

## ПРИБАЙКАЛЬЕ И ЗАБАЙКАЛЬЕ

В.И. Мельникова<sup>1</sup>, Н.А. Гилёва<sup>2</sup>, О.К. Масальский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, [vimel@crust.irk.ru](mailto:vimel@crust.irk.ru)

<sup>2</sup>Байкальский филиал ГС СО РАН, г. Иркутск, [nagileva@crust.irk.ru](mailto:nagileva@crust.irk.ru)

В Прибайкалье и Забайкалье, как и прежде [1], действует 23 цифровых сейсмических станции (ЦСС) БФ ГС СО РАН (рис. 1). Неизменными остались и условия регистрации землетрясений. Незначительные изменения (кроме станций «Иркутск», «Кумора», «Листвянка», «Нижнеангарск», «Улюнхан», «Уоян», «Чара», «Чита») коснулись лишь уровней чувствительности сейсмографов и акселерографов. Подробные сведения о станциях и их параметрах даны в Приложении к наст. сб. [2]. В сводной обработке материалов наблюдений по методике [3] использовались также данные локальной сети ЦСС Бурятского филиала ГС СО РАН [4], а для приграничных территорий – данные сейсмических станций Алтае-Саянской зоны, Якутии, Приамурья и Монголии.

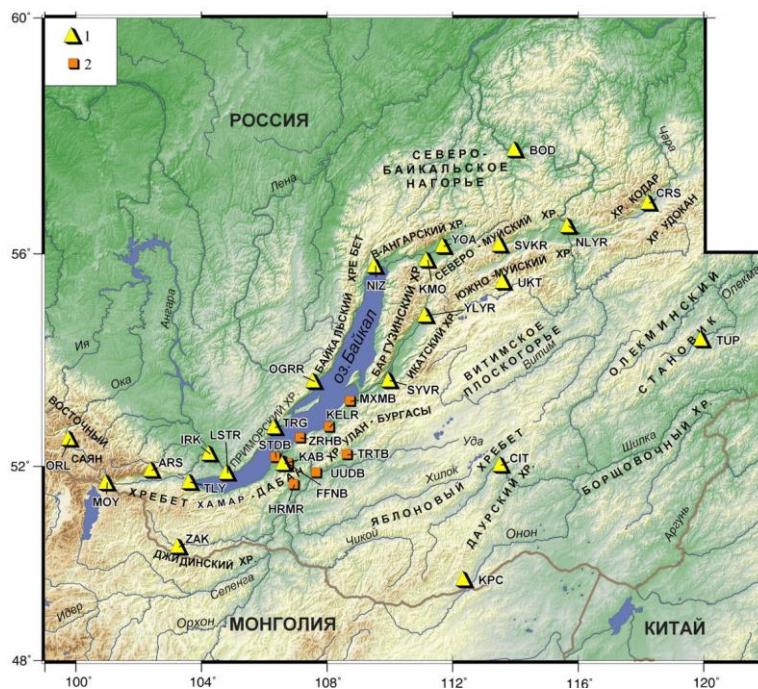


Рис. 1. Сейсмические станции Прибайкалья и Забайкалья в 2008 г.

1, 2 – сейсмические станции БФ ГС СО РАН и Бурятского филиала ГС СО РАН соответственно.

В целом каталог землетрясений 2008 г. [5] содержит параметры 9098 событий с  $K_p \geq 4$  (рис. 2, табл. 1), из них 8733 (96 %) локализовано в Байкальской рифтовой зоне (БРЗ). В наст. сб. публикуется каталог землетрясений с  $K_p \geq 7.6$  в количестве  $N_\Sigma = 1057$  [6]. Распределение числа землетрясений по энергетическим классам и суммарной сейсмической энергии ( $\Sigma E$ ) по районам [7] представлено в табл. 1. Коэффициенты графика повторяемости, рассчитанные для всего региона и непосредственно для БРЗ в диапазоне энергетических классов  $K_p = 7-14$ , имеют обычные значения:  $\gamma = -0.51 \pm 0.01$ .

Сведения об ощутимости собраны для 14 землетрясений [8], для наиболее сильных из них – Максимихинского 20 мая в  $20^{\text{h}}42^{\text{m}}$  с  $K_p = 14.3$ ,  $M_w(\text{GCMТ}) = 5.2$ ,  $I_0 = 7$  и Култукского 27 августа в  $01^{\text{h}}35^{\text{m}}$  с  $K_p = 15.9$ , с  $M_w(\text{GCMТ}) = 6.3$ ,  $I_0 = 8-9$  – макросейсмические эффекты описаны в отдельных статьях [9, 10].

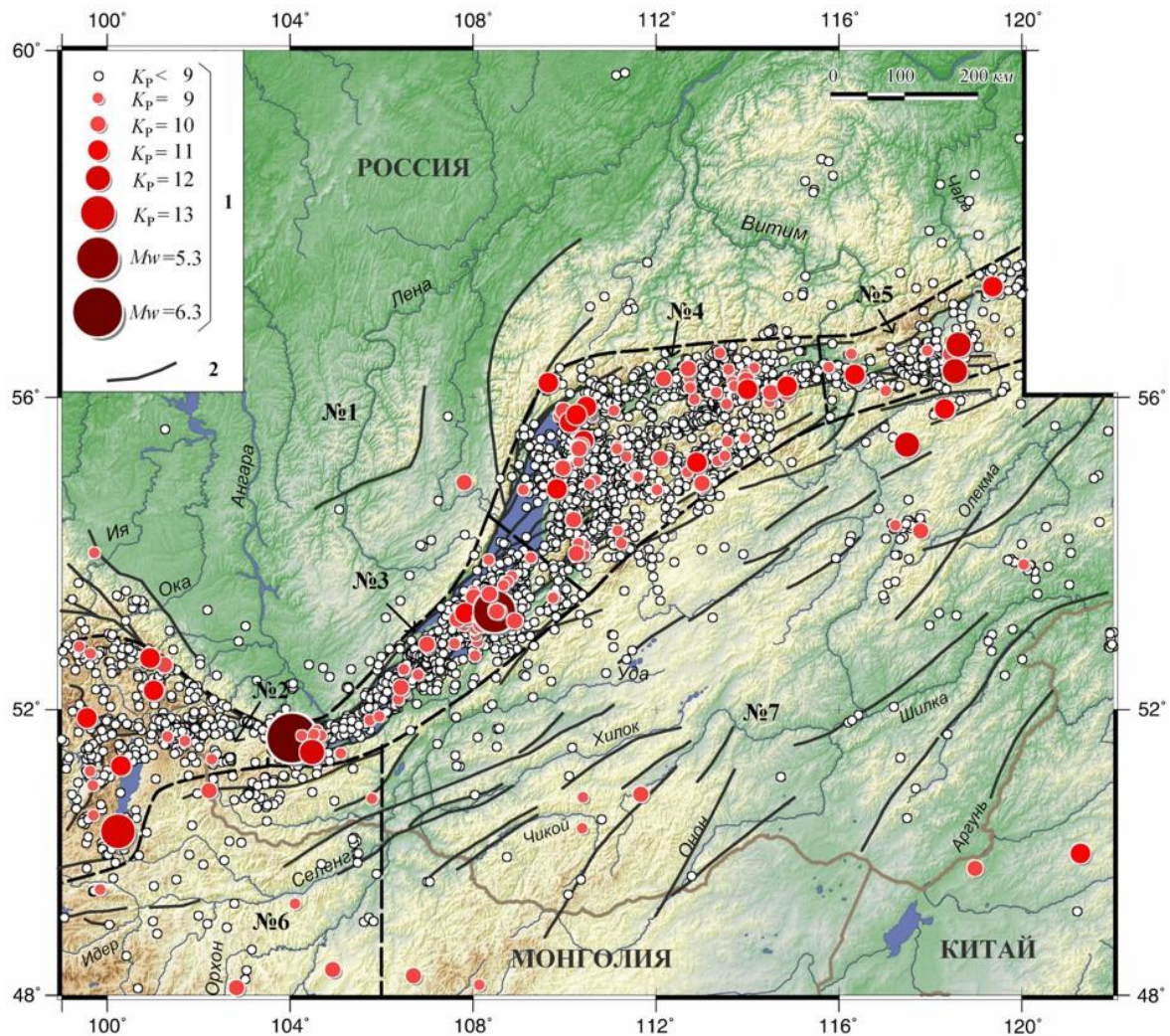


Рис. 2. Карта эпицентров землетрясений Прибайкалья и Забайкалья в 2008 г. с  $K_p \geq 4$  по [5]

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – разлом, активный в кайнозое; здесь и далее пунктирными линиями обозначены условные границы районов по [7].

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

Области (I–III) Районы (№№1–7)	$K_p$											$N_\Sigma$	$\Sigma E,$ $10^{12}$ Дж				
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			16			
<b>I – Сибирская платформа</b>																	
1 – Сибирская платформа			50	46	17	1	1									115	0.015
<b>II – Байкальская рифтовая зона</b>																	
2 – Хубсугул-Тункинский р-н		3	280	156	30	11	3	5	1	1					490	8.154	
3 – Южно-Байкальский р-н	97	437	2463	1270	325	100	23	5	3	1	1	1		4726	8163.535		
4 – Байкало-Муйский р-н			1794	932	288	81	25	9						3129	1.287		
5 – Кодаро-Удоканский р-н			189	137	43	13	2	2	2					388	1.312		
<b>III – Забайкальская область</b>																	
6 – Западное Забайкалье			28	33	14	3	3							81	0.037		
7 – Восточное Забайкалье			49	77	31	5	4	2	1					169	0.181		
Всего	97	440	4853	2651	748	214	61	23	7	2	1	1		9098	8174.519		

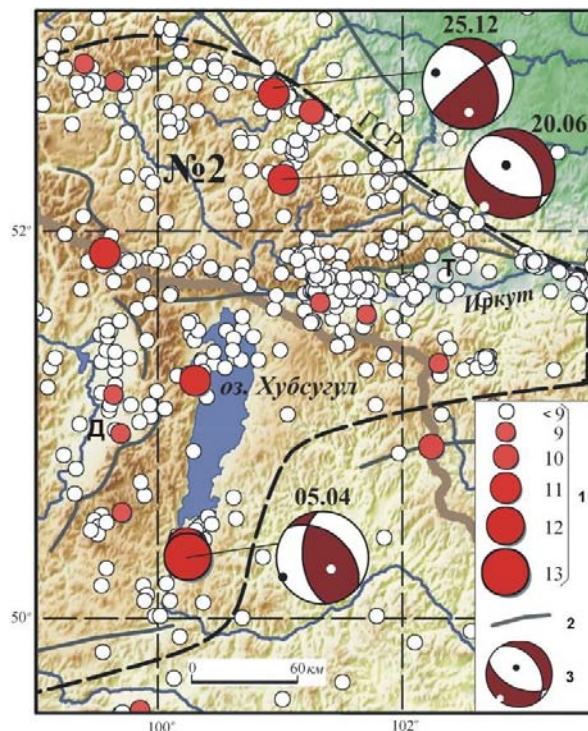
Механизмы очагов землетрясений [11] были определены по программе А.В. Ландера [12] на основе знаков первых вступлений  $P$ -волн для 61 регионального землетрясения с  $K_p=7.8-15.9$ . Для трех событий (5 апреля в  $18^h56^m$  с  $K_p=12.8$ ; 20 мая в  $20^h42^m$  с  $K_p=14.3$ ; 27 августа в  $01^h35^m$  с



$K_p=15.9$ ) был рассчитан тензор сейсмического момента по амплитудным спектрам поверхностных волн в приближении двойной пары сил (методика описана в [13]).

Рассматривая сейсмичность в каждом из условно выделенных [7] районов региона, отметим следующее. На **Сибирской платформе (район № 1)** в 2008 г. наблюдались преимущественно слабые землетрясения (табл. 1). Максимальное ( $K_p=10.1$ ) из них произошло 19 февраля в 02<sup>h</sup>43<sup>m</sup> в верховьях р. Киренги произошло событие с  $K_{max}=10.1$ . Его очаг сформировался под влиянием северо-западного наклонного сжатия и северо-восточного близгоризонтального растяжения, при этом в субширотной и субмеридиональной плоскостях разрывов осуществлялись сдвиго-сбросовые и сдвиговые подвижки (см. Южно-Байкальский район, рис. 4). Здесь же отмечено еще 5 толчков меньших энергетических классов.

**В Хубсугул-Тункинском районе (№ 2)** зарегистрировано 490 землетрясений (табл. 1). Наибольшая сейсмическая активность здесь наблюдается вдоль Главного Саянского разлома (ГСР), в районе Тункинской системы впадин, а также на севере оз. Хубсугул и в Дархатской впадине (рис. 3). Наиболее сильное ( $K_p=12.8$ ,  $M_w=4.4$ ) землетрясение произошло 5 апреля в 18<sup>h</sup>56<sup>m</sup> на юге оз. Хубсугул в условиях горизонтального субширотного сжатия [11], при этом подвижки типа взброса осуществлялись по наклонным плоскостям близмеридионального и северо-западного простираний. За 5 часов до этого события (5 апреля в 13<sup>h</sup>51<sup>m</sup>) был зарегистрирован один форшок с  $K_p=10.2$ , а после – 46 афтершоков с  $K_p=5.7-12.0$  (до конца года).



**Рис. 3.** Карта эпицентров землетрясений Хубсугул-Тункинского района (№ 2) в 2008 г.

1 – энергетический класс  $K_p$ ; 2 – кайнозойский разлом; 3 – стереограмма механизма очага в проекции нижней полушеры; цифрами указана дата (число, месяц) землетрясения; ГСР – Главный Саянский разлом; Т – Тункинская впадина, Д – Дархатская впадина.

К сейсмически активным областям рассматриваемой территории приурочены эпицентры еще четырех землетрясений с  $K_p=10.6-11.5$ . Для двух из них, произошедших 20 июня в 00<sup>h</sup>19<sup>m</sup> с  $K_p=11.3$  и 25 декабря в 06<sup>h</sup>38<sup>m</sup> с  $K_p=10.6$ , локализованных вблизи Главного Саянского разлома, определены фокальные механизмы, показывающие совершенно разные типы смещений в очагах – сброс для первого, взбросо-сдвиг – для второго.

**В Южно-Байкальском районе (№ 3)** в 2008 г. произошло наибольшее число землетрясений и количество суммарной сейсмической энергии по сравнению с другими районами было на три порядка выше (табл. 1), что не удивительно, поскольку здесь произошли два упомянутые выше – Максимихинское [9] и Култукское [10] – землетрясения (рис. 4).

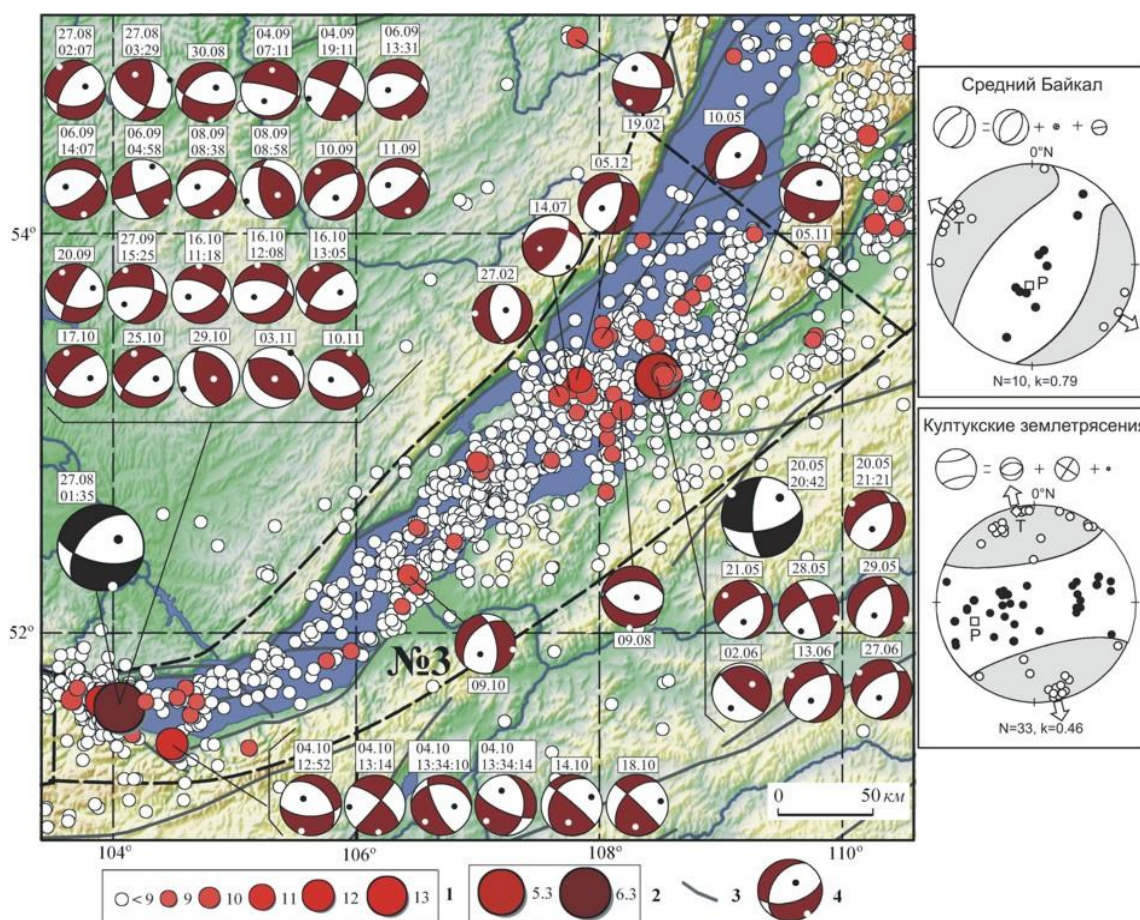


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений Южно-Байкальского района (№ 3) в 2008 г.

1 – энергетический класс  $K_r$ ; 2 – моментная магнитуда; 3 – кайнозойский разлом; 4 – стереограмма механизма очага в проекции нижней полусферы; цифрами указана дата (число, месяц, час, мин) землетрясения. Справа на рисунке представлены средние фокальные механизмы (проекция нижней полусферы), входящие в расчет сейсмотектонических деформаций (СТД) по С.Л. Юнге [14]; светлые и темные области соответствуют выходам осей укорочения ( $P$ ) и удлинения ( $T$ ),  $N$  – число решений механизмов очагов,  $k$  – степень соответствия результирующей матрицы и матрицы индивидуального механизма. Над диаграммами представлено графическое разложение общего тензора СТД по [15] на обобщенно-плоскую часть и вертикальный сброс.

Чрезвычайно высокая сейсмическая активность наблюдалась в акватории оз. Байкал, в то время как в горном обрамлении его юго-восточного борта она была значительно слабее. В виду статистической представительности данных о фокальных механизмах Максимихинских и Култукских землетрясений для оценки среднестатистических характеристик напряженно-деформированного состояния земной коры в их эпицентральных областях были сформированы однородные выборки решений. Затем по методу С.Л. Юнга [14, 15] вычислялись средние тензоры сейсмических моментов и преобладающие режимы сейсмотектонического деформирования земной коры. На рис. 4 справа показано графическое представление среднего фокального механизма для двух указанных выше очаговых областей. Выяснилось, что в районе максимихинских событий преобладает режим горизонтального северо-западного (в северных румбах) удлинения (растяжения), а в районе култукских – субмеридионального горизонтального растяжения со сдвигом (режим трансенсии). При этом в обоих случаях вклад вертикальной составляющей в общую деформацию достаточно мал. Что касается горизонтальных составляющих СТД, то видно, что при Максимихинских землетрясениях вклад горизонтального удлинения является определяющим, а при Култукских – в горизонтальную деформацию больший вклад вносят сдвиги.

В Байкало-Муйском районе (№ 4) в 2008 г. сильных сейсмических событий не наблюдалось. Сейсмичность здесь представлена в основном слабыми землетрясениями ( $K_{max} \leq 11.4$ ), при этом эпицентры большинства из них располагаются в пределах Баргузинского, Северо-Муйского и Муяканского хребтов. Частично поле эпицентров захватывает и рифтовые впадины (рис. 5).



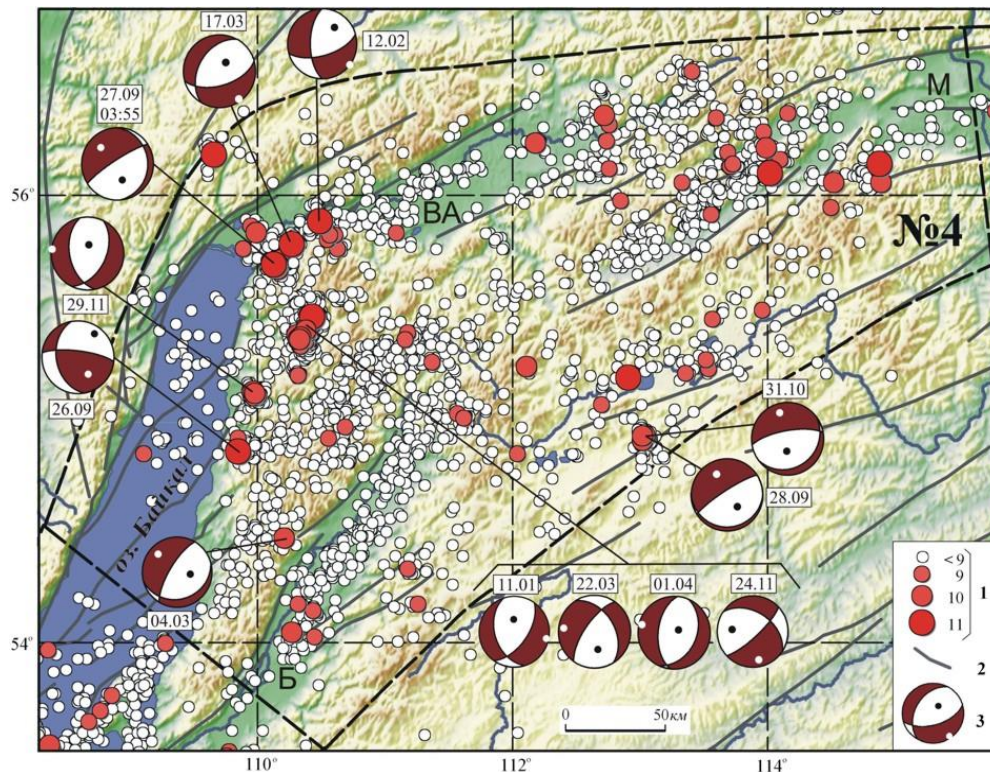


Рис. 5. Карта эпицентров землетрясений Байкало-Муйского района (№ 4) в 2008 г.

Условные обозначения см. на рис. 3; буквами на карте обозначены впадины рифтового типа: ВА – Верхне-Ангарская, Б – Баргузинская, М – Муйская.

Стоит отметить, что в 2008 г. умеренная сейсмическая активность наблюдалась в районах Акуликанской [16] и Томпудинской [17] последовательностей землетрясений, в очаговых зонах которых, соответственно, возникло ~300 событий с  $K_p=5.6-11.0$  и ~600 событий с  $K_p=5.6-11.3$ . Наибольшая их активность была отмечена в 2006 и в 2007 гг. соответственно. Как и ранее [18, 19], напряженно-деформированное состояние земной коры в этих районах характеризовалось преобладанием горизонтального северо-западного растяжения.

Две группы роевых землетрясений зарегистрировано на восточном берегу Северного Байкала. Одна из них состояла из 225 событий с  $K_p=5.6-9.6$ , локализованных в нижнем течении р. Томпуды, другая – из 55 событий с  $K_p=5.6-10.9$ , приуроченных к подножью Баргузинского хребта (район р. Шегнанды). Фокальные механизмы единичных толчков (26 сентября в  $01^h56^m$  с  $K_p=10.9$  и 29 ноября в  $11^h56^m$  с  $K_p=9.6$ ) этих роев показали различные типы смещений (сдвиго-взброс и сброс соответственно) и активизацию разнонаправленных разрывов в очагах (рис. 5).

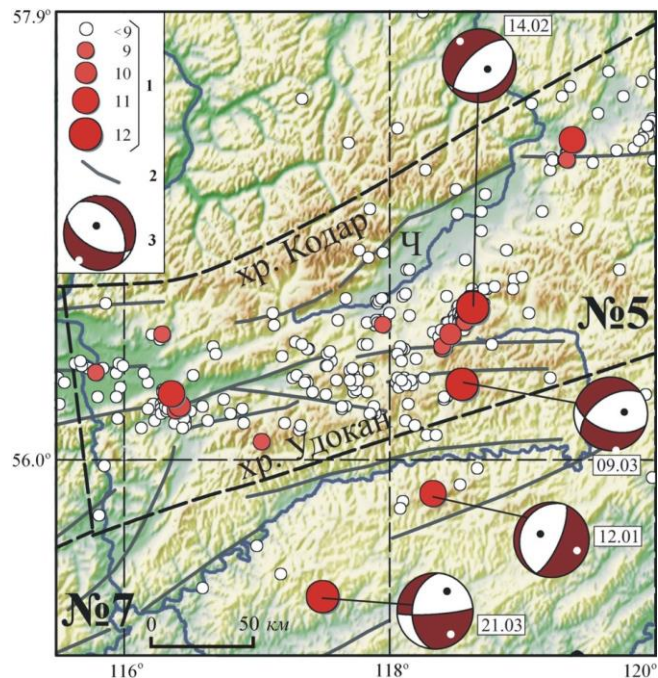
Эпицентральное поле еще одной группы землетрясений с  $K_p=5.6-10.1$  объемом  $N=105$  толчков за август–ноябрь расположено в 25 км к югу от оз. Баунт (восточнее Икатского хребта). В очагах двух событий этой группы (28 сентября в  $20^h07^m$  с  $K_p=10.1$  и 31 октября в  $07^h39^m$  с  $K_p=9.7$ ) реализовались сбросовые подвижки в крутых и пологих плоскостях разрывов северо-восточного и субширотного простираний.

**Кодаро-Удоканский район (№ 5)** в сейсмическом отношении слабо активен. Два самых значительных землетрясения (14 февраля в  $22^h00^m$  с  $K_p=11.7$  и 9 марта в  $23^h28^m$  с  $K_p=11.8$ ) произошли в хр. Удокан. Очаг первого из них сформировался в рифтовом поле напряжений (в плоскостях разрывов северо-восточного простирания наблюдались сбросовые смещения). Это землетрясение сопровождалось 145 афтершоками с  $K_p \geq 5.6$  (до конца года). Событие 9 марта, в очаге которого реализовались сдвиго-сбросовые подвижки, не спровоцировало последующих толчков. Стоит отметить, что в эпицентральной области землетрясения 14 февраля и в предыдущие годы наблюдалась повышенная сейсмическая активность, при этом фокальные механизмы, определенные для некоторых землетрясений, также показывали наличие сбросовых и сбросо-сдвиговых смещений в очагах [20, 18].

**Западное Забайкалье (район № 6)** сейсмически малоактивно. Здесь зарегистрировано всего 81 землетрясение с  $K_p=5.6-10.2$ , а суммарное количество выделившейся сейсмической энергии сопоставимо с таковой на Сибирской платформе (табл. 1).

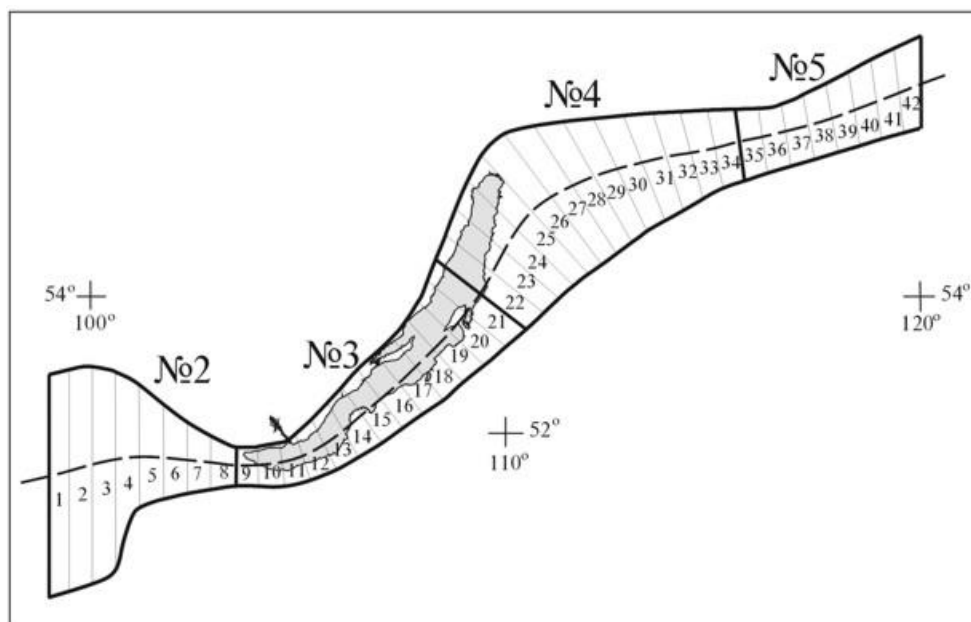
В **Восточном Забайкалье (район № 7)** количество выделившейся сейсмической энергии на порядок выше, чем в Западном (табл. 1). Наиболее сильное ( $K_p=11.6$ ) землетрясение 21 марта в 01<sup>h</sup>58<sup>m</sup> произошло в предгорьях хр. Янкан при субгоризонтальном северо-западном растяжении и наклонном северо-восточном сжатии (рис. 6). В его очаге по близмеридиональной и близширотной плоскостям разрывов реализовались сдвиговые и сдвиго-сбросовые смещения. Механизм еще одного события (12 января в 03<sup>h</sup>35<sup>m</sup> с  $K_p=10.7$ ) показал рифтовую систему напряжений в очаге, при которой в крутой и пологой плоскостях разрывов отмечались сбросовые смещения.

Поскольку в пределах Байкальской рифтовой зоны (районы №№ 2–5), как обычно, происходит подавляющее большинство землетрясений региона, то с учетом схемы, приведенной на рис. 7, отметим некоторые особенности в пространственно-временном распределении суммарных значений сейсмической энергии и числа землетрясений на ее территории (рис. 8).



**Рис. 6.** Карта эпицентров землетрясений Кодаро-Удоканского района (№ 5) и частично Восточного Забайкалья (№ 7) в 2008 г.

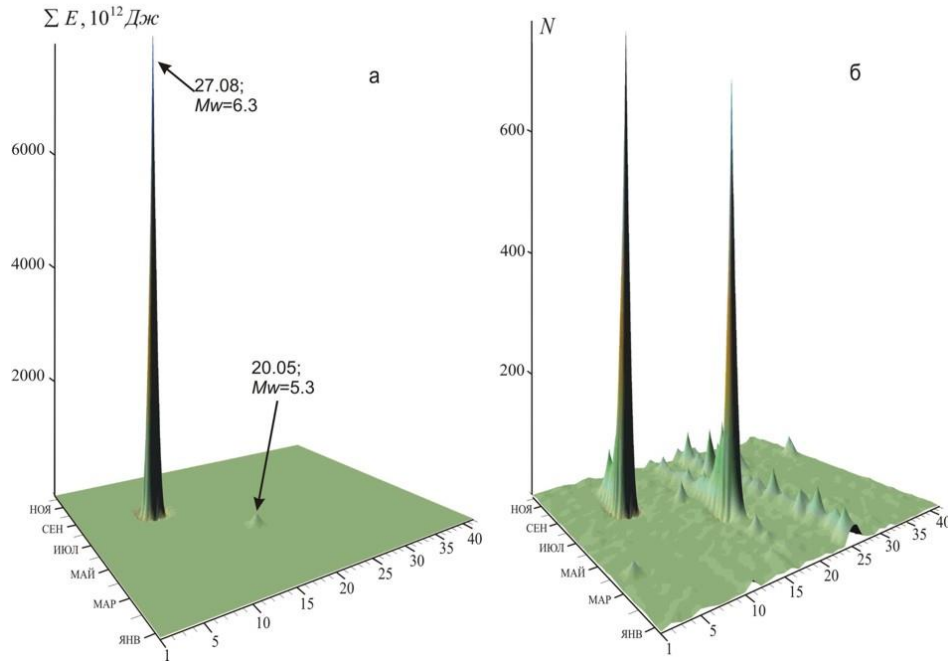
Условные обозначения см. на рис. 3; Ч – Чарская впадина.



**Рис. 7.** Схема контура Байкальской рифтовой зоны, разделенной на 42 сегмента, используемая для построения рис. 8 а, б

Пунктиром обозначена условная ось рифтовой системы, на которую проектируется величина суммарной энергии или число землетрясений.





**Рис. 8.** Пространственно-временное распределение количества выделившейся сейсмической энергии (а) и числа землетрясений (б) в зоне Байкальского рифта в 2008 г. в проекции на условную ось рифтовой системы (ось абсцисс) по 10 суточным интервалам

Очевидно, что в Южном Байкале (9–10 сегменты), где произошло Култукское землетрясение с  $M_w=6.3$ , выделилось наибольшее количество годовой сейсмической энергии (рис. 8 а), а максимальное число событий, обусловленное култукской и максимихинской последовательностями землетрясений, пришлось на 9–10 и 19 сегменты.

В заключение отметим, что 2008 г. в Прибайкалье и Забайкалье является особенным, поскольку в районах Южного и Среднего Байкала произошли уникальные в своем роде Култукское ( $M_w=6.3$ ) и Максимихинское ( $M_w=5.3$ ) землетрясения. Различные режимы сейсмотектонического деформирования земной коры в их эпицентральных областях соответствуют тектонической позиции очаговых зон и долговременным тенденциям неотектонического развития рассматриваемой территории. В целом это касается также сейсмического режима и напряженно-деформированного состояния земной коры всего региона.

#### Л и т е р а т у р а

1. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К. Сейсмические станции Прибайкалья и Забайкалья в 2007 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. (На CD).
2. Гилёва Н.А., Масальский О.К. (отв. сост.). Сейсмические станции Прибайкалья и Забайкалья в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
3. Голенецкий С.И. Землетрясения Прибайкалья и Забайкалья // Землетрясения в СССР в 1985 году. – М.: Наука, 1988. – С. 124–135.
4. Землетрясения России в 2008 году / Гл. ред. А.А. Маловичко. – Обнинск: ГС РАН, 2010. – 224 с.
5. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Терешина Е.А., Борисова О.А., Папкина А.А., Зиброва Е.С. Каталог (оригинал) землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2008 г. с  $K_p \geq 4$  ( $N=9098$ ). – Иркутск: Фонды БФ ГС СО РАН, 2009. – 166 с.

6. Хайдурова Е.В., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Леонтьева Л.Р., Тигунцева Г.В., Андрусенко Н.А., Тимофеева В.М., Дворникова В.И., Дрокова Г.Ф., Анисимова Л.В., Дреннова Г.Ф., Курилко Г.В., Хороших М.Б., Павлова Л.В., Мазаник Е.В., Торбеева М.А., Хамидулина О.А., Меньшикова Ю.А., Терешина Е.А., Борисова О.А., Папкова А.А., Зиброва Е.С. (сост.). Каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2008 г. ( $N=1057$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
7. 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: ГС РАН, 2003. – С. 107–117.
8. Радзиминович Я.Б., Гилёва Н.А. (отв. сост.) Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений ( $N=15$ ) в населенных пунктах Прибайкалья и Забайкалья в 2008 г. (См. Приложение к наст. сб. на CD).
9. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б., Середкина А.И. Максимихинское землетрясение 20 мая 2008 г. с  $K_p=14.3$ ,  $M_w=5.3$ ,  $I_0=7$  (Центральный Байкал). (См. раздел (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
10. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Радзиминович Я.Б., Середкина А.И. Култукское землетрясение 27 августа 2008 г. с  $K_p=15.9$ ,  $M_w=6.3$ ,  $I_0=8-9$  (Южный Байкал). (См. раздел (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
11. Мельникова В.И., Гилёва Н.А. (отв. сост.), Ландер А.В., Середкина А.И., Татомир Н.В. (сост.). Каталог механизмов очагов землетрясений Прибайкалья и Забайкалья за 2008 год ( $N=64$ ). (См. Приложение к наст. сб. на CD).
12. Ландер А.В. Описание и инструкция для пользователя комплекса программ FA (расчет и графическое представление механизмов очагов землетрясений по знакам первых вступлений  $P$ -волн). – М.: Фонды автора, 2006. – 27 с.
13. Серёдкина А.И., Мельникова В.И. Тензор сейсмического момента Прибайкальских землетрясений по поверхностным волнам // ДАН. – 2013. – 451. – № 1. – С. 91–94.
14. Юнга С.Д. Методы и результаты изучения сеймотектонических деформаций. – М.: Наука, 1990. – 191 с.
15. Юнга С.Д. Сеймотектонические деформации и напряжения в складчатых поясах неотектонической активизации Северной Евразии // Физика Земли. – 1996. – № 12. – С. 37–58.
16. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б., Очковская М.Г., Серёдкина А.И. Акуликанские землетрясения 4 декабря 2006 г. с  $M_w=5.2$ ,  $I_0=7$  и 11 декабря 2006 г. с  $M_w=4.9$ ,  $I_0=7$  (Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 428–442.
17. Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Радзиминович Я.Б. Томпудинское землетрясение 4 июля 2007 г. с  $K_p=14.2$ ,  $M_w=5.4$ ,  $I_0=7-8$  (Северное Прибайкалье) // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 363–372.
18. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии, 2006 год. – Обнинск: ГС РАН, 2012. – С. 151–162.
19. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. – Обнинск: ГС РАН, 2013. – С. 160–169.
20. Мельникова В.И., Гилёва Н.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии, 2005 год. – Обнинск: ГС РАН, 2011. – С. 168–179.