

## ПРИБАЙКАЛЬЕ И ЗАБАЙКАЛЬЕ

*В.И. Мельникова, Н.А. Гилёва, О.К. Масальский*

В 1998 г. региональные сейсмологические наблюдения осуществлялись, как и в 1997 г. [1], сетью из 23 сейсмических станций Байкальской опытно-методической сейсмологической экспедиции СО РАН. Перечень действующих станций и параметры используемых на них комплектов аппаратуры приведены в [2]. В течение 1998 г. на станциях «Иркутск», «Талая» и «Тырган» дополнительно к аналоговой аппаратуре были установлены цифровые станции ЦСС «Байкал-6», регистрирующие скорости колебаний (сейсмометры СМ-3 с тремя короткопериодными сейсмометрическими каналами повышенной чувствительности) и ускорения (сейсмометры ОСП-2М с тремя грубыми каналами). Для массовой обработки полученного материала применялась методика С.И. Голенецкого [3].

Общее число зарегистрированных в 1998 г. землетрясений составило 2742 [4]. Распределение их по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия по районам, описанным в [5], представлены в табл. 1. На рис. 1 и 2 даны карты эпицентров землетрясений с  $K_p \geq 8.6$  и  $K_p \leq 8.5$  соответственно. Кроме того, для некоторых землетрясений на рис. 1 показаны стереограммы решений фокальных механизмов.

**Таблица 1.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  и суммарная сейсмическая энергия  $\Sigma E$  по районам

Области (I–III) Районы (№№ 1–7)	$K_p$									$N_{\Sigma}$	$\Sigma E \cdot 10^{12}$ , Дж	
	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
I – Сибирская платформа												
1 – Сибирская платформа	–	5	16	7	–	–	–	–	–	28	0.0007	
II – Байкальская рифтовая зона												
2 – Хубсугул-Тункинский р-н	2	70	147	52	17	8	–	2	–	298	1.5863	
3 – Южно-Байкальский р-н	–	47	242	97	19	8	1	2	–	416	2.1199	
4 – Байкало-Муйский р-н	17	487	732	221	67	24	10	1	–	1559	1.9192	
5 – Кодаро-Удоканский р-н	–	55	63	21	4	–	1	–	–	144	0.2569	
III – Забайкальская область												
6 – Западное Забайкалье	1	17	82	29	7	5	3	1	–	145	2.1941	
7 – Восточное Забайкалье	–	9	88	33	14	3	3	1	1	152	8.4053	
Всего	19	691	1370	460	128	48	18	7	1	2742	16.4824	

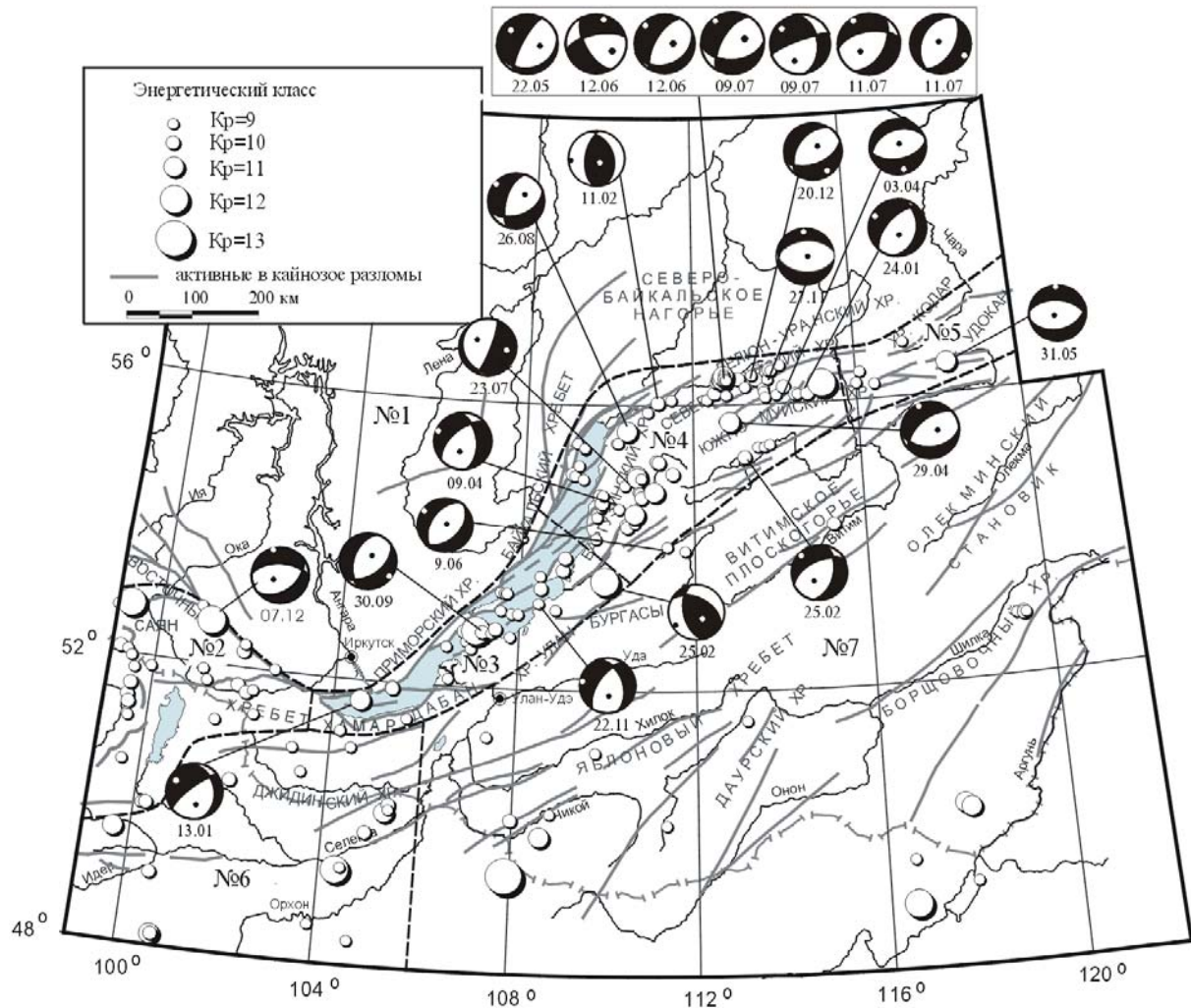
Если учесть, что за десять предыдущих лет среднее значение суммарной сейсмической энергии в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ) составило  $5.5 \cdot 10^{14}$  Дж [1], то за последние три года, включая 1998 г., этот уровень почти на два порядка ниже среднего: в 1996 г. –  $9.59 \cdot 10^{12}$  Дж; в 1997 г. –  $5.24 \cdot 10^{12}$  Дж; в 1998 г. –  $5.88 \cdot 10^{12}$  Дж. Значение углового коэффициента  $\gamma$  графика повторяемости землетрясений для всей зоны такое же, как и в 1997 г.:  $\gamma = -0.49 \pm 0.02$  [1].

Рассмотрим характер проявления сейсмичности в каждом из семи районов.

На **Сибирской платформе** (район № 1) зарегистрировано всего лишь около трех десятков слабых толчков ( $K_{\max}=8$ ), поэтому и значение выделившейся суммарной сейсмической энергии здесь является наименьшим (табл. 1).

Основная масса землетрясений (87% от их общего числа) произошла, как обычно, в **Байкальской рифтовой зоне** (районы №№ 2–5). Пространственно-временная развертка суммарных значений сейсмической энергии и числа землетрясений в БРЗ, условно разделенной, как в [1], с запада на восток на 42 сегмента (рис. 3), представлена коническими гистограммами в трехмерном изображении (рис. 4а, б). Максимум выделившейся энергии наблюдается в севе-

ро-восточной части **Южно-Байкальского района (№ 3)** (21-й сектор) (рис. 4а). Наибольшее же число толчков связано с двумя группами роевых последовательностей (224 толчка с марта по декабрь, и 40 толчков – с июля по август [4]), зарегистрированных в **Байкало-Муйском районе (№ 4)** (25 и 30 секторы) (рис. 4б).



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с  $K_p \geq 8.6$  за 1998 г.

Механизм очага отдельных сейсмических событий (с указанием их дат) показан на стереограммах в проекции нижней полусферы. Затемнены области волн сжатия, оси растяжения  $T$  обозначены светлыми точками, а сжатия  $P$  – темными.

Рассматривая годовую сейсмичность внутри рифтовой зоны, можно увидеть, что в **Хубсугул-Тункинском районе (№ 2)** большинство землетрясений с  $K_p \leq 12$  концентрируется в пределах Восточного Саяна (включая хр. Хамар-Дабан), а также в окрестностях и в акватории оз. Хубсугул (рис. 1 и 2). Наиболее сильными в районе были землетрясения 21 апреля ( $t_0=08^h11^m$ ,  $K_p=11.8$ ) и 7 декабря ( $t_0=17^h17^m$ ,  $K_p=11.9$ ) [4], произошедшие в эпицентральной цепочке, трассирующей зону Главного Саянского разлома. Для второго из них удалось определить механизм очага, характеризующийся плоскостями разрывов близширотного и северо-восточного простираний и сдвиго-сбросовыми смещениями (рис. 1, [6]). Известно, что относительно сильные толчки в Восточном Саяне – не редкость (например, 22.01.1962 г. в  $07^h26^m$  с  $M=5.5$  [7], 23.07.1980 г. в  $09^h55^m$  с  $K_p=12$  [8] и 01.12.1981 г. в  $21^h42^m$  с  $K_p=13$  [9]), а механизмы

их очагов отражают сложное напряженно-деформированное состояние земной коры и литосферы на данном участке рифтовой зоны [10]. Следует отметить, что в Хубсугул-Тункинском районе инструментально зарегистрировано одно из сильнейших в Восточной Сибири «сдвиговых» землетрясений – Мондинское (04.04.1950 г. в  $18^{\text{h}}44^{\text{m}}$  с  $M=7.0$ ,  $I_0=9$ ) [7, 10].

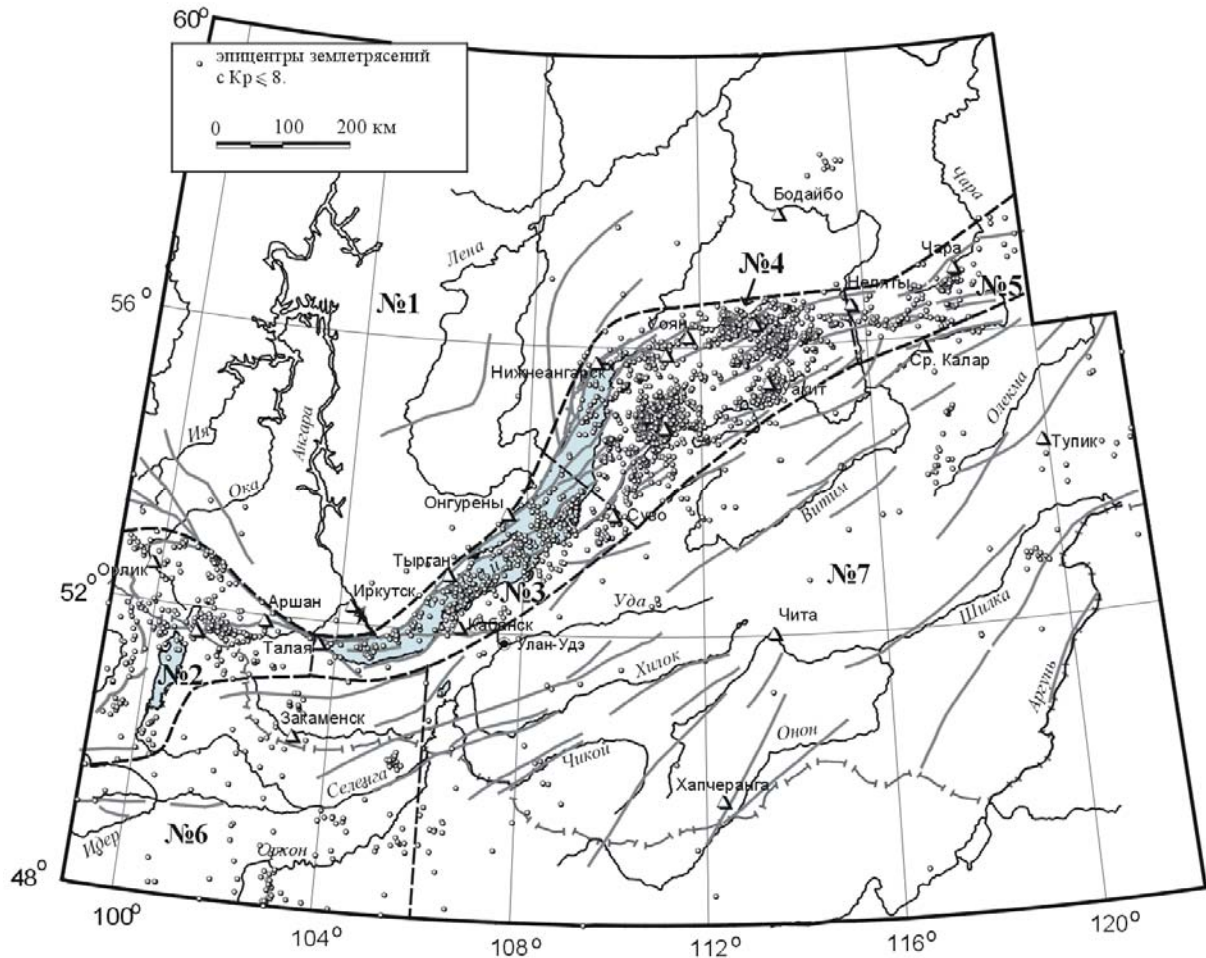
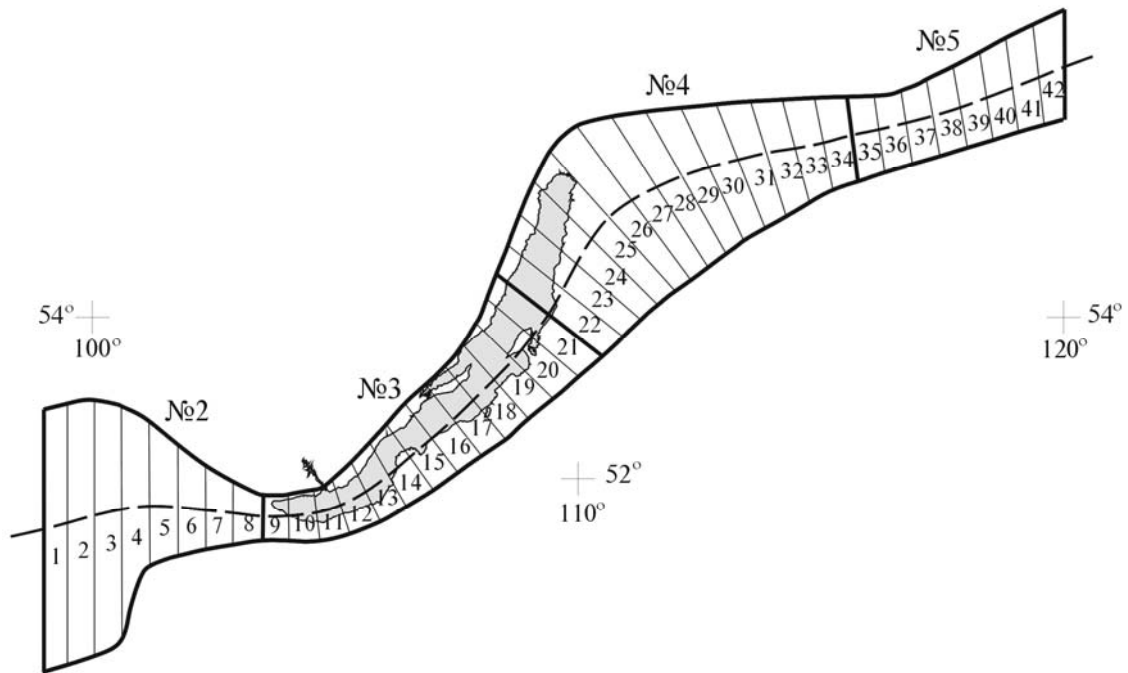


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Прибайкалья и Забайкалья с  $K_p \leq 8.5$  за 1998 г.

Схема разломов соответствует таковой на рис. 1.

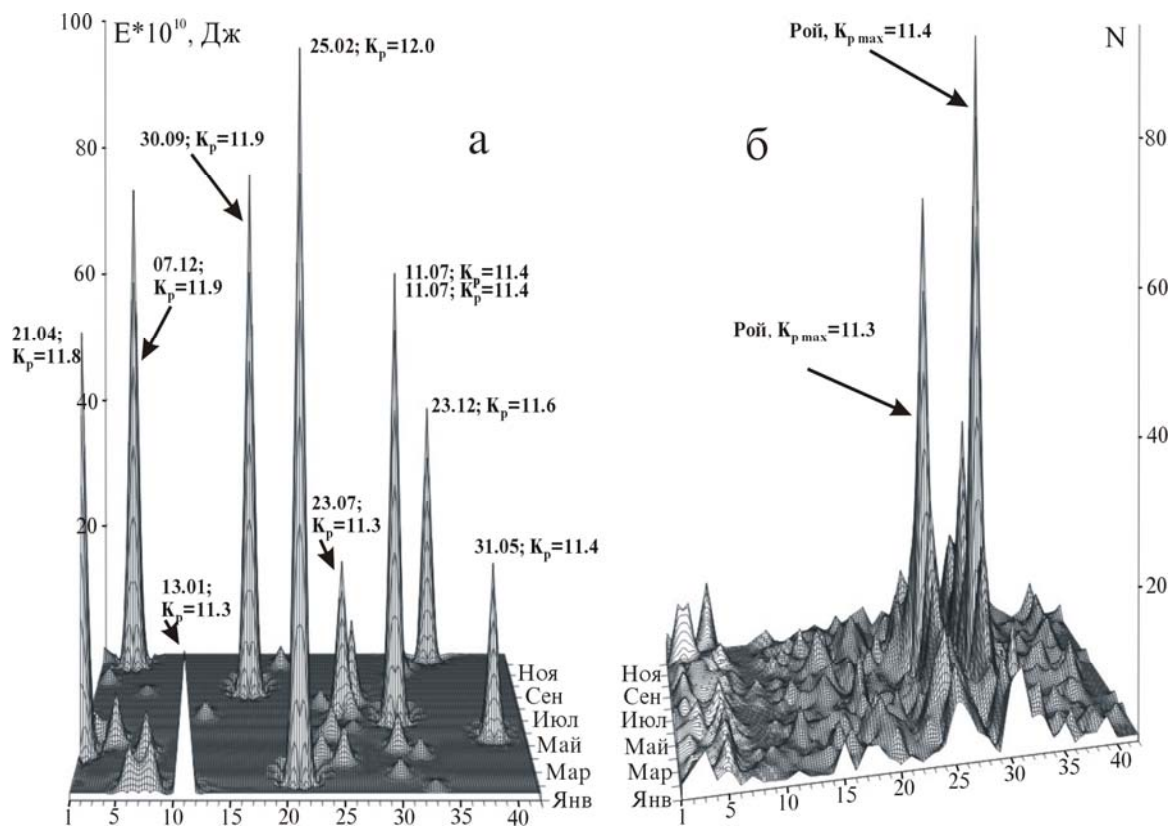
Сейсмичность **Южно-Байкальского района (№ 3)** представлена событиями с  $K_p \leq 11.8$  и двумя ощутимыми землетрясениями с  $K_p \geq 11.9$ , произошедшими 25 февраля ( $t_0=15^{\text{h}}52^{\text{m}}$ ,  $K_p=12.0$ ) и 30 сентября ( $t_0=20^{\text{h}}06^{\text{m}}$ ,  $K_p=11.9$ ) [4].

Первое из них локализовано в слабо сейсмически активной юго-западной части Икатского хребта, ограничивающего Баргузинскую впадину с юго-востока, второе зарегистрировано северо-восточнее дельты р. Селенги в высокоактивной в течение всего периода инструментальных наблюдений полосе северо-восточного направления ( $\sim 30^\circ$ ), тяготеющей к юго-восточному борту озерной впадины. Фокальный механизм землетрясения 25 февраля, в отличие от большинства подобных событий в этой части Прибайкалья, оказался «не рифтовым» (рис. 1). По обоим плоскостям северо-западного простирания реализовались сдвиго-взбросовые смещения [6]. Согласно корреспондентским сведениям, наибольшие сотрясения (5 баллов) наблюдались в трех населенных пунктах: Суво (18 км), Баргузин (26 км) и Усть-Баргузин (64 км) [4]. В окрестностях данного события известны достаточно сильные землетрясения: 06.05.1949 г. в  $14^{\text{h}}30^{\text{m}}$  с  $M=5.8$  [7] и 14.10.1973 г. в  $00^{\text{h}}58^{\text{m}}$  с  $K_p=12$ . Последнее имело «сбросовый» фокальный механизм, сопровождалось небольшим числом афтершоков ( $N=15$ ) и ощущалось на северо-западных склонах Икатского хребта и в прилегающих частях Баргузинской впадины [11].



**Рис. 3.** Схема контура Байкальской рифтовой зоны, разделенной на 42 сектора, используемая для построения на рис. 4 пространственно-временного распределения выделившейся сейсмической энергии и числа землетрясений

Пунктиром обозначена условная ось рифтовой системы, на которую проектируется величина суммарной за год энергии или числа землетрясений. № 2–5 соответствуют номерам районов.



**Рис. 4.** Пространственно-временное распределение количества выделившейся сейсмической энергии (а) и числа землетрясений (б) в зоне Байкальского рифта в проекции на условную ось рифтовой системы (ось абсцисс)



Механизм очага землетрясения 30 сентября (рис. 1) характеризуется северо-восточной ориентацией обеих плоскостей разрывов и сбросовыми типами смещений [6]. Сотрясения с интенсивностью от 3-х до 4-х баллов зафиксированы при землетрясении в пяти населенных пунктах (Тырган, Кабанск, Онгурены, Улан-Удэ, Иркутск) [4]. Высокий сейсмический потенциал территории, на которой произошло данное событие, подтверждается наличием здесь в прошлом крупнейших сейсмических катастроф: 10-балльного Цаганского землетрясения 12.01.1862 г. в 07<sup>h</sup>19<sup>m</sup> с  $M=7.5$  [7] и 9-балльного Среднебайкальского землетрясения 29.08.1959 г. в 17<sup>h</sup>03<sup>m</sup> с  $M=6.8$  [7].

Решения фокальных механизмов, полученные еще для двух сейсмических событий Южно-Байкальского района, зарегистрированных 13 января ( $t_0=03^h34^m$ ,  $K_p=11.3$ ) и 22 ноября ( $t_0=13^h25^m$ ,  $K_p=10.5$ ) [4], показали сбросо-сдвиговые смещения в их очагах по плоскостям разрывов северо-восточного и северо-западного простираний [6]. Известно, что подавляющее большинство землетрясений данного участка рифтовой зоны происходит в условиях растяжения, что отражает в целом кинематику движений в крупных разломных зонах, активизированных в кайнозое – Приморском и Морском сдвиго-сбросах и Ольхонском сбросе [12].

В Байкало-Муйском районе (№ 4) наибольшей сейсмической активностью характеризуется северо-восточная половина Баргузинской впадины, области Северо-Муйского и Южно-Муйского хребтов, центральная часть Баунтовской впадины (район сейсмической станции «Уа-кит»), а также Верхнеангарская впадина.

Вблизи северного окончания Баргузинской впадины, в месте пересечения полос концентрации эпицентров северо-восточного и северо-западного направлений, сформированных за несколько десятков лет, в 1998 г. наблюдалась небольшая компактная группа слабых землетрясений с  $K_{max}=10.7$  (рис. 2) [4]. К западу и северо-западу от данной группы отмечены еще две малочисленные серии толчков. Относительно недавно (12.09.1991 г. в 00<sup>h</sup>33<sup>m</sup> [13]) в этом районе было зарегистрировано сейсмическое событие с  $K_p=13.6$ , сопровождавшееся афтершоками (более 70 событий с  $K_p>6.5$  в течение месяца после основного толчка) и имевшее взбросо-сдвиговые смещения по субмеридиональной и близширотной плоскостям разрывов [14].

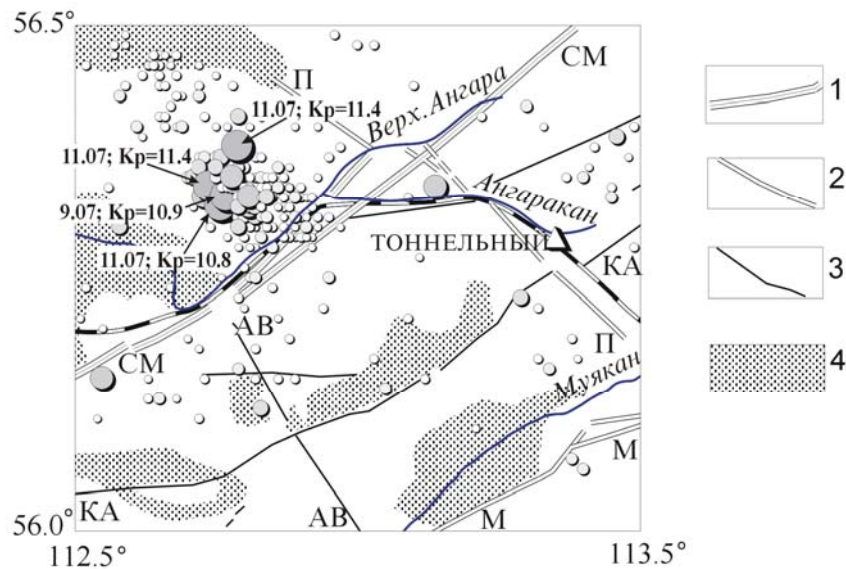
В марте–декабре 1998 г. в верхнем течении р. Верхняя Ангара (Верхнеангарско-Муйская межвпадинная перемычка) зарегистрирован значительный ( $N=221$ , с  $K_{max}=11.4$ ) рой землетрясений (табл. 2, рис. 5) [4]. В очагах шести событий роя установлены сбросо-сдвиговые смещения по плоскостям северо-восточного и северо-западного простираний [6], что согласуется с кинематикой движений по зонам аналогично ориентированных разломов (рис. 1). Стоит отметить, что вышеуказанная территория на протяжении 40-летнего инструментального периода наблюдений характеризовалась высокой сейсмической активностью. Так, в 1979–1983 гг. примерно в 20 км к востоку от рассматриваемой группы событий был зафиксирован один из самых крупных в БРЗ по количеству толчков и длительности процесса Ангараканский рой землетрясений [15]. Кроме него в районах Баргузинского, Икатского хребтов и в зонах их сочленений с Северо-Муйским и Южно-Муйским хребтами ранее также наблюдались рои землетрясений: долгоживущий Икатский (1962–1969 гг.), Баргузинский (1969 г.) и Амутский (1979–1981 гг.) [16].

**Таблица 2.** Распределение числа землетрясений по энергетическим классам  $K_p$  в Верхнеангарском рое с 17 марта по 31 декабря 1998 г.

$K_p$	6	7	8	9	10	11	$\Sigma N$
$N$	47	104	46	16	4	4	221

Максимальный энергетический класс ( $K_p=11.6$ ) в Байкало-Муйском районе имело землетрясение 23 декабря ( $t_0=14^h35^m$ ,  $MPSP=4.5$  [4]). Его очаг локализован на северо-восточных склонах Южно-Муйского хребта. К сожалению, его механизм очага определить не удалось из-за малого числа данных о знаках первых вступлений  $P$ -волн. Сильнейшие землетрясения инструментального периода наблюдений – 10-балльное Муйское (27.06.1957 г. в 00<sup>h</sup>09<sup>m</sup> с  $M=7.6$  [7]), 6–7-балльное Усть-Муйское (31.08.1968 г. в 18<sup>h</sup>06<sup>m</sup> с  $M=5.0$  [7]) и 6-балльное Южно-Муйское (13.11.1995 в 08<sup>h</sup>43<sup>m</sup> с  $MS=6.1$  [17]) – свидетельствуют о высокой активности современных тектонических движений в этом районе. Напряженно-деформированное состояние земной коры характеризуется сбросами и сбросо-сдвигами по плоскостям разрывов, согласующимся с генеральным направлением основных структурных элементов [10, 14, 15]. Новые определения фо-

кальных механизмов, полученные в общей сложности для 18 землетрясений Байкало-Муйского района [6], свидетельствуют о преобладании в их очагах северо-запад – юго-восточного растяжения (рис. 1). Исключением явилось слабое взбросовое землетрясение 11 февраля ( $t_0=22^h42^m$ ,  $K_p=9.7$  [4]) на северо-востоке Баргузинского хребта.



**Рис. 5.** Рой землетрясений из 224 толчков с  $K_{max}=11.4$ , произошедший с марта по декабрь 1998 г. в верхнем течении р. Верхняя Ангара (Верхнеангарско-Муйская межвпадинная перемычка)

Эпицентры землетрясений с  $K_p=6-11$  обозначены кружками соответственного диаметра; 1–2 – активные в кайнозойе межблоковые разломы: СМ – Северо-Муйский (ограничивает блок I порядка), П – Перевальный и М – Муяканский (ограничивают блоки II порядка); 3 – сейсмоактивные разломы: КА – Ковоктинско-Ангаракаанский, АВ – Ангаро-Верхнемуйский; 4 – впадины байкальского типа. Тектоническая схема заимствована из [15].

Эпицентры малочисленных (табл. 1) слабых землетрясений **Кодаро-Удоканского района (№ 5)** сосредоточились в основном в Чарской впадине. Фокальный механизм землетрясения 31 мая в  $t_0=16^h54^m$  с максимальным энергетическим классом  $K_p=11.4$  представлен сбросовыми смещениями по наклонным субширотным плоскостям [6].

За пределами БРЗ сейсмическая активность в целом понижена. В **Западном Забайкалье (район № 6)** в 1998 г. число землетрясений не превысило обычного среднегодового уровня [5]. Наибольшую сейсмическую энергию имело землетрясение 25 сентября ( $t_0=01^h55^m$ ,  $K_p=12.2$ ,  $MS=4.2$  [4]), произошедшее на территории Монголии вблизи г. Эрдэнэт (юго-западная часть хр. Бурэнгийн-Нуру в междуречьи Селенги и Орхона). Из наиболее сильных сейсмических событий недавнего прошлого в этом районе известно 8-балльное Кяхтинское землетрясение (06.02.1957 г. в  $20^h34^m$  с  $M=6.5$  [7]) с механизмом очага сдвигового типа [10].

В **Восточном Забайкалье (район № 7)** число землетрясений невелико (рис. 1, 2), но выделившаяся годовая сейсмическая энергия здесь максимальна (табл. 1) благодаря сильному ( $K_p=12.7$ ,  $MPSP=4.5$ ) землетрясению 27 февраля в  $t_0=05^h22^m$  [4], зарегистрированному вблизи северной границы Монголии и России (северо-западная часть Хэнтэйского нагорья). Ранее землетрясения такой энергии здесь не отмечались. Еще одно значимое ( $K_p=11.6$ ,  $MPSP=4.5$ ) землетрясение произошло 23 декабря в  $t_0=14^h35^m$  [4] на территории Восточного Китая западнее оз. Далайнор, вблизи границы с Монголией. В этом месте известно землетрясение 06.02.1979 г. в  $14^h45^m$  с  $M=4.7$  [18], имевшее около 30 афтершоков и сдвиговые подвижки по крутопадающим плоскостям разрывов северо-восточного и северо-западного простираний [10].

Завершая обзор сейсмичности Прибайкалья и Забайкалья за 1998 г., отметим, что отличительной особенностью сейсмического режима в этом году явилась реализация достаточно сильного землетрясения в районе Восточного Забайкалья, а также относительно низкая, по сравнению с последним десятилетием, суммарная сейсмическая энергия в Байкальской рифтовой зоне и почти полное отсутствие афтершоков у землетрясений с  $K_p>12$ .

Л и т е р а т у р а

1. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Курушин Р.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. – Обнинск: ФООП, 2003. – С. 99–106.
2. Голенецкий С.И., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Курушин Р.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2002. – С. 81–94.
3. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
4. Леонтьева Л.Р., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Тигунцева Г.В., Хайдурова Е.В., Андрусенко Н.А., Виноградова 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 IV (Каталоги землетрясений) в наст. сб. на CD).
5. 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.
6. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А., Татомир Н.А. Прибайкалье и Забайкалье (См. раздел V (Каталоги механизмов очагов землетрясений) в наст. сб. на CD).
7. Голенецкий С.И., Хромовских В.С. (отв. сост.), Кисловская В.В., Кондорская Н.В., Солоненко В.П., Шебалин Н.В. Прибайкалье [(2000 до н.э. – 500 н.э.) – 1974 г.;  $M \geq 5.0$ ;  $I_0 \geq 6$ ] // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 315–338.
8. Голенецкий С.И. (отв. сост.), Андрусенко Н.А., Анисимова Л.В., Белова Л.И., Букина К.И., Вторушина Г.Н., Дреннова Г.Ф., Евсеева Е.Д., Масальская Л.Н., Перевалова Г.И., Тигунцева Г.В., Фомина Е.В., Чупрова В.Г. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения в СССР в 1980 году. – М.: Наука, 1977. – С. 200–206.
9. Голенецкий С.И. (отв. сост.), Голенецкая И. Г., Перевалова Г.И. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения в СССР в 1981 году. – М.: Наука, 1984. – С. 179–187.
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.: РАН – Миннауки России, 1993. – С. 113–122.
11. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1973 году. – М.: Наука, 1976. – С. 108–118.
12. Леви К.Г., Хромовских В.С., Кочетков В.М., Николаев В.В., Семенов Р.М., Серебренников С.П., Чипизубов А.В., Демьянович М.Г., Аржанников С.Г., Дельянский Е.А., Смекалин О.П., Ружич В.В., Буддо В.Ю., Масальский О.К., Потапов В.А., Бержинский Ю.А., Радзиминович Я.Б. Современная геодинамика: сеймотектоника, прогноз землетрясений, сейсмический риск (фундаментальные и прикладные аспекты) // Литосфера Центральной Азии. – Новосибирск: Наука (СО), 1996. – С. 150–182.
13. Голенецкий С.И. (отв. сост.), Голенецкая И.Г. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: Наука, 1997. – С. 143–146.
14. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 гг. // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 11. – С. 1598–1607.
15. Кочетков В.М., Боровик Н.С., Мишарина Л.А., Солоненко А.В., Анисимова Г.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Гилёва Н.А. Ангараканский рой землетрясений в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Наука (СО), 1987. – 81 с.
16. Солоненко А.В., Солоненко Н.В. Афтершоковые последовательности и рои землетрясений в Байкальской рифтовой зоне. – Новосибирск: Наука (СО), 1987. – 94 с.
17. Голенецкий С.И. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии в 1995 году. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – С. 305–307.
18. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья // Землетрясения в СССР в 1979 году. – М.: Наука, 1982. – С. 188–194.