

II. СПЕКТРЫ и ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

УДК 550.348.436 (344.55/56)

ОЧАГОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ПРИБАЙКАЛЬЯ и ЗАБАЙКАЛЬЯ в 2015 г.

А.И. Филиппова¹, Н.А. Гилёва²

¹Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН,
г. Москва, г. Троицк, ale@izmiran.ru

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

Аннотация. Для 20 землетрясений с $M_w \geq 4.2$, произошедших на территории Прибайкалья и Забайкалья в 2015 г., в приближении двойной пары сил рассчитаны тензор сейсмического момента (фокальный механизм, скалярный сейсмический момент, моментная магнитуда) и глубина очага. Для этого использовались амплитудные спектры волн Рэлея и Лява, полученные по записям широкополосных сейсмических станций сетей IRIS и сети DK (Danish Seismological Network), а также знаки первых вступлений объемных волн, зарегистрированных на региональных расстояниях. Показано, что в очагах большинства исследуемых землетрясений реализовались сдвиго-сбросовые и сбросо-сдвиговые смещения. У наиболее сильных из рассматриваемых сейсмических событий ($M_w \geq 4.6$) ось сжатия направлена практически вертикально, а растяжения – субгоризонтально в юго-восток – северо-западном направлении, т.е. вкrest простирания основных структур Байкальской рифтовой зоны. Для землетрясений с $M_w < 4.6$ характерен большой разброс ориентации осей сжатия и растяжения, что может быть вызвано, например, перераспределением напряжений в мелкомасштабных блоках земной коры после более сильных толчков. Полученные результаты представляют интерес для задач сейсмического районирования и построения геодинамических моделей эволюции литосферы рассматриваемого региона.

Ключевые слова: землетрясение, поверхностные волны, тензор сейсмического момента.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.21

Для цитирования: Филиппова А.И., Гилёва Н.А. Очаговые параметры сильных землетрясений Прибайкалья и Забайкалья в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 217–225. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.21

Введение. В 2015 г. на территории Прибайкалья и Забайкалья (48° – 60° с.ш., 99° – 122° в.д.) по данным Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН [1] произошло 35 землетрясений с $K_p \geq 11.5$ (рис. 1). В данной работе для 20 из них (рис. 1, табл. 1) по амплитудным спектрам поверхностных волн в приближении двойной пары сил (double-couple) были рассчитаны тензор сейсмического момента (ТСМ) и глубина гипоцентра. Для остальных 15 сейсмических событий количество и качество исходных данных, необходимых для инверсии очаговых параметров, оказались по различным причинам недостаточными (например, из-за малого – менее двух минут – промежутка времени между землетрясениями).

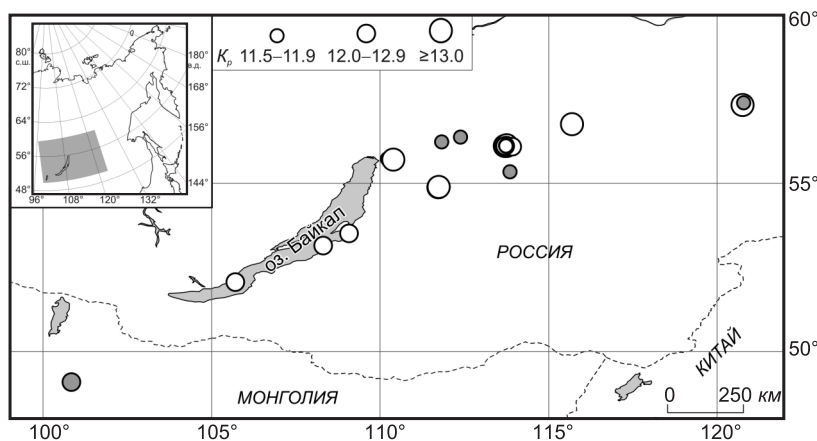


Рис. 1. Эпицентры землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p \geq 11.5$ в 2015 г. по данным [1]

Белым цветом обозначены сейсмические события, для которых в данной работе проводились расчеты очаговых параметров, серым – землетрясения с недостаточным количеством исходных данных для инверсии. На врезке показано положение исследуемого региона.

Таблица 1. Параметры исследуемых землетрясений

№	Дата, месяц число	t_0 , ч мин с	Координаты эпицентра		K_p	$h \pm \delta h$, км	Δ_{\min} , км	Δ_{\max} , км	ΔT , с	N
			λ° , E	φ° , N						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	01.03	12 29 42.7	113.71	56.11	12.9	7±4	2289	9077	30–70	13
2	01.05	06 04 29.1	113.75	56.10	13.0	5±2	2284	5685	30–70	10
3	01.05	07 01 53.3	113.72	56.12	11.7	6±2	2284	5238	25–55	8
4	01.06	11 44 55.1	113.74	56.10	11.5	7±2	2292	3554	25–50	8
5	01.07	20 33 31.8	113.75	56.11	11.6	4±2	2207	3551	25–40	8
6	01.09	17 29 38.1	113.73	56.09	11.8	6±3	2281	5239	25–50	8
7	01.18	06 41 30.9	113.75	56.13	13.4	7±3	2292	9072	30–80	17
8	01.18	23 06 17.7	113.73	56.12	13.1	9±2	2204	5238	30–75	13
9	02.26	03 49 33.8	113.73	56.11	11.9	7.3±1.6	2203	4936	25–60	13
10	03.13	00 18 22.6	113.92	56.08	12.3	9±2	2196	3172	25–50	8
11	03.19	10 58 15.8	113.74	56.12	12.2	7±2	2114	4226	25–60	8
12	04.06	07 47 25.7	108.31	53.15	12.7	14±2	2122	5568	30–70	8
13	04.07	08 06 05.7	113.74	56.14	11.8	7±3	2201	4222	25–50	7
14	06.21	14 31 03.9	109.08	53.51	12.3	22±2	2158	5657	30–60	14
15	07.07	14 15 51.8	110.39	55.70	13.0	*	2364	5421	30–60	13
16	09.02	19 46 51.8	115.69	56.75	14.0	11±3	2294	6327	60–100	16
17	09.05	05 00 30.9	105.70	52.06	12.4	25±1	2382	6165	30–60	10
18	09.25	23 24 11.6	111.74	54.89	13.1	11±3	2238	9217	40–70	16
19	12.04	13 27 03.7	120.75	57.32	13.2	*	2247	8899	30–60	16
20	12.13	05 53 18.4	111.73	54.88	13.0	9±2	2380	5567	30–60	17

Примечание. Данные в столбцах 2–7 приведены согласно [1]; 7 – глубина очага (h) и погрешность ее определения (δh), * – глубина не определена; 8, 9 – минимальное и максимальное эпицентральные расстояния соответственно; 10 – диапазон периодов; 11 – число используемых станций (см. текст далее).

Исходные данные и методы исследования. Материалом для исследования служили записи выбранных землетрясений на широкополосных каналах цифровых сейсмических станций сетей IRIS и DK (Danish Seismological Network) (рис. 2). Положение станций, используемых для дальнейшего анализа, выбиралось таким образом, чтобы они находились в разных азимутах от эпицентра рассматриваемого события (см. пример на рис. 3 а). Для анализа использовались только сейсмограммы с высоким отношением сигнал/шум и нормальной поляризацией (рис. 3 б). В результате были отобраны записи 39 сейсмических станций (рис. 2), расположенных на эпицентральных расстояниях приблизительно от 2100 до 9200 км. Для каждого отдельного землетрясения число используемых для анализа станций составило от 7 до 17 (табл. 1).

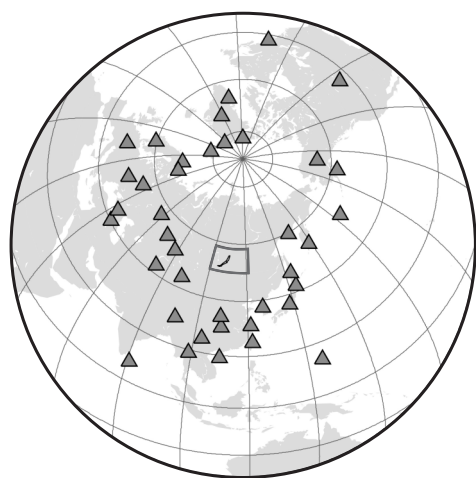


Рис. 2. Используемые для анализа сейсмические станции

Амплитудные спектры волн Рэлея и Лява были получены для каждой трассы «эпицентр-станция» методом спектрально-временного анализа (СВАН) [2]. Вначале для каждого землетрясения был определен диапазон периодов колебаний, в котором поверхностные волны выделялись наиболее четко (табл. 1). Для всей совокупности событий он составил 25–100 с. Затем строились СВАН-диаграммы, показывающие амплитуду сигнала в зависимости от периода и групповой скорости (рис. 3 в, г). По ним оценивались дисперсионные кривые групповых скоростей волн Рэлея и Лява (рис. 3 д). Наконец, на основе этих оценок строилась система Гауссовых узкополосных фильтров, позволяющая отделить фундаментальные моды поверхностных волн от различных шумов (например, высших мод и объемных волн), и рассчитывались их амплитудные спектры (рис. 3 е).

ТСМ в приближении двойной пары сил (double-couple) и глубина гипоцентра рассчитывались по полученным амплитудным спектрам поверхностных волн [3]. Корректность применения используемой методики расчета ТСМ для прибайкальских землетрясений средних магнитуд рассмотрена

в работе [4]. Для однозначного определения механизма очага землетрясения дополнительно учитывались знаки первых вступлений объемных волн на региональных сейсмических станциях [5].

Оценка качества полученного решения производилась с помощью функции нормированной невязки (ϵ) [5]. Данная функция характеризует отличие расчетных амплитудных спектров от наблюдаемых, а также показывает отношение количества знаков первых вступлений, не удовлетворяющих полученной диаграмме излучения, к общему числу знаков.

Строение земной коры под сейсмическими станциями задавалось моделью 3SMAC [6], а в окрестности очага землетрясения – моделями 3SMAC или CRUST 2.0 [7], в зависимости от того, какая из них обеспечит меньшее значение функции нормированной невязки. Для описания верхней мантии и расчета затухания поверхностных волн применялась сферически симметричная модель PREM [8].

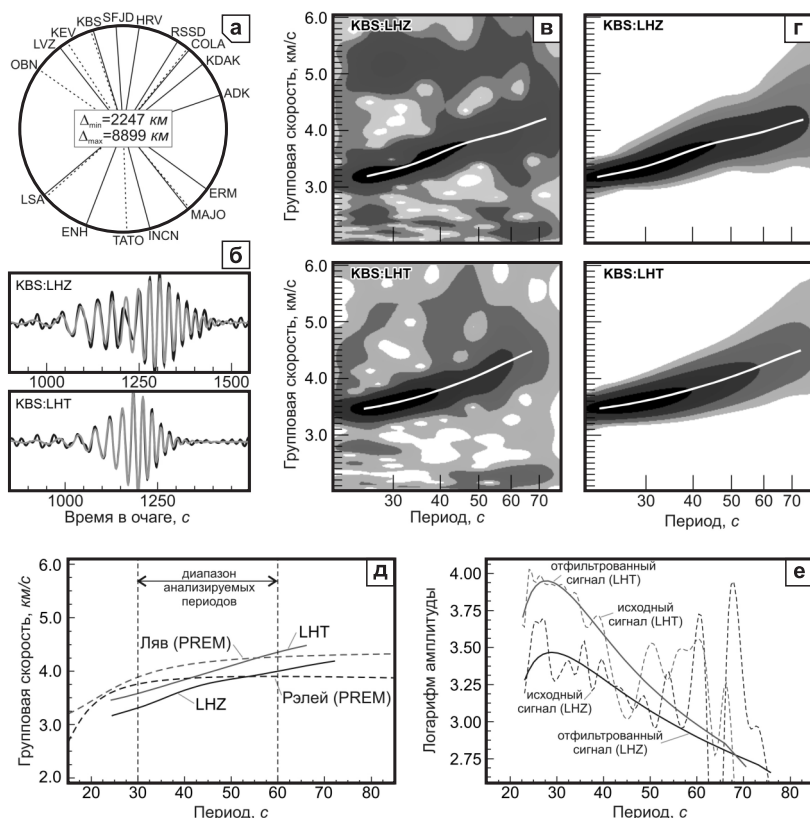


Рис. 3. Пример обработки записей поверхностных волн от землетрясения 4 декабря 2015 г. на станции KBS ($AZM=343^\circ$, $\Delta=4198$ км)

(а) – азимутальное распределение сейсмических станций относительно эпицентра землетрясения (указаны международные коды станций; сплошные и штрихованные линии проведены к станциям, на которых выделены волны Рэлея и Лява соответственно); (б) – исходные (черные кривые) и отфильтрованные (серые кривые) записи поверхностных волн на вертикальной (LHZ) и трансверсальной (LHT) компонентах; (в, г) – СВАН-диаграммы записей на LHZ и LHT компонентах до (в) и после (г) фильтрации (черный и белый цвет на диаграммах обозначает максимальную и минимальную амплитуду сигнала соответственно); дисперсионные кривые групповой скорости обозначены белыми кривыми; (д) – полученные оценки дисперсионных кривых групповых скоростей волн Рэлея и Лява в сопоставлении с моделью PREM [8]; (е) – амплитудные спектры поверхностных волн для исходного и отфильтрованного сигналов.

Результаты исследования и их обсуждение. В результате для рассматриваемых сейсмических событий были рассчитаны значения глубин гипоцентра (h), скалярного сейсмического момента (M_0), моментной магнитуды (M_w) и фокальные механизмы (рис. 4, 5, табл. 2) [9]. Для землетрясения, произошедшего 6 января, не удалось однозначно определить его фокальный механизм, т.к. совместная инверсия амплитудных спектров поверхностных волн и знаков первых вступлений P -волн в этом случае была невозможна ввиду отсутствия информации о последних. Полученные решения ТСМ характеризуются значениями функции нормированной невязки 0.153–0.322 (табл. 2), т.е., как было показано ранее на многочисленных примерах сейсмических событий сопоставимого энергетического уровня, являются надежными [4, 10].

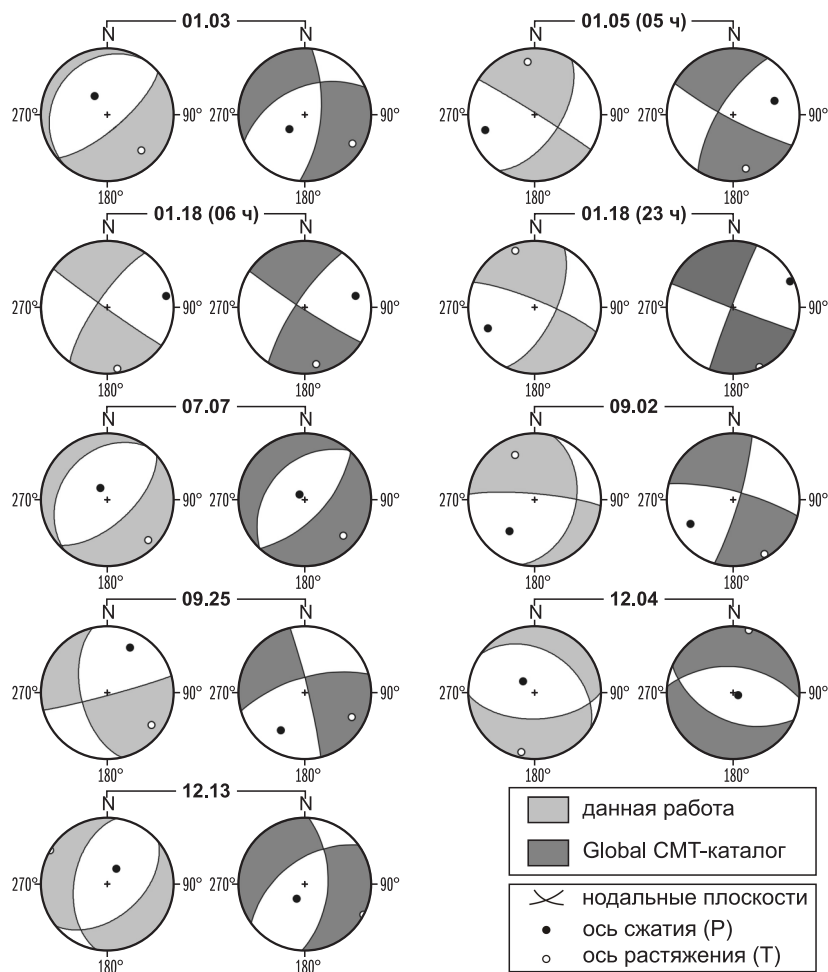


Рис. 4. Механизмы очагов в проекции нижней полусферы девяти исследуемых землетрясений в сопоставлении с наилучшими двойными диполями (best double-couple), соответствующими TCM из Global CMT-каталога

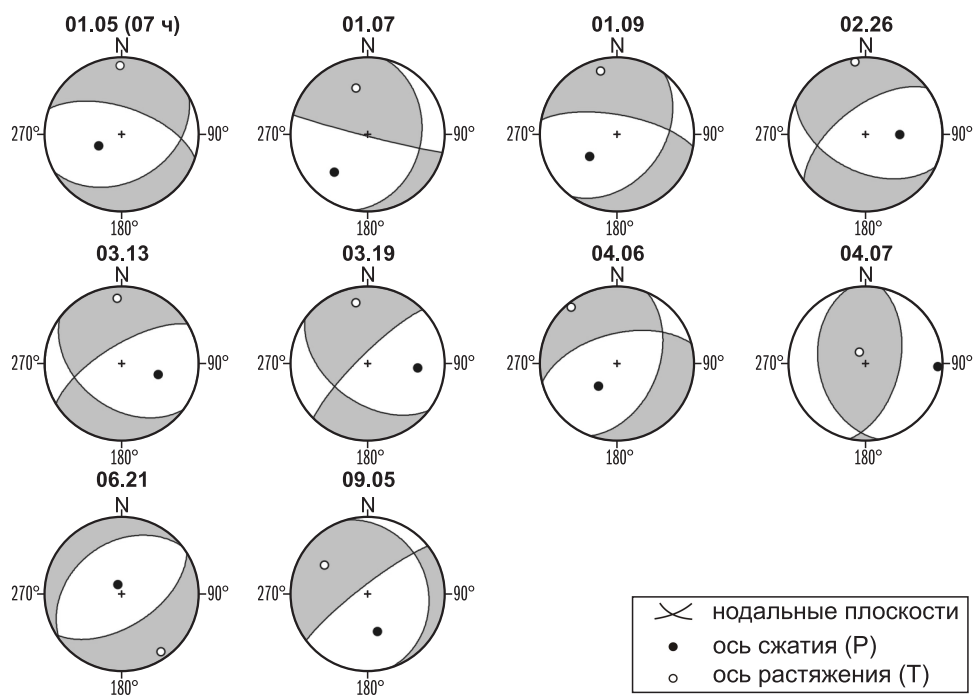


Рис. 5. Механизмы очагов в проекции нижней полусферы десяти исследуемых землетрясений, для которых нет данных о TCM в международных сейсмологических агентствах

Таблица 2. Очаговые параметры исследуемых землетрясений

№	Дата, месяц число	$M_0 \cdot 10^{16}$, Н·м	M_w	h , км	ε	Модель земной коры
1	2	3	4	5	6	7
1	01.03	3.60	5.0	11	0.231	[6, 7]
2	01.05 (06 ч)	0.87	4.6	0–1	0.227	[6]
3	01.05 (07 ч)	0.28	4.3	19	0.285	[6]
4	01.06	0.28	4.3	6	0.153	[6, 7]
5	01.07	0.22	4.2	4	0.259	[6, 7]
6	01.09	0.24	4.2	4	0.225	[7]
7	01.18 (06 ч)	2.60	4.9	0–1	0.291	[6, 7]
8	01.18 (23 ч)	0.96	4.6	4–5	0.293	[7]
9	02.26	0.83	4.6	26	0.314	[6]
10	03.13	0.39	4.4	25	0.201	[6, 7]
11	03.19	0.67	4.5	27	0.246	[7]
12	04.06	0.38	4.4	7	0.223	[6, 7]
13	04.07	0.36	4.3	29–30	0.236	[6]
14	06.21	0.46	4.4	31	0.306	[6, 7]
15	07.07	0.92	4.6	23	0.322	[6, 7]
16	09.02	5.00	5.1	8	0.277	[6]
17	09.05	0.40	4.4	12	0.279	[7]
18	09.25	1.30	4.7	8–9	0.297	[6]
19	12.04	0.97	4.6	4	0.307	[7]
20	12.13	0.95	4.6	6	0.302	[6, 7]

Примечание. Столбцы: 3 – скалярный сейсмический момент; 4 – моментная магнитуда; 5 – глубина очага; 6 – функция нормированной невязки; 7 – модель коры в окрестности очага землетрясения.

Гипоцентры большей части рассматриваемых землетрясений (13 событий) расположены в верхней части земной коры, т.е. на глубинах менее 15 км (табл. 2). Два землетрясения произошли в средней коре (15–25 км), остальные пять – в нижней. Определенных закономерностей в том, какая из используемых в окрестности очага моделей коры обеспечит меньшее значение функции нормированной невязки, выявлено не было. Практически в половине случаев решения ТСМ для обеих моделей были абсолютно идентичными и характеризовались одинаковыми ошибками (табл. 2). Такой результат можно рассматривать как вполне закономерный, с учетом того, что скоростная модель оказывает малое влияние на результаты инверсии, как было показано ранее на примерах двух регионов с известными по данным глубинного сейсмического зондирования характеристиками коры [11, 12].

Для девяти из рассматриваемых землетрясений в Global CMT-каталоге имеется информация о ТСМ и центроиде (рис. 4, табл. 3). Из рис. 4 видно, что в большинстве случаев фокальные механизмы, полученные различными методами, хорошо согласуются между собой с учетом того, что две трети решений ТСМ для данных сейсмических событий характеризуются высокими ошибками вычисления компонент M_n и M_{gr} . Так, за исключением землетрясений, произошедших 7 июля, 2 сентября и 4 декабря, эти погрешности в 2–3.5 раза превышают ошибки определений остальных компонент тензора, что может приводить к неоднозначности полученного фокального механизма [13]. Кроме того, полученные различия могут быть обусловлены отличием очагов рассматриваемых землетрясений от модели подвижки по плоской площадке (double-couple) (табл. 3). При этом ТСМ из Global CMT-каталога описывают основную фазу разрыва в очаге, а фокальные механизмы, полученные в данной работе, характеризуют как основную, так и начальную фазы разрыва благодаря привлечению информации о знаках первых вступлений P -волн, зарегистрированных короткопериодной аппаратурой. Отметим, что разница в определении моментных магнитуд различными методами не превышает 0.2, что согласуется с результатами наших предыдущих исследований, основанных на статистически более представительном материале [14]. Что касается оценок глубин гипоцентров, то разница в их значениях, рассчитанных различными способами, может достигать 22 км (табл. 1, 2, 3), при этом результаты настоящей работы в среднем лучше согласуются с определениями глубины по региональным станциям.

Выявленные несоответствия могут быть связаны, во-первых, с распространением разрыва по вертикали, а во-вторых, с вычислительными ошибками методов. В настоящее время более детальный анализ этого вопроса невозможен ввиду недостатка исходных данных.

Таблица 3. Очаговые параметры исследуемых землетрясений по Global CMT-каталогу

№	Дата, месяц число	$M_0 \cdot 10^{16}$, Н·м	M_w	h , км	DC, %
1	2	3	4	5	6
1	01.03	2.15	4.8	12.0*	66
2	01.05 (06 ч)	1.61	4.7	18.0	95
3	01.18 (06 ч)	4.78	5.1	17.0	93
4	01.18 (23 ч)	1.83	4.8	24.6	89
5	07.07	2.34	4.8	29.8	80
6	09.02	4.67	5.0	21.3	68
7	09.25	1.81	4.8	13.8	83
8	12.04	1.96	4.8	19.6	97
9	12.13	1.66	4.7	13.2	84

Примечание. Столбцы: 3 – скалярный сейсмический момент; 4 – моментная магнитуда; 5 – глубина очага (* – фиксированное значение параметра); 6 – соответствие TCM модели двойной пары сил (double-couple).

В очагах большинства исследуемых землетрясений реализовались сдвиго-сбросовые и сбросо-сдвиговые смещения (рис. 4, 5), и только для двух землетрясений, произошедших 7 января и 7 апреля, полученные фокальные механизмы свидетельствуют о преобладании восходящих тектонических движений. У наиболее сильных из рассматриваемых сейсмических событий ($M_w \geq 4.6$) ось сжатия направлена практически вертикально, а растяжение происходило субгоризонтально в юго-восток – северо-западном направлении (рис. 4, табл. 2), т.е. вкрест простирания основных структур Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Детальный анализ тектонической позиции их очагов приведен в статьях [15–18] настоящего ежегодника за исключением землетрясения, произошедшего 4 декабря в зоне перехода от БРЗ к Становому хребту. На этой территории наблюдается резкое изменение морфокинематики активных разломов: северо-восточное рифтовое простирание разрывных нарушений меняется на близширотное, а левосторонние сбросо-сдвиги, характерные для БРЗ, к востоку от р. Олёкма сменяются на левосторонние и правосторонние взбросо-сдвиги [19]. Полученный в данной работе фокальный механизм (рис. 4) свидетельствует о том, что очаг рассматриваемого землетрясения сформировался в рифтовом поле напряжений. Для сейсмических событий с $M_w < 4.6$ (рис. 5) характерен больший разброс ориентации осей сжатия и растяжения, что может быть вызвано, например, с перераспределением напряжений в мелкомасштабных блоках земной коры после более сильных толчков.

Закключение. Для 20 землетрясений с $M_w \geq 4.2$, произошедших на территории Прибайкалья и Забайкалья в 2015 г., в приближении двойной пары сил по амплитудным спектрам поверхностных волн были рассчитаны TCM и глубина гипоцентра. Показано, что в очагах большинства исследуемых землетрясений реализовались сдвиго-сбросовые и сбросо-сдвиговые смещения. У наиболее сильных из рассматриваемых сейсмических событий ($M_w \geq 4.6$) ось сжатия направлена практически вертикально, а растяжение происходило вкрест простирания основных структур БРЗ. Для сейсмических событий с $M_w < 4.6$ характерен больший разброс ориентации осей сжатия и растяжения. Экспериментальные оценки TCM, выполненные в данной работе, представляют интерес для режимных наблюдений за полями напряжений и деформаций соответствующего масштабного уровня и способствуют выявлению их пространственно-временных вариаций.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках темы НИР АААА-А20-120060890034-7 госзадания № 075-00576-21 с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-05-00823).

Л и т е р а т у р а

1. Гилёва Н.А., Хамидулина О.А. (отв. сост.); Меньшикова Ю.А., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Емельянова Л.В., Сенотрусова Т.Е., Архипенко Н.С., Павлова Л.В., Терёшина Е.Н., Мазаник Е.В., Инешина М.Ф., Федюшкина Я.И., Папкова А.А., Галактионова Н.Н., Филиппова А.И., Радзиминович Я.Б. Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p > 7.5$ за 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
2. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В. и др. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. – М.: Наука, 1986. – 278 с.
3. 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.
4. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // Известия АН СССР. Физика Земли. – 2014. – № 3. – С. 103–114. doi:10.7868/S0002333714030090
5. Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Taponnier 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.
6. 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. – V. 95. – P. 101–122.
7. Bassin C., Laske G., Masters G. The current limits of resolution for surface wave tomography in North America // EOS Transactions AGU. – 2000. – V. 81.
8. Dziewonski A.M., Anderson D.L. Preliminary Reference Earth Model // Physics of the Earth and Planetary Interiors. – 1981. – V. 25. – P. 297–356.
9. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Филиппова А.И. Механизмы очагов землетрясений Прибайкалья и Забайкалья в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – [Электронное приложение]. – URL: <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html>
10. Seredkina A.I., Melnikova V.I. New data on earthquake focal mechanisms in the Laptev Sea region of the Arctic-Asian seismic belt // Journal of Seismology. – 2018. – V. 22, N 5. – P. 1211–1224. doi: 10.1007/s10950-018-9762-9
11. 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
12. Середкина А.И., Козьмин Б.М. Очаговые параметры Таймырского землетрясения 9 июня 1990 г. // Доклады АН. – 2017. – Т. 473, № 2. – С. 214–217. doi:10.7868/S0869565217060202
13. Bukchin B., Clevede E., Mostinskiy A. Uncertainty of moment tensor determination from surface wave analysis for shallow earthquakes // Journal of Seismology. – 2010. – V. 14, N 3. – P. 601–614. doi: 10.1007/s10950-009-9185-8
14. Середкина А.И., Гилёва Н.А. Зависимость между моментной магнитудой и энергетическим классом для землетрясений Прибайкалья и Забайкалья // Сейсмические приборы. – 2016. – Т. 52, № 2. – С. 29–38.
15. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Филиппова А.И., Радзиминович Я.Б., Кобелева Е.А. Сейсмичность Прибайкалья и Забайкалья в 2015 г. // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 129–138. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.12
16. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Филиппова А.И., Радзиминович Я.Б., Кобелева Е.А. Муяканская последовательность землетрясений в 2015 г. (Северное Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 245–257. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.24
17. Радзиминович Я.Б., Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Филиппова А.И. Сильные землетрясения Северного Прибайкалья ($M_w=4.6-4.7$) в 2015 году // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 276–290. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.27
18. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И. Таллайское землетрясение 2 сентября 2015 г. с $K_p=14.0$, $M_w=5.1$, $I_0=7-8$ на северо-восточном фланге Байкальского рифта // Землетрясения Северной Евразии. – 2021. – Вып. 24 (2015 г.). – С. 305–313. doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.29
19. Имаева Л.П., Мельникова В.И., Имаев В.С., Козьмин Б.М., Мельников А.И., Гриб Н.Н. Эволюция сеймотектонических процессов северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2012. – 232 с.

**SOURCE PARAMETERS of STRONG EARTHQUAKES
OCCURRED in the BAIKAL REGION and TRANSBAIKALIA in 2015**

A.I. Filippova¹, N.A. Gileva²

¹*Pushkov Institute of terrestrial magnetism, ionosphere and radio wave propagation RAS,
Moscow, Troitsk, ale@izmiran.ru*

²*Baikal branch GS RAS, Irkutsk, nagileva@crust.irk.ru*

Abstract. We calculated seismic moment tensors in a double-couple approximation (focal mechanisms, scalar seismic moments, and moment magnitudes) and hypocentral depths for twenty earthquakes with $M_w \geq 4.2$ that occurred in the Baikal region and Transbaikalia in 2015. The initial data were amplitude spectra of Rayleigh and Love waves obtained from their records at the broadband seismic stations of the IRIS and the DK networks and first-motion polarities of body waves recorded at regional distances. A combination of the normal fault and strike-slip movements dominate in the sources of the major part of the study earthquakes. For the strongest of the considered seismic events ($M_w \geq 4.6$), the subvertical compression and subhorizontal tension in the SE-NW direction prevail, i.e. the tension is perpendicular to the main structures of the Baikal rift zone. The seismic events with $M_w < 4.6$ are characterized by a more scattered orientation of compression and tension axis that could be caused, for instance, by stress redistribution in small-scale crustal blocks after stronger earthquakes. The obtained results are of great value for issues concerned with seismic hazard assessment and the development of geodynamical models of the lithosphere evolution of the study region.

Key words: earthquake, surface waves, seismic moment tensor.

DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.21

For citation: Filippova, A.I., & Gileva, N.A. (2021). [Source parameters of strong earthquakes occurred in the Baikal region and Transbaikalia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 217–225. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.21

References

1. Gileva, N.A., Hamidulina, O.A., Menshikova, Yu.A., Drennova, G.F., Kurilko, G.V., Emelianova, L.V., Senotrusova, T.E., Arkhipenko, N.S., Pavlova, L.V., Tereshina, E.N., Mazanik, E.V., Ineshina, M.F., Fedushkina, Ya.I., Papkova, A.A., Galaktionova, N.N., Filippova, A.I., & Radziminovich, Ya.B. (2021). [Catalog of earthquakes of Baikal and Transbaikalia for 2015 with the $K_p > 7.5$]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
2. Levshin, A.L., Yanovskaya, T.B., Lander, A.V. et al. (1989). *Seismic surface waves in a laterally inhomogeneous Earth*. Dordrecht, Springer Netherlands, 304 p. doi: 10.1007/978-94-009-0883-3
3. Bukchin, B.G. (1990). Determination of source parameters from surface wave recording allowing for uncertainties in the properties of medium. *Izvestiya AN SSSR, Fizika Zemli*, 25, 723–728.
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: 0.1134/S1069351314030094
5. Lasserre, C., Bukchin, B., Bernard, P., Tapponnier, 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.
6. Nataf, H.-C., & Ricard, Y. (1996). 3SMAC: on a priori tomographic model of the upper mantle based on geophysical modeling. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 95, 101–122.
7. Bassin, C., Laske, G., & Masters, G. (2000). The current limits of resolution for surface wave tomography in North America. *EOS Transactions AGU*, 81, F897.
8. Dziewonski, A.M., & Anderson, D.L. (1981). Preliminary Reference Earth Model. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 25, 297–356.
9. Melnikova, V.I., Gileva, N.A., & Filippova, A.I. (2021). [Focal mechanisms of earthquakes in Baikal and Transbaikalia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015). Electronic supplement. Retrieved from <http://www.ceme.gsras.ru/zse/app-24.html> (In Russ.).
10. Seredkina, A.I., & Melnikova, V.I. (2018). New data on earthquake focal mechanisms in the Laptev Sea region of the Arctic-Asian seismic belt. *Journal of Seismology*, 22(5), 1211–1224. doi: 10.1007/s10950-018-9762-9

11. Melnikova, V.I., Gileva, N.A., Arefyev, S.S., Bykova, V.V., & Seredkina, A.I. (2013). The August 27, 2008, $M_w = 6.3$ Kultuk earthquake (South Baikal): The stress-strain state of the source area from the aftershock data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 49, 563–576. doi: 10.1134/S1069351313040071
12. Seredkina, A.I., & Kozmin, B.M. (2017). Source parameters of the Taimyr earthquake of June 9, 1990. *Doklady Earth Sciences*, 472(2), 343–346. doi: 10.1134/S1028334X1702026X
13. Bukchin, B., Clevede, E., & Mostinskiy, A. (2010). Uncertainty of moment tensor determination from surface wave analysis for shallow earthquakes. *Journal of Seismology*, 14(3), 601–614. doi: 10.1007/s10950-009-9185-8
14. Seredkina, A.I., & Gileva, N.A. (2016). Correlation between moment magnitude and energy class of earthquakes in Pribaikalia and Transbaikalia. *Seismic instruments*, 52(2), 29–38. (In Russ.).
15. Melnikova, V.I., Gileva, N.A., Filippova, A.I., Radziminovich, Ya.B., & Kobeleva, E.A. (2021). [Seismicity of Baikal and Transbaikalia in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 129–138. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.12
16. Gileva, N.A., Melnikova, V.I., Filippova, A.I., Radziminovich, Ya.B., & Kobeleva, E.A. (2021). [Muyakan earthquake sequence in 2015 (Northern Baikal region)]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 245–257. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.24
17. Radziminovich, Ya.B., Melnikova, V.I., Gileva, N.A., Filippova, A.I. (2021). [Large earthquakes at the Northern lake Baikal region ($M_w=4.6-4.7$) in 2015]. *Zemletriaseniia Severnoi Evrazii* [Earthquakes in Northern Eurasia], 24(2015), 276–290. (In Russ.). doi: 10.35540/1818-6254.2021.24.27