

АКУЛИКАНСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 4 декабря 2006 г. с $M_w=5.2$, $I_0=7$ и

11 декабря с $M_w=4.9$, $I_0=7$ (Северное Прибайкалье)

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

М.Г. Очковская¹, А.И. Середкина²

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

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

Акуликанское-I землетрясение, произошедшее 4 декабря 2006 г. в 09^h14^m в горных отрогах Баргузинского хребта, ограничивающих юго-восточный борт Кичерской депрессии (рис. 1), стало наиболее сильным ($K_p=13.6$, $MPSP=5.3$) сейсмическим событием в регионе Прибайкалья в 2006 г. Название ему дано по ближайшей небольшой речке Акуликан. Через неделю после первого толчка, 11 декабря 2006 г. в 09^h08^m, практически в том же самом месте (табл. 1) произошло еще одно достаточно сильное ($K_p=13.1$, $MPSP=5.0$) Акуликанское-II землетрясение. Оба сейсмических события входят в многочисленную последовательность землетрясений, названную Акуликанской, начавшуюся в ноябре 2006 г. и продолжавшуюся до 2010 г. Для удобства описания землетрясения обозначены ниже (А-I) и (А-II).

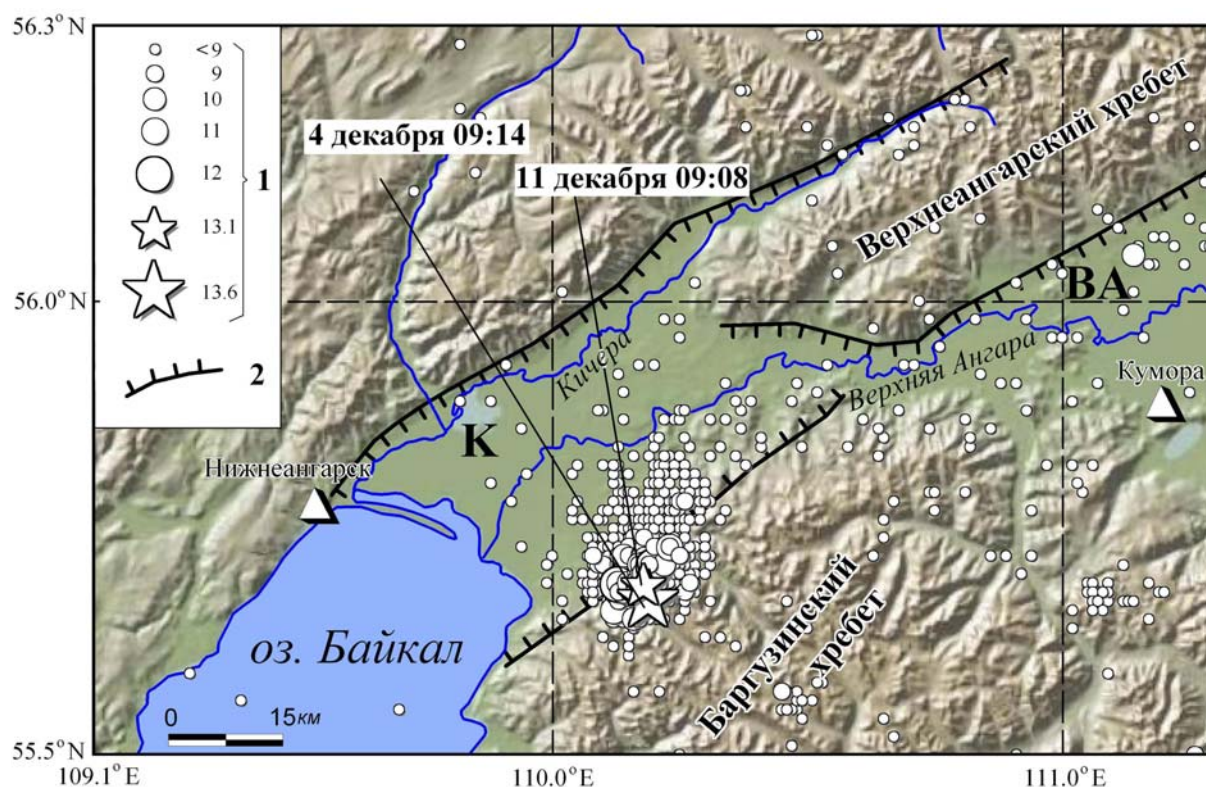


Рис. 1. Карта эпицентров Акуликанской последовательности землетрясений 2006 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – активный разлом. Впадины рифтового типа: К – Кичерская, ВА – Верхнеангарская.

Обработка Акуликанских землетрясений была выполнена по данным 27 станций (рис. 2) Прибайкалья и соседних регионов. Ближайшей к эпицентрам стала станция «Нижеангарск» ($\Delta=43$ км для А-I и $\Delta=41$ км для А-II), четыре станции располагались на расстоянии менее 120 км, а максимальное эпицентральное расстояние составило 759 км (станция «Орлик»).

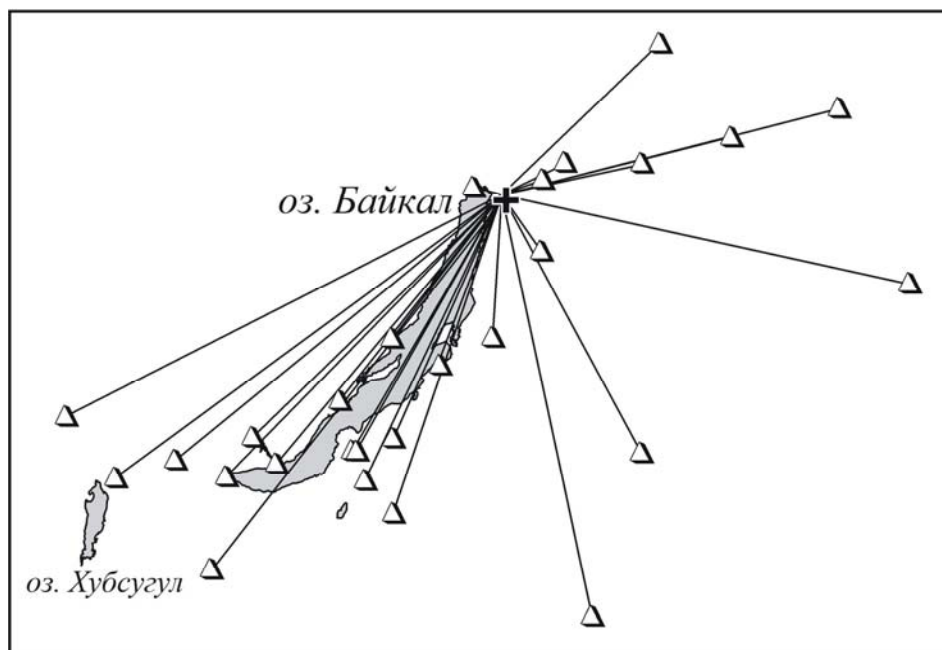


Рис. 2. Расположение эпицентров главных толчков относительно региональных сейсмических станций, данные которых использовались при обработке Акуликанских землетрясений

Основные параметры главных толчков А-I и А-II по материалам различных сейсмологических агентств представлены в табл. 1, из которой следует, что решения ISC, MOS, NEIC [1] хорошо согласуются между собой, при этом решение ISC имеет наименьший эллипс ошибок (рис. 3). Согласно определениям ВУКЛ [2], эпицентры обоих толчков (с небольшими ошибками локализации) относительно их местоположения, по данным других агентств смещены на несколько километров к юго-востоку, что лучше согласуется с положением эпицентров более слабых ($K_p \geq 7.5$) толчков последовательности.

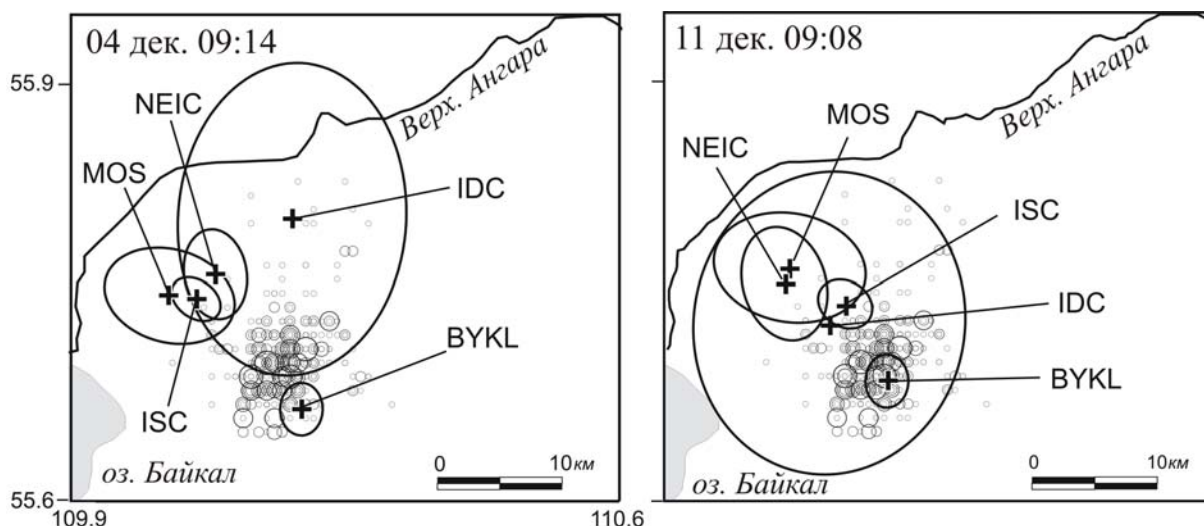


Рис. 3. Местоположение эпицентров двух сильных Акуликанских землетрясений 4 и 11 декабря и эллипсы ошибок по данным разных агентств в соответствии с их кодами в табл. 1

Кружками показаны эпицентры землетрясений с $K_p \geq 7.5$, произошедших в течение ноября-декабря 2006 г.

Обсуждая оценки погрешностей определений координат эпицентров Акуликанских землетрясений, полученные при стандартной методике сводной обработки данных в Байкальском филиале ГС СО РАН [4], можно отметить, что для событий с $K_p=10-14$ они составляют в большинстве случаев $\delta_\varphi=2-3$ км, а для более слабых – $\delta_\varphi=2-6$ км (рис. 4).

Таблица 1. Основные параметры Акуликанских землетрясений 4 и 11 декабря 2006 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		
Акуликанское-I, 4 декабря										
BYKL	09 14 04.6	0.29	55.67	0.02	110.19	0.03	13	14	$K_p=(13.6\pm 0.2)/25$, $M_w=5.2/17$	[2]
MOS	09 14 02.80	0.96	55.75	0.05	110.02	0.06	11		$MS=5.0/39$, $MPSP=5.3/121$	[3]
IDC	09 14 02.84	0.88	55.81	0.11	110.18	0.15	0		$m_b=4.9/26$, $M_s=4.6/35$	[1]
NEIC	09 14 04.58	0.13	55.77	0.03	110.08	0.04	10		$m_b=5.2/162$	[1]
ISC	09 14 05.13	0.08	55.75	0.02	110.06	0.02	14*	1*	$M_s=4.9/73$, $m_b=5.1/236$	[1]
Акуликанское-II, 11 декабря										
BYKL	09 08 46.3	0.31	55.69	0.02	110.18	0.03	11	4	$K_p=(13.1\pm 0.2)/2$, $M_w=4.9/12$	[2]
MOS	09 08 45.00	1.0	55.77	0.05	110.06	0.07	13		$MS=4.6/24$, $MPSP=5.0/58$	[3]
IDC	09 08 44.40	0.47	55.73	0.11	110.11	0.17	0		$m_b=4.6/21$, $M_s=4.4/16$	[1]
NEIC	09 08 46.54	0.17	55.76	0.04	110.05	0.05	10		$m_b=4.9/64$	[1]
ISC	09 08 46.51	0.12	55.74	0.02	110.13	0.03	13*	1*	$M_s=4.7/37$, $m_b=4.8/104$	[1]

Примечание. BYKL – Байкальский филиал ГС СО РАН (Иркутск); MOS – Геофизическая служба РАН, Россия; IDC – Международный центр данных, Вена, Австрия; NEIC – Национальный сейсмологический информационный центр, Денвер, США; ISC – Международный сейсмологический центр, Тетчем, Великобритания. Символом «*» обозначена глубина по фазе pP из [1].

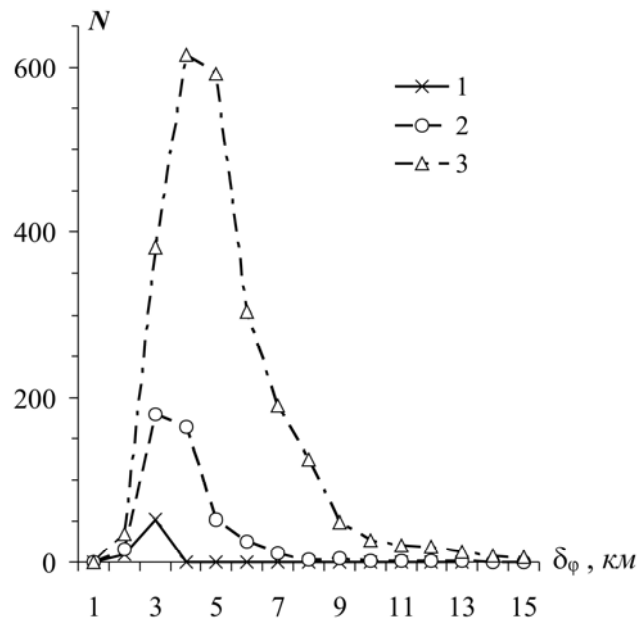


Рис. 4. Распределение погрешностей определения широты $\delta\varphi$ для землетрясений разных классов K_p (показаны погрешности по широте, поскольку они больше, чем по долготе из-за специфики геометрии сети региональных станций)

1–3 – кривые ошибок для землетрясений с $K_p=10-14$, 8–9, 6–7 соответственно.

На рис. 5 приведено распределение числа землетрясений и суммарного количества энергии Акуликанской последовательности во времени, откуда следует, что в районе будущей довольно мощной серии толчков слабая активизация началась в ноябре 2006 г. В течение месяца здесь произошло 53 события с $K_p=5.8-8.0$ [5]. В начале декабря активность очаговой области начала усиливаться, и 4 декабря здесь было зафиксировано максимальное ($N=209$) суточное число землетрясений [5]. К наиболее сильным землетрясениям последовательности, помимо названных выше событий 4 и 11 декабря (А-I, А-II), следует отнести землетрясение 15 декабря в $22^{\text{h}}35^{\text{m}}$ с $K_p=12.5$ [2]. Из рис. 5 видно, что высокая сейсмическая активность эпицентральной зоны землетрясений А-I и А-II сохранялась до конца 2007 г.

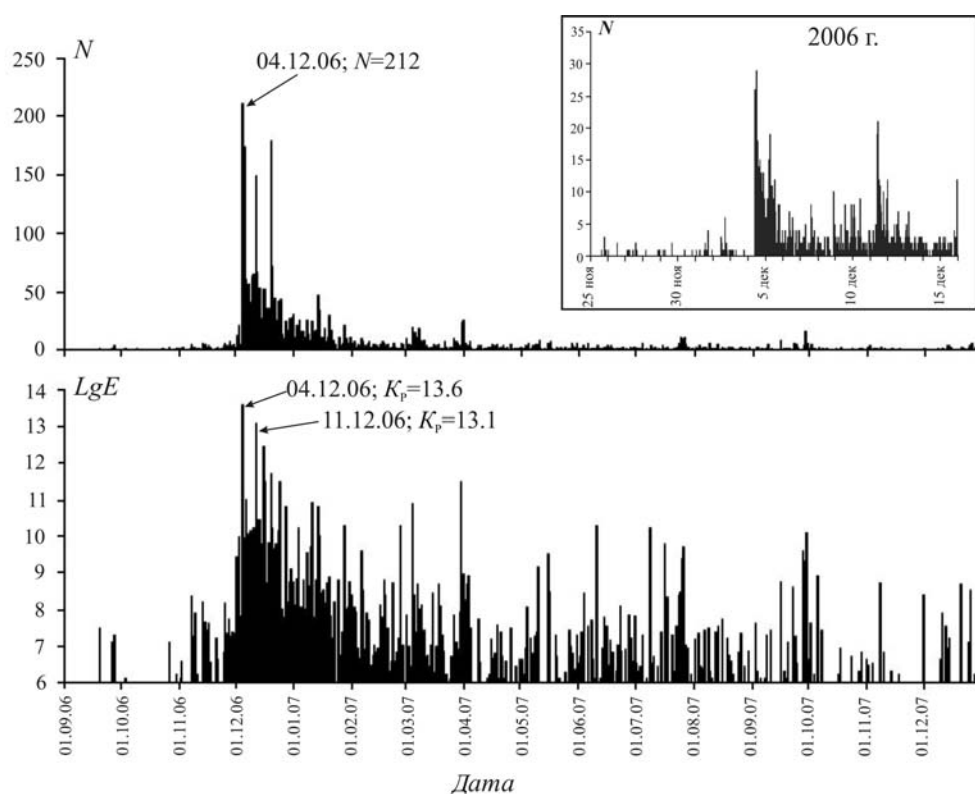


Рис. 5. Посуточное распределение числа землетрясений (N) и количества суммарной сейсмической энергии (LgE) Акуликанской последовательности землетрясений за период 01.09.2006 г. – 31.12.2007 г. (на врезке показано почасовое распределение числа землетрясений для начального периода)

В табл. 2 приведены значения углового коэффициента графика повторяемости землетрясений, рассчитанного для разных временных интервалов, выбранных при условии примерно равных чисел сейсмических событий с $K_p \geq 7$. Очевидно, что землетрясения с $K_p=6$ не являются представительными для Акуликанской последовательности, поскольку их число превышает число событий с $K_p=7.0$ всего лишь в 2 раза. Поэтому для расчета наклона графика повторяемости использовались землетрясения только с $K_p \geq 7$. Редкие непредставительные для коротких периодов времени землетрясения с $K_p > 10$ также не включены в расчет γ . Значение γ за весь период последовательности меняется мало и составляет в целом $\gamma = -0.46 \pm 0.01$.

Таблица 2. Распределение числа землетрясений Акуликанской последовательности по энергетическим классам K_p и значения угла наклона γ графика повторяемости землетрясений для разных временных интервалов

Период времени	K_p									N_Σ	$\gamma \pm \sigma_\gamma$	ΔK_p
	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
01.11 – 09.12.2006	287	247	96	32	12	6			1	681	-0.44 ± 0.01	7–10
10.12 – 19.12.2006	297	255	104	33	10	4	3	1		707	-0.47 ± 0.02	7–10
20.12.2006 – 05.02.2007	451	258	93	30	12	4				848	-0.45 ± 0.01	7–10
06.02 – 31.12.2007	409	214	53	18	7	2				703	-0.49 ± 0.03	7–10
01.11.2006 – 31.12.2007	1444	974	346	113	41	16	3	1	1	2939	-0.46 ± 0.01	7–10

Примечание. ΔK_p – диапазон классов, для которого рассчитано значение γ .

Локализация землетрясений Акуликанской последовательности осуществлялась в неблагоприятных условиях. Ближайшие к эпицентральному полю станции «Нижеангарск» (38–44 км), «Кумора» (63–72 км) и «Улюнхан» (107–115 км) располагались на значительных расстояниях, что, естественно, не способствовало получению надежных оценок глубин гипоцентров. По стандартной методике, используемой в БФ ГС СО РАН при сводной обработке данных [4], глубины гипоцентров были определены для 2584 землетрясений, при этом в 63% случаев

среднеквадратичные ошибки расчета превышали $\delta h \geq 10$ км. В региональный каталог значения глубин включались при $\delta h \leq 10$ км [2].

Для подбора параметров однослойной скоростной модели земной коры в районе рассматриваемых землетрясений с помощью программы HYPOINVERSE [6] использовался массив данных ($N=1411$), полученных при следующих начальных условиях: 1) эпицентральные расстояния до трех станций не превышали 120 км; 2) число фаз прямых Pg - и Sg -волн должно быть не менее 10. В результате значения средней скорости продольных сейсмических волн и отношения скоростей продольных и поперечных волн получились равными: $v_p=6.15$ км/с и $v_p/v_s=1.73$. Погрешность оценки глубин, по сравнению с указанным выше стандартным методом [4], уменьшилась до $ERZ \leq 5$ км в 65% случаев и до $5 \text{ км} \leq ERZ \leq 10$ км – в 9% случаев. Среднеквадратичная ошибка времени в очаге t_0 не превышала $RMS \leq 0.1$ с для 52% данных (рис. 6).

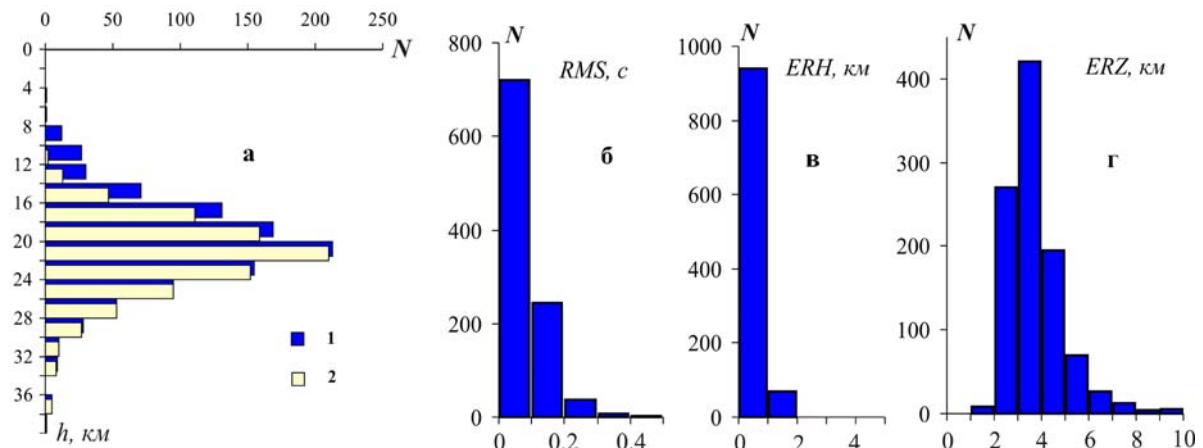


Рис. 6. Гистограммы распределения числа N землетрясений по глубине h (а) и стандартных ошибок RMS (б), ERH (в) и ERZ (г) для землетрясений Акуликанской последовательности

1 – для землетрясений с $ERZ \leq 10$ км; 2 – для землетрясений с $ERZ \leq 5$ км.

Из рис. 6 следует, что максимальное число гипоцентров приурочено к глубинам $h=16$ – 24 км. На глубинах менее 8 км гипоцентры отсутствуют, и эта тенденция прослеживается как для оценок глубин с $ERZ \leq 10$ км, так и с $ERZ \leq 5$ км.

После выбора однослойной скоростной модели среды была сделана попытка подбора приемлемой слоистой скоростной модели. Для этого использовался программный модуль HYP из пакета подпрограмм SEISAN 8.1 [<http://www.geociencias.unam.mx/>]. Программа позволяет локализовать имеющийся массив данных с применением множества различных моделей и определить модели, которые дают наименьшее среднее RMS . Минимальное значение RMS было получено при использовании модели, приведенной в табл. 3.

Таблица 3. Скоростная модель земной коры в очаговой зоне Акуликанской последовательности

h , км	0	4	22	32	42
v_p , км/с	5.71	6.13	6.28	6.73	7.8

Результаты пересчета глубин гипоцентров с использованием полученной модели показали пик на глубинах $h=20$ – 25 км (рис. 7), что в пределах ошибок определения не слишком отличается от результатов расчета глубин при однослойной коре. Во всех вариантах расчета на глубинах 0–8 км и глубже 34 км землетрясения практически отсутствуют.

По данным ГСЗ [7, 8], на глубинах 16–20 км в эпицентральной зоне Акуликанской последовательности наблюдается понижение скоростей продольных сейсмических волн до $v_p=5.8$ – 6.0 км/с и их резкое повышение (до 6.7–6.8 км/с) ниже этих глубин, что в целом согласуется с предлагаемой скоростной моделью среды (табл. 3). Объяснить данные факты можно изменением физических свойств земной коры на средних глубинах, создавших предпосылки для накопления упругой сейсмической энергии.

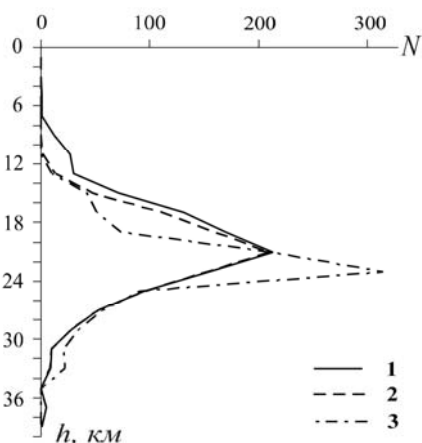


Рис. 7. Распределение числа N землетрясений по глубинам для Акуликанской последовательности с использованием различных скоростных моделей среды

1 – однослойная модель при $ERZ < 10$ км; 2 – однослойная модель при $ERZ < 5$ км; 3 – слоистая модель (табл. 3).

Сейсмичность очаговой зоны до 2006 г.

Сейсмический потенциал территории Северного Байкала достаточно высок – здесь возможны землетрясения с $M \sim 7.5$ и интенсивностью до 10 баллов. Об этом свидетельствуют палеоструктуры возрастом от первых сотен до первых тысяч лет, обнаруженные в результате сейсмогеологических исследований [9–11]. Как видно из рис. 8, в северо-западной части Баргузинского хребта, в Кичерской и Верхнеангарской впадинах в инструментальный период наблюдений было зарегистрировано несколько сильных ($K_p \geq 14.0$, $M \geq 5.5$) землетрясений. Особенно примечательны и достаточно хорошо изучены Кичерские события 21 марта 1999 г. ($M_w=6.0$ и $M_w=5.6$) [12] и Куморское землетрясение 16 сентября 2003 г. ($M_w=5.5$) [13], сопровождавшиеся крупными сериями повторных толчков. Так, кичерская серия показала, что процесс разрывообразования, начавшись в области Кичеро-Верхнеангарской межвпадинной горной перемычки, распространился на юго-запад к акватории оз. Байкал. Механизмы очагов Куморского землетрясения и его афтершоков подтвердили господство в данном районе субгоризонтального

северо-западного растяжения. Общей тенденцией развития сейсмического процесса при указанных землетрясениях явилось активное сбросообразование приуроченное в первом случае, к юго-восточному борту Кичерской депрессии, во втором – к внутривпадинному разлому северо-восточного простирания в Верхнеангарской впадине. Эту же закономерность показывают и механизмы очагов других сильных землетрясений рассматриваемого района. В целом, как указано в работе [12], сейсмологическая информация свидетельствует о том, что центральный сектор Байкальской рифтовой зоны отличается повышенной структурной неоднородностью, которая выражается как в площадном распределении эпицентров землетрясений, так и в характере высвобождения сейсмической энергии.

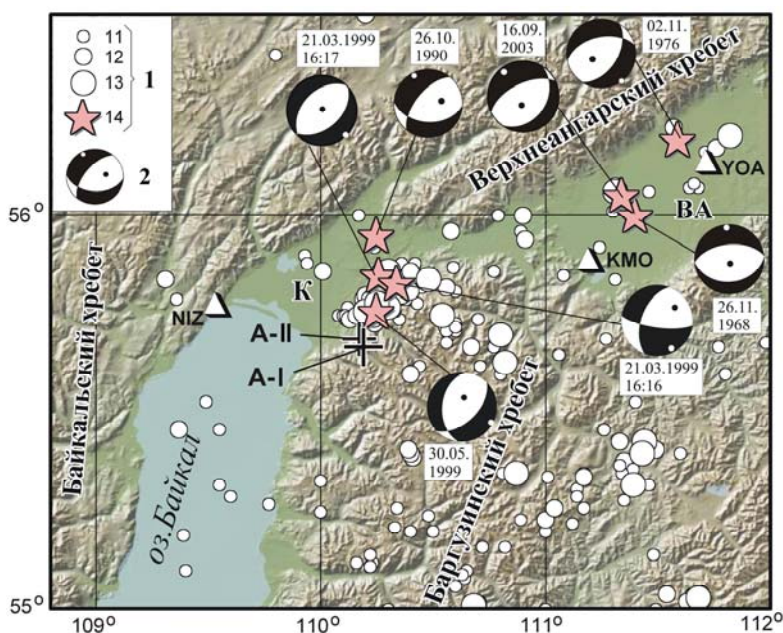


Рис. 8. Карта эпицентров землетрясений Северного Байкала ($K_p \geq 11$) за период 1950–2006 гг.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – стереограмма фокального механизма в проекции нижней полусферы, точками обозначены выходы осей сжатия (темные) и растяжения (светлые). А-I и А-II – будущие инструментальные эпицентры землетрясений Акуликанского-I и Акуликанского-II. Впадины рифтового типа: К – Кичерская, ВА – Верхнеангарская.

Сеймотектоническая позиция Акуликанских землетрясений и механизмы очагов.

Для земной коры в районе Северного Байкала характерна высокая сложность тектонического устройства, что объясняется наличием в ней многочисленных структурных неоднородностей в виде продуктов магматической деятельности в сочетании с разломными и складчатыми дислокациями субмеридионального и северо-восточного простираний. Широкое распространение здесь получила и система поперечных разломов северо-западного направления, гораздо реже фиксируются разломы субширотного простирания. Возрастной спектр заложения этих структурных и магматических комплексов весьма широк – от раннего протерозоя до кайнозоя, при этом последний включает в себя период рифтогенной тектоно-магматической активизации. Земная кора в данном районе на протяжении длительного времени подвергалась интенсивному деформированию вследствие приуроченности к активнейшему фрагменту краевого шва между консолидированным кратоном Сибирской платформы и западным краем Байкальской горной области [12].

Важной особенностью расположения очаговой области Акуликанских землетрясений является то, что она приурочена не к Кичерской впадине, а к ее горному обрамлению. В частности, активизацией охвачен блок земной коры, имеющий форму треугольника, стороны которого располагаются вдоль крупного Кичерского разлома северо-восточного простирания, вдоль ортогонального ему северо-западного разлома меньшего масштабного уровня и вдоль разлома меридионального направления. Плоскости разрывов таких простираний широко представлены в очагах главных толчков и наиболее сильных афтершоков (рис. 9), при этом основным типом подвижек в очагах являются сбросы, что свидетельствует об опускании вышеуказанного сейсмоактивного блока.

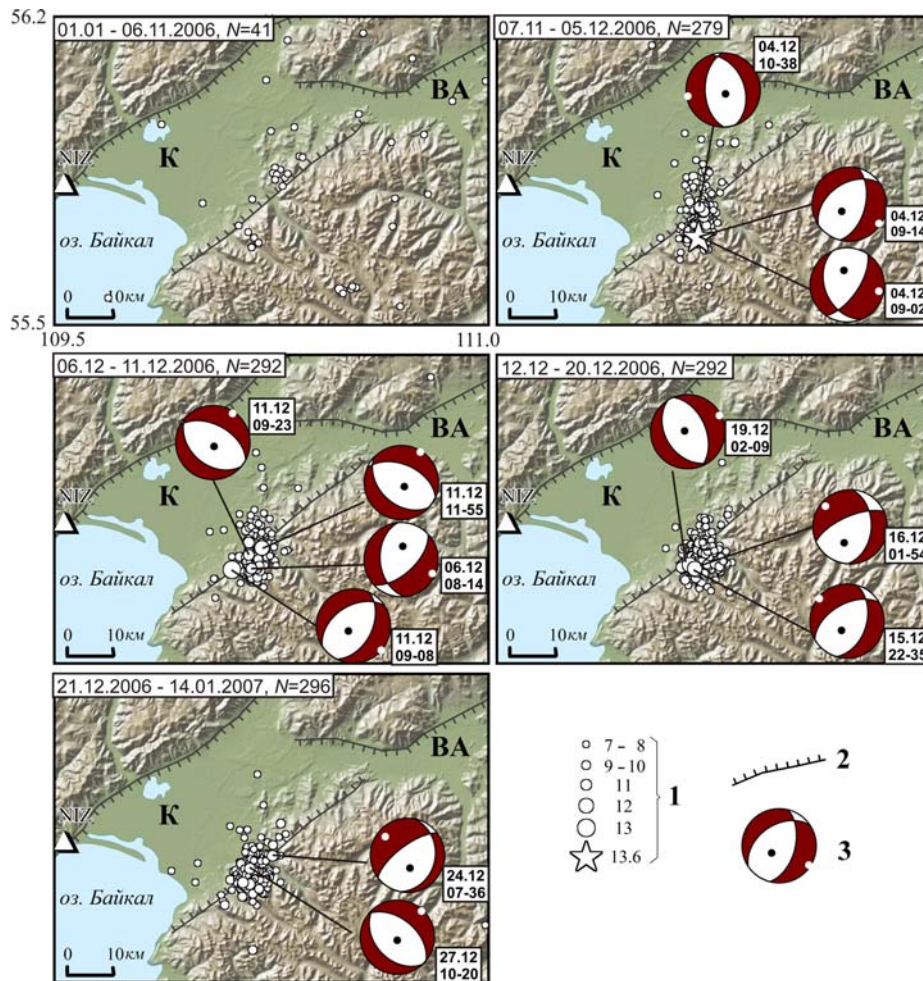


Рис. 9. Карты эпицентров очаговой зоны Акуликанской последовательности землетрясений за разные интервалы времени

1 – энергетический класс K_p ; 2 – активный разлом; 3 – стереограмма фокального механизма (усл. обозначения см. на рис. 8); N – число землетрясений.

Механизмы очагов Акуликанских землетрясений были определены по стандартной методике на основе данных о знаках первых смещений в продольных Pn - и Pg -волнах. Точность полученных решений оценивалась пределами изменения угла погружения осей главных напряжений (сжатия, растяжения, промежуточной) относительно горизонта [14]. Кроме этого, для главных событий А-I и А-II по записям поверхностных волн на широкополосных каналах 17 и 12 цифровых сейсмических станций сетей Global Seismographic Network IRIS/USGS, New China digital Seismograph Network и GEOSCOPE по методу [15] был рассчитан тензор сейсмического момента. В результате сейсмический момент Акуликанского-I землетрясения составил $M_0=0.68 \cdot 10^{17}$ Н·м, моментная магнитуда $M_w=5.2$, а Акуликанского-II – $M_0=0.29 \cdot 10^{17}$ Н·м, $M_w=4.9$ (табл. 1), при этом решения фокальных механизмов указанных событий соответствовали таковым, полученным по первым вступлениям P -волн. Таким образом, механизмы очагов землетрясений рассматриваемой последовательности не только согласуются с результатами геофизических исследований [16], по которым в фундаменте Кичерской депрессии и ее горного обрамления выделяются разрывы субмеридионального, северо-восточного и северо-западного направлений, но и очередной раз подтверждают доминирующую роль растягивающих усилий на данном участке рифтовой зоны. Следует лишь отметить своеобразие напряженно-деформированного состояния земной коры, выраженное в сбросовых типах смещений по плоскостям разломов северо-западного простирания. Обычно последние характеризуются взбросовой или сдвиго-взбросовой кинематикой смещений.

Рассматривая пространственно-временной ход сейсмического процесса в Акуликанской последовательности землетрясений, можно отметить следующее. До начала активизации, в течение 10 месяцев в эпицентральной области будущих землетрясений наблюдались редкие слабые толчки (рис. 9). В течение месяца с момента начала активизации эпицентральной поле сейсмических событий имело вид эллипса, большая ось которого ориентирована практически вдоль меридиана. В дальнейшем эпицентральная область стала более компактной. Основная часть эпицентров сосредоточилась в горном обрамлении впадины. В самой Кичерской впадине локализовались лишь единичные события.

Макросейсмические данные. Информация об ощутимых эффектах Акуликанского-I землетрясения 4 декабря 2006 г. была получена главным образом посредством рассылки опросных листов; кроме этого, макросейсмические данные были собраны сотрудниками сейсмических станций региональной сети. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений, составившая 5–6 баллов по шкале MSK-64 [17], зарегистрирована в пос. Верхняя Заимка (табл. 4). Детальные макросейсмические данные изложены ниже.

Верхняя Заимка. Землетрясение ощущалось практически всеми жителями поселка. В зданиях отмечены скрип полов и потолков, дребезжание посуды, оконных стекол, раскачивание и скрип мебели, колебание всяких предметов. В помещении магазина с полок упали товары (упаковки стирального порошка, банки, пачки мыла). В одноэтажном деревянном доме сильно раскачивалась люстра; звенела посуда в серванте; с телевизора упала ваза. В другом доме отмечено появление трещин в печи шириной до 1 см. В некоторых домах потрескалась штукатурка. На втором и четвертом этажах пятиэтажного панельного дома ощущались колебания; покачивались люстры, звенела посуда в шкафах. При землетрясении слышался подземный гул, напоминавший раскаты грома.

Кичера. Эффекты землетрясения аналогичны проявлениям в пос. Верхняя Заимка, возможно, с чуть меньшей интенсивностью. В помещении магазина с полок упали товары. На открытом воздухе замечено раскачивание проводов линии электропередачи.

Нижнеангарск. На втором этаже деревянного дома отмечено раскачивание мебельной стенки, дребезжание оконных стекол и посуды. В одноэтажных деревянных домах раскачивалась мебель, системные блоки компьютеров. Некоторые из очевидцев слышали гул.

Кумора. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися как в помещениях, так и на открытом воздухе, в том числе идущими по улице. В зданиях ощущался толчок и колебания; раскачивались всякие предметы (люстры), дребезжала посуда. Слышался сильный гул.

Байкальское. Землетрясение ощущалось людьми в состоянии покоя в помещении на первом этаже. В зданиях отмечено дребезжание посуды и оконных стекол, скрип мебели, колебание всяких предметов. Незакрепленные предметы сдвигались с места и падали на столах и на полках.

Янчукан. Землетрясение ощущалось людьми в состоянии покоя в помещениях на первом и втором этажах. Спавшие просыпались. Скрипели полы и потолки; дребезжала посуда; скрипела мебель; колебались всяческие предметы. В штукатурке отмечено образование тонких трещин. При землетрясении был слышен подземный гул.

Северомуйск. Землетрясение ощущалось людьми в состоянии покоя (сидели, лежали) в деревянных одноэтажных, а также в двух- и трехэтажных панельных домах. Качались всяческие предметы (люстры); дребезжала посуда, стекла окон. На первом этаже двухэтажного здания замечено шатание стола.

Романовка. Землетрясение ощущалось людьми в состоянии покоя в помещениях на первых этажах, некоторыми – на открытом воздухе. В зданиях ощущения сравниваются с прохождением гусеничного трактора, на улице ощущались колебания почвы под ногами. Был слышен гул. Факт ощутимости землетрясения подтверждается свидетельствами нескольких очевидцев.

Северобайкальск. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя как на первых, так и на верхних этажах зданий различного типа. Отмечено дребезжание посуды. Очевидцы сравнивают сотрясения с прохождением тяжелого грузовика.

Новый Уоян. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в деревянных одноэтажных домах. Чувствовалась легкая продолжительная вибрация. Скрипели полы, дребезжала посуда, скрипела мебель, колебались всяческие предметы. Слышался подземный гул. Аналогичные эффекты наблюдались в пос. *Уоян*.

Курумкан. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в помещении на втором этаже, а также на открытом воздухе. Отмечено дребезжание посуды.

Окунайский. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в деревянных одноэтажных домах. В помещениях колебались всяческие предметы, дребезжали оконные стекла и посуда. В единичном случае отмечены повреждения штукатурки. В имеющихся двух сообщениях из этого пункта указывается на понижение уровня воды в колодцах.

Мамакан. Землетрясение в виде слабого сотрясения или плавного покачивания ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях на первых и вторых этажах. Дребезжала посуда и стекла окон, скрипела мебель, колебались всяческие предметы.

Мама. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в помещениях. Дребезжала посуда, колебались всяческие предметы, легкие незакрепленные предметы сдвигались с места.

Кунерма. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях. Наблюдалось колебание всяческих предметов. Диспетчер железнодорожной станции ощущал потряхивание и заметил легкое покачивание пульта. Аналогичным образом землетрясение проявилось в пос. *Улькан*.

В пунктах *Улюнхан, Карам, Горно-Чуйский, Кривая Лука* землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях. Эффекты землетрясения ограничивались покачиванием всяческих предметов (люстры, лампочки).

Таблица 4. Макросейсмические данные об Акуликанском-I землетрясении 4 декабря с $M_w=5.2$

№	Пункт	Δ , км	Звук	№	Пункт	Δ , км	Звук
1	<u>5–6 баллов</u>	19	гул	9	<u>3–4 балла</u>	53	гул
	Верхняя Заимка				Северобайкальск		
2	<u>5 баллов</u>	29		10	Уоян	105	
	Кичера			Новый Уоян	110		
3	<u>4–5 баллов</u>	40	гул	12	Курумкан	153	
	Нижнеангарск			Окунайский	159		
4	<u>4 балла</u>	70	гул	14	Мамакан	333	
	Кумора			Мама	336		
5	Байкальское	71			<u>3 балла</u>		
6	Янчукан	176		16	Даван	75	
7	Северомуйск	210		17	Кунерма	105	
8	Романовка	321		18	Улюнхан	107	гул

№	Пункт	Δ , км	Звук	№	Пункт	Δ , км	Звук
19	Улькан	150		26	Магистральный	177	
20	Карам	171			<u>Не ощущалось</u>		
21	Горно-Чуйский	238		27	Макарово	245	
22	Кривая Лука	256		28	Читкан	245	
	<u>2–3 балла</u>			29	Багдарин	259	
23	Верхнемарково	265		30	Киренск	265	
24	Усть-Кут	303		31	Максимиха	285	
	<u>2 балла</u>			32	Жигалово	331	
25	Майский	128		33	Братск	517	

В силу малочисленности макросейсмических данных и особенностей размещения населенных пунктов в Северном Прибайкалье построить карту изосейст не представилось возможным. Схема макросейсмических проявлений типа «пункты–баллы» представлена на рис. 10.,

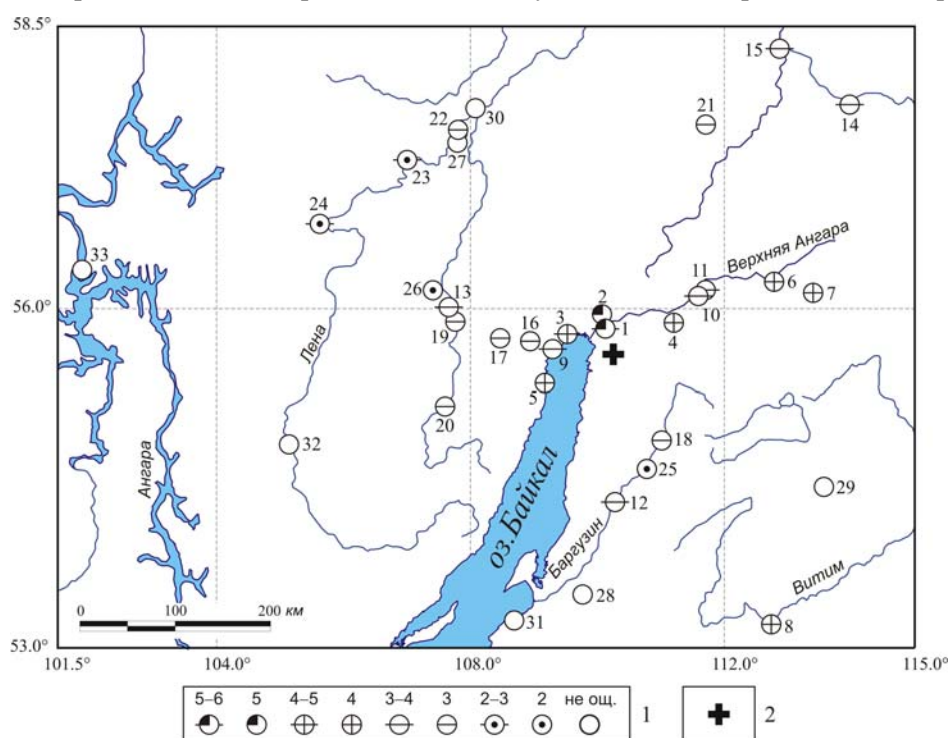


Рис. 10. Карта макросейсмических проявлений Акуликанского-I землетрясения 4 декабря 2006 г. с $M_w=5.2$ (номера пунктов на схеме соответствуют табл. 4)

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [17]; 2 – инструментальный эпицентр.

Макросейсмическое поле Акуликанского-I землетрясения в целом достаточно типично для этого района. Из его особенностей можно отметить некоторую пестроту пространственного распределения интенсивности сотрясений, а также заметную асимметрию в распределении четырехбалльных сотрясений относительно эпицентра. Если в западных румбах сотрясения интенсивностью 4 балла отмечены на расстоянии до ~ 70 км, то к востоку от эпицентра такая же интенсивность наблюдалась на расстояниях до 210 км. Отдельного внимания заслуживают четырехбалльные проявления в пос. Романовка, расположенном на расстоянии свыше 300 км к юго-востоку от эпицентра землетрясения. С учетом эпицентрального расстояния и магнитуды землетрясения, вряд ли можно ожидать в пос. Романовка интенсивность сотрясений, превышающую 2 балла. Тем не менее здесь ощущались довольно заметные колебания, что подтверждается несколькими свидетельствами. Подобное явление неоднократно отмечалось в г. Чите, где также на больших эпицентральных расстояниях наблюдались значительные макросейсмические эффекты при землетрясениях с эпицентрами в пределах северо-восточного фланга Бай-

кальской рифтовой зоны [13, 18–20]. Еще одна особенность Акуликанского-I землетрясения, позволяющая провести некоторые аналогии между ним и другими событиями этого района, заключается в распространении заметных эффектов на значительные расстояния в северо-восточном направлении, на территории Сибирской платформы. В частности, сотрясения интенсивностью 3–4 балла зарегистрированы в пунктах Мама и Мамакан на расстоянии ~330 км.

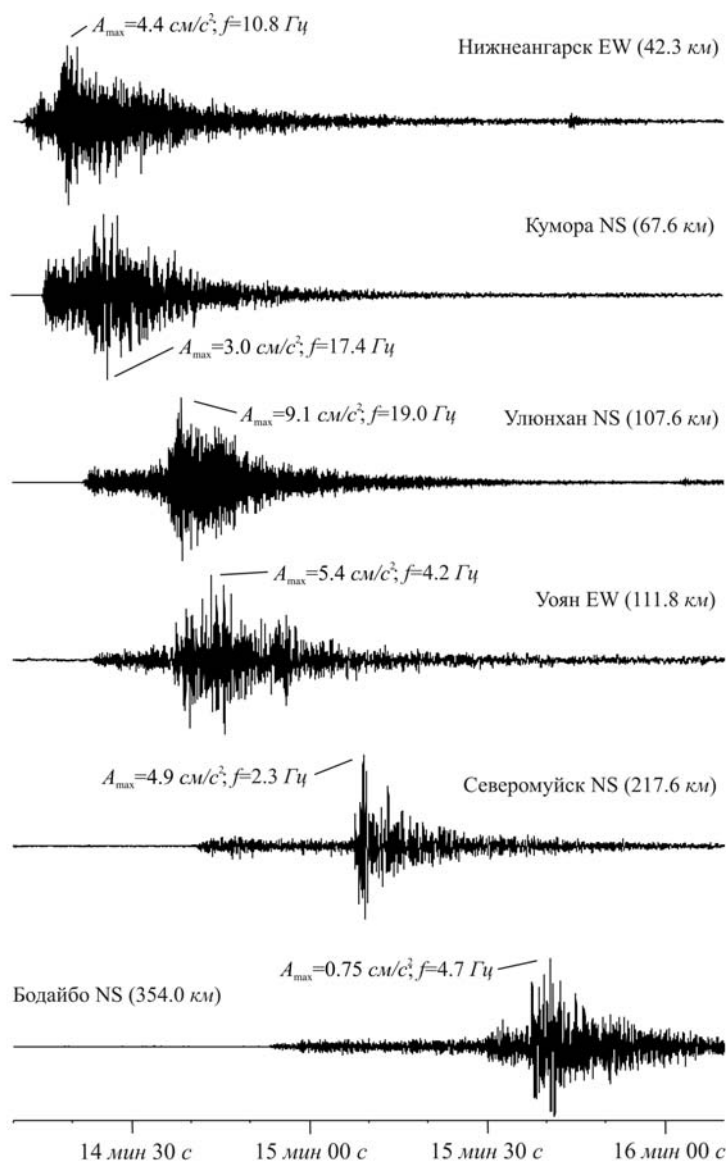


Рис. 11. Горизонтальные компоненты (с максимальными амплитудами) акселерограмм Акуликанского-I землетрясения 4 декабря в 09^h14^m, записанных на ближайших к эпицентру сейсмических станциях

Для Акуликанского-I землетрясения 4 декабря представилась возможность сопоставить наблюдаемую интенсивность сотрясений с инструментально зарегистрированными значениями пиковых ускорений грунта в шести населенных пунктах (рис. 11), где расположены сейсмические станции региональной сети. Хорошая сходимость этих оценок отмечается для пунктов Нижнеангарск, Уоян и Северомуйск. Как следует из корреляционной таблицы в проекте шкалы ММСК-92 [21], связывающей значения ускорений грунта и макросейсмическую интенсивность, разница между оценкой интенсивности по пиковым ускорениям (I_{PGA}) и реально наблюдаемой интенсивностью ($I_{\text{МАКР}}$) не превышает в этих трех случаях 0.5 балла. Для Нижнеангарска указанные значения равны $I_{\text{PGA}}=4$ и $I_{\text{МАКР}}=4\text{--}5$ баллов, для Уояна – 4 и 3–4 балла и для Северомуйска – 4 и 4 балла. Менее удовлетворительные результаты получены для пунктов Кумора ($I_{\text{PGA}}=3$ и $I_{\text{МАКР}}=4$ балла), Улюнхан (4 и 3 балла), Бодайбо (Мамакан) (2 и 3–4 балла). Соответствие или, наоборот, расхождение оценок, сделанных различными способами, можно попытаться объяс-

нить с помощью достаточно широкого спектра возможных причин. Среди них различные подстанционные грунтовые условия, геологическое строение на трассе «эпицентр – точка наблюдения», несовершенство сбора и недостаточная детальность макросейсмической информации. Естественно, что для уточнения корреляционной связи между наблюдаемой интенсивностью сотрясений и пиковыми ускорениями грунта накопление макросейсмической и инструментальной информации необходимо продолжать.

Акуликанское-II землетрясение с $K_p=13.1$, произошедшее 11 декабря 2006 г., также ощущалось в ряде населенных пунктов на эпицентральных расстояниях до 130 км. Имеющиеся макросейсмические сведения для восьми населенных пунктов представлены ниже.

Верхняя Заимка. Землетрясение замечено людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях. В деревянных домах замечено покачивание мебели, люстр, комнатных цветов; дребезжали оконные стекла и посуда. На печах отмечено появление трещин в штукатурке. При землетрясении был слышен гул.

Кичера. Землетрясение замечено людьми, находившимися в помещениях в состоянии покоя. В зданиях на вторых и третьих этажах звенела посуда, покачивалась и скрипела мебель; раскачались висячие предметы. На открытом воздухе наблюдалось раскачивание электропроводов ЛЭП. Был слышен подземный гул.

Нижнеангарск. Землетрясение в виде колебаний ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя. В деревянных одноэтажных домах слышался треск, тряслась и скрипела мебель, сильно раскачивались висячие предметы (люстры), гремела посуда, дребезжали стекла окон, тряслись комнатные растения на подоконниках. Был слышен сильный гул.

Северобайкальск. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя на первых этажах и выше. Люди испытывали испуг и выходили из домов на открытый воздух. В помещениях дребезжала посуда, скрипела мебель, колебались висячие предметы. Некоторые очевидцы слышали подземный гул.

Майский. Землетрясение ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя. Колебались висячие предметы, дребезжала посуда.

Кумора. Землетрясение в виде слабых толчков ощущалось людьми, находившимися в помещениях. Был слышен подземный гул.

Улюнхан. Люди, находившиеся в состоянии покоя, ощущали покачивание. Качались висячие предметы. Слышался продолжительный гул.

Новый Уоян. Землетрясение в виде легкой вибрации и легкого покачивания ощущалось людьми, находившимися в состоянии покоя в помещениях.

Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений при Акуликанском-II землетрясении составила 4 балла по шкале MSK-64. Оценки макросейсмической интенсивности представлены в табл. 5, схема макросейсмических проявлений показана на рис. 12.

Таблица 5. Макросейсмические данные об Акуликанском-II землетрясении 11 декабря 2006 г. в 09^h08^m с $M_w=4.9$

№	Пункт	Δ , км	Звук	№	Пункт	Δ , км	Звук
	<u>4 балла</u>				<u>3 балла</u>		
1	Верхняя Заимка	18	гул	6	Кумора	69	гул
2	Кичера	28	гул	7	Улюнхан	108	
3	Нижнеанарск	41	гул		<u>2 балла</u>		
4	Северобайкальск	54	гул	25	Новый Уоян	103	
	<u>3–4 балла</u>						
5	Майский	128					

Особенность этого землетрясения в том, что оно при сопоставимом с событием 4 декабря энергетическом уровне вызвало заметно менее сильные макросейсмические эффекты в ближней к эпицентру зоне и ощущалось на значительно меньшей территории. Тем не менее это землетрясение можно рассматривать в качестве значимого как для Акуликанской последовательности, так и для района северного замыкания оз. Байкал в целом.

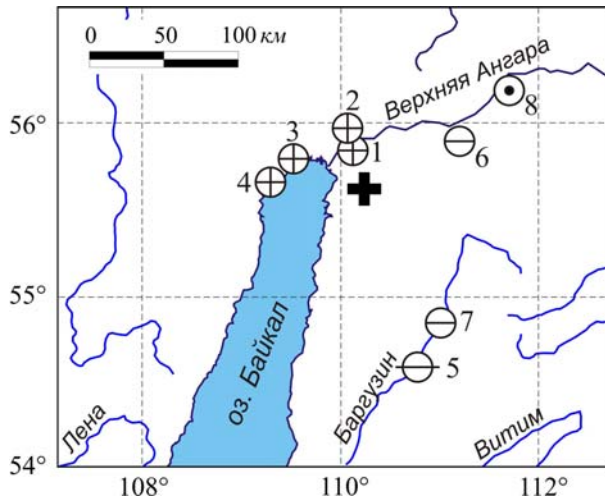


Рис. 12. Карта пунктов-баллов Акуликанского-II землетрясения 11 декабря в 09^h08^m с $M_w=4.9$ (номера пунктов на схеме соответствуют табл. 5)

Условные обозначения см. на рис. 10.

Сравнение значений максимальных ускорений грунта (рис. 13) и наблюдаемой макросейсмической интенсивности в трех населенных пунктах при землетрясении 11 декабря 2006 г. демонстрирует хорошую сходимость данных только для Нижнеангарска. В этом пункте зарегистрированное значение пиковых ускорений составило $A_{\max}=5.5 \text{ см/с}^2$, соответствующее, согласно шкале MMSK-92 [21], интенсивности сотрясений $I_{\text{PGA}}=4$ балла. Такая же оценка была получена на основе анализа наблюдавшихся в Нижнеангарске макросейсмических эффектов ($I_{\text{МАКР}}=4$ балла). Для пунктов Кумора и Улюнхан инструментальные и макросейсмические данные соотносятся несколько хуже. В Куморе при достигнутых ускорениях $A_{\max}=1.3 \text{ см/с}^2$ интенсивность сотрясений I_{PGA} должна была составить лишь 2 балла, однако в действительности наблюдаемая интенсивность оценивается в 3 балла. В Улюнхане при $A_{\max}=6.2 \text{ см/с}^2$ интенсивность I_{PGA} должна составлять 4 балла, реальное значение

– на один балл ниже. Причины расхождения теоретических и наблюдаемых значений балльности, по-видимому, те же, что и для Акуликанского-I землетрясения, равно как и для большинства других сильных событий Прибайкалья.

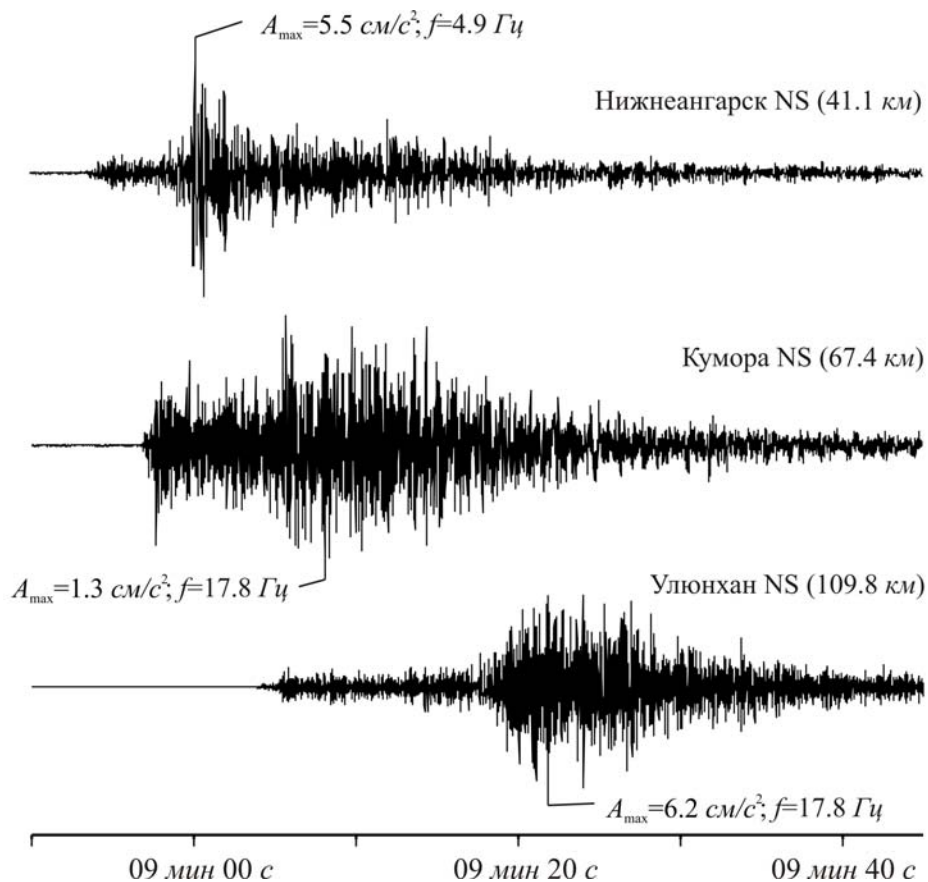


Рис. 13. Горизонтальные компоненты (с максимальными амплитудами) акселерограмм Акуликанского-II землетрясения 11 декабря в 09^h08^m, записанных на ближайших к эпицентру сейсмических станциях

Обращают на себя внимание повышенные значения частот, на которых наблюдались максимальные значения ускорений на станциях «Кумора» и «Улюнхан» при обоих Акуликанских землетрясениях. Возможно, частотный состав колебаний является еще одним фактором, влияющим на наблюдаемые макросейсмические эффекты.

В заключение отметим, что землетрясения Акуликанское-I с $M_w=5.2$ и Акуликанское-II с $M_w=4.9$, сопровождавшиеся многочисленными более слабыми сейсмическими событиями, показали тектоническую активность локального блока земной коры, расположенного в предгорьях Баргузинского хребта на границе с Кичерской впадиной. Об этом свидетельствуют компактное поле эпицентров и сосредоточенность гипоцентров в узком интервале глубин. По данным о механизмах очагов землетрясений кинематика смещений в сейсмоактивном блоке имела характер сбросов, при этом задействованы были разнонаправленные плоскости разрывов. Инструментальные и макросейсмические данные, полученные при изучении вышеуказанной последовательности, дополняют информационную базу о сейсмичности Северного Прибайкалья и будут полезны при оценке сейсмической опасности района.

Л и т е р а т у р а

1. **Bulletin of the International Seismological Centre for 2006.** – Berkshire: ISC, 2008. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk/search/index.html/2006>.
2. Хайдурова, Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Евсеева Е.Д., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Масальская Л.Н., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Емельянова Л.В., Федюшкина Я.И., Попикова Л.А., Павлова Л.В., Найманова Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Лазарева Л.А., Меньшикова Ю.А. Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2006 г. ($N=1235$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
3. **Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 2006 год** / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ГС РАН, 2006–2007. – [Электронный ресурс]. – ftp://ftp.gsras.ru/pub/Teleseismic_bulletin/2006.
4. **Голенецкий С.И.** Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
5. Хайдурова, Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Евсеева Е.Д., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Масальская Л.Н., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Емельянова Л.В., Федюшкина Я.И., Попикова Л.А., Павлова Л.В., Найманова Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Лазарева Л.А., Меньшикова Ю.А. Каталог Акуликанской последовательности ($N=2939$) с 01.11.2006 г. по 31.12.2007 г., с сильными землетрясениями 4 декабря 2006 г. с $M_w=5.2$, $K_p=13.6$, $I_0=7$ и 11 декабря с $M_w=4.9$, $K_p=13.1$, $I_0=7$. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
6. **Klein F.W.** Hypocenter location program HYPOINVERSE, Part 1, Users guide to versions 1, 2, 3, and 4 // U.S. Geol. Surv.: Open File Report, 1978. – N 694.
7. **Крылов С.В., Мандельбаум М.М., Селезнев В.С. и др.** Детальные глубинные сейсмические исследования в Верхнеангарском районе Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 1990. – № 7. – С. 17–27.
8. **Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В. и др.** Изучение земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинного сейсмического зондирования // Физика Земли. – 1999. – № 7–8. – С. 74–93.
9. **Хромовских В.С., Солоненко В.П., Чипизубов А.В., Жилкин В.М.** К сеймотектонической характеристике Северного Прибайкалья // Сейсмичность и глубинное строение Прибайкалья. – Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1978. – С. 101–107.
10. **Сеймотектоника и сейсмичность рифтовой системы Прибайкалья** / Отв. ред. В.П. Солоненко – М.: Наука, 1968. – 220 с.
11. **Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы** / Отв. ред. В.П. Солоненко – Новосибирск: Наука, СО АН, 1977. – 302 с.
12. **Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Гилёва Н.А., Чипизубов А.В., Добрынина А.А.** Активизация рифтовых процессов в Северном Прибайкалье (на примере Кичерской последовательности землетрясений 1999 г.) // Физика Земли. – 2007. – № 11. – С. 1–24.

13. Радзиминович Н.А., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Кустова М.Г., Чечельницкий В.В., Мельникова В.И. Куморское землетрясение 16 сентября 2003 года с $M_w=5.6$, $I_0=7$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 293–309.
14. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., (отв. сост.), Татомир Н.В., Добрынина А.А. Каталог механизмов очагов землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2006 г. ($N=37$). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
15. 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.
16. Письменный Б.М., Алакшин А.М. О внутренней структуре рифтовых впадин Северного Прибайкалья // Геология и геофизика. – 1980. – № 8. – С. 46–51.
17. Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага). Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
18. Солоненко В.П., Тресков А.А., Флоренсов Н.А., Пучков С.В. Муйское землетрясение 27 июня 1957 г. // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 1. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – С. 29–43.
19. Пучков С.В., Солоненко В.П., Тресков А.А., Флоренсов Н.А. Новое сильное землетрясение в Восточной Сибири // Известия Сибирского отделения АН СССР. – 1958. – № 3. – С. 42–51.
20. Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Чарское-III землетрясение 28 июня 2004 г. с $MPSP=4.7$, $K_p=13.5$, $I_0=6$ (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2004 год. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – С. 324–334.
21. Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф. Развитие шкал типа MSK // Вычислительная сейсмология. Вып. 34 (Магнитное поле Земли: математические методы описания. Проблемы макросейсмологии). – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.