

**СИЛЬНЫЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО ФЛАНГА
БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА в 2014 г.: УРИКСКОЕ 1 ноября с $K_p=13.6$,
 $M_w=4.6$, $I_0=7-8$ и ХУБСУГУЛЬСКОЕ 5 декабря с $K_p=13.9$, $M_w=4.9$, $I_0=7-8$
В.И. Мельникова¹, Н.А. Гилёва², А.И. Середкина³, Я.Б. Радзиминович¹**

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

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

³Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, ale@crust.irk.ru

Аннотация. В статье рассмотрены два землетрясения: Урикское 1 ноября 2014 г. ($M_w=4.6$) и Хубсугульское 5 декабря 2014 г. ($M_w=4.9$), произошедшие на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Первое из них локализовано в зоне Главного Саянского разлома, второе – на севере оз. Хубсугул. Для этих землетрясений по амплитудным спектрам поверхностных волн был рассчитан тензор сейсмического момента (механизм очага, скалярный сейсмический момент, моментная магнитуда и глубина гипоцентра). Установлено, что гипоцентры землетрясений располагались в средней коре ($h=14-21$ км). Оба события произошли в сдвиговом поле напряжений, при этом в очаге Урикского землетрясения сдвиги сочетались со сбросовой компонентой смещений, а в очаге Хубсугульского – со взбросовой компонентой. В обоих случаях интенсивность сотрясений в ближайших населенных пунктах ($\Delta=42-124$ км) не превышала 4–5 баллов. Анализ исторической сейсмичности, сейсмологических данных об Урикском и Хубсугульском землетрясениях, а также тектонической позиции их очагов показал, что рассматриваемые события являются типичными для юго-западного фланга БРЗ и подтверждают наличие в этом районе зоны перехода от рифтовых структур центральных районов БРЗ к структурам регионального сжатия Северной Монголии.

Ключевые слова: сейсмичность, тензор сейсмического момента, юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.36

Для цитирования: Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Середкина А.И., Радзиминович Я.Б. Сильные землетрясения юго-западного фланга Байкальского рифта в 2014 году: Урикское 1 ноября с $K_p=13.6$, $M_w=4.6$, $I_0=7-8$ и Хубсугульское 5 декабря с $K_p=13.9$, $M_w=4.9$, $I_0=7-8$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020 – С. 350–363. doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.36

Введение. Юго-западный фланг Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) в Прибайкалье включает в себя Тункинскую систему рифтовых впадин, оз. Хубсугул с его горным обрамлением и часть Восточного Саяна, отделенного от Сибирской платформы с севера зоной Главного Саянского разлома (ГСР) (рис. 1 а). В сейсмичности этот район за период цифровой регистрации землетрясений (1998–2014 гг.) проявляется повышенной плотностью эпицентров в северо-западном (вдоль ГСР) и широтном (вдоль Тункинских впадин) направлениях (рис. 1 б). В основном здесь регистрируются умеренные и слабые сейсмические события, а моментные магнитуды относительно сильных толчков, произошедших за указанный период времени, не превышали $M_w \leq 4.9$ [1–4].

Землетрясения 1 ноября 2014 г. в 00^h51^m , $K_p=13.6$, $M_w=4.6$ и 5 декабря 2014 г. в 18^h04^m , $K_p=13.9$, $M_w=4.9$ [5], названные по местоположению эпицентров Урикским и Хубсугульским, произошли в различных сеймотектонических условиях. Очаг первого события сформировался в зоне ГСР, второго – в северной части впадины оз. Хубсугул. Очевидно, что детальная сейсмологическая информация об этих землетрясениях будет полезна для уточнения сейсмической опасности рассматриваемой территории и оценки общей геодинамической обстановки в регионе.

Инструментальные данные. Локализация Урикского и Хубсугульского землетрясений была выполнена по данным 39 региональных сейсмических станций (рис. 2), большая часть которых относится к Байкальскому и Бурятскому филиалам ФИЦ ЕГС РАН, остальные к Алтае-Саянскому и Якутскому филиалам. Кроме этого, использовались материалы наблюдений трех временных широкополосных станций, установленных на юго-западном фланге БРЗ ИЗК СО РАН. Диапазон эпицентральных расстояний при Урикском и Хубсугульском событиях составил: 57–1382 км и 41–1483 км соответственно. В радиусе до 200 км располагалось шесть станций.

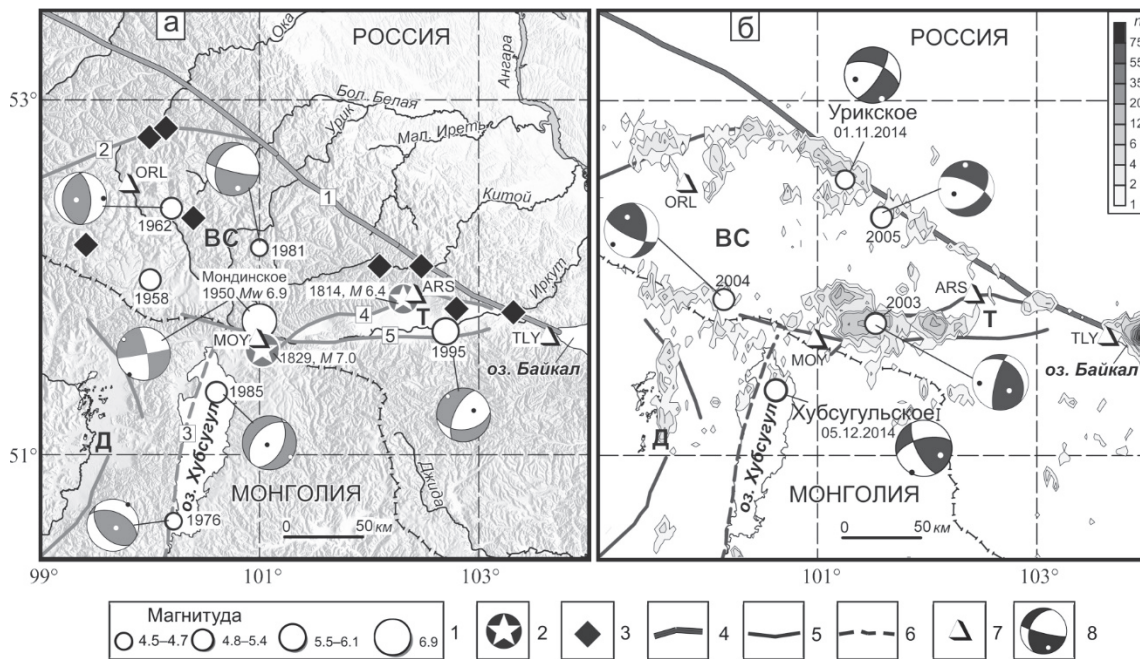


Рис. 1. (а) Цифровая модель рельефа, активные разломы и эпицентры сильных землетрясений ($M \geq 4.5$) юго-западного фланга БРЗ до 1998 г.; (б) Карта плотности эпицентров землетрясений ($K_p \geq 6$) и эпицентры сильных толчков за период наблюдений цифровой аппаратурой (1998–2014 гг.)

(а) 1–3 – эпицентры инструментальных (1), исторических (2) и палеоземлетрясений (3); 4–6 – активные разломы: 4 – структурный шов, 5 – региональные, 6 – предполагаемые (цифры в прямоугольниках: 1 – Главный Саянский, 2 – Жомболокский, 3 – Хубсугульский, 4 – Тункинский, 5 – Байкало-Мондинский по [6, 7]); 7 – сейсмические станции с международными кодами; 8 – фокальный механизм в проекции нижней полусферы, выходы осей напряжений сжатия и растяжения обозначены черными и белыми точками соответственно; ВС – Восточный Саян, Д – Дархатская впадина, Т – Тункинская система впадин. (б) Карта плотности эпицентров, построенная с использованием числа землетрясений n на единичной площадке осреднения размером $\varphi=0.04^\circ$ и $\lambda=0.04^\circ$.

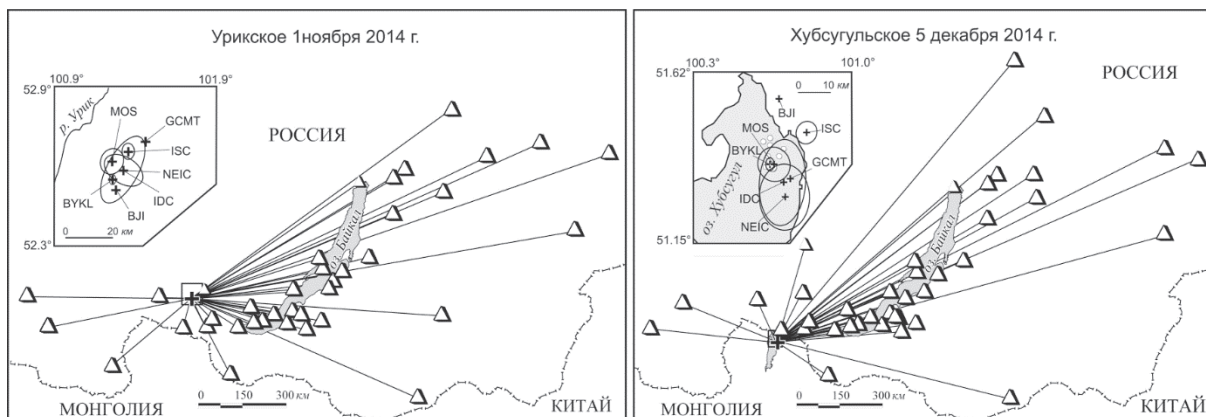


Рис. 2. Местоположение эпицентров Урикского и Хубсугульского землетрясений относительно региональных сейсмических станций, данные которых использовались при обработке (на врезках – решения эпицентров главного толчка и эллипсы горизонтальных ошибок по данным разных агентств, для Хубсугульского землетрясения кружками показаны эпицентры афтершоков)

Основные параметры Урикского и Хубсугульского землетрясений по материалам различных сейсмологических агентств приведены в табл. 1 и 2, из которых следует, что в обоих случаях решения неплохо согласуются между собой: при Урикском событии разброс в положении эпицентра составляет 25 км, а при Хубсугульском – 20 км (рис. 2). Наименьшие ошибки локализации того и другого эпицентров получены в агентстве ВУКЛ [5]. Значения глубин гипоцентров рассматриваемых сейсмических событий по данным разных агентств имеют большой разброс: 6–30 км при Урикском и 11–23 км при Хубсугульском (табл. 1 и 2). В агентстве ВУКЛ оценки этого параметра также не вполне надежны из-за отсутствия близких сейсмических станций.

Урикское землетрясение не сопровождалось усилением слабой сейсмичности. Примерно через час после него зарегистрирован лишь один афтершок с $K_p=6.9$. За Хубсугульским землетрясением в течение ближайших 10 часов последовали немногочисленные афтершоки с максимальным $K_p=11.9$ [8].

Таблица 1. Основные параметры Урикского землетрясения 1 ноября 2014 г. по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
BYKL	00 51 58.60	0.29	52.560	0.018	101.250	0.020	14–15*	–	$K_p=(13.6\pm 0.2)/27$, $(M_w)^*=4.6/12$	[5]
MOS	00 51 56.90	0.85	52.627	0.045	101.247	0.062	9	–	$M_S=4.2/24$, $MPSP=4.7/38$	[9]
IDC	00 51 57.35	0.45	52.592	0.122	101.312	0.107	0f	–	$m_b=4.1/23$, $M_S=3.9/31$	[10]
NEIC	00 51 58.97	1.93	52.594	0.042	101.316	0.112	10f	–	$m_b=4.6/51$	[10]
GCMT	00 52 01.00	0.30	52.700	–	101.450	–	29.8	1.5	$M_w=4.8/77$	[10]
ISC	00 51 58.89	0.45	52.664	0.030	101.346	0.038	9.6	2.89	$M_S=4.2/52$, $m_b=4.5/84$	[10]
ВЛ	00 51 58.00	–	52.520	–	101.270	–	6	–	$M_S=4.8/47$, $m_b=4.5/54$	[10]

Примечание. * – значения параметров рассчитаны по амплитудным спектрам поверхностных волн.

Таблица 2. Основные параметры Хубсугульского землетрясения 5 декабря 2014 г. по данным различных сейсмологических агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Гипоцентр						Магнитуда	Источник
			φ° , N	$\delta\varphi^\circ$	λ° , E	$\delta\lambda^\circ$	h , км	δh , км		
BYKL	18 04 19.70	0.34	51.370	0.020	100.630	0.019	20–21*	–	$K_p=(13.9\pm 0.2)/26$, $(M_w)^*=4.9/10$	[5]
MOS	18 04 19.30	0.95	51.370	0.045	100.648	0.027	11	–	$M_S=4.1/12$, $MPSP=5.1/11$	[9]
IDC	18 04 18.48	0.48	51.320	0.119	100.690	0.105	0f	–	$m_b=4.1/22$, $M_S=4.1/24$	[10]
NEIC	18 04 21.75	1.84	51.280	0.091	100.697	0.114	16.5	4.3	$m_b=4.9/112$	[10]
GCMT	18 04 21.80	0.20	51.330	–	100.720	–	22.8	1.0	$M_w=5.0/119$	[10]
ISC	18 04 21.10	0.49	51.457	0.029	100.792	0.042	11.2	3.08	$M_S=4.3/32$, $m_b=4.8/127$	[10]
ВЛ	18 04 18.30	–	51.550	–	100.670	–	11	–	$M_S=4.9/51$, $m_b=4.5/52$	[10]

Примечание. * – значения параметров рассчитаны по амплитудным спектрам поверхностных волн.

Механизмы очагов. В качестве исходных данных для расчета тензора сейсмического момента (ТСМ) Урикского и Хубсугульского землетрясений использовались записи поверхностных волн, зарегистрированных на каналах LHZ и LHT двенадцати и десяти цифровых широкополосных сейсмических станций сетей IRIS (в том числе на российских станциях «Петропавловск», «Арти», «Магадан») на эпицентральных расстояниях 2075–5300 км и 2038–5364 км соответственно (рис. 3 а и рис. 4 а). Диапазон периодов колебаний, в котором выделялась фундаментальная мода волн Рэля и Лява, составлял 30–70 с. Вычисление ТСМ проводилось методом [11, 12].

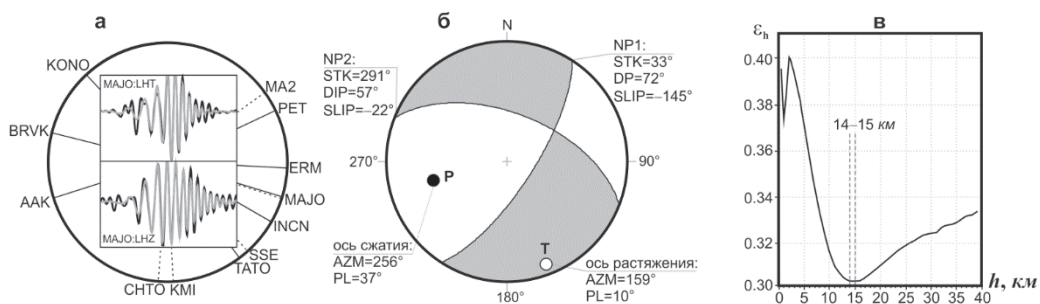


Рис. 3. Результаты расчета ТСМ Урикского землетрясения 2014 г.

а – азимутальное распределение сейсмических станций (с международными кодами), используемых для расчета амплитудных спектров поверхностных волн (сплошные и пунктирные линии проведены к станциям, для которых выделены волны Рэля и Лява соответственно), с примером фильтрации записей станции MAJO ($AZM=107.01^\circ$, $\Delta=3379$ км); б – механизм очага землетрясения в проекции нижней полусферы; в – зависимость частной функции нормированной невязки (ϵ_h) от глубины очага.

В результате инверсии установлено, что в очаге Урикского землетрясения в возможных плоскостях разрывов реализовались сдвиговые и сбросо-сдвиговые смещения (рис. 3 б). Глубина гипоцентра при значении функции нормированной невязки $\varepsilon=0.304$ составила $h=14\text{--}15$ км (рис. 3 в), скалярный сейсмический момент: $M_0=1.0 \cdot 10^{16}$ Н·м и моментная магнитуда: $M_{w_{\text{per}}}=4.6$. Сопоставляя полученное решение с данными GСMT-каталога ($NP1: 25^\circ, 86^\circ, -170^\circ, NP2: 295^\circ, 80^\circ, -4^\circ, M_0=1.88 \cdot 10^{16}$ Н·м, $M_{w_{\text{GСMT}}}=4.8$), отметим хорошую с учетом разницы в предположениях относительно модели очага согласованность результатов инверсий, выполненных различными методами. Несколько хуже согласуются значения глубины очага землетрясения (29.8 км – GСMT-каталог). Однако, похожие закономерности при определении глубин гипоцентров различными методами для землетрясений Прибайкалья отмечались и ранее [4].

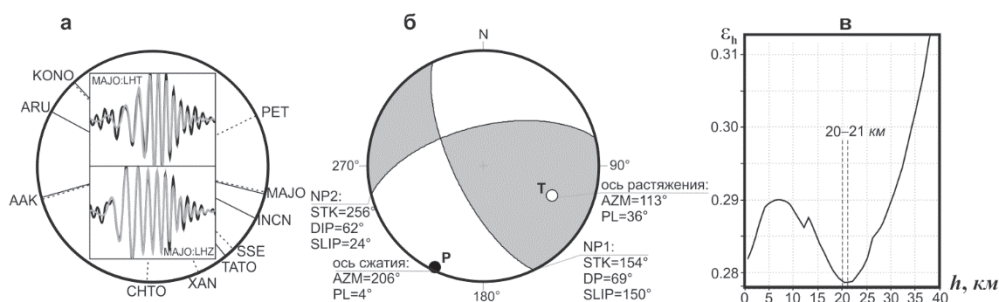


Рис. 4. Результаты расчета ТСМ Хубсугульского землетрясения 2014 г.

а – азимутальное распределение сейсмических станций (с международными кодами), используемых для расчета амплитудных спектров поверхностных волн (сплошные и пунктирные линии проведены к станциям, для которых выделены волны Рэля и Лява соответственно), с примером фильтрации записей станции MAJO ($AZM=104.35^\circ, \Delta=3384$ км); б – механизм очага землетрясения в проекции нижней полусферы; в – зависимость частной функции нормированной невязки (ε_h) от глубины очага.

Решение ТСМ для Хубсугульского землетрясения показало, что в его очаге осуществлялись сдвиговые смещения с небольшой взбросовой компонентой (рис. 4 б). Глубина гипоцентра при значении функции нормированной невязки $\varepsilon=0.279$ составила $h=20\text{--}21$ км (рис. 4 в), скалярный сейсмический момент: $M_0=2.7 \cdot 10^{16}$ Н·м и моментная магнитуда: $M_{w_{\text{per}}}=4.9$. Сопоставление полученного решения с данными GСMT-каталога ($NP1: 339^\circ, 74^\circ, -168^\circ, NP2: 245^\circ, 79^\circ, -17^\circ, M_0=3.52 \cdot 10^{16}$ Н·м, $M_{w_{\text{GСMT}}}=5.0, h=22.8$ км), в отличие от Урикского события, выявило существенную разницу в результатах инверсий, выполненных различными методами. Причиной расхождений могут служить довольно высокие погрешности определения M_{H} и M_{TP} компонент GСMT-тензора. В пользу рассчитанного в данной работе решения свидетельствует малое значение функции нормированной невязки. Кроме того, в отличие от GСMT-решения, полученный нами фокальный механизм характеризует не только основную, но и начальную фазу разрыва в очаге благодаря привлечению информации о знаках первых вступлений P -волн.

Макросейсмические данные. Очаг Урикского землетрясения располагался в ненаселенном горном районе, по этой причине сведения об осязательности непосредственно в эпицентральной области отсутствуют. Ближайшие населенные пункты, в которых наблюдались макросейсмические эффекты, расположены на расстоянии 57–60 км от эпицентра. Макросейсмическая информация была собрана в основном посредством почтовой рассылки опросных листов, кроме того, сведения о проявлениях землетрясения поступили также от сотрудников сейсмических станций региональной сети. Наряду с традиционными способами сбора макросейсмических данных, с высокой эффективностью была использована интерактивная анкета, размещенная на интернет-сайте БФ ФИЦ ЕГС РАН. Всего поступило 562 ответа, из них пригодно для обработки 531 сообщение.

С наибольшей интенсивностью 4–5 баллов по шкале MSK-64 [13] землетрясение ощущалось в населенных пунктах, расположенных в восточных румбах от эпицентра на расстоянии от 55 до 125 км (табл. 3). В с. Олот сильные сотрясения были замечены многими очевидцами, находившимися как в состоянии покоя, так и в движении, в том числе на открытом воздухе. В помещениях наблюдалось дребезжание посуды, стекол в шкафах, окон и дверей; раскачивание висячих предметов; скрип, дрожание и раскачивание мебели. Сходные или более сильные макро-

сейсмические эффекты наблюдались в с. *Новолетники*, где ощутимые колебания наблюдались на открытом воздухе и в стоящем автотранспорте.

С интенсивностью 4 балла землетрясение ощущалось главным образом в сельских населенных пунктах, расположенных на эпицентральных расстояниях от 60 до 200 км. Очевидцами отмечено дрожание и скрип мебели, легкое раскачивание висячих предметов, дребезжание посуды и оконных стекол, колебание жидкости в посуде.

Сотрясения интенсивностью 3–4 балла наблюдались на расстояниях от 88 до 230 км, в том числе в г. Иркутск, а также в других крупных городах Иркутской области (Ангарск, Шелехов, Черемхово, Тулун).

В целом макросейсмическое поле Урикского землетрясения выглядит резко асимметричным (рис. 5), что связано прежде всего с очень невысокой населенностью территории к западу от эпицентральной области и отсутствием информации из этих районов. Соответственно, распределение интенсивности сотрясений по площади также весьма неравномерно. Различия в оценке балльности в близкорасположенных пунктах достигают 1 балла; более того, некоторые пункты, в которых землетрясение не ощущалось, расположены поблизости от пунктов с наблюдаемыми четырехбалльными эффектами. Максимальная дистанция, на которой были зафиксированы ощутимые колебания, составляет 230–240 км.

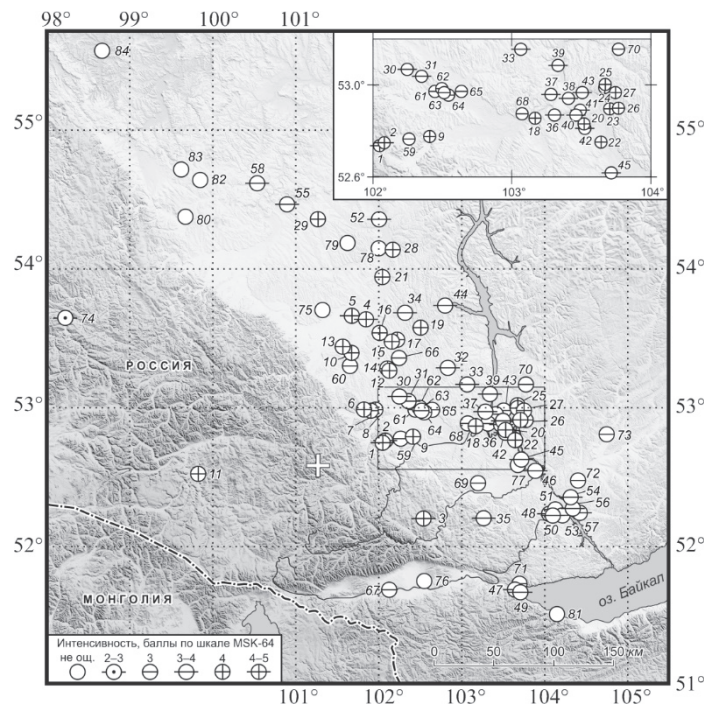


Рис. 5. Карта макросейсмических проявлений типа «пункты–баллы» Урикского землетрясения (крестиком обозначен инструментальный эпицентр. Номера пунктов соответствуют таковым в табл. 3; прямоугольником обозначена территория, показанная на врезке в более крупном масштабе)

Таблица. 3. Макросейсмические данные об Урикском землетрясении 1 ноября 2014 г.

№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта		№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта	
			φ°, N	λ°, E				φ°, N	λ°, E
4–5 баллов					7	пос. Чернушка 2-я	63	52.97	101.90
1	с. Оног	57	52.74	102.05	8	с. Инга	66	52.97	101.95
2	д. Ургантуй	60	52.75	102.08	9	с. Тальники	82	52.78	102.41
3	зимовье (гора Уныман-барон, река Шеломша)	97	52.19	102.55	10	уч. Среднепихтинский	95	53.38	101.67
4	с. Новолетники	124	53.62	101.86	11	с. Орлик	96	52.51	99.83
5	пос. Успенский 3-й	124	53.64	101.69	12	уч. Мариинск	97	53.26	102.13
4 балла					13	с. Хор-Тагна	98	53.42	101.57
6	пос. Новостройка	60	52.98	101.82	14	с. Бабагай	98	53.27	102.11
					15	с. Троицк	117	53.46	102.16

№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта	
			φ°, N	λ°, E
16	с. Моисеевка	119	53.53	102.01
17	д. Сорты	121	53.48	102.23
18	рп. Мишелевка	133	52.86	103.17
19	рп. Залари	139	53.56	102.51
20	с. Мальта	155	52.83	103.52
21	г. Зима	161	53.93	102.04
22	г. Усолье-Сибирское	163	52.75	103.65
23	с. Олонки	169	52.90	103.70
24	заимка Шипняговка	169	52.99	103.67
25	д. Воробьевка	170	53.00	103.67
26	заимка Грехневка	173	52.90	103.77
27	заимка Захаровская	174	52.97	103.75
28	г. Саянск	184	54.12	102.17
29	с. Кундуй	198	54.35	101.26
3–4 балла				
30	с. Саянское	88	53.07	102.25
31	с. Голуметь	91	53.04	102.36
32	пос. Забитуй	132	53.28	102.83
33	г. Черемхово	139	53.16	103.07
34	рп. Тыреть 1-я	142	53.67	102.31
35	пос. Тальяны	142	52.19	103.27
36	с. Холмушино	143	52.87	103.31
37	рп. Михайловка	144	52.96	103.28
38	д. Кочерикова	151	52.94	103.41
39	г. Свирск	151	53.09	103.33
40	рп. Тайтурка	153	52.87	103.46
41	рп. Средний	155	52.89	103.49
42	пгт. Белореченский	156	52.81	103.53
43	д. Буреть	158	52.97	103.51
44	с. Нукуты	165	53.72	102.80
45	пос. Тюменск	166	52.62	103.71
46	г. Ангарск	178	52.54	103.89
47	с/ст Талая	190	51.68	103.64
48	с. Баклаши	193	52.23	104.05
49	г. Слюдянка	195	51.66	103.71
50	г. Шелехов	197	52.21	104.10
51	с. Смоленщина	198	52.26	104.13

№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта	
			φ°, N	λ°, E
52	с. Уян	204	54.34	101.99
53	рп. Маркова	204	52.22	104.21
54	пос. Малая Топка	209	52.35	104.32
55	с. Шерагул	211	54.45	100.89
56	г. Иркутск	211	52.27	104.33
57	пос. Молодежный	217	52.24	104.42
58	г. Тулун	231	54.60	100.53
3 балла				
59	д. Невидимова	72	52.77	102.26
60	с. Черемшанка	85	53.29	101.65
61	д. Гусева	92	52.97	102.45
62	с. Нижняя Иреть	96	52.98	102.50
63	д. Шестакова	96	52.97	102.51
64	пос. Паточный	98	52.96	102.55
65	д. Бажей	104	52.97	102.64
66	с. Мойган	109	53.34	102.24
67	с. Кырен	114	51.68	102.13
68	с. Бельск	128	52.87	103.08
69	пос. Раздолье	132	52.44	103.20
70	пос. Бохан	181	53.16	103.77
71	пгт. Култук	191	51.72	103.70
72	с. Хомутово	213	52.47	104.40
73	пгт. Усть-Ордынский	237	52.80	104.75
2–3 балла				
74	с. Алыгджер	234	53.64	98.23
Не ощущалось				
75	с. Зулумаи	125	53.69	101.32
76	с. Тунка	126	51.74	102.54
77	с. Большая Елань	164	52.58	103.68
78	с. Кимильтей	182	54.14	101.99
79	с. Харик	189	54.24	101.66
80	с. Катарбей	226	54.36	99.68
81	г. Байкальск	230	51.51	104.15
82	с. Шеберта	247	54.63	99.84
83	с. Худоеланское	261	54.70	99.62
84	г. Алзамай	373	55.56	98.66

Сведения о макросейсмических проявлениях Хубсугульского землетрясения на территории Монголии отсутствуют. Вся имеющаяся информация об ощутимых эффектах относится к населенным пунктам на территории России, расположенным главным образом в северных и восточных румбах от эпицентра. Так же, как и в случае Урикского землетрясения, макросейсмические данные были получены посредством почтовой рассылки опросных листов и с помощью сотрудников сейсмических станций региональной сети. Использование интерактивной анкеты БФ ФИЦ ЕГС РАН показало несколько меньшую эффективность, однако все же позволило получить значительный объем данных о проявлениях землетрясения в крупных городах Иркутской области. Всего поступило 117 интерактивных анкет, из них пригодно для обработки 110.

Наибольшая интенсивность сотрясений, составившая $I=4-5$ баллов по шкале MSK-64, наблюдалась в ближайшем к эпицентру пос. *Монды* на эпицентральной дистанции $\Delta=42$ км (табл. 4). В помещениях наблюдалось дребезжание посуды и оконных стекол; скрип, дрожание и раскачивание мебели; сильное раскачивание висячих предметов. Ощущалось сотрясение зданий в целом. Землетрясение вызвало у очевидцев испуг, в отдельных случаях – панику и стремление покинуть помещение. Продолжительность сейсмических колебаний оценивается в 15–20 с.

Интенсивность сотрясений, равная 4 баллам, наблюдалась на эпицентральных расстояниях от 70 до 140 км. В у. *Хойто-Гол* очевидцы отмечали дребезжание посуды, окон и дверей; дрожание мебели; а также общее сотрясение зданий. Подобные эффекты наблюдались также в с. *Орлик* и с. *Жемчуг*.

Таблица 4. Макросейсмические данные о Хубсугульском землетрясении 5 декабря 2014 г.

№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта		№	Пункт	Δ, км	Координаты пункта	
			φ°, N	λ°, E				φ°, N	λ°, E
4–5 баллов					2–3 балла				
1	пос. Монды	42	51.68	100.99	15	с. Онот	180	52.74	102.05
4 балла					16	д. Ургантуй	182	52.75	102.08
2	у. Хойто-Гол	71	51.72	101.50		г. Усолье-Сибирское	257	52.75	103.65
3	с. Жемчуг	131	51.69	102.46	17				
4	с. Орлик	138	52.51	99.83	18	г. Черемхово	258	53.16	103.07
3–4 балла					19	г. Саянск	323	54.12	102.17
5	с. Туран	78	51.64	101.67	Не ощущалось				
3 балла					20	пос. Аршан	138	51.91	102.43
6	г. Закаменск	215	50.38	103.27	21	с. Тибельти	186	51.77	103.25
7	г. Слюдянка	215	51.66	103.71	22	с. Тальники	198	52.78	102.41
8	рп. Михайловка	253	52.96	103.28	23	д. Елоты	209	52.96	102.29
9	с. Мальта	255	52.83	103.52	24	уч. Мандагай	210	52.97	102.29
10	г. Шелехов	256	52.21	104.10	25	д. Верхняя Иреть	211	52.97	102.31
11	г. Ангарск	258	52.54	103.89	26	пос. Полежаева	212	52.97	102.33
12	с. Смоленщина	259	52.26	104.13	27	пос. Раздолье	212	52.44	103.20
13	г. Иркутск	273	52.27	104.33	28	с. Голуметь	219	53.04	102.36
14	пос. Молодежный	277	52.24	104.42	29	с. Нижняя Иреть	220	52.98	102.50

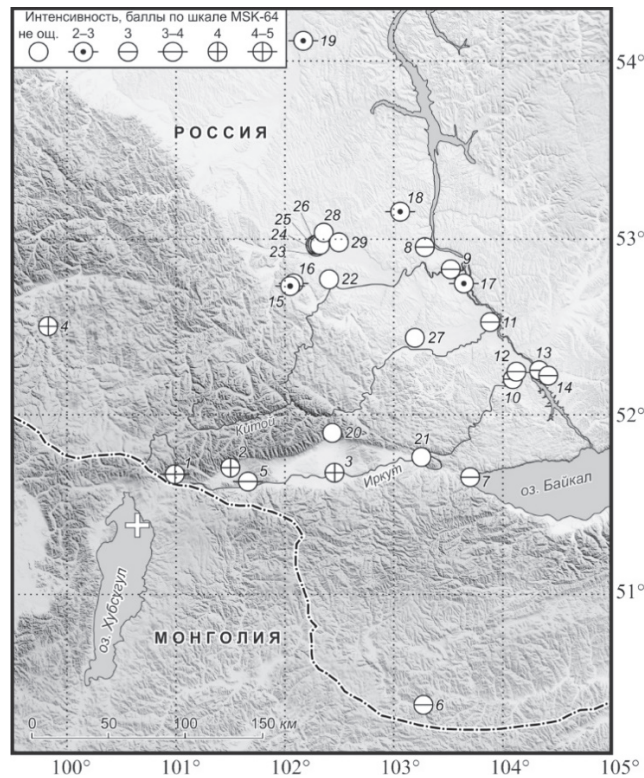


Рис. 6. Карта макросейсмических проявлений типа «пункты–баллы» Хубсугульского землетрясения (крестиком обозначен инструментальный эпицентр; номера пунктов соответствуют таковым в табл. 4)

Макросейсмическое поле Хубсугульского землетрясения в целом довольно типично для землетрясений юго-западного фланга БРЗ. Особенности размещения населенных пунктов в этой части Восточной Сибири, низкая населенность местности, а также отсутствие взаимодействия с монгольскими коллегами в аспекте сбора сведений об ощутимости не позволяют получить детальную картину распределения макросейсмических эффектов. Из имеющихся данных следует, что ощутимые сотрясения отчетливо проявились в населенных пунктах Тункинской системы впадин, а также в сравнительно крупных городах, расположенных вдоль долины

р. Ангара (рис. 6). В сельских населенных пунктах, расположенных между горами Восточного Саяна и долиной Ангары, сотрясения не ощущались или были настолько слабыми, что прошли незамеченными населением.

Сильные движения. Ближайшие к эпицентру Урикского землетрясения сейсмические станции расположены на расстояниях от 98 до 208 км (рис. 2). Наибольшее значение амплитуды ускорений $A_{\max}=4.4 \text{ см/с}^2$ зарегистрировано на станции «Аршан» (рис. 7), однако сопоставить инструментальные данные с макросейсмическими оказалось невозможным в силу отсутствия сведений из пос. Аршан. То же относится и к станции «Монды».

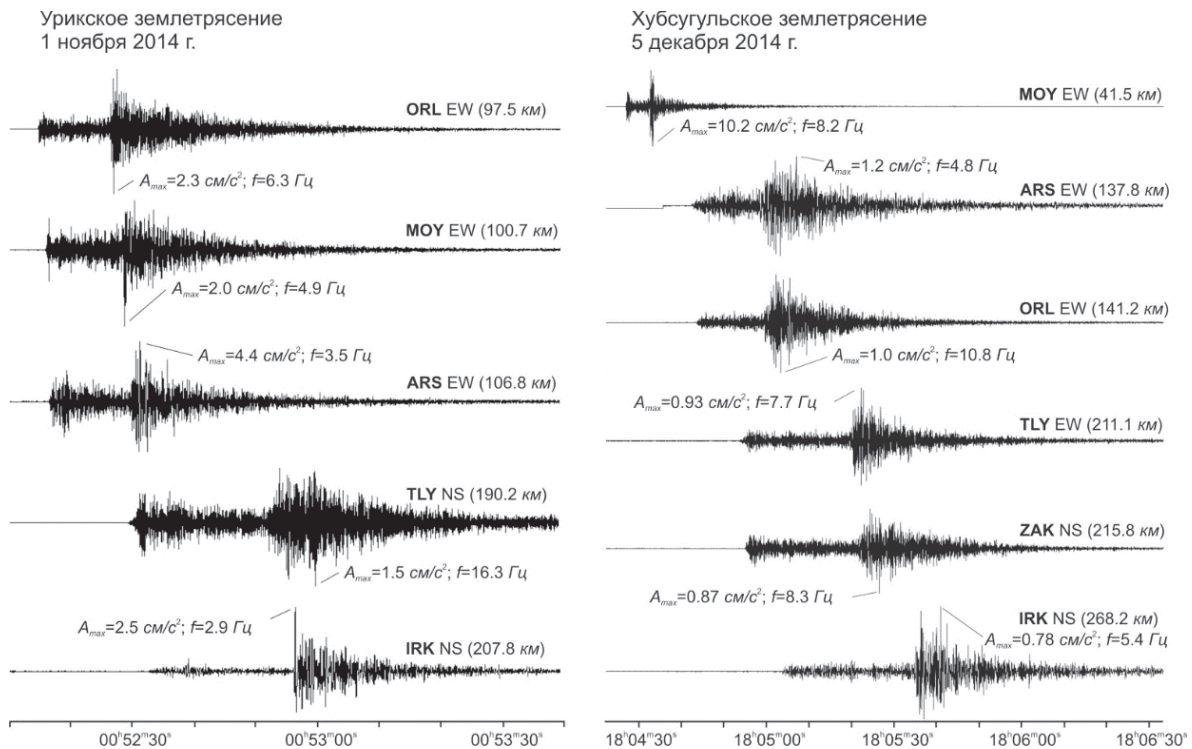


Рис. 7. Акселерограммы Урикского и Хубсугульского землетрясений, полученные на ближайших к эпицентру сейсмических станциях

На ближайшей к эпицентру сейсмической станции «Орлик» пиковые ускорения грунта составили $A_{\max}=2.3 \text{ см/с}^2$, что соответствует 3 баллам по шкале MMSK-92 [14]. В то же время наблюдаемые в с. Орлик макросейсмические эффекты соответствуют 4 баллам. Существенное расхождение отмечается также для станции «Талая», где максимальное ускорение составило $A_{\max}=1.5 \text{ см/с}^2$ (2 балла по шкале MMSK-92) при наблюдаемой макросейсмической интенсивности $I_i=3-4$ балла. Несколько лучше соотносятся инструментальные и макросейсмические оценки для сейсмической станции «Иркутск», где наблюдаемая интенсивность сотрясений оценивается в 3–4 балла (табл. 3), а пиковое ускорение грунта $A_{\max}=2.5 \text{ см/с}^2$ соответствует, согласно шкале MMSK-92, 3 баллам.

Записи пиковых ускорений грунта при Хубсугульском землетрясении были получены сейсмическими станциями региональной сети, расположенными на эпицентральных расстояниях от 42 до 270 км (рис. 2). Наибольшее значение ускорений $A_{\max}=10.2 \text{ см/с}^2$ (при частоте $f=8.2 \text{ Гц}$) было зарегистрировано на ближайшей к эпицентру станции «Монды» ($\Delta=42 \text{ км}$) (рис. 7) и, согласно инструментальной части шкалы MMSK-92 [14], соответствует 4 баллам. Наблюдавшиеся в пос. Монды макросейсмические эффекты оцениваются в 4–5 баллов (табл. 4); таким образом, инструментальная и макросейсмическая оценки интенсивности сотрясений для этого пункта не противоречат друг другу. Несколько хуже соотносятся оценки интенсивности, выполненные различными методами, для городов Иркутск и Закаменск, в которых макросейсмические эффекты оцениваются в 3 балла при пиковых ускорениях грунта, соответствующих лишь 2 баллам. Наихудшие результаты получены для с. Орлик. Несмотря на значительное эпицентральное расстояние ($\Delta\sim 140 \text{ км}$), землетрясение проявилось в селе с интенсивностью 4 балла, в то время

как значение пиковых ускорений на акселерограмме ($A_{\max}=1.0 \text{ см/с}^2$) соответствует только 2 баллам. Возможно, столь значительное расхождение между инструментальными и макросейсмическими оценками связано с частотным составом колебаний.

Тектоническая позиция очагов. В неотектонический этап развития юго-западный фланг БРЗ в пределах рассматриваемой территории (см. рис. 1) характеризуется общим сводовым поднятием и межгорным приразломным впадинообразованием. Деструкция и дифференциация земной коры, обновление разломов субширотного и субмеридионального простираний протекают здесь в морфоструктурах различных порядков на фоне преобладающих восходящих движений [15]. В целом рассматриваемый район представляет собой зону перехода от рифтовых структур центральных районов БРЗ к структурам регионального сжатия Северной Монголии.

Землетрясения, рассматриваемые в данной работе, имеют различные тектонические позиции. Так, очаг Урикского события приурочен к зоне ГСР (см. рис. 1), который рассматривается в качестве структурной границы между Саяно-Байкальской складчатой областью и стабильной в тектоническом отношении Сибирской платформой. Разлом протягивается от южного замыкания впадины оз. Байкал в северо-западном направлении приблизительно на 1000 км и отчетливо выражен в рельефе. Его ширина варьируется от 7–8 км на востоке до 50–60 км на западе, а глубина проникновения превышает 50 км. Время его заложения, ориентировочно, конец архея – начало протерозоя [16]. В кайнозое он характеризуется высокой тектонической активностью. Установлено, что в зоне разлома наблюдается смена направления подвижек: от правостороннего взбросо-сдвига в докайнозойское время до левосторонних сбросо-сдвиговых смещений с опусканием северо-восточного крыла в кайнозое [17]. Палеосейсмогеологические исследования показали, что ГСР и его ответвления в течение голоцена неоднократно подвергались сейсмогенному обновлению при землетрясениях с $M=7.6\text{--}8.0$ [18].

Эпицентр Хубсугульского землетрясения располагался в северной части акватории оз. Хубсугул на территории Северной Монголии. Известно, что современная структура Прихубсугулья в кайнозойский этап развития формировалась при ведущей роли тектонических движений положительного знака. Вместе с тем, Хубсугульская впадина относится к главной рифтовой структуре юго-западного фланга БРЗ, при этом ее заложение началось приблизительно в верхнем плиоцене – плейстоцене [15]. Борта впадины ограничены крупными разломами субмеридионального простирания, а также менее протяженными структурами субширотной, северо-западной и северо-восточной ориентации, имеющими признаки позднекайнозойской активности [19]. Стоит отметить, что характерной особенностью этой впадины является то, что она разделяет территорию Прихубсугулья на две разных по своим нео- и сеймотектоническим особенностям зоны – западную и восточную [15]. В современной сейсмичности это проявляется во взаимодействии полей напряжений рифтового и нерифтового типов [19, 20].

История сейсмичности на юго-западном фланге БРЗ. В доинструментальный период наблюдений для рассматриваемого района имеются сведения о двух сильных землетрясениях XIX века: 1814 г. с $M=6.4$ и 1829 г. с $M=7.0$ (рис. 1), сопровождавшихся разрывами на поверхности земли [21]. Начало инструментального периода наблюдений здесь ознаменовалось крупным 9-балльным Мондинским землетрясением 4 апреля 1950 г. ($M_w=6.9$) [22–24], произошедшим в районе западного замыкания Тункинской системы впадин. В эпицентральной зоне этого события наблюдались деформации земной поверхности, где движение по разрывам носило сдвигосбросовый характер [16]. По данным о фокальном механизме Мондинского землетрясения, определенном с помощью моделирования волновых форм на телесейсмических расстояниях [24], в его очаге установлены почти чистые горизонтальные смещения по близвертикальным плоскостям разрывов субширотного и субмеридионального простираний.

Из заметных сейсмических событий XX века можно отметить два Кыренских землетрясения 1958 г. ($K_p=12.0$ и $K_p=13.0$) [25, 26] и Еловское 1995 г. ($M_w=5.8$) [27], ощущавшееся на обширной территории (500 тыс. км²). Максимальная интенсивность колебаний в ближайших населенных пунктах ($\Delta=2\text{--}15 \text{ км}$) составляла 7 баллов, при этом механизм землетрясения показал наличие в очаге смешанных типов подвижек (сдвиго-сброса и сбросо-сдвига). В последние годы на исследуемой территории произошли еще три землетрясения сопоставимого энергетического уровня: Хойтогольское 2003 г. с $M_w=4.9$, Тулгутунурское 2004 г. с $M_w=4.8$, Онотское 2005 г.

с $M_w=4.7$ [1–4], которые хорошо вписываются по интенсивности колебаний и фокальным механизмам в характер сейсмичности юго-западного фланга БРЗ.

В целом, как следует из рис. 1 б, наибольшая плотность сейсмических толчков разного энергетического уровня наблюдается здесь в северо-западном и широтном направлениях. В первом случае эпицентры землетрясений трассируют ГСР и Жомболокский разлом, во втором – Тункинскую систему впадин с ограничивающими ее разломами: Тункинским и Байкало-Мондинским. Таким образом, сведения о сейсмических проявлениях в районе локализации Урикского и Хубсугульского землетрясений свидетельствуют о высоком сейсмическом потенциале рассматриваемой территории.

Обсуждение. Юго-западный фланг БРЗ характеризуется сложным комплексом разнообразных тектонических нарушений [16] и особой геодинамической обстановкой, что в полной мере отражается в картах плотности эпицентров и фокальных механизмах местных землетрясений. По мнению одних авторов [19], здесь преобладает режим сдвига с север–северо-восточным сжатием, по мнению других [28] – режим косоуго (северо-западного) растяжения, который характеризует данную часть рифтовой зоны на всех этапах ее развития. Существует также мнение о смене преобладающих деформационных режимов от сдвига с растяжением в миоцене на сдвиг со сжатием в позднечетвертичном этапе развития территории [19]. Сейсмологические данные о фокальных механизмах землетрясений свидетельствуют о наличии (предположительно) в районе Северного Хубсугула условной границы рифтового поля напряжений [20, 29]. Это подтверждается сеймотектоническими особенностями Прихубсугулья [15] и расчетом деформационных характеристик земной коры путем оценки среднего тензора сейсмического момента по совокупным данным о механизмах очагов землетрясений [29]. Постепенная смена характера современного напряженно-деформированного состояния земной коры рассматриваемого района по мере удаления от оз. Байкал на запад и северо-запад (от субгоризонтального растяжения до субгоризонтального сжатия) связана с ведущей ролью сдвиговых перемещений в структуре юго-западного фланга БРЗ. Это отчетливо проявляется практически во всех известных фокальных механизмах местных сейсмических событий, в том числе и при Урикском и Хубсугульском землетрясениях, в очагах которых в субширотных плоскостях разрывов реализовались левые сдвиги (см. рис. 1). Однако в первом случае они сопровождались нисходящими, а во втором – восходящими движениями земной коры, что подтверждает факт взаимодействия в районе полей напряжений рифтового и нерифтового типов.

Заключение. Урикское ($M_{w\text{рег}}=4.6$) и Хубсугульское ($M_{w\text{рег}}=4.9$) землетрясения 2014 г. сопоставимы по моментной магнитуде и интенсивности макросейсмических эффектов в ближайших населенных пунктах. В то же время их тектонические позиции и механизмы очагов различны и подтверждают наличие в этом районе зоны перехода от рифтовых структур центральных районов БРЗ к структурам регионального сжатия Северной Монголии. В целом рассматриваемые землетрясения типичны для юго-западного фланга БРЗ, при этом информация об этих событиях дополняет сейсмологическую базу данных и может быть полезна при сеймотектоническом анализе рассматриваемой территории.

Л и т е р а т у р а

1. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Дреннова Н.Н., Радзиминович Н.А. Хойтогальское землетрясение 17 сентября 2003 г. с $MPSP=4.8$, $K_p=13.8$, $I_0=6-7$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 310–325.
2. Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Тулгутунурское землетрясение 19 января 2004 года с $MPSP=4.8$, $K_p=13.0$, $I_0=6$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 272–280.
3. Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Очковская М.Г., Папкина А.А. Олотское землетрясение 23 февраля 2005 года с $MPSP=4.0$, $K_p=13.6$, $I_0=6-7$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 360–369.
4. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // Физика Земли. – 2014. – № 3. – С. 103–114. doi: 10.7868/S0002333714030090

5. Гилёва Н.А., Хайдурова Е.В. (отв. сост.); Леонтьева Л.Р., Анисимова Л.В., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Дреннова Г.Ф., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Хороших М.Б., Курилко Г.В., Дворникова В.И., Павлова Л.В., Архипенко Н.С., Терешина Е.Н., Зиброва Е.С., Борисова О.А., Федюшкина Я.И., Папкова А.А., Галактионова Н.Н. Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p > 7.5$ за 2014 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020 – Приложение на CD-ROM.
6. Карта разломов юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1500000 / Ред. Хренов П.М. Л.: ВСЕГЕИ, 1982.
7. Атлас озера Хубсугул. – М.: Главное Управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1989. – 118 с.
8. Гилёва Н.А., Хайдурова Е.В. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Анисимова Л.В., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Дреннова Г.Ф., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Хороших М.Б., Курилко Г.В., Дворникова В.И., Павлова Л.В., Архипенко Н.С., Терешина Е.Н., Зиброва Е.С., Борисова О.А., Федюшкина Я.И., Папкова А.А., Галактионова Н.Н. Афтершоки Хубсугульского землетрясения 5 декабря 2014 г. с $M_w=4.9$, $K_p=13.9$, $I_0=7-8$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 23 (2014 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2020 – Приложение на CD-ROM.
9. Сейсмологический бюллетень (сеть телесеизмических станций), 2014. (2020) // ФИЦ ЕГС РАН [сайт]. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
10. International Seismological Centre (2020), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>.
11. 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.
12. 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. – V. 144. – N. 1. – P. 206–220. doi: 10.1046/j.1365-246x.2001.00313.x.
13. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Международная шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
14. 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.
15. Сеймотектоника и сейсмичность Прихубсугулья / Ред. Н.А. Логачев. – Новосибирск: Наука, 1993. – 184 с.
16. Сеймотектоника и сейсмичность юго-восточной части Восточного Саяна / Ред. В.П. Солоненко. – Новосибирск: Наука, 1975. – 135 с.
17. Тектоника и вулканизм юго-западной части Байкальской рифтовой зоны / Ред. Н.А. Флоренсов. – Новосибирск: Наука, 1973. – 136 с.
18. Чипизубов А.В., Смекалин О.П. Палеосейсмодислокации и связанные с ними палеоземлетрясения по зоне Главного Саянского разлома // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40. – № 6. – С. 936–947.
19. Аржанникова А.В., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Позднечетвертичный и современный режимы деформирования западной части Тункинской системы впадин по структурно-геоморфологическим и сейсмологическим данным // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 4. – С. 391–400.
20. 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.
21. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи // Записки Императорского Русского географического общества по общей географии. Т. 26. – СПб.: Типография Императорской АН, 1893. – 582 с.
22. Тресков А.А., Флоренсов Н.А. Мондинское землетрясение 1950 г. // Бюллетень совета по сейсмологии АН СССР. – 1952. – № 2 А. – С. 6–18.
23. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. V. Прибайкалье // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.
24. Delouis B., Déverchère J., Melnikova V., Radziminovitch N., Loncke L., Larroque C., Ritz J.F. and San'kov V. A reappraisal of the 1950 (M_w 6.9) Mondy earthquake, Siberia, and its relationship to the strain pattern at the south-western end of the Baikal rift zone // Terra Nova. – 2002. – V. 14. – N. 6. – P. 491–500.
25. Тресков А.А., Мишарина Л.А. Кыренское землетрясение 10 августа 1958 г. // Геология и геофизика. – 1960. – № 5. – С. 112–116.
26. Хованова Р.И. Кыренское землетрясение 22 октября 1958 г. // Бюллетень совета по сейсмологии АН СССР. – 1960. – № 10. – С. 40–43.

27. Голенецкий С.И. Еловское землетрясение 29 июня 1995 года ($M_S=5.9$) // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ГС РАН, 2001. – С. 183–187.
28. Лунина О.В., Гладков А.С. Разломная структура и поля напряжений западной части Тункинского рифта // Геология и геофизика. – 2004. – Т. 45. – №. 10. – С. 1235–1247.
29. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Параметры сейсмостектонических деформаций земной коры Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным // ДАН. – 2007. – Т. 416. – № 4. – С. 543–545.

STRONG SEISMIC EVENTS on the SOUTH-WESTERN FLANK of the BAIKAL RIFT in 2014:

November 1, 2014, $K_p=13.6$, $M_w=4.6$, $I_0=7-8$ URIK EARTHQUAKE

and December 5, 2014, $K_p=13.9$, $M_w=4.9$, $I_0=7-8$ HOVSGOL EARTHQUAKE

V.I. Melnikova¹, N.A. Gileva², A.I. Seredkina³, Ya.B. Radziminovich¹

¹*Institute of the Earth's Crust of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, ale@crust.irk.ru*

²*Baikal Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, nagileva@crust.irk.ru*

³*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Troitsk, ale@crust.irk.ru*

Abstract. We consider two earthquakes occurred at the south-western flank of the Baikal rift zone (BRZ): Urik, November 1, 2014 ($M_{w,reg}=4.6$) and Hovsgol, December 5, 2014 ($M_{w,reg}=4.9$). First of them is localized within the area of the Main Sayan fault, the second one is located at the north of the Hovsgol Lake. Seismic moment tensors (focal mechanisms, scalar seismic moments, moment magnitudes and hypocentral depths) of the study seismic events were calculated based on surface wave amplitude spectra. Earthquake hypocenters were found to be situated in the middle crust ($h=14-21$ km). Both events occurred under the strike-slip stress-strain field. The strike-slip was combined with a normal fault component in the source of the Urik earthquake and with a thrust fault component in the source of the Hovsgol earthquake. In both cases, shaking intensity in the nearest settlements ($\Delta=42-124$ km) was less than 4–5. Analysis of historical seismicity, seismological data on the Urik and Hovsgol earthquakes and the tectonic position of their sources demonstrates that the considered events are typical for the south-western flank of the BRZ and confirms the existence of the transition zone from rift structures at the central parts of the BRZ to regional compression structures in Northern Mongolia.

Keywords: seismicity, seismic moment tensor, south-western flank of the Baikal rift zone.

DOI: 10.35540/1818-6254.2020.23.36

For citation: Melnikova, V.I., Gileva, N.A., Seredkina, A.I., & Radziminovich, Ya.B. (2020). [Strong seismic events on the south-western flank of the Baikal rift in 2014: November 1, 2014, $K_p=13.6$, $M_w=4.6$, $I_0=7-8$ Urik earthquake and December 5, 2014, $K_p=13.9$, $M_w=4.9$, $I_0=7-8$ Hovsgol earthquake]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), 350–363. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2020.23.36

R e f e r e n c e s

1. Melnikova, V.I., Gileva, N.A., Radziminovich, Ya.B., Drennova, N.N., & Radziminovich, N.A. (2009). [The September 17, 2003, $MPSP=4.8$, $K_p=13.8$, $I_0=6-7$ Khoitogol earthquake]. In *Zemletriaseniia Severnoy Evrazii v 2003 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2003] (pp. 310–325). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
2. Radziminovich, Ya.B., Gileva, N.A., Melnikova, V.I., & Radziminovich, N.A. (2010). [The January 19, 2004, $MPSP=4.8$, $K_p=13.0$, $I_0=6$ Tulgutunur earthquake]. In *Zemletriaseniia Severnoy Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 272–280). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
3. Radziminovich, Ya.B., Gileva, N.A., Melnikova, V.I., Radziminovich, N.A., Ochkovskaya, M.G., & Papkova, A.A. (2011). [The February 23, 2005, $MPSP=4.0$, $K_p=13.6$, $I_0=6-7$ Onot earthquake]. In *Zemletriaseniia Severnoy Evrazii v 2004 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 2004] (pp. 360–369). Obninsk, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
4. Seredkina, A.I., & Melnikova, V.I. (2014). Seismic moment tensor of Pribaikalye earthquakes from the surface-wave amplitude spectra. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 50(3), 403–414. doi: 10.1134/S1069351314030094

5. Gileva, N.A., Haydurova, E.V., Leonteva, L.R., Anisimova, L.V., Hamidulina, O.A., Menshikova, Yu.A., Drennova, G.F., Tiguntseva, G.V., Andrusenko, N.A., Horoshih, M.B., Kurilko, G.V., Dvornikova, V.I., Pavlova, L.V., Arhipenko, N.S., Tereshina, E.N., Zibrova, E.S., Borisova, O.A., Fedyushkina, Ya.I., Papkova, A.A., & Galaktionova, N.N. (2020). [Catalog of earthquakes of Baikal and Transbaikalia for 2014 with the $K_p > 7.5$]. *Zemletryaseniia Severnoy Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
6. Khrenov, P.M. (Ed.). (1982). [Map of Faults of Southern East Siberia. Scale 1:1500000]. Leningrad, Russia: VSEGEI Publ. (In Russ.).
7. [Atlas of Hovsgol Lake]. (1989). Moscow, Russia: Main Department of Geodesy and Cartography under the USSR Council of Ministers Publ., 118 p. (In Russ.).
8. Gileva, N.A., Haydurova, E.V., Leonteva, L.R., Anisimova, L.V., Hamidulina, O.A., Menshikova, Yu.A., Drennova, G.F., Tiguntseva, G.V., Andrusenko, N.A., Horoshih, M.B., Kurilko, G.V., Dvornikova, V.I., Pavlova, L.V., Arhipenko, N.S., Tereshina, E.N., Zibrova, E.S., Borisova, O.A., Fedyushkina, Ya.I., Papkova, A.A., & Galaktionova, N.N. (2020) [Aftershocks of the Hovsgol earthquake on December 5, 2014 with $M_w=4.9$, $K_p=13.9$, $I_0=7-8$]. *Zemletryaseniia Severnoy Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 23(2014), Appendix on CD. (In Russ.).
9. GS RAS, Bulletin of Teleseismic Stations, 2014. (2020). Retrieved from ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2014
10. International Seismological Centre (2020), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
11. Bukchin, B.G. (1990). Determination of source parameters from surface wave recording allowing for uncertainties in the properties of medium. *Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Fizika Zemli*, 25, 723–728.
12. Lasserre, C., Bukchin, B., Bernard, P., Tapponier, P., Gaudemer, Y., Mostinsky, A., & Dailu, R. (2001). 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*, 144(1), 206–220. doi: 10.1046/j.1365-246x.2001.00313.x
13. Medvedev, S.V., Shponhoyer, V., & Karnik, V. (1965). *Mezhdunarodnaya shkala seysmicheskoy intensivnosti MSK-64* [MSK-64 International seismic intensity scale]. Moscow, Russia: MGK Academy of Sciences USSR Publ., 11 p. (In Russ.).
14. Shebalin, N.V., & Aptikaev, F.F. (2003). [Development of MSK-type scales]. In *Magnitnoye pole Zemli: matematicheskiye metody opisaniya. Problemy makroseysmiki (Vychislitel'naya seysmologiya; vypusk 34)* [Earth's magnetic field: mathematical methods of description. Problems of macroseismics (Computational seismology; Issue 34)] (pp. 210–253). Moscow, Russia: Geos (In Russ.).
15. Logachev, N.A. (Ed.). (1993). *Seismotektonika i seismichnost' Prikhubsugul'ya* [Seismotectonics and seismicity of Lake Hovsgol]. Novosibirsk, Russia: Nauka, 184 p. (In Russ.).
16. Solonenko, V.P. (Ed.). (1975). *Seismotektonika i seismichnost' yugo-vostochnoy chasti Vostochnogo Sayana* [Seismotectonics and seismicity of the south-eastern part of the Eastern Sayan]. Novosibirsk, Russia: Nauka, 135 p. (In Russ.).
17. Florensov, N.A. (Ed.). (1973). *Tektonika i vulkanizm yugo-zapadnoy chasti Baikal'skoy riftovoy zony* [Tectonics and volcanism of the southwestern part of the Baikal rift zone]. Novosibirsk, Russia: Nauka, 136 p. (In Russ.).
18. Chipizubov, A.V., & Smekalin, O.P. (1999). [Paleoseismodislocations and related paleoearthquakes along the Major Sayan fault zone]. *Geologiya i Geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 40(6), 936–947. (In Russ.).
19. Arzhannikova, A.V., Melnikova, V.I., & Radziminovich, N.A. (2007). Late Quaternary and current deformation in the western Tunka system of basins: evidence from structural geomorphology and seismology. *Russian Geology and Geophysics*, 48(4), 305–311. doi: 10.1016/j.rgg.2007.03.001
20. Misharina, L.A., Melnikova, V.I., & Balzhinnyam, I. (1983). [The southwestern boundary of the Baikal rift zone according to the data on the of earthquake focal mechanism]. *Vulkanologiya i Seismologiya* [Journal of Volcanology and Seismology], 2, 74–83. (In Russ.).
21. Mushketov, I.V., & Orlov, A.P. (1893). [Earthquake Catalog of the Russian Empire]. In *Zapiski Imperatorskogo Russkogo geograficheskogo obshchestva po obshchey geografii.* [Notes of the Imperial Russian Geographical Society for General Geography. Vol. 26.]. Saint Petersburg, Russia: Publishing House of Imperial Academy of Sciences, 582 p. (In Russ.).
22. Treskov, A.A., & Florensov, N.A. (1952). [Mondy earthquake of 1950]. *Bulletin of the Council on Seismology of the USSR Academy of Sciences*, (2A), 6–18. (In Russ.).

23. Golenetsky, S.I., Khromovskikh, V.S., Kislovskaya, V.V., Kondorskaya, N.V., Solonenko, V.P., & Shebalin, N.V. (1977). [Section V. Baikal]. In *Novyy katalog sil'nykh zemletryaseniy na territorii SSSR s drevneyshikh vremen do 1975 goda* [A new catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975] (pp. 315–338). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
24. Delouis, B., Déverchère, J., Melnikova, V., Radziminovitch, N., Loncke, L., Larroque, C., Ritz, J.F., & San'kov, V. (2002). A reappraisal of the 1950 ($M_w=6.9$) Mondy earthquake, Siberia, and its relationship to the strain pattern at the south-western end of the Baikal rift zone. *Terra Nova*, 14(6), 491–500. doi: 10.1046/j.1365-3121.2002.00445.x
25. Treskov, A.A., & Misharina, L.A. (1960). [The August 10, 1958 Kyren earthquake]. *Geologiya i Geofizika*, 1(5), 112–116. (In Russ.).
26. Khovanova, R.I. (1960). [The October 22, 1958 Kyren earthquake]. *Bulletin of the Council on Seismology of the USSR Academy of Sciences*, (10), 40–43. (In Russ.).
27. Golenetsky, S.I. (2001). [The June 29, 1995, M_S 5.9 Yelovka earthquake]. In *Zemletryaseniia Severnoy Evrazii v 1995 godu* [Earthquakes in Northern Eurasia, 1995] (pp. 183–187). Moscow, Russia: GS RAS Publ. (In Russ.).
28. Lunina, O.V., & Gladkov, A.S. (2004). Fault pattern and stress field in the western Tunka rift (southwestern flank of the Baikal rift system). *Russian Geology and Geophysics*, 45(10), 1188–1199.
29. Mel'nikova, V.I., & Radziminovich, N.A. (2007). Parameters of seismotectonic deformations of the Earth's crust in the Baikal rift zone based on seismological data. *Doklady Earth Sciences*, 416(1), 1137–1139. doi: 10.1134/S1028334X07070355