

ШАМАНСКОЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ 19 марта 2010 г.

с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$, $I_0=7-8$ (Северное Прибайкалье)

Н.А. Гилёва¹, Я.Б. Радзиминович^{1,2}, А.И. Середкина², В.И. Мельникова^{1,2}

¹*Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, nagileva@crust.irk.ru*

²*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, ian@crust.irk.ru*

Северное Прибайкалье характеризуется довольно высокой сейсмической активностью. Умеренные и сильные землетрясения в этом районе нельзя считать редкими [1, 2], в некоторых случаях произошедшие здесь толчки вносят основной вклад в выделяющуюся в регионе суммарную сейсмическую энергию за год. К таким случаям относится Шаманское землетрясение 19 марта в 09^h30^m с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$, локализованное в Баргузинском хребте (рис. 1) и ставшее наиболее сильным сейсмическим событием в регионе Прибайкалья и Забайкалья в 2010 г. Название землетрясению дано по местоположению эпицентра в верховьях р. Шаманка.

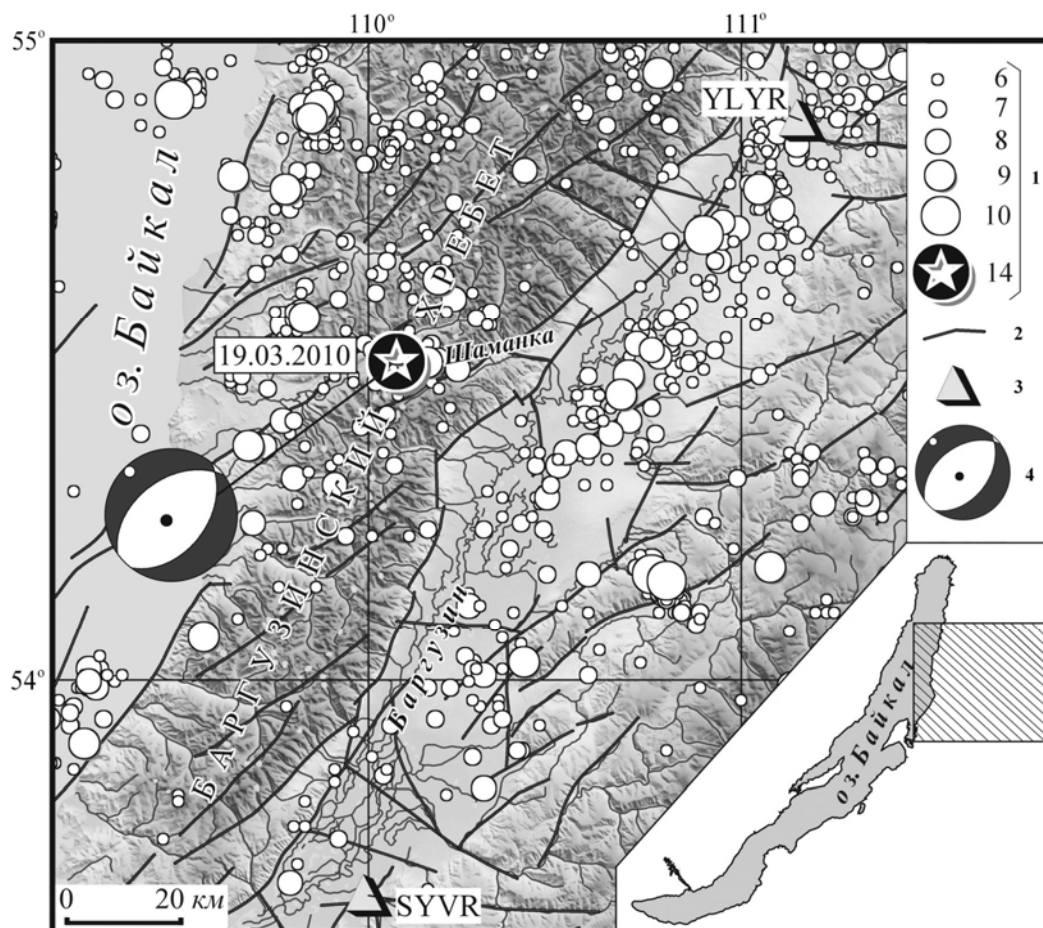


Рис. 1. Карта эпицентров землетрясений Северного Прибайкалья за 2010 г.

1 – энергетический класс K_p [3]; 2 – разлом, активный в кайнозое [4]; 3 – сейсмическая станция; 4 – стереограмма механизма очага землетрясения в проекции нижней полусферы [5]; на врезке показан район исследования.

Локализация эпицентра Шаманского землетрясения 19 марта была выполнена в Байкальском филиале ГС СО РАН по данным 37 сейсмических станций (рис. 2), при этом 4 станции

относились к территории Якутского филиала ГС СО РАН, две станции – к территории Алтае-Саянского филиала ГС СО РАН. Также использовались данные станции «Улан-Батор» (Монголия) и «Хайлар» (Китай). Ближайшей к эпицентру была станция «Улюнхан» ($\Delta=81$ км). Шесть станций располагались на расстоянии менее 200 км, а максимальное эпицентральное расстояние (до станции «Хову-Аксы») составило 1158 км.

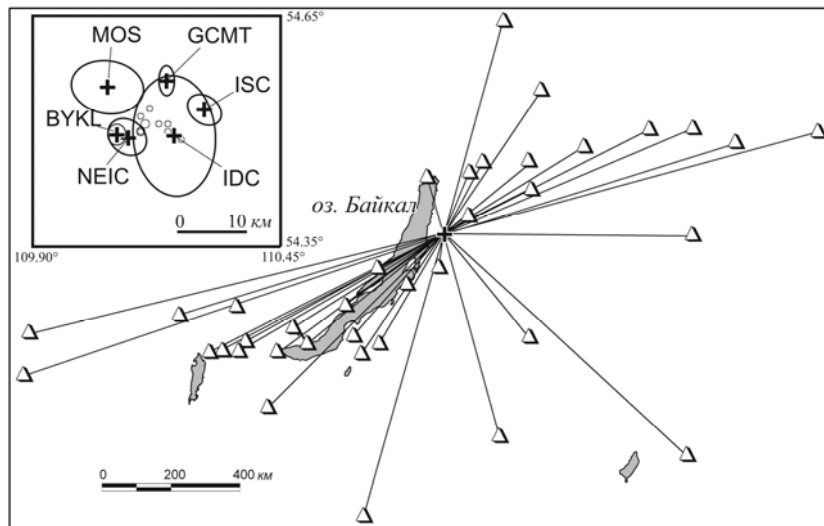


Рис. 2. Пространственное положение эпицентра Шаманского землетрясения 19 марта 2010 г. относительно региональных сейсмических станций, данные которых использовались при обработке материалов наблюдений

На врезке представлены решения эпицентра главного толчка и эллипсы горизонтальных ошибок по данным разных агентств, а также эпицентры немногочисленных слабых афтершоков.

Определения основных параметров Шаманского землетрясения по данным различных сейсмологических агентств представлены в табл. 1. Наибольшей точностью характеризуется решение ВУКЛ, хотя очень близкое в пространственном отношении определение с небольшим эллипсом ошибок получено агентством NEIC. Наименее точное определение координат эпицентра с ошибками до 10 км получено агентством IDC. Расхождение в определении координат эпицентра у большинства международных агентств, по сравнению с ВУКЛ составляет 10–13 км.

Таблица 1. Основные параметры Шаманского землетрясения 19 марта 2010 г. по данным различных сейсмологических агентств

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	09 30 41.4	0.2	54.50	0.01	110.08	0.02	25 28**	16	$K_p=(13.6\pm 0.2)/26$, $M_w=5.3/14$	[3, 5–7]
MOS	09 30 38.0	1.14	54.56	0.03	110.06	0.08	10		$M_S=5.1/61$, $M_{PSP}=5.5/113$	[8]
ISC	09 30 40.8	0.33	54.53	0.01	110.27	0.03	17.6 17.0*	1.89	$M_S=5.0/189$, $m_b=5.4/314$	[9]
NEIC	09 30 39.5	0.49	54.50	0.02	110.11	0.03	10.3	3.0	$m_b=5.5/190$, $M_S=5.0/126$	[9]
IDC	09 30 37.7	0.31	54.50	0.08	110.21	0.09			$m_b=4.9/35$, $M_S=5.0/37$	[9]
GCMT	09 30 39.4	0.10	54.57	0.02	110.19	0.02	34.7	0.3	$M_w=5.3/102$	[9]

Примечание. * – h по фазе pP , ** – h по инверсии тензора сейсмического момента [7]; расшифровка кодов агентств дана в обозначениях к наст. сб.

Шаманское землетрясение 19 марта 2010 г. практически не сопровождалось афтершоками: за период с 19 по 25 марта в его эпицентральной зоне произошло лишь 10 слабых ($K_p < 7.0$) толчков. Это обстоятельство заметно отличает его от других сильных землетрясений Северного

Прибайкалья, в частности Акуликанского-I и Акуликанского-II [1], а также Томпудинского [2], афтершоковые последовательности которых насчитывали более 2000 толчков.

Предшествующая сейсмичность. В течение инструментального периода наблюдений, с 1960 г., в непосредственной близости к эпицентральной зоне Шаманского землетрясения 19 марта 2010 г. регистрировались только слабые толчки, энергетический класс которых не превышал $K_p=11$. Тем не менее в этой части Баргузинского хребта известны два сейсмических события, сопоставимые по энергии с Шаманским землетрясением (рис. 3). Первое из них – землетрясение 27.07.1961 г. с $K_p=13.0$ [10], произошедшее приблизительно в 40 км к югу от эпицентра Шаманского события; второе – землетрясение 14.01.1982 г. с $K_p=13.3$, $MLH=4.9$, эпицентр которого располагался в 40 км к северо-востоку [11]. Последнее событие сопровождалось макросейсмическими эффектами интенсивностью до 5 баллов в населенных пунктах Баргузинской впадины, а также ощущалось с интенсивностью $I=2-3$ балла на эпицентральных расстояниях свыше 400 км [11]. Оба землетрясения характеризовались сбросовыми подвижками в очагах по плоскостям, близким к простиранию Баргузинского хребта. Следует отметить, что большая часть остальных сейсмических событий с известными фокальными механизмами (рис. 3) также произошла в рифтовом поле напряжений [10, 12].

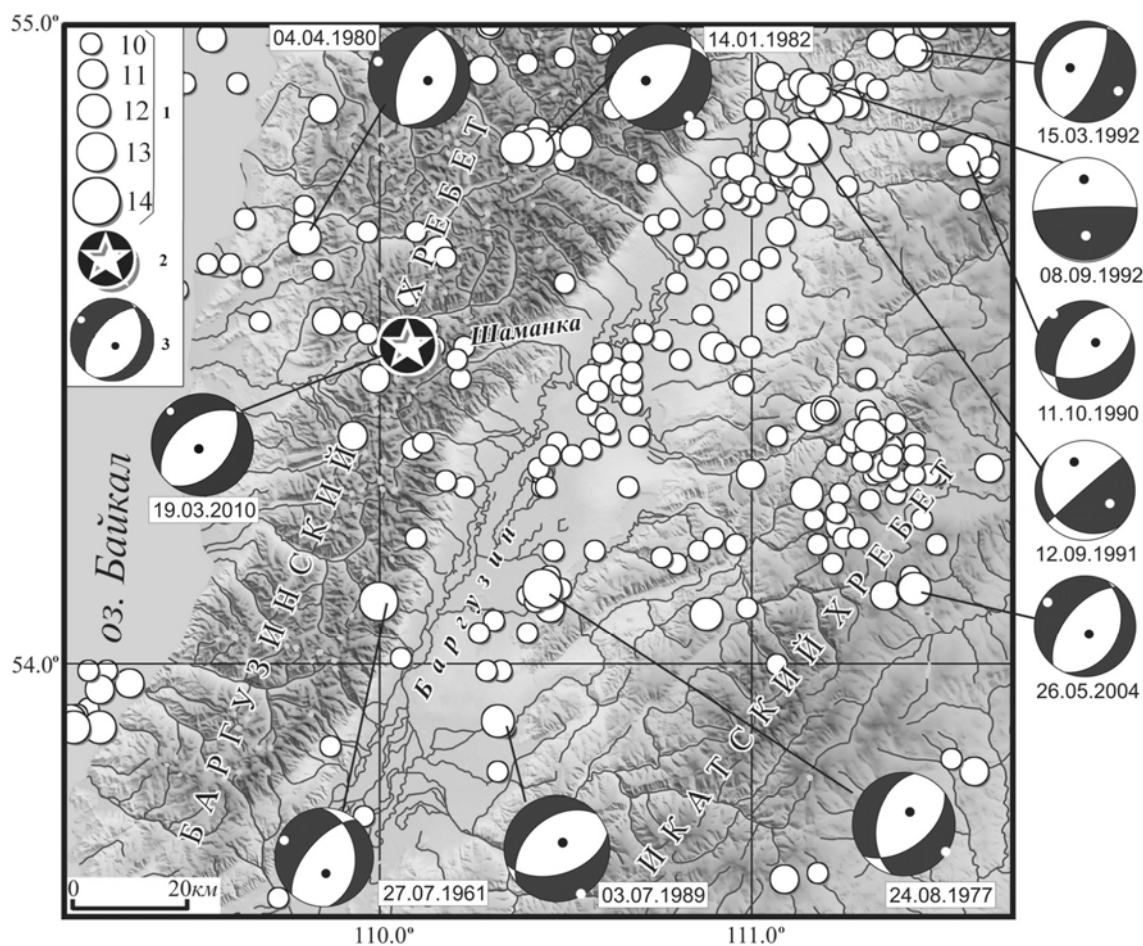


Рис. 3. Карта эпицентров инструментально зарегистрированных землетрясений с $K_p \geq 9.6$ за период 01.01.1960 г. – 19.03.2010 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – эпицентр Шаманского землетрясения 19 марта; 3 – стереограмма механизма очага землетрясения в проекции нижней полусферы (дата: число, месяц, год).

Механизм очага. Исходными данными для определения очаговых параметров землетрясения 19 марта служили его записи на широкополосных каналах LHZ и LHT цифровых сейсмических станций сетей IRIS. Для анализа использовались только сейсмограммы с высоким отношением сигнал/шум и нормальной поляризацией. Кроме того, положение станций,

используемых для дальнейшего анализа, выбиралось таким образом, чтобы они находились в разных азимутах от эпицентра рассматриваемого события. Таким образом, всего были отобраны записи 14 сейсмических станций (рис. 4). Диапазон эпицентральных расстояний составил от 2115 до 9450 км.

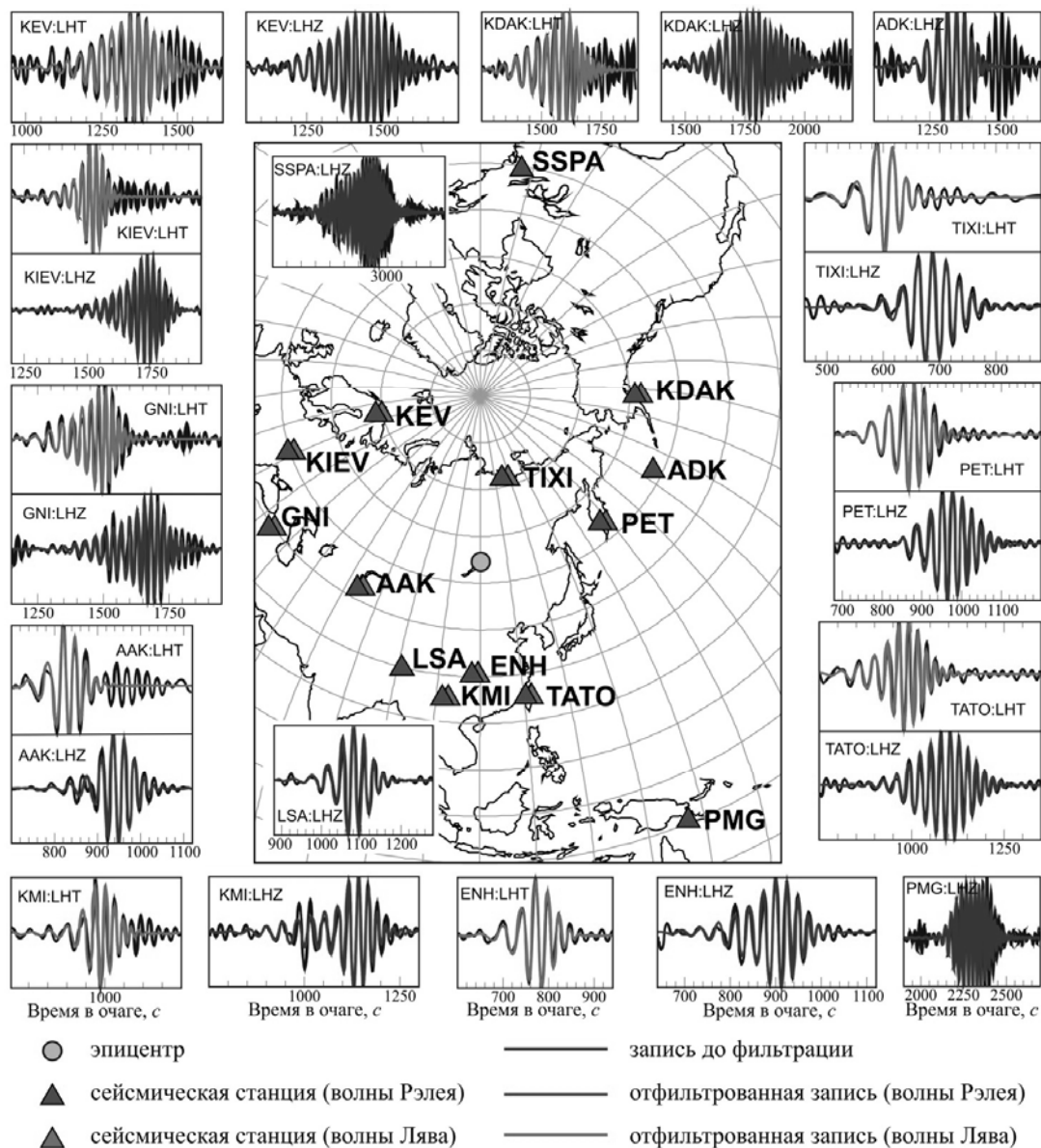


Рис. 4. Карта сейсмических станций (с международными кодами), используемых для анализа очаговых параметров с отфильтрованными записями

Спектры основной моды поверхностных волн были получены для каждой трассы «эпицентр-станция» с помощью метода спектрально-временного анализа (СВАН) [13] в диапазоне периодов колебаний $T=30-60$ с (рис. 4). Пример расчетов амплитудных спектров волн Рэлея и Лява (СВАН-диаграммы) для станции «Петропавловск» (PET) показан на рис. 5.

Тензор сейсмического момента (ТСМ) в приближении двойной пары сил (double-couple) и глубина гипоцентра рассчитывались по полученным амплитудным спектрам поверхностных волн по программе, разработанной в ИТПЗ РАН [14]. Корректность применения используемой методики расчета ТСМ для байкальских землетрясений средних магнитуд рассмотрена в работе [7]. Для однозначного определения механизма очага землетрясения дополнительно учитывались знаки первых вступлений объемных волн на региональных сейсмических станциях [15]. Предварительно была проведена процедура осреднения знаков (рис. 6 А, Б).

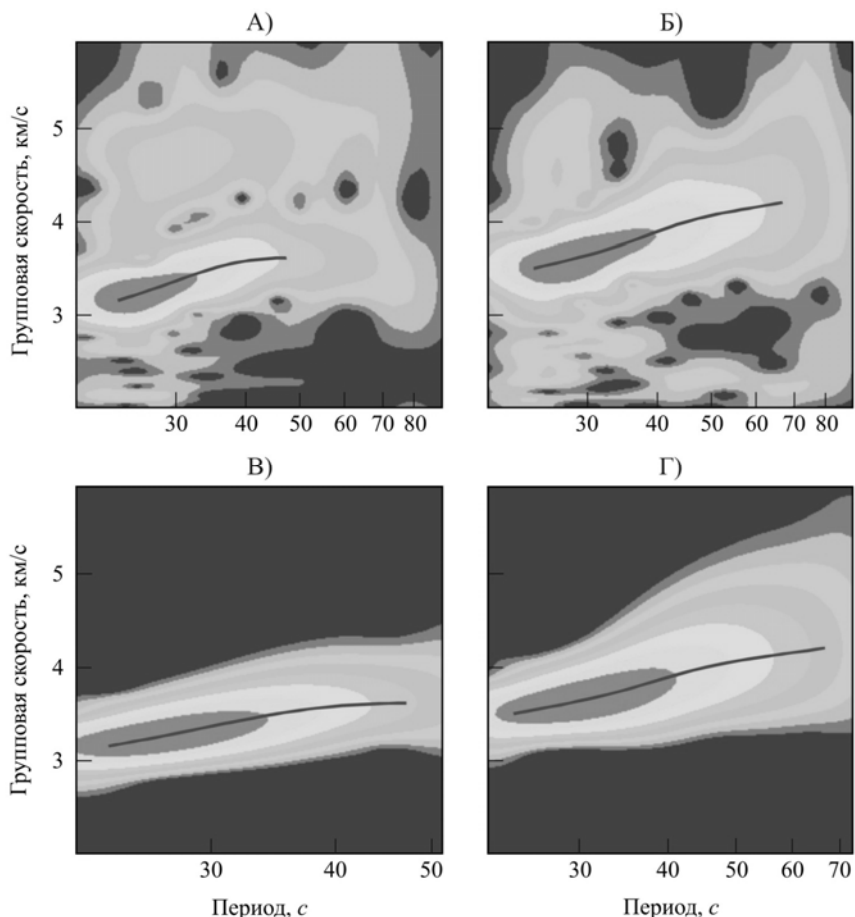


Рис. 5. СВАН-диаграммы записи землетрясения 19 марта 2010 г. на вертикальной (А, В) и трансверсальной (Б, Г) компонентах станции РЕТ до (А, Б) и после (В, Г) фильтрации с выделенной красным цветом дисперсионной кривой групповой скорости

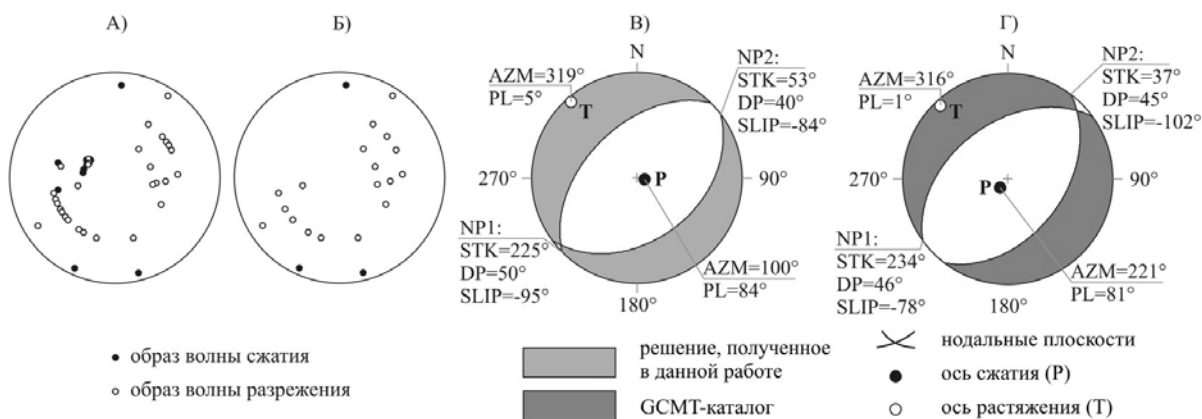


Рис. 6. Знаки первых вступлений объемных волн, зарегистрированные на региональных сейсмических станциях, до (А) и после (Б) процедуры осреднения; механизм очага землетрясения 19 марта 2010 г. в проекции нижней полусферы, полученный в данной работе (В) и по данным GCMT-каталога (Г)

Оценка качества полученного решения производилась с помощью функции нормированной невязки (ϵ) [15]. Данная функция характеризует отличие расчетных амплитудных спектров от наблюдаемых, а также показывает отношение числа знаков первых вступлений, не удовлетворяющих полученной диаграмме излучения, к общему числу знаков. Кроме того, рассчитывалась частная функция нормированной невязки для каждого из искомых параметров (например, глубины – ϵ_h).

Строение земной коры под сейсмическими станциями задавалось моделью 3SMAC [16], а в окрестности очага землетрясения – моделью CRUST 2.0 [17], согласно которой мощность земной коры в данном районе составляет 43 км (табл. 2). Для описания верхней мантии и расчета затухания поверхностных волн использовалась сферически симметричная модель PREM [18].

Таблица. 2. Строение земной коры по модели CRUST 2.0 [17]

Мощность слоя, км	v_p , км/с	v_s , км/с	ρ , г/см ³
0–15	6.20	3.60	2.80
16–30	6.60	3.70	2.90
31–43	7.20	4.00	3.10
Средние характеристики коры	6.62	3.75	2.93

В результате инверсии было получено решение механизма очага [5] со следующими параметрами плоскостей разрыва (STK , DP , $SLIP$) для $NP1$: 225°, 50°, -95° и $NP2$: 53°, 40°, -84° (рис. 6, В) Глубина гипоцентра составила $h=28$ км (рис. 7), скалярный сейсмический момент $M_0=9.6 \cdot 10^{16}$ Н·м, моментная магнитуда $M_w=5.3$ и значение функции нормированной невязки $\epsilon=0.324$.

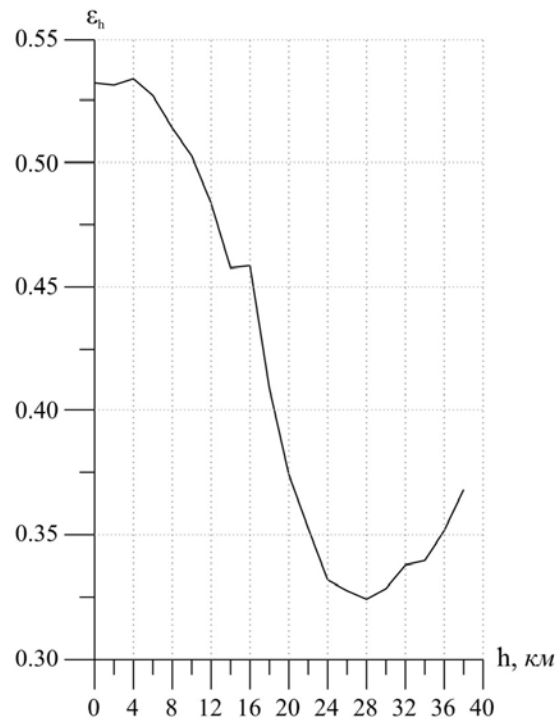


Рис. 7. Зависимость частной функции нормированной невязки (ϵ_h) от глубины очага

Сопоставляя полученное решение с данными GСMT-каталога (рис. 6, Г, $M_0=1.14 \cdot 10^{17}$ Н·м, $M_w=5.3$), отметим хорошую согласованность результатов инверсий, выполненных различными методами [19] и по различным исходным данным [20, 21]. Несмотря на то, что при расчетах полного девиаторного ТСМ и центраида рассматриваемого землетрясения использовались более длиннопериодные сейсмические волны (объемные волны – $T>40$ с, поверхностные волны – $T=50-150$ с), решение было получено в виде чистой двойной пары сил (double-couple) без CLVD-компоненты. Данный факт наряду с непротиворечивостью полученного решения со знаками первых вступлений объемных волн на региональных станциях свидетельствует о том, что очаг рассматриваемого сейсмического события удовлетворяет модели подвижки по плоской площадке во всех фазах разрыва. Несколько хуже согласуются значения глубины очага (28 км в данной работе, 34.7 км – GСMT-каталог). Похожие закономерности при определении глубин гипоцентров различными методами были отмечены ранее для землетрясений Прибайкалья [7].

Макросейсмические сведения. Сведения об ощутимых эффектах Шаманского землетрясения были получены главным образом посредством рассылки опросных листов; кроме то-

го, информация поступила также от сотрудников сейсмических станций региональной сети. Северное Прибайкалье остается сравнительно малонаселенным районом, по этой причине макросейсмические данные довольно ограничены.

Эффекты с интенсивностью $I=5$ баллов наблюдались в с. *Могойто* и с. *Курумкан*. Землетрясение было замечено людьми, находившимися в зданиях на первых–вторых этажах, а также на открытом воздухе. Очевидцы испытывали сильный испуг, некоторые в панике покидали дома. В помещениях скрипели полы и потолки, дребезжала посуда, стекла окон; колебались висячие предметы; самопроизвольно открывались и закрывались двери; скрипела мебель; незакрепленные предметы сдвигались с места и падали на столах и полках. В с. *Курумкан* в деревянных зданиях в штукатурке возникли тонкие трещины. Был слышен нарастающий, «воющий» подземный гул.

С несколько меньшей интенсивностью ($I=4–5$ баллов) землетрясение ощущалось в у. *Барагхан*, с. *Бодон*, с. *Суво*. Сотрясения чувствовались практически всеми жителями, некоторые из которых в испуге покидали помещения. Макросейсмические эффекты сводятся к следующему: скрипели полы и потолки, дребезжала посуда, стекла окон, колебались висячие предметы; иногда самопроизвольно открывались и закрывались двери. Был слышен продолжительный подземный гул. Сходные эффекты наблюдались также в г. *Северобайкальск* и пгт *Нижнеангарск*.

Макросейсмические эффекты с интенсивностью $I=4$ балла были отмечены на эпицентральных расстояниях до 210 км. В помещениях (в основном деревянные одноэтажные дома) дребезжала посуда, стекла окон; скрипела мебель; колебались висячие предметы. Некоторые очевидцы, испытывая испуг, выходили из домов. Многие слышали подземный гул и сравнивали его с прохождением тяжелой техники.

Шаманское землетрясение ощущалось также в г. *Чита* с интенсивностью $I=2–3$ балла на расстоянии $\Delta \sim 360$ км. Волнообразные колебания пола и стен, а также вибрация и раскачивание предметов обстановки были замечены главным образом в помещениях, расположенных на верхних этажах. Некоторые очевидцы отмечали ухудшение самочувствия – возникновение тошноты, головокружение.

Оценка интенсивности сотрясений по шкале MSK-64 [22] представлена в табл. 3; карта макросейсмических проявлений типа «пункты–баллы» приведена на рис. 8.

Таблица 3. Макросейсмические данные о землетрясении 19 марта 2010 г. с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$

№	Пункт	Δ , км	Примечания	№	Пункт	Δ , км	Примечания
	<u>5 баллов</u>			17	пгт Усть-Баргузин	137	гул
1	с. Могойто	26	гул	18	пгт Кичера	160	
2	с. Курумкан	26	гул	19	пгт Кунерма	172	
	<u>4–5 баллов</u>			20	пгт Улькан	213	
3	у. Барагхан	39	гул	21	с. Багдарин	227	
4	с. Бодон	87	гул		<u>3 балла</u>		
5	с. Суво	94	гул	22	с. Адамово	123	
6	г. Северобайкальск	137			<u>2–3 балла</u>		
7	пгт Нижнеангарск	146		23	г. Чита	358	
	<u>4 балла</u>				<u>2 балла</u>		
8	у. Арзгун	42	гул	24	с. Казачинское	252	
9	у. Улюн	75	гул	25	г. Иркутск	454	
10	с. Уро	108	гул		<u>Не ощущалось</u>		
11	с. Гусиха	130	гул	26	с. Романовка	226	
12	с. Верхняя Заимка	150		27	пгт Жигалово	318	
13	пос. Уоян	209		28	с. Макарово	359	
14	пгт Новый Уоян	211		29	пгт Горно-Чуйский	363	
	<u>3–4 балла</u>			30	пос. Верхнемарково	367	
15	у. Улюнхан	81		31	пос. Витимский	457	
16	с. Баргузин	103	гул				

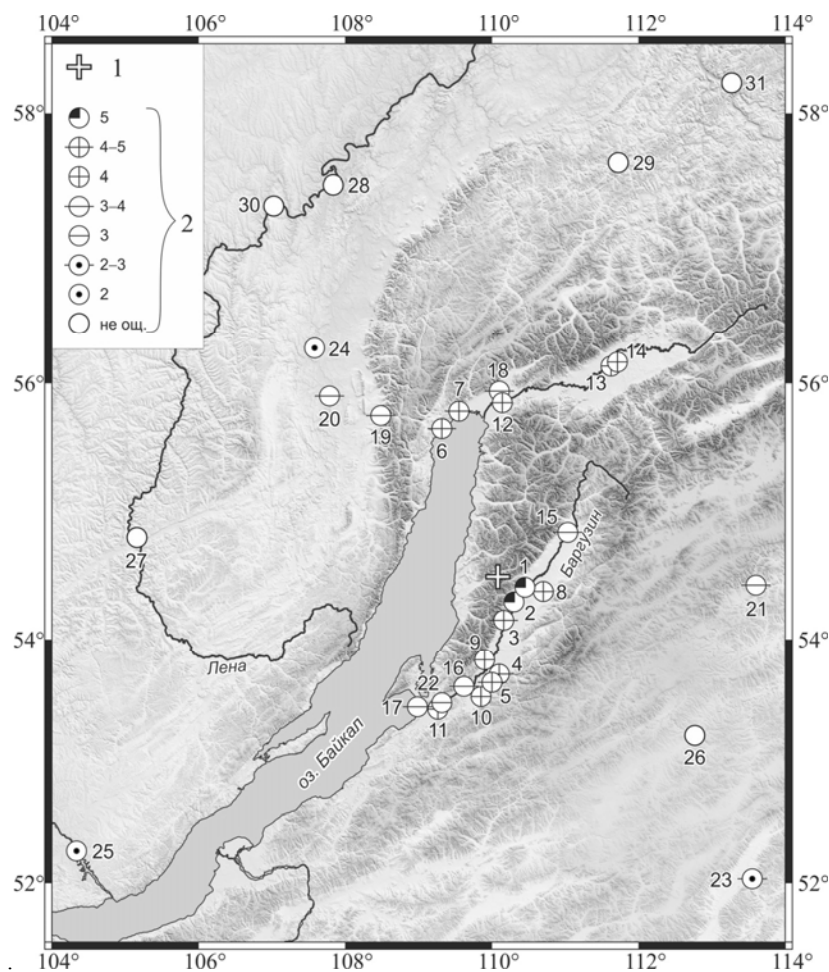


Рис. 8. Карта макросейсмических проявлений Шаманского землетрясения 19 марта 2010 г. с $K_p=13.6$, $M_w=5.3$

1 – инструментальный эпицентр; 2 – интенсивность сотрясений I в баллах шкалы MSK-64 [22]; номера пунктов соответствуют таковым в табл. 3.

Сильные движения. Записи сильных движений при Шаманском землетрясении, которые возможно сопоставить с наблюдаемыми макросейсмическими эффектами, были получены на четырех сейсмических станциях: «Улюнхан» ($\Delta=81$ км), «Суво» (94 км), «Нижнеангарск» (146 км) и «Уоян» (209 км) (рис. 9). Наибольшее значение ускорений $A_{\max}=13.7$ $см/с^2$ было зарегистрировано на станции «Улюнхан». Это значение, согласно шкале MMSK-92 [23], соответствует интенсивности сотрясений $I=5$ баллов, в то время как наблюдаемые макросейсмические эффекты позволяют оценить интенсивность сотрясений в у. Улюнхан лишь в 3–4 балла. Чуть лучше соотносятся инструментальные и макросейсмические оценки для с. Суво: максимальные ускорения достигли значения $A_{\max}=4.8$ $см/с^2$, что соответствует 4 баллам по шкале MMSK-92, при наблюдаемой интенсивности сотрясений 4–5 баллов. На сейсмической станции «Нижнеангарск» максимальное значение ускорений составило $A_{\max}=2.1$ $см/с^2$, или 3 балла по шкале MMSK-92, тогда как в пгт Нижнеангарск наблюдались довольно сильные сотрясения, оцениваемые в 4–5 баллов. Наконец, инструментальная оценка интенсивности для сейсмической станции «Уоян» ($A_{\max}=2.9$ $см/с$) соответствует 3 баллам, при реально наблюдаемой интенсивности, равной 4 баллам. Подобное несоответствие можно объяснить несовершенством макросейсмических оценок по лаконичным данным, что является характерной ситуацией для Прибайкалья. Возможно также, что на интенсивность макросейсмических проявлений оказывает влияние частотный состав колебаний. Например, в пгт Нижнеангарск интенсивность сотрясений в 4–5 баллов наблюдалась при частоте $f=3.9$ Гц, но при довольно низком значении максимальных ускорений. Напротив, на сейсмической станции «Улюнхан» при высоком значении максимальных ускорений $A_{\max}=13.7$ $см/с^2$ и частоте $f=11.5$ Гц интенсивность сотрясений составила 3–4 балла против ожидаемой по шкале MMSK-92 расчетной интенсивности $I=5$ баллов.

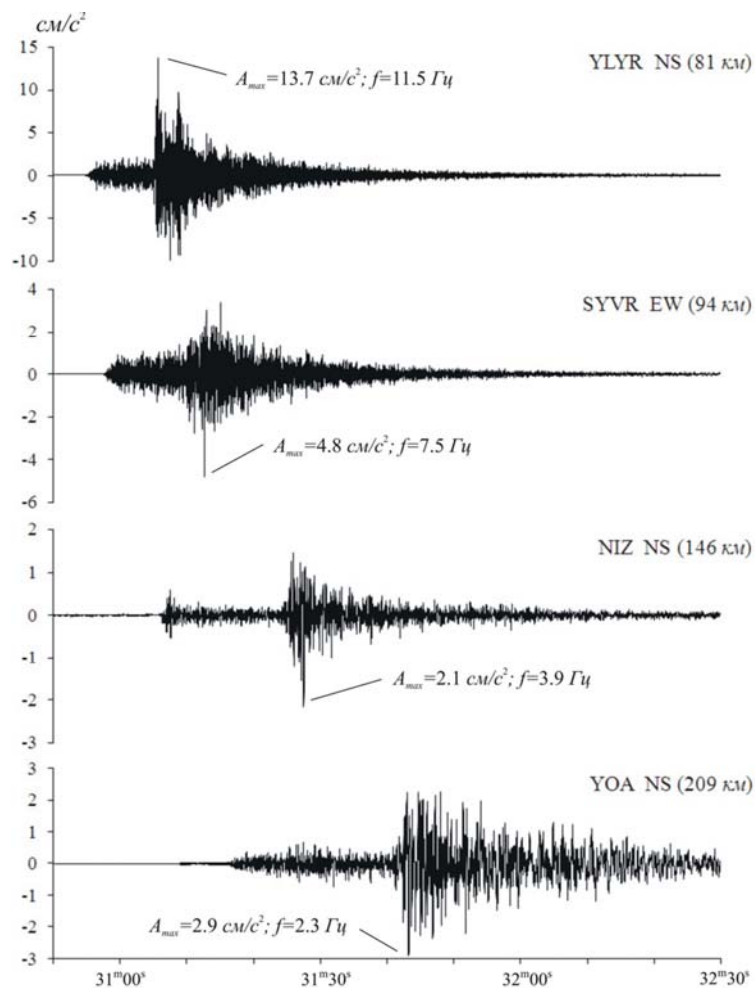


Рис. 9. Акселерограммы Шаманского землетрясения 19 марта 2010 г., полученные на ближайших ($\Delta < 210$ км) к эпицентру сейсмических станциях Байкальского филиала ГС СО РАН

В заключение отметим, что Шаманское землетрясение подтверждает современную сейсмическую активность Баргузинского хребта и преобладание в этом районе сбросовой кинематики подвижек в очагах землетрясений. Возникающие в пределах Северного Прибайкалья землетрясения могут ощущаться на больших эпицентральных расстояниях и вызывать хорошо заметные сотрясения в крупных городах Восточной Сибири. Данные о Шаманском землетрясении могут быть востребованы в работах по сейсмическому районированию и оценке сейсмической опасности.

Л и т е р а т у р а

1. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б., Очковская М.Г., Середкина А.И. Землетрясения Акуликанское-I 4 декабря 2006 г. с $M_w=5.2$, $K_p=13.6$, $I_0=7$ и Акуликанское-II 11 декабря с $M_w=4.9$ $K_p=13.1$, $I_0=7$ // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 428–442.
2. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б. Томпудинское землетрясение 4 июля 2007 г. с $K_p=14.2$, $M_w=5.4$, $I_0=7-8$ (Северное Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 363–372.
3. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Терешина Е.А., Борисова О.А., Папкина А.А., Зиброва Е.С. (сост). Каталог (оригинал) землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2010 г. с $K_p \geq 5.6$ ($N=7388$). – Иркутск: Фонды БФ ГС СО РАН, 2011. – 131 с.

4. Лунина О.В., Гладков А.С., Шерстянкин П.П. Новая электронная карта активных разломов юга Восточной Сибири // ДАН. – 2010. – 433. – № 5. – С. 662–667.
5. Мельникова В.И., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Ландер А.В., Середкина А.И., Татомир Н.В. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Торбеева М.В., Меньшикова Ю.А., Хамидулина О.А., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Терёшина Е.Н., Борисова О.А., Папкина А.А., Зиброва Е.С. (сост.). Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с $K_p>7.5$ за 2010 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. Середкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента землетрясений Прибайкалья по амплитудным спектрам поверхностных волн // Физики Земли. – 2014. – № 3. – С. 103–114.
8. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2010 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2010–2011. – URL: ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2010.
9. International Seismological Centre, On-line Bulletin, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom, 2013. – URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>.
10. Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М., Кучай О.А., Суханова С.С. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. – М.: АН СССР, 1993. – С. 113–122.
11. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1982 году. – М.: Наука, 1985. – С. 52–66.
12. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 гг. // Геология и геофизика. – 1998. – 39. – № 11. – С. 1598–1607.
13. Лёвшин 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.
14. 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.
15. 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) // Geophys. J. Int. – 2001. – 144. – N 1. – P. 206–220.
16. Nataf H.C., Ricard Y. 3SMAC: on a priori tomographic model of the upper mantle based on geophysical modeling // Phys. Earth Planet. Inter. – 1996. – 95. – P. 101–122.
17. Bassin C., Laske G., Masters G. The current limits of resolution for surface wave tomography in North America // EOS Trans AGU. – 2000. – 81. – F897.
18. Dziewonski A.M., Anderson D.L. Preliminary Reference Earth Model // Phys. Earth Planet. Inter. – 1981. – 25. – P. 297–356.
19. Dziewonski A.M., Chou T.A., Woodhouse J.H. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity // J. Geophys. Res. – 1981. – 86. – P. 2825–2852.
20. Dziewonski A.M., Woodhouse J.H. An experiment in systematic study of global seismicity: centroid-moment tensor solutions for 201 moderate and large earthquakes of 1981 // J. Geophys. Res. – 1983. – 88. – B4. – P. 3247–3271.
21. Ekstrom G., Morelli A., Boschi E., Dziewonski A.M. Moment tensor analysis of the central Italy earthquake sequence of September–October 1997 // Geophys. Res. Lett. – 1998. – 25. – P. 1971–1974.
22. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
23. Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK // Вычислительная сейсмология. Вып. 34. – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.