

КИЧЕРСКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 21 марта 1999 года**с $M_w=6.0$ и с $M_w=5.6$, $I_0=7-8$ (Прибайкалье)****В.И. Мельникова¹, Н.А. Гилёва², Н.А. Радзиминович¹, В.В. Ружич¹, О.К. Масальский²,
Я.Б. Радзиминович¹, Ю.А. Берзинский¹, Л.П. Берзинская¹, В.А. Павленов¹, И.А. Емельянова¹**¹Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, vimel@crust.irk.ru²Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, nagileva@crust.irk.ru

Сильные землетрясения 21 марта в 16^h16^m с $M_w=6.0$ и в 16^h17^m с $M_w=5.6$, следующие друг за другом через одну минуту, произошли близ северной оконечности оз. Байкал в районе межвпадинной перемычки, разделяющей Кичерскую депрессию (дельтовая равнина рек Кичера и Верхняя Ангара) и Верхнеангарскую впадину (рис. 1). Информация об основных параметрах этих сейсмических событий, названных по своему местоположению Кичерскими, полученная в различных сейсмологических агентствах, представлена в табл. 1, из которой следует, что данные разных сейсмологических центров в пределах точности определений достаточно хорошо согласуются друг с другом. Высокую надежность искомых параметров для первого толчка демонстрируют эллипсы ошибок агентств ISC, NEIC и ВУКЛ (рис. 2). И все же результатам региональных наблюдений (ВУКЛ) по 23 сейсмическим станциям отдавалось предпочтение, так как во всех случаях эпицентральные расстояния Δ здесь не превышали 800 км и на сейсмограммах можно было выделить четкие вступления сейсмических волн. Другая ситуация наблюдалась при оценке точности локализации второго по энергии толчка (табл. 1). На записях региональных станций довольно сложно на фоне предыдущего землетрясения правильно идентифицировать нужные фазы сейсмических волн (рис. 3), что и привело к значительным погрешностям в оценке координат эпицентра второго толчка. Наилучшие в этом смысле результаты представлены агентствами ISC и NEIC (рис. 2).

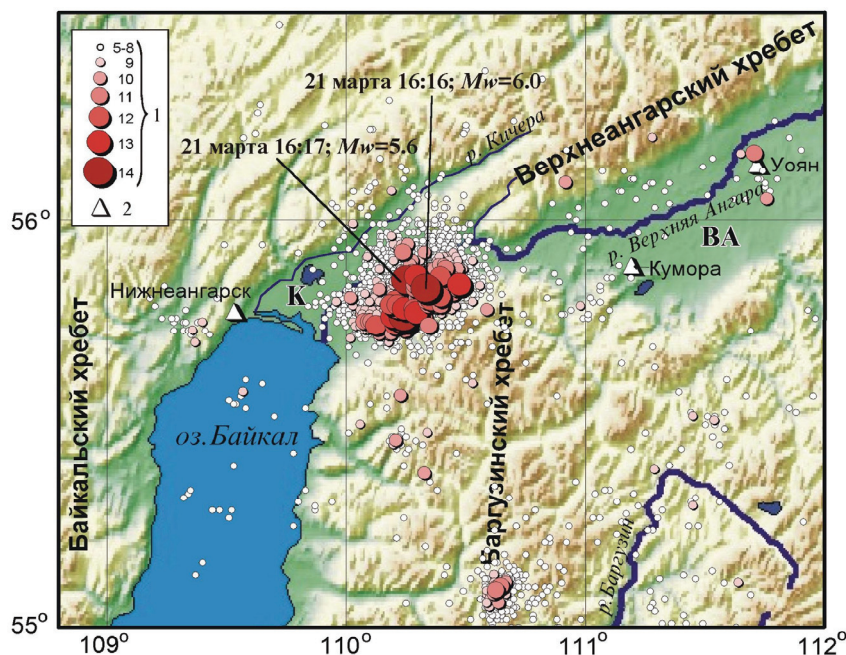


Рис. 1. Карта эпицентров Кичерской последовательности землетрясений (форшоков, сильных событий и афтершоков) за 1999 г.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – сейсмическая станция; **К** и **ВА** – Кичерская и Верхнеангарская впадины соответственно.

Таблица 1. Основные параметры двух Кичерских землетрясений 21 марта с $K_p=14.5$ и 14.2 по данным разных агентств

Агентство	t_0 , ч мин с	δt_0 , с	Эпицентр				h , км	Энергетический класс K_p и магнитуды	$M_0 \cdot 10^{18}$, Н·м	Источ- ник
			φ°, N	$\delta\varphi^\circ$	λ°, E	$\delta\lambda^\circ$				
21 марта в 16 ^h 16 ^m										
БЫКЛ	16 16 03.1	0.5	55.83	0.03	110.34	0.04	19	$K_p=14.5 \pm 0.3$		[1]
MOS	16 16 01.5	0.94	55.86	0.07	110.38	0.08	10	$MPSP=5.8/39$; $MPLP=5.9/11$; $MS=6.0/32$; $Mw=6.0$	1.2	[2, 3]
ISC	16 16 02.3	0.10	55.90	0.02	110.23	0.03	10	$m_b=5.5/217$; $MS=5.8/86$		[3]
EIDC	16 16 02.4	0.43	55.93	0.08	110.27	0.20	0	$m_b=5.3/23$; $ML=5.2/4$		[3]
21 марта в 16 ^h 17 ^m										
БЫКЛ	16 17 04.2	2.14	55.85	0.15	110.26	0.14		$K_p=14.2 \pm 0.4$		[1]
MOS	16 17 03.8	0.95	55.97	0.11	110.28	0.09	10	$MPSP=5.7/18$; $MPLP=6.2/4$;		[2]
ISC	16 17 03.8	0.17	55.95	0.03	110.18	0.05	10	$m_b=5.6/109$; $MS=6.1/7$		[3]
NEIC	16 17 03.7	0.15	55.94	0.03	110.27	0.05	10	$m_b=5.5/51$; $MS=5.7$; $Mw=5.7$	0.31	[3]
EIDC	16 17 04.4	0.49	55.97	0.10	110.35	0.11	0	$m_b=5.1/21$; $ML=4.9/3$		[3]

Примечание. БЫКЛ – Байкальский филиал ГС СО РАН; MOS – ГС РАН; ISC – Международный сейсмологический центр; NEIC – Национальный сейсмологический информационный центр США; EIDC – Экспериментальный международный центр данных, США.

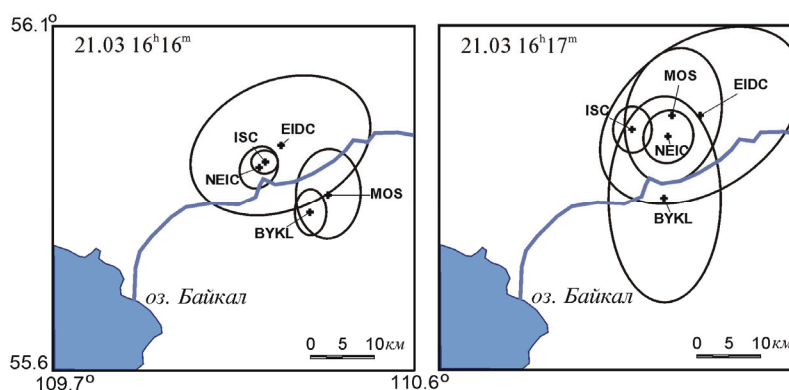


Рис. 2. Координаты эпицентров двух сильных землетрясений 21 марта и эллипсы ошибок их определений по данным разных агентств

Решения механизмов очагов обоих землетрясений 21 марта с $K_p=14.5$ и 14.2 получены в NEIC [3], HRVD [4] методами инверсии длиннопериодных и мантийных сейсмических волн, а в MOS [2] и ИЗК [5] – по первым вступлениям P -волн (рис. 4, табл. 2). Фокальный механизм по региональным данным для второго события (в 16^h17^m) не определен, поскольку, как было указано выше, достоверная информация о фазах и знаках P -волн для него отсутствует.

Таблица 2. Параметры механизмов очагов двух сильных Кичерских землетрясений 21 марта по данным ИЗК [5], MOS [2], NEIC [3], HRVD [3,4]

Агентство	T		N		P		$NP1$			$NP2$		
	PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	AZM	DP	$SLIP$	AZM	DP	$SLIP$
21 марта в 16 ^h 16 ^m												
ИЗК	13	153	49	258	38	53	200	54	-160	98	74	-38
MOS	8	151	53	252	36	56	200	59	-158	98	71	-33
NEIC	23	184	4	93	67	354	282	22	-80	91	68	-94
HRVD	16	310	8	43	71	159	27	29	-107	227	62	-80
21 марта в 16 ^h 17 ^m												
NEIC	11	129	11	222	74	355	206	35	-109	49	57	-77
HRVD	2	137	3	227	87	20	223	44	-94	50	47	-86

Примечание. Все параметры приведены в градусах. ИЗК – Институт земной коры СО РАН, HRVD – Гарвардский университет. Решение фокального механизма получено по методу момента центраида [4].

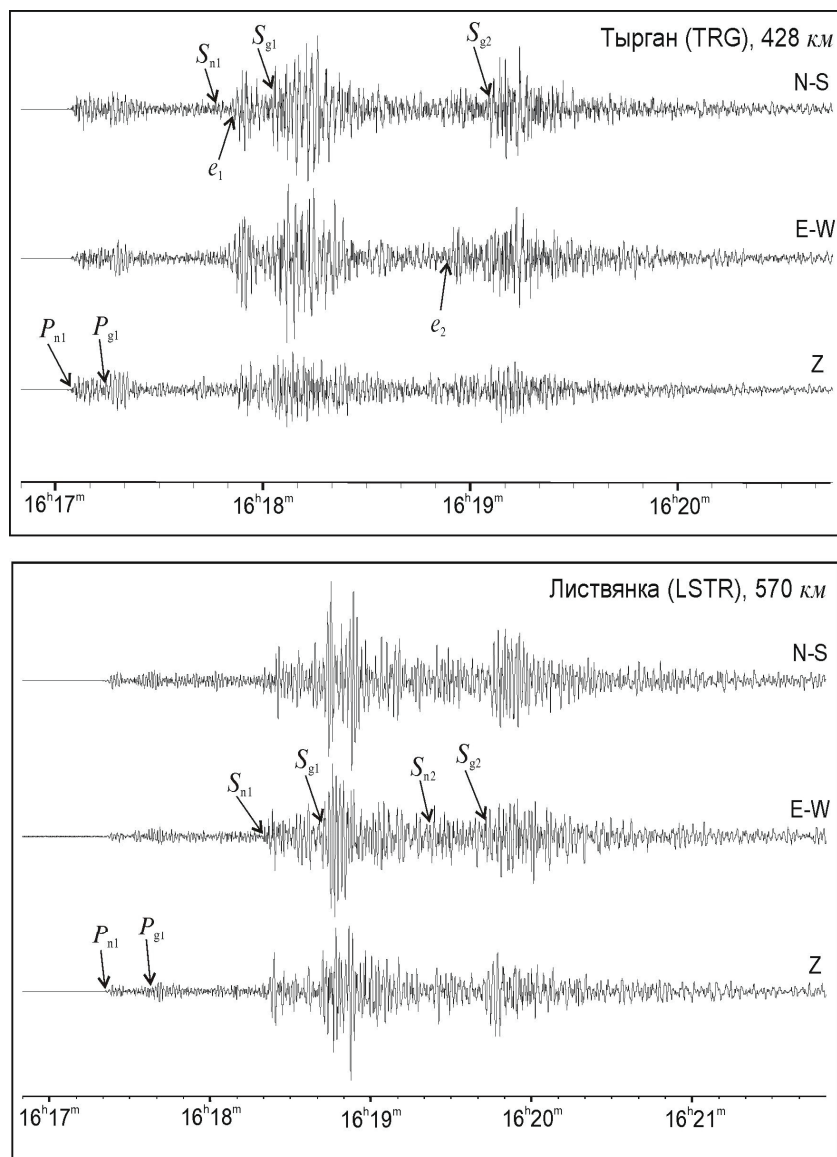


Рис. 3. Трехкомпонентные записи двух сильных землетрясений 21 марта (в $16^h 16^m$ и в $16^h 17^m$), полученные цифровой аппаратурой типа Байкал-6 на сейсмических станциях «Тырган» и «Листвянка»

Фазы, пронумерованные цифрами 1 и 2, относятся к первому и второму событиям соответственно.

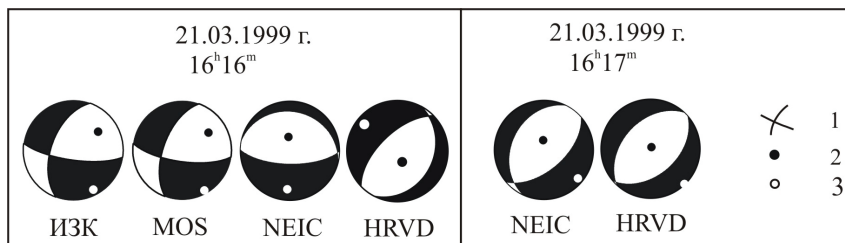


Рис. 4. Механизмы очагов двух Кичерских землетрясений по данным разных сейсмологических центров 1 – нодальные линии; 2, 3 – оси главных напряжений сжатия и растяжения соответственно; зачернена область волн сжатия.

Для землетрясения 21 марта в $16^h 16^m$ похожие решения фокального механизма получены в агентствах ИЗК и MOS: напряжения растяжения близгоризонтальны и ориентированы в северо-западном – юго-восточном направлении, сжатия – наклонены к горизонту ($PL=38^\circ$ и 36° соответственно) и ориентированы в северо-восточном – юго-западном направлении. Плоскость

NP1 в обоих решениях близмеридиональна, NP2 – близширотна, с подвижками типа сдвиг и сбросо-сдвиг соответственно. Другие результаты представлены NEIC и HRVD: в первом случае в очаге наблюдалось сбросообразование по нодальным плоскостям субширотного простирания, во втором – северо-восточного простирания. Как видно из рис. 4, три определения из четырех показывают наличие в очаге крутопадающей на юг субширотной плоскости.

Далее при рассмотрении пространственно-временного развития процесса в очаговой области данного землетрясения будут рассматриваться решения ИЗК [5] и MOS [2].

Очаговые параметры землетрясения 21 марта в $16^{\text{h}}17^{\text{m}}$, по данным NEIC и HRVD, согласуются друг с другом и показывают рифтовый механизм: по плоскостям северо-восточного простирания произошли сбросовые смещения, при этом ось растяжения, ориентированная на северо-запад–юго-восток, близгоризонтальна, а сжатия – близвертикальна (рис. 4, табл. 2).

Схема сейсмотектонической позиции очаговой области сильных Кичерских землетрясений изображена на рис. 5 по данным [6–8]. С северо-востока подходит и продолжается далее к Байкалу мощная зона рифтоконтролирующего разлома, ограничивающего, с одной стороны, северо-западный борт Верхнеангарской впадины (одноименный разлом), с другой – юго-восточный борт Кичерской депрессии (впадины). В районе Кичеро-Верхнеангарской межвпадинной перемычки происходит смена знака вертикального смещения по разлому.

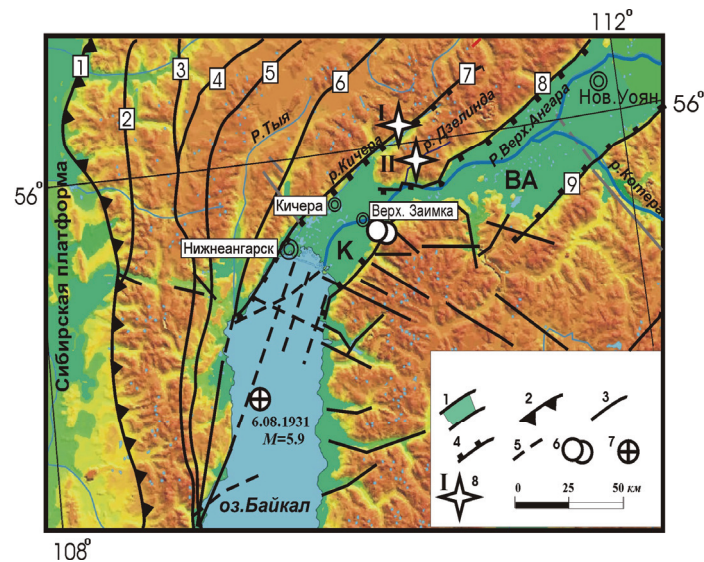


Рис. 5. Геоструктурная обстановка в очаговой области Кичерских землетрясений 21 марта с $M_w=6.0$ и 5.7

1 – Кичерская (К) и Верхнеангарская (ВА) рифтовые впадины; 2 – взбросо-надвиговая зона краевого шва Сибирской платформы; 3 – взбросо-сдвиг; 4 – сброс рифтогенного этапа; 5 – подводный разлом; 6 – эпицентры первого (справа) и второго толчков; 7 – эпицентр Нижнеангарского землетрясения 06.08.1931 г. с $M=5.9$ и $I_0=8$ [9]; 8 – палеосейсмодислокация: I – Кичерская (700–2000 лет, $M=7.5$, $I_0=10$ баллов); II – Дзелинда (300–700 лет, $M=7.4$, $I_0=10$ баллов) [6].

Цифрами в рамках обозначены названия разломов: 1 – Передовой (Акитканский); 2 – Окунайский; 3 – Левоминьский; 4 – Абчадский; 5 – Рель-Тыйский; 6 – Нюрундуканский; 7 – Кичеро-Мамский; 8 – Верхнеангарский; 9 – Северомуйский.

В целом, 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 простирания. Здесь также достаточно широко распространена система поперечных разломов северо-западного направления, реже фиксируются разломы субширотного простирания. Возрастной спектр заложения этих структурных и магматических комплексов очень 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. Здесь есть участок, где происходит бифуркация зоны краевого шва, т.е. его веерообразное расщепление в северном направлении на ряд глубинных магмоконтролирующих разломов – Передового, Окунайского и Левоминьского, возникших в раннем протеро-

зое и имеющих преимущественно надвиговый и взбросо-сдвиговый тип смещений.

Другая важная особенность расположения очаговой области землетрясений заключается в том, что в этом месте начинается резко выраженный переход направления рифтовой зоны от субмеридионального к северо-восточному. Начиная с Кичерской депрессии и далее к востоку Байкальская рифтовая зона впервые начинает развиваться не в согласном, т.е. продольном направлении по отношению к древним складчатым и разрывным структурам, а в поперечном направлении. В прошлом этот факт привлекал внимание исследователей [10, 11]. Наиболее приемлимое объяснение феномену дискордантного развития Байкальской рифтовой зоны на северо-восточном фланге через Байкало-Патомскую дугу и врезании в кратон Сибирской платформы исследователи связывают со спецификой подкорковых мантийных процессов, действие которых во многом явилось основной, но не единственной причиной развития континентального рифтогенеза в Центральной Азии.

Древняя сейсмичность на территории Северного Байкала обнаружена в результате сейсмогеологических исследований на его территории [6, 12, 13]: несколько палеоструктур возрастом от первых сотен до первых тысяч лет. Здесь в непосредственной близости к эпицентральному полю Кичерских событий оказались палеоземлетрясения в зоне Кичерского сброса и на межвпадинной перемычке в долине р. Дзелинда [6]: сейсмический потенциал этой части рифта достаточно высок [7], здесь возможны землетрясения с $M \sim 7.5$ и интенсивностью до 10 баллов.

Относительно сильные землетрясения происходили в рассматриваемом районе и в XX столетии. Так, в акватории оз. Байкал по макросейсмическим сведениям локализованы эпицентры двух землетрясений: Нижне-Ангарского 08.08.1931 г. с $M=5.9$ [9] и 05.10.1954 г. с $M=5.3$ [9, 13]. Инструментально зарегистрированные сейсмические события с $M > 5$, эпицентры и даты возникновения которых даны на рис. 6, приурочены, в основном, к северо-восточной части Баргузинского хребта и к Верхнеангарской впадине. Кроме того, в горных районах Баргузинского хребта регистрировались группы слабых землетрясений, образующих рои, а в Кичерской и Верхнеангарской впадинах – достаточно сильные землетрясения с афтершоками, такие, как 02.11.1976 г. с $M=5.2$ [14] и 26.10.1990 г. с $MPSP=5.3$ [15], фокальные механизмы которых имели субширотные и северо-восточные плоскости разрывов со сбросовыми, сбросо-сдвиговыми или сдвиго-сбросовыми типами подвижек (рис. 6) [16]). Как правило, в субширотных плоскостях присутствовала левосдвиговая компонента смещений.

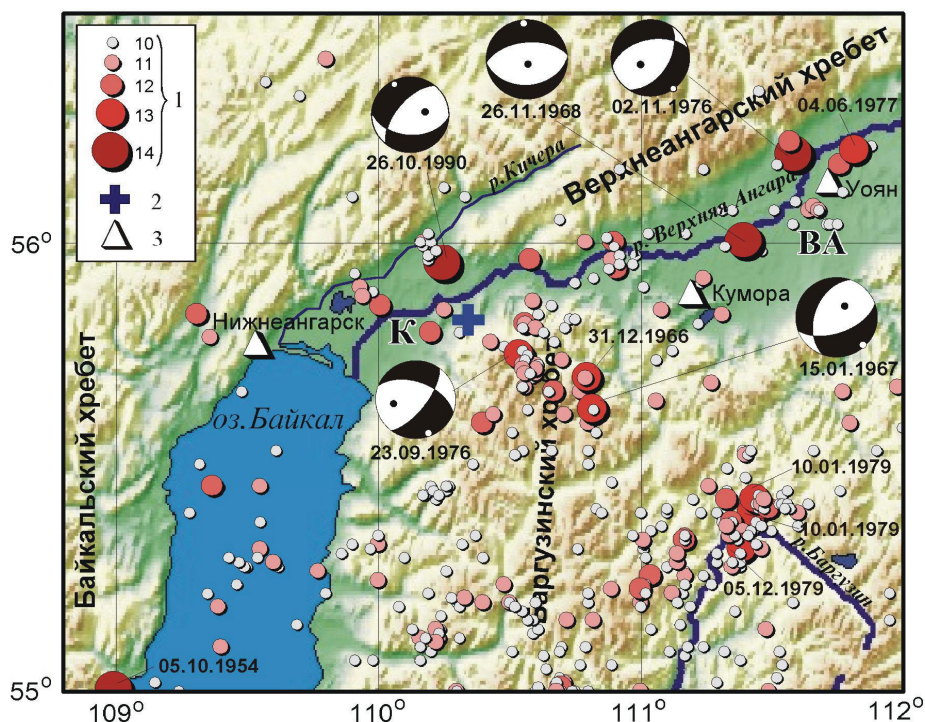


Рис. 6. Карта эпицентров землетрясений Северного Байкала за 1950–1998 гг.

1 – энергетический класс K_p ; 2 – инструментальный эпицентр первого толчка 1999 г.; 3 – сейсмическая станция. Для некоторых событий показаны механизмы их очагов (обозначения см. на рис. 4).

Скопления эпицентров землетрясений, сформированные роевыми или афтершоковыми последовательностями, выстроились по линии северо-западного простирания, почти ортогонально секущей юго-восточный борт Кичерской впадины, но к северо-западу или к юго-востоку от области активизации 1999 г. До этого момента в зоне межвпадинной перемычки наблюдалось сейсмическое «затишье».

В целом, 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 [17].

Особенности развития очаговой зоны Кичерских землетрясений 21 марта с $K_p=14.5$ и 14.2 проявились в серии сейсмических событий как до (начиная с 27 января), так и после них. В конечном итоге эти события обозначили границы очаговой области площадью 1100 км^2 . Данная последовательность была самой мощной из всех инструментально зарегистрированных в Прибайкалье с 1960 г.: 403 события (с $K_p=6-12$) до и свыше 5 900 землетрясений (с $K_p=5-14.2$) после и до конца 1999 г. Как видно из распределения во времени чисел землетрясений N и логарифма высвободившейся сейсмической энергии $\lg E$ (рис. 7), процесс затухания сейсмической активности в вышеуказанной области растянулся на несколько лет.

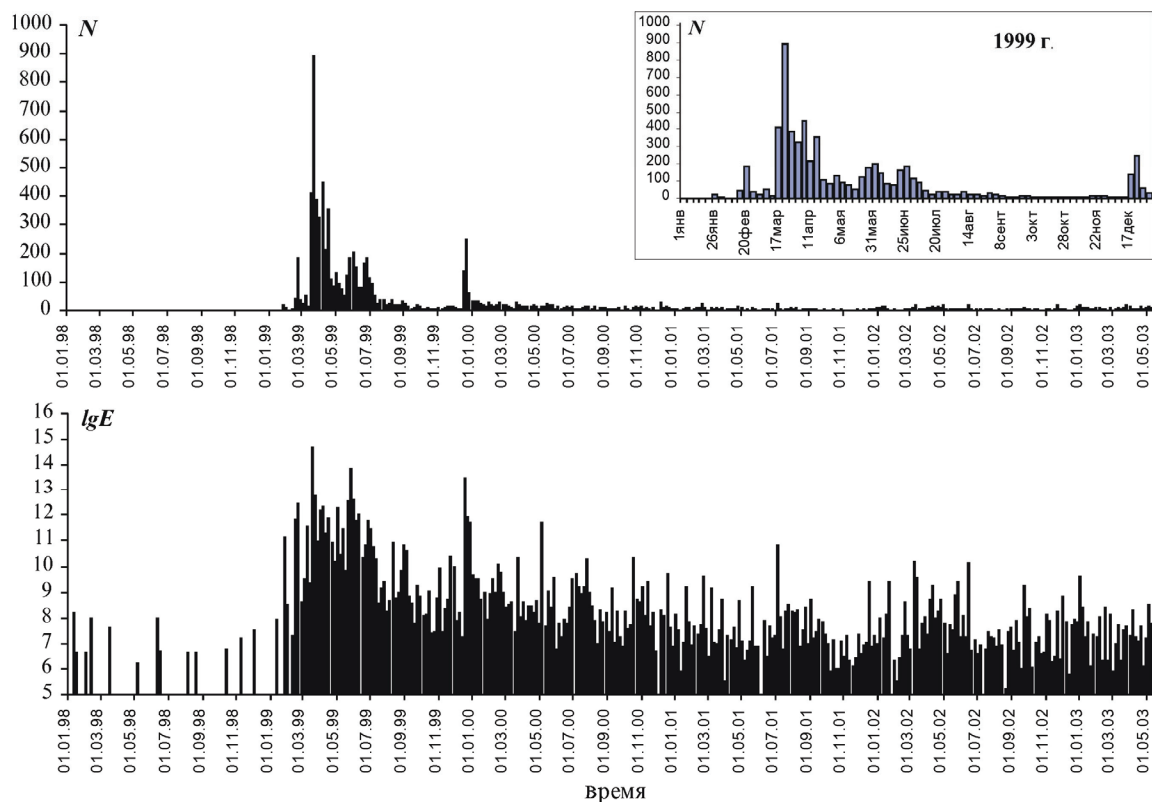


Рис. 7. Изменение во времени числа N землетрясений и логарифма суммарной сейсмической энергии $\lg E$ в Кичерской последовательности за период 01.01.1998 г.– 30.06.2003 г.

На врезке в более крупном масштабе выделен 1999 г. (цена деления по оси абсцисс – пять суток).

Точность оценки координат землетрясений чрезвычайно важна для дальнейших геодинамических построений, поэтому рассмотрим региональные особенности регистрации и обработки материалов наблюдений более подробно. В 1999 г. большинство сейсмических станций Прибайкалья и Забайкалья все еще имели аналоговую аппаратуру, и только станции «Тырган», «Иркутск», «Листвянка» и «Галая» перешли на цифровую регистрацию землетрясений [18]. Статистическая оценка погрешности определения координат эпицентров Кичерской последовательности показала, что для событий с $K_p=10-14$ она составляет в большинстве случаев $\delta=2-3 \text{ км}$, а для более слабых изменяется в пределах $\delta=2-6 \text{ км}$ (рис. 8) [1].

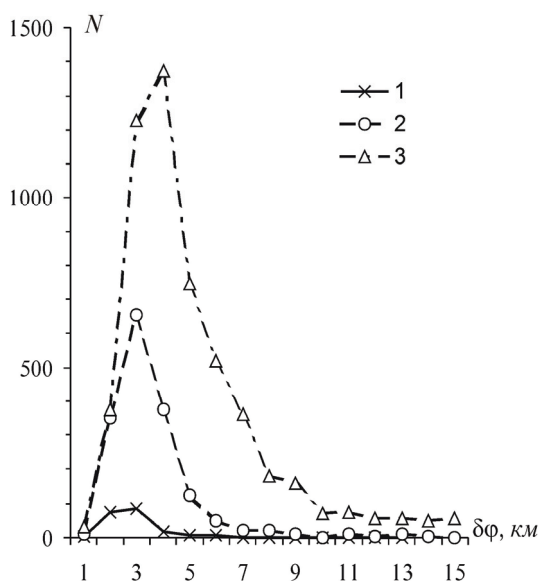


Рис. 8. Распределение погрешностей определения широты $\delta\varphi$ для землетрясений разных классов

1 – $K_p=10-14$; 2 – $K_p=8-9$; 3 – $K_p=6-7$. Из-за специфики геометрии сети станций погрешности по широте большие, нежели по долготе.

Расчет глубин гипоцентров в регионе всегда являлся сложной задачей, и в этом смысле Кичерская последовательность не стала исключением. Ближайшие к эпицентральному полю станции «Нижнеангарск» и «Кумора» располагались на расстоянии 50–60 км, что не способствовало получению надежных оценок искомого параметра. Стандартная методика, используемая в БОМСЭ при сводной обработке [19], позволила определить глубины гипоцентров для 4047 землетрясений, причем в 75% случаев

среднеквадратичные ошибки их расчета превышали ± 10 км. В региональный каталог значения глубин включались тогда, когда погрешность δh была менее ± 10 км [2].

Для уточнения положений гипоцентров сделана попытка их локализации с помощью программы HYPOINVERSE [20–22], при этом критерием отбора данных служили следующие три условия: 1) наличие записей на двух ближайших станциях; 2) эпицентральные расстояния до трех станций не должны превышать 150 км; 3) на записях землетрясений можно выделить не менее пяти пар четких вступлений P_g - и S_g -волн. В итоге рассмотрено 1600 сейсмических событий, для которых погрешность оценки глубин по сравнению со стандартным методом, уменьшилась: в 50% определений она не превышала $\delta h = \pm 5$ км, в 30% составляла от $\delta h = \pm 5$ км до $\delta h = \pm 10$ км, а в 20% превышала $\delta h = \pm 10$ км. При среднеквадратичных ошибках определений δt_0 не более ± 0.1 с средние скоростные характеристики среды имели обычные региональные значения: $v_p=6.15$ км/с, $v_p/v_s=1.73$. Из распределения глубин гипоцентров видно, что их максимальное число приурочено к слою 16–30 км, а сейсмогенерирующим являлся слой земной коры в диапазоне глубин $h=10-46$ км (рис. 9).

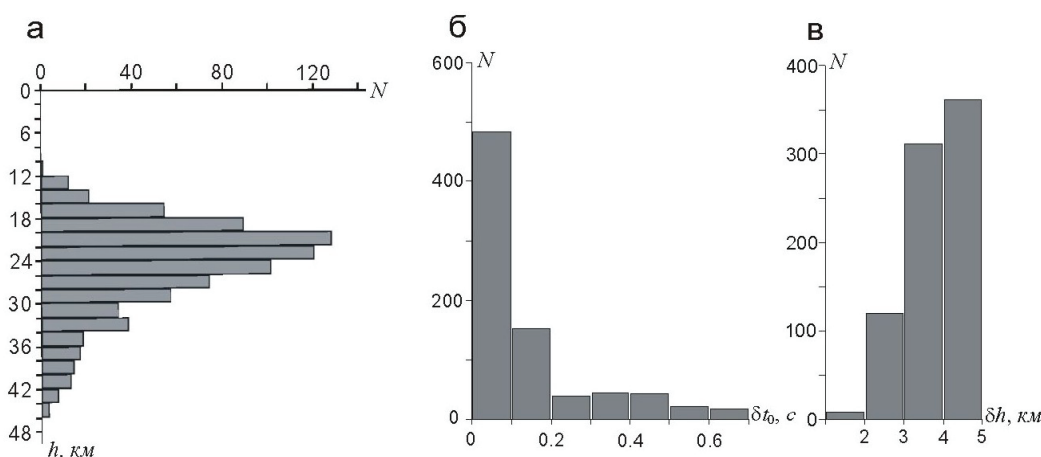


Рис. 9. Гистограммы распределения числа N землетрясений по глубине h (а), по δt_0 (б) и по δh (в) для 801 землетрясения из Кичерской последовательности

Использованы данные для землетрясений с $\delta h \leq 5$ км.

Анализ γ (углового коэффициента графика повторяемости) во времени представляет интерес, поскольку его значение определено достаточно надежно ввиду наличия большого числа представительных данных: использовались землетрясения с $K_p=7-10$ или с $K_p=7-11$ и не принимались во внимание редкие относительно сильные и неrepresentative для данного интер-

вала времени события с $K_p=12-14$. Угловый коэффициент рассчитывался по нескольким вариантам интервалов энергетических классов, затем выбирались значения γ с наименьшей стандартной ошибкой, обычно не превышающей $\sigma_\gamma=\pm 0.03$. В данной работе, чтобы исключить случайный характер замеченных закономерностей, оценка γ осуществлялась в последовательных массивах, состоящих из 200 (вариант 1) или 400 (вариант 2) событий.

Результаты расчетов, представленные на рис. 10, показали, что в начальный период активизации, до землетрясений 21 марта в 16^h16^m и в 16^h17^m , значение исследуемого параметра γ для форшоков равно 0.39 ± 0.01 , тогда как среднее долговременное его значение за 30-летний период наблюдений во всем Байкало-Муйском районе значительно выше, а именно: $\gamma=0.53\pm 0.001$ [17]. Данное обстоятельство может служить косвенным доказательством консолидации (упрочнения) сейсмогенерирующего объема земной коры. Активное начало афтершокового процесса (с 22 марта по 1 апреля) сопровождалось резким возрастанием γ до 0.59, свидетельствующем о частичной разгрузке накопленных напряжений и разупрочнении среды. Затем в течение апреля–мая значения γ постепенно уменьшались и к моменту возникновения следующего сильного толчка 30 мая с $K_p=13.8$ достигли своего первоначального уровня (~ 0.4). Далее ситуация повторилась: после землетрясения 30 мая опять началось возрастание γ до 0.59 (май–июнь), а за месяц до землетрясения 21 декабря с $K_p=13.5$ произошло его резкое понижение. Таким образом, вариации углового коэффициента графика повторяемости во времени позволяют проследить «тонкую» структуру накопления и разрядки напряжений при Кичерской последовательности землетрясений, определить длительность процессов упрочнения и разупрочнения земной коры.

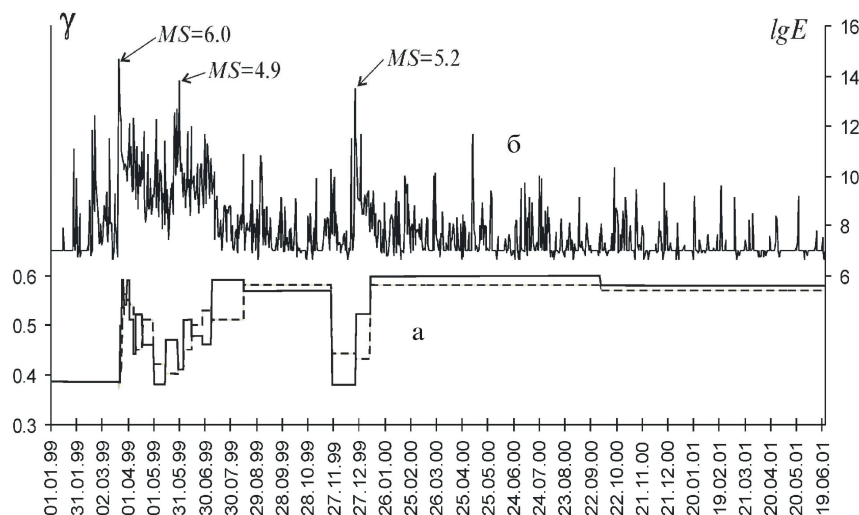


Рис. 10. Изменение во времени параметра γ (а), рассчитанного по последовательным выборкам объемов, равных: $\Sigma N=200$ (сплошная линия), $\Sigma N=400$ (пунктирная линия) и логарифма сейсмической суммарной энергии

Стрелками указаны относительно сильные землетрясения с $MS\geq 4.9$.

Пространственно-временное развитие процесса описываемой совокупности исследовано благодаря надежности оценок основных параметров землетрясений. Геометрия эпицентрального поля и направления возможных плоскостей разрывов в очагах несут информацию о процессе деструкции земной коры. В данном случае представляется редкая возможность проследить ее развитие в течение года. Цепь взаимосвязанных сейсмических событий стала формироваться в районе межвпадинной перемычки на юго-восточном борту Кичерской депрессии приблизительно за два месяца до Кичерских толчков (рис. 11(1)). Область первоначальной активизации, обозначенная пространственными координатами форшоков, была компактной и имела форму круга. В одном из очагов землетрясений этой группы, произошедшем 18 февраля в 02^h11^m , разрядка напряжений происходила нетипичным для данного района образом: по субмеридиональной плоскости осуществлялся левый сдвиг, а по крутопадающей на юго-запад субширотной плоскости – взбросо-сдвиг. Тремя днями позже в очагах двух землетрясений (21 февраля в 03^h52^m и в 15^h48^m) наблюдались исключительно сбросовые подвижки по плоско-

стям субмеридионального и северо-восточного простираний [5]. Заметим, что в рассмотренных случаях ориентация осей главных напряжений (при различных углах наклона к горизонтальной плоскости) была традиционной для Прибайкалья: растяжение направлено на северо-запад–юго-восток, сжатие – на северо-восток–юго-запад [16].

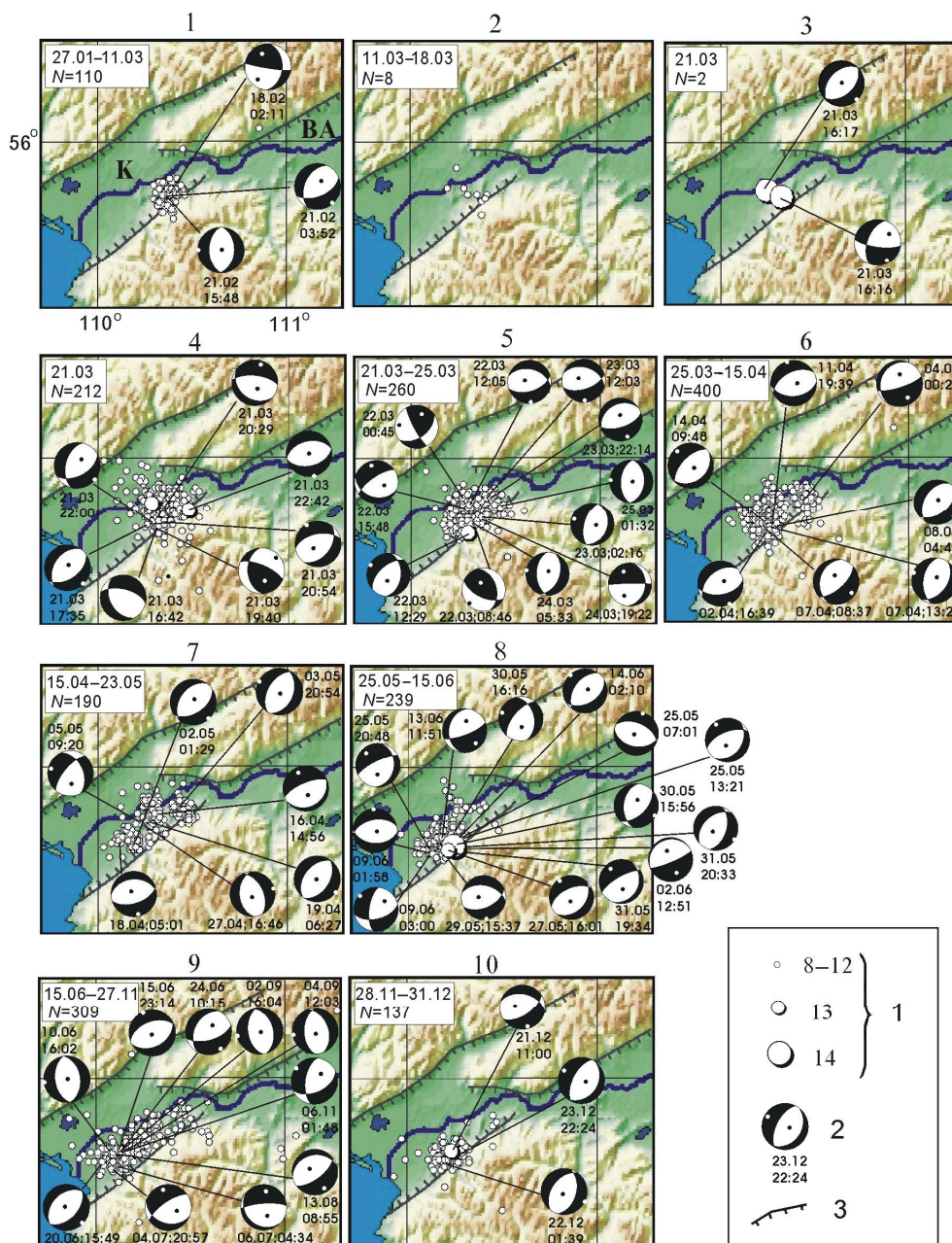


Рис. 11. Десять карт эпицентров Кичерской последовательности землетрясений за период 27.01–31.12.1999 г.

Для некоторых землетрясений приведен механизм очага. В левом верхнем углу указан период наблюдений и (второй строкой) число событий.

1 – энергетические классы K_p ; 2 – механизм очага (обозначения см. на рис. 4) с указанием даты (число, месяц) и времени (час, мин) землетрясения; 3 – генеральные разломы, активизированные в кайнозое. Буквами обозначены Кичерская (К) и Верхнеангарская (ВА) впадины.

Примерно за десять суток до главных толчков 21 марта в их будущей эпицентральной зоне наступило сейсмическое «затишье» (рис. 11(2)), лишь несколько слабых событий с $K_p < 9$ рассредоточилось в северо-западном – юго-восточном направлении. Как было указано выше, именно так (поперек рифтовых структур) располагалась полоса повышенной плотности эпицентров, к которой тяготели группирующиеся сейсмические события (рои и землетрясения с афтершока-

ми) задолго до 1999 г., отражая закономерности в распределении тектонических нарушений земной коры и литосферы Байкальской рифтовой зоны [23, 24].

Известно, что сильные сейсмические события всегда генетически связаны с крупными региональными структурами. В данном случае оба землетрясения 21 марта, вероятнее всего, приурочены к генеральному рифтообразующему разлому северо-восточного простирания, ограничивающему юго-восточный борт Кичерской впадины. В то же время район межвпадинной перемычки, где располагается эпицентральная зона, подчиняется общей тенденции развития горных перемычек в Байкальской рифтовой зоне – блоковому дроблению и наличию дифференцированных, контрастных движений [12]. Оба землетрясения 21 марта характеризовались сдвиговым [2, 5] и сбросовым [3, 4] фокальными механизмами, при этом в обоих очагах одна из плоскостей разрывов имела согласованное с генеральным разломом северное – северо-восточное простирание. (Что касается двух других плоскостей, то для события в 16^h16^m наблюдалось западное – северо-западное простирание, а в 16^h17^m – северо-восточное (рис. 11(3)). Известно, что по геологическим данным на рассматриваемом участке рифта северо-западные и субширотные разрывы, по сравнению с северо-восточными, проявляются как структуры второго порядка [24]. Пространственно-временное развитие сейсмического процесса при исследуемой последовательности землетрясений подтверждает это.

В первые часы после сильных землетрясений эпицентральное поле вытянулось в северо-западном направлении (рис. 11(4)), что позволило выбрать в качестве «рабочей» плоскость, близкую по направлению западному–северо-западному разрыву в первом очаге. Поскольку пространственные координаты обоих событий близки, можно предположить, что разрядка напряжений происходила по пересекающимся разрывам западного – северо-западного (первый толчок) и северо-восточного (второй толчок) простираний. Такое предположение кажется логичным и находит подтверждение в быстрой (в течение пяти суток) смене вытянутости эпицентрального поля с северо-западного на северо-восточное (рис. 11(5)). Замеченный факт не противоречит общим закономерностям формирования и взаимного расположения систем сопряженных разрывов, образующихся в процессе разрушения горных пород. Возможность поочередного движения по таким структурным нарушениям доказана на физических моделях [25].

Изменения в конфигурации эпицентрального поля афтершоков сопровождалось всеми возможными простираниями плоскостей разрывов, при этом доминирующим типом подвижек в очагах оставались сбросы, иногда со сдвиговой составляющей. Неустойчивую ориентацию в пространстве в этот период показывали и обе оси главных напряжений (растяжения и сжатия) [5]. В период с 25 марта по 27 ноября (рис. 11(6–9)) эпицентры афтершоков распространялись преимущественно вдоль юго-восточного борта Кичерской впадины, при этом механизмы очагов имели исключительно рифтовый характер. По субмеридиональным, субширотным и северо-восточным плоскостям разрывов происходили сбросовые подвижки, северо-западное–юго-восточное растяжение было близгоризонтальным, а сжатие – почти вертикальным. К концу года (рис. 11(10)) активность рассматриваемой последовательности значительно понизилась, а решения фокальных механизмов отражали процесс сбросообразования по плоскостям северо-восточного простирания, при близгоризонтальном северо-западном – юго-восточном растяжении и почти вертикальном сжатии [5]. Область активизации по отношению к первоначальному положению (рис. 11(1)) переместилась по юго-восточному борту впадины на юго-запад.

Анализ поля эпицентров землетрясений и механизма их очагов при Кичерской последовательности показал безусловную связь сейсмологических параметров с особенностями структуры земной коры и, в первую очередь, с активными в кайнозойскими разломами.

Макросейсмические проявления, наблюдавшиеся при двух сильных Кичерских землетрясениях 21 марта 1999 г., разделить было невозможно, поэтому в дальнейшем речь будет идти об их суммарном эффекте.

Обследование последствий землетрясения проводилось сотрудниками трех лабораторий Института земной коры СО РАН: сейсмогеологии, сейсмостойкого строительства, общей и инженерной сейсмологии в наиболее пострадавших населенных пунктах (некоторые результаты обследования опубликованы в работах [26, 27]). Дополнительная информация на территории Иркутской области и Республики Бурятия была получена посредством рассылки опросных листов. Оценка интенсивности сотрясений производилась по шкале *MSK-64* [28]; оценка степени повреждений – по проекту шкалы *MMSK-92* [30]. Ниже в кратком виде представлены особенности наиболее значительных сейсмических проявлений в ближней зоне этих землетрясений.

Верхняя Заимка. Поселок является ближайшим к эпицентрам населенным пунктом, поэтому макросейсмические эффекты здесь проявились с наибольшей интенсивностью. Жилищный фонд поселка составляют одноэтажные деревянные дома брусчатой, бревенчатой и щитовой конструкций, имеются два двухэтажных здания – кирпичный детский сад и строящееся каркасно-панельное здание культурно-спортивного комплекса. Землетрясение ощущалось всеми жителями поселка, находящимися в помещениях и на открытом воздухе, как в состоянии покоя, так и в движении; многие слышали сильный гул. Большинство людей покинули помещения в состоянии сильного испуга и всю ночь провели на улице. По сообщению главы сельской администрации, население села длительное время находилось в стрессовом состоянии. При землетрясении в помещениях самопроизвольно открывались и закрывались двери, во многих случаях выпадала из шкафов и разбивалась посуда, скрипела и раскачивалась мебель. Неустойчивые предметы падали или сдвигались со своих мест, полы в домах «ходили ходуном», в некоторых домах треснули оконные стекла. Во время наиболее сильного толчка слышался треск и скрежет конструкций, мерзлой земли, льда. В некоторых случаях у людей наблюдались сердечные приступы, головокружение, головная боль, обмороки.

В *одноэтажном деревянном здании школы*, построенном в 1978 г. и состоящем из двух блоков – брусчатого и щитового, во всех помещениях осыпалась штукатурка с потолков и стен. Появились щели между щитами, отмечены перекосы дверных проемов, потрескались обои. Получили повреждения и вышли из строя электрооборудование и сантехника, из-за перекосов стен и потолков во многих местах натянулась электропроводка. В целом здание получило 2–3 степень повреждения по шкале MMSK-92 [30], что делает дальнейшую его эксплуатацию невозможной, тем более что оно с 1997 г. уже находилось в аварийном состоянии: деревянные «стулья» под зданием прогнили, что привело к зыбкости и просадке полов в среднем на 10 см в щитовой части; балки перекрытия в классных комнатах и библиотеке прогнуты с превышением допустимого предела.

В *здании детского сада*, кирпичном, с железобетонным монолитным каркасом, при землетрясении образовались тонкие трещины в штукатурке возле дверных проемов и в углах помещений с шириной раскрытия до 0,3 мм.

В *каркасно-панельном здании спортивного комплекса* возникли тонкие трещины на стыках перекрытий и стен, между плитами перекрытия, а также между железобетонными колоннами и кирпичной кладкой, с шириной раскрытия до 0,3 мм. На втором этаже местами обвалилась штукатурка с потолка. Здание получило 1 степень повреждения.

В общей сложности в *Верхней Заимке* повреждено 14 сборно-щитовых домов, в которых отмечено расхождение щитов в перегородках и наружных стенах с образованием сквозных трещин, а также общий перекося конструкций. Произошла осадка фундаментов домов, повреждения в кладке кирпичных печей, а в отдельных случаях наблюдались выпадения кирпичей или фрагментов печей. Во всех домах данного типа отмечено осыпание побелки, образование трещин в штукатурке и обвалы отдельных ее кусков. В деревянных одноэтажных бревенчатых и брусчатых домах повреждения менее заметны. Приблизительно в 30% домов возникли трещины в штукатурке с различной шириной раскрытия и обвалы небольших ее кусков, осыпание побелки. В некоторых домах старой постройки (со сроком эксплуатации 30–40 лет) перекосились дверные и оконные проемы, а также образовались отдельные трещины в кирпичных печах. В одном из бревенчатых домов прогнулась на 10–12 см балка перекрытия, частично отстала кафельная плитка от стены.

Вышли из строя две электрические подстанции. Несколько опор линии электропередачи внутри села и 15 опор на линии Кичера–Большая Заимка сильно наклонились, однако первопричиной этого могло быть и недостаточное заглубление оснований столбов в грунт. При раскачивании опор в момент землетрясения происходили многочисленные замыкания (повреждено около 500 м провода). На протяжении 270 м обнаружены обрывы линий тепловодоснабжения.

После землетрясения на р. Верхняя Ангара приблизительно на 30–40 см осел лед, сильно понизился уровень воды в скважинах и колодцах, иногда до полного ее исчезновения. Вода в них стала грязной и мутной и оставалась не пригодной для питья почти неделю. По наблюдениям местных жителей, после землетрясения примерно в 20 км к юго-востоку (по направлению к эпицентру) потемнели вершушки двух сопков, что может свидетельствовать об активизации на их склонах сейсмогравитационных процессов, инициированных сейсмическими сотрясениями.

Интенсивность сотрясений в поселке по макросейсмическим эффектам достигла и, возможно, несколько превысила **7 баллов**.

Кичера. Здесь землетрясение проявилось несколько слабее. Жилищный фонд поселка состоит из двухэтажных, трехэтажных кирпичных зданий и одноэтажных деревянных брусчатых, бревенчатых и щитовых домов.

Землетрясение ощущалось всеми жителями поселка, находящимися в помещениях и на открытом воздухе, как в состоянии покоя, так и в движении. Спавшие проснулись; люди в сильном испуге выбежали из помещений. При землетрясении в домах скрипели полы и потолки, дребезжали посуда и оконные стекла, сильно раскачивались висючие предметы и мебель. Самопроизвольно открывались и закрывались дверцы шкафов. Многие бытовые предметы (главным образом посуда) падали со столов, из шкафов, со стен. Имело место сильное раскачивание зданий. На втором этаже кирпичного дома лежавшую женщину в результате сильных колебаний сбросило с кровати.

Здание двухэтажной кирпичной школы не пострадало, однако местами осыпались побелка и штукатурка, в кровле обнаружены разрывы рубероида. Более заметные повреждения получил кирпичный блок, пристроенный к основному зданию школы за год до землетрясения, в стенах которого и в наружных простенках образовались вертикальные и наклонные трещины с шириной раскрытия до 0.3 мм. Основное здание и пристройка не разделены антисейсмическим швом и после землетрясения образовались трещины по стенам в местах их соединения. Степень повреждения – 1 по шкале MMSK-92 [30]. В *здании железнодорожного вокзала* (двухэтажное, кирпичное, с железобетонным каркасом) при землетрясении возникли вертикальные и наклонные трещины по продольным кирпичным стенам и одному из поперечных ригелей. Трещины не сквозные, с шириной раскрытия от волосяной до 0.5 мм. Степень повреждения – 1 по шкале MMSK-92. В *здании детского сада* старой постройки во внутренней стене образовалась трещина.

В 16-ти сборно-щитовых домах разошлись щиты с образованием сквозных трещин. Просели фундаменты зданий, образовались трещины в печах с выпадением отдельных кирпичей. Возникли многочисленные трещины в штукатурке, наблюдалось падение ее кусков. На кровле зданий зафиксированы разрывы листов шифера и рубероида. В трех случаях отмечено растрескивание оконных стекол. В одноэтажных деревянных домах обнаружены трещины в штукатурке и ее осыпание, перекосы дверных и оконных блоков, трещины в печах. На улице сильно раскачивались столбы и опоры линии электропередачи. Вышли из строя электрические подстанции поселка. Землетрясение вызвало повреждения электропроводов и короткие замыкания. В скважине водозабора произошло смещение труб на глубине около 30 м.

Интенсивность землетрясения в поселке Кичера оценивается в **6–7 баллов**.

Нижнеангарск. Население города составляет около 6000 человек. Жилищный фонд представлен главным образом деревянными брусчатыми, бревенчатыми и щитовыми одноэтажными домами. Также имеются двухэтажные 12-квартирные деревянные дома, двухэтажная кирпичная школа и двухэтажное каркасно-панельное здание аэропорта.

В одноэтажных деревянных брусчатых и бревенчатых домах хорошей постройки повреждений почти не обнаружено. В отдельных случаях возникли разрывы обоев, а также диагональные и вертикальные трещины в кирпичной кладке печей. Отмечены случаи перекоса дверных коробок. Трещины в печной кладке обнаружены также в одном из двухэтажных деревянных жилых домов. В старых постройках растрескалась штукатурка.

В одноэтажных деревянных домах с брусчатыми стенами, построенных на болотистых участках, осыпалась побелка, падали небольшие куски штукатурки, произошло оседание печей относительно потолка на 10–12 см. Следует отметить, что здания имеют недостаточно жесткие фундаменты, просевшие в средней части. В деревянных щитовых домах (срок эксплуатации около 20 лет) появились трещины между щитами, трещины между стеной и камином, были случаи разрыва обоев. Брусчатые и бревенчатые дома характеризуются 1 степенью повреждений, щитовые – 2 степенью по шкале MMSK-92. В здании аэропорта повреждений не обнаружено.

В целом по поселку наблюдалось сотрясение домов, осыпание побелки, раскачивание висючих предметов и мебели, дребезжание посуды и окон, слышался скрип полов и стен, хлопали створки шкафов. Большинство спящих проснулись от раскачивания кроватей, многие люди в испуге покинули помещения.

Интенсивность сотрясений оценивается в **5 баллов**.

Северобайкальск. Город застроен пятиэтажными панельными, четырехэтажными кирпичными и одноэтажными деревянными домами разной конструкции (брусчатые, бревенчатые и щитовые). Население составляет 27.8 тыс. человек. Землетрясение ощущалось большинст-

вом населения, многие спавшие проснулись, некоторые люди в испуге вышли из домов. Дребезжали окна и посуда, качались всякие предметы. Местами осыпалась побелка. Люди ощущали раскачивание кроватей. Следует отметить, что у части населения реакция на землетрясение отсутствовала. В щитовых деревянных домах (срок эксплуатации около 20 лет) появились трещины между щитами и в углах пересечения продольных и поперечных стен. Отмечены случаи разрыва обоев. В четырехэтажных кирпичных домах обнаружены трещины между плитами перекрытий; в пятиэтажных панельных зданиях каких-либо повреждений не обнаружено.

Макросейсмические эффекты в городе оцениваются в **5 баллов**.

Макросейсмические данные о Кичерских землетрясениях 21 марта, полученные по совокупности всей имеющейся информации, приведены в табл. 3, а карта изосейст – на рис. 12.

Таблица 3. Макросейсмические сведения о Кичерских землетрясениях 21 марта

№	Пункт	Δ, км	Звук	№	Пункт	Δ, км	Звук
	<u>≥7 баллов</u>			35	Усть-Илимск	528	
1	Верхняя Заимка	13	гул	36	Сретенск	624	
	<u>6–7 баллов</u>				<u>2 балла</u>		
2	Кичера	19		37	Визирный	343	
	<u>5 баллов</u>			38	Хоринск	408	
3	Нижнеангарск	50	гул	39	Кропоткин	422	
4	Северобайкальск	67			<u>Не ощущалось</u>		
5	Улькан	159	гул	40	Варваринский	210	
6	Казачинское	178	гул	41	Тырка	250	
7	Верхнемартыново	178	гул	42	Монгой	305	
8	Ермаки	179	гул	43	Романовка	329	
9	Магистральный	184	гул	44	Исинга	341	
10	Кутима	195	гул	45	Юмурчен	342	
	<u>4–5 баллов</u>			46	Жигалово	346	
11	Горячий Ключ	182	гул	47	Телемба	394	
12	Баунт	186	гул	48	Непа	400	
13	Мамакан	313		49	Усть-Каренга	420	
14	Мама	316		50	Рудногорск	433	
15	Бодайбо	324		51	Турунтаево	440	
16	Улан-Удэ	478	гул	52	Подволочное	443	
	<u>4 балла</u>			53	Пеледуй	445	
17	Кумора	56	гул	54	ст. Леприндо	454	
18	Новый Уоян	92		55	Кыкер	462	
19	Тоннельный	193		56	Крестовая	464	
20	Ципикан	215	гул	57	Преображенка	484	
21	Назарово	258		58	Хилок	497	
22	Марково	259		59	Усть-Уда	499	
23	Верхнемарково	262		60	Вершино-Дарасунский	512	
24	Луговский	292		61	Улеты	515	
25	Бирюлька	336	гул	62	Моклакан	553	
	<u>3–4 балла</u>			63	Саянск	554	
26	Согдиондон	235		64	Зима	570	
27	Братск	543		65	Нерчинск	590	
	<u>3 балла</u>			66	Ленск	605	
28	Чининга	237		67	Красный Чикой	616	
29	Железногорск-Илимский	392		68	Ербогачен	619	
30	Тарбагатай	519		69	Балей	625	
31	Иркутск	556	гул	70	Тупик	629	
32	Куйтун	585		71	Оловянная	642	
	<u>2–3 балла</u>			72	Могоча	646	
33	Сюльбан	357	гул	73	Чунский	664	
34	Еланцы	421	гул	74	Петропавловка	668	
				75	Ванавара	688	
				76	Усть-Нюкжа	699	
				77	Нижнеудинск	720	

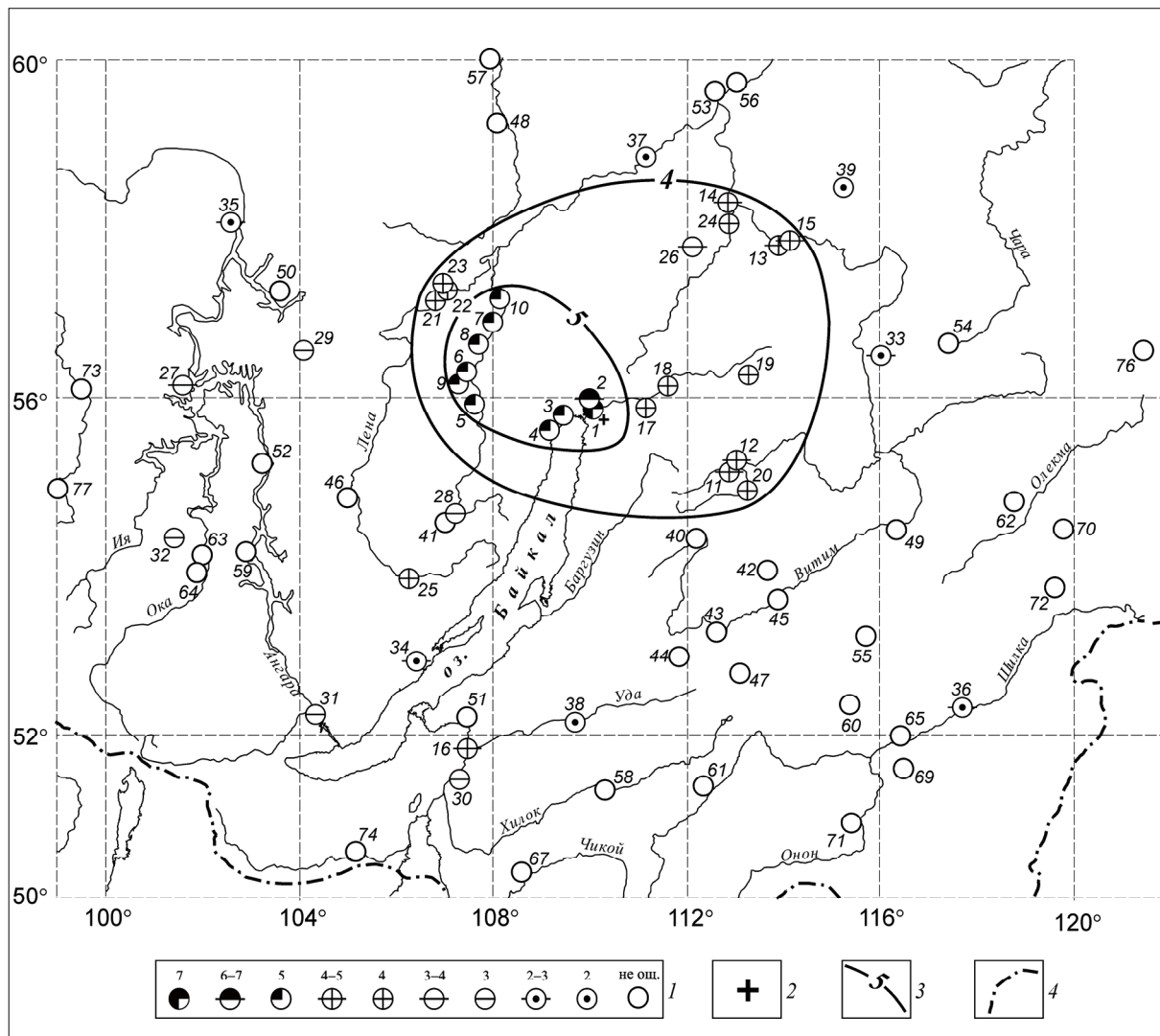


Рис. 12. Карта изосейст двух Кичерских землетрясений 21 марта 1999 г.

1 – интенсивность сотрясений в баллах по шкале MSK-64 [29]; 2 – инструментальный эпицентр первого толчка в $16^{\text{h}}16^{\text{m}}$; 3 – изосейста; 4 – государственная граница.

Из особенностей распределения интенсивности сотрясений по площади можно отметить резкую асимметричность пятибалльной изосейсты: в северо-западном направлении она вытянута на 190–200 км от эпицентра, тогда как в юго-восточном и восточном направлении затухание колебаний более сильное, так что интенсивность сотрясений составляет 4 балла уже на расстоянии 50–60 км. К сожалению, из-за редкой сети населенных пунктов и их сравнительной малочисленности данные о макросейсмических проявлениях землетрясения 21 марта остаются неполными и не позволяют в достаточной степени осветить закономерности затухания сейсмических колебаний.

Для оценки интенсивности сотрясений в эпицентре (I_0) использовалось уравнение:

$$I_0 = 1.33 M + 0.2,$$

заимствованное из [13]. Согласно расчету, бальность в эпицентре рассматриваемого землетрясения могла достигать 8 баллов (рис. 13).

Обобщая полученные результаты, отметим, что по наблюдавшимся макросейсмическим эффектам и энергетическим характеристикам Кичерские землетрясения 21 марта 1999 г. были наиболее сильными в районе Северного Байкала за период инструментальных

наблюдений (с 1960 г.). По сравнению с Южно-Байкальской последовательностью землетрясений 1999 г. [22], Кичерская при сопоставимых энергетических классах характеризуется значительно большим числом толчков (в шесть раз) и продолжительностью, что, безусловно, связано с геотектоническими условиями развития очаговой области.

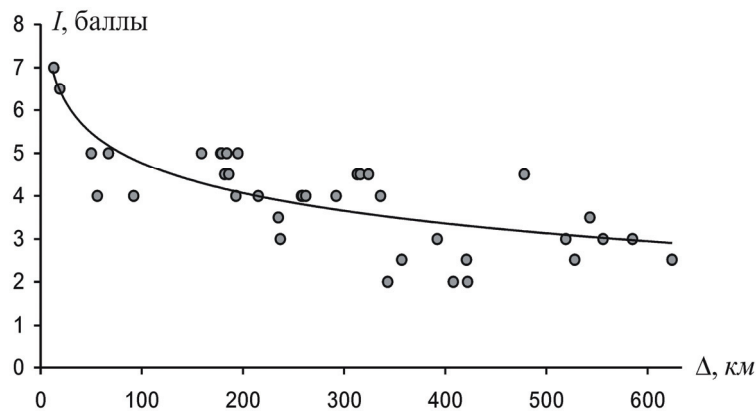


Рис. 13. Затухание интенсивности сотрясений I от эпицентрального расстояния при Кичерских землетрясениях 21 марта 1999 г.

Л и т е р а т у р а

1. Леонтьева Л.Р., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Тигунцева Г.В., Хайдурова Е.В., Андрусенко Н.А., Виногоградова Л.П., 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. Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел VI (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
2. Сейсмологический бюллетень (ежедекадный) за 1999 год / Отв. ред. О.Е. Старовойт. – Обнинск: ЦОМЭ ГС РАН, 1999–2000.
3. Bulletin of the International Seismological Centre for 1999. (ISC) – Berkshire: ISC, 2001.
4. 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. B4. – 1981. – 86. – С. 2825–2852.
5. Радзиминович Н.А., Мельникова В.И. (отв. сост.), Татомир Н.В. Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел VII (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
6. 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.
7. Замараев С.М., Грабкин О.В., Мазукабзов А.М., Лашенов В.А., Мельников А.И. Структурно-вещественные комплексы и тектоника // Геология и сейсмичность зоны БАМ. – Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1983. – 189 с.
8. Шерман С.И., Леви К.Г., Ружич В.А., Саньков В.А., Днепровский Ю.И., Рассказов С.В. Количественный анализ неотектонических структур и процессов // Геология и сейсмичность зоны БАМ. Неотектоника. – Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1984. – 208 с.
9. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. V. Прибайкалье ((2000 до н.э. – 500 н.э.)–1974 гг.; $M \geq 5.0$; $I_0 \geq 6$) // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.
10. Замараев С.М., Ружич В.В., Мазукабзов А.М., Васильев Е.П., Рязанов Г.В. О связи молодых континентальных рифтов с древними тектоническими структурами // Континентальный рифтогенез. – М.: Советское радио, 1977. – С. 23–30.
11. Замараев С.М., Васильев Е.П., Мазукабзов А.М., Ружич В.В., Рязанов Г.В. Соотношение древней и кайнозойской структур в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1979. – 125 с.

12. **Сейсмо тектоника и сейсмичность рифтовой системы Прибайкалья** / Отв. ред. В.П. Солоненко – М.: Наука, 1968. – 220 с.
13. **Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы** / Отв. ред. В.П. Солоненко – Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1977. – 287 с.
14. **Голенецкий С.И.** Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в 1976 году. – М.: Наука, 1980. – С. 46–57.
15. **Голенецкий С.И., Белоусов О.В., Дреннова Г.Ф., Аржанников С.Г., Баскаков В.С., Чипизубов А.В.** Землетрясение 26(27) октября 1990 г. в районе Северного Байкала // Землетрясения в СССР в 1990 году. – М.: ОИФЗ РАН, 1996. – С. 67–71.
16. **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.: ИФЗ РАН, 1993. – С. 113–122.
17. **Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Курушин Р.А., Масальский О.К., Шлаевская Н.С.** Выделение условных районов для ежегодных обзоров сейсмичности региона Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФООП, 2003. – С. 107–117.
18. **Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К.** Прибайкалье и Забайкалье. (См. раздел I (Обзор сейсмичности) в наст. сб.).
19. **Голенецкий С.И.** Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
20. **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. – № 694.
21. **Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Девершер Ж.** Локализация землетрясений и средние характеристики земной коры в некоторых районах Прибайкалья // Геология и геофизика. – 2000. – 41. – № 5. – С. 629–636.
22. **Радзиминович Н.А., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Масальский О.К., Радзиминович Я.Б., Ружич В.В., Бержинская Л.П., Ордынская А.П., Емельянова И.А., Смекалин О.П.** Южно-Байкальское землетрясение 25 февраля 1999 года с $M_w=6.0$, $I_0=8$ (Прибайкалье). (См. раздел II (Макросейсмические обследования) в наст. сб.).
23. **Мишарина Л.А., Солоненко Н.В., Вертлиб М.Б.** Некоторые особенности эпицентрального поля Байкальской рифтовой зоны в сопоставлении с механизмом очагов землетрясений // Сейсмичность и сейсмогеология Восточной Сибири. – М.: Наука, 1977. – С. 43–61.
24. **Шерман С.И., Семинский К.Ж., Борняков С.А., Адамович А.Н., Лобацкая Р.М., Лысак С.В., Леви К.Г.** Разломообразование в литосфере. Зона растяжения. – Новосибирск: Наука, СО РАН, 1992. – 232 с.
25. **Ма Цзинь, Ма Сэнли, Лю Личань, Лю Тианчань, У. Сючжан.** Экспериментальное изучение очередных подвижек пересекающихся разрывов и движений блоков // М.В. Гзовский и развитие геофизики. – М.: Наука, 2000. – С. 207–219.
26. **Бержинский Ю.А., Ордынская А.П., Бержинская Л.П., Бывальцев Д.В., Павленов В.А., Черных Е.Н., Чечельницкий В.В., Фризер Г.А.** Инженерное обследование последствий землетрясений 1999 года на Байкале // Город: прошлое, настоящее, будущее. Проблемы развития и управления на пороге III тысячелетия. – Иркутск: ИрГТУ, 2000. – С. 142–147.
27. **Голенецкий С.И., Бержинская Л.П., Павленов В.А., Фризер Г.А.** Анализ последствий сильных землетрясений на Южном и Северном Байкале в 1999 г. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2001. – № 4. – С. 54–56.
28. **Медведев С.В. (Москва), Шпонхойер В. (Иена), Карник В. (Прага).** Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СССР, 1965. – 11 с.
29. **Шерман С.И., Бержинский Ю.А., Павленов В.А., Аптикаев Ф.Ф.** Региональные шкалы сейсмической интенсивности. Опыт создания шкалы для Прибайкалья. – Новосибирск: Наука–Гео, СО РАН, 2003. – 189 с.
30. **Шебалин Н.В., Аптикаев Ф.Ф.** Развитие шкал типа MSK // Проблемы макросейсмологии (Вычислительная сейсмология; Вып. 34). – М.: Геос, 2003. – С. 210–253.