Сейсмические станции Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН (код сети ВУКЛ) в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.
6. Тубанов Ц.А., Санжиева Д.П.-Д. (отв. сост.). Сейсмические станции Бурятского филиала ФИЦ ЕГС РАН (код сети BURS) в 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD-ROM.
7. 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.
8. Середкина А.И. Очаговые параметры ощутимых землетрясений Прибайкалья // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – С. 300–304.
9. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В., Букчин Б.Г., Бармин М.П., Ратникова Л.И., Итс Е.Н. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. – М.: Наука, 1986. – 278 с.
10. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // Физика Земли. – 1989. – № 9. – С. 34–41.
11. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента прибайкальских землетрясений по поверхностным волнам // ДАН. – 2013. – 451. – № 1. – С. 91–94. doi:10.7868/S0869565213190213.
12. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // Физика Земли. – 2014. – № 3. – С. 3–114. doi:10.7868/S0002333714030090.
13. Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R. Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 21 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // Geophysical Journal International. – 2001. – 144. – № 1. – P. 206–220. doi:10.1046/j.1365-246x.2001.00313.x.
14. Nataf H.-C., Ricard Y. 3SMAC: on a priori tomographic model of the upper mantle based on geophysical modeling // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1996. – 95. – № 1–2. – P. 101–122. doi:10.1016/0031-9201(95)03105-7.
15. Bassin C., Laske G., Masters G. The current limits of resolution for surface wave tomography in North America // EOS, Trans. AGU. – 2000. – 81. – F897.
16. Dziewonski A.M., Anderson D.L. Preliminary Reference Earth Model // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1981. – 25. – № 4. – P. 297–356. doi:10.1016/0031-9201(81)90046-7.
17. Склярёв Е.В., Мазукабзов А.М., Мельников А.И. Комплексы метаморфических ядер кордильерского типа. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 182 с.
18. Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-2012 // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2013. – 40. – № 4. – С. 5–20.
19. Голенецкий С.И., Демьянович М.Г., Семенов Р.М., Ясько В.Г., Авдеев В.А., Кашкин В.Ф., Мишарина Л.А., Серебренников С.П. Сейсмичность района Оронгойских впадин и землетрясение 2 октября 1980 г. в Западном Забайкалье // Геология и геофизика. – 1982. – № 9. – С. 45–54.

20. **Голенецкий С.И., Демьянович М.Г., Семенов Р.М., Ясько В.Г., Авдеев В.А., Кашкин В.Ф., Мишарина Л.А., Серебrenников С.П.** Землетрясение 2 октября в Западном Забайкалье // Землетрясения в СССР в 1980 году. – М.: Наука, 1983. – С. 59–65.
21. **Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. (отв. сост.).** V. 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.