

II. Анализ сейсмических данных

II.1. Оценка уровня сейсмической активности регионов России

В.А. Салтыков, Н.М. Кравченко, С.Г. Пойгина

Введение

При общей количественной оценке уровня сейсмичности на какой-либо территории за какой-либо период часто используются такие параметры, как суммарная энергия произошедших землетрясений E и их число N , активность (A_{10} , в частности) и наклон графика повторяемости (b – при использовании магнитудной шкалы или γ – при использовании энергетических классов). Однако, при необходимости качественной оценки сейсмического режима (то есть при необходимости заключения об аномально высоком или низком уровне сейсмичности, или при необходимости сравнения состояния сейсмичности в двух регионах) возникают определенные сложности и использование напрямую упомянутых параметров не дает ответа на данный вопрос. Например, одна и та же выделившаяся сейсмическая энергия может быть аномально высокой для одного региона и аномально низкой для другого. В данной работе приведены результаты использования статистической функции распределения энергии в качестве параметра, характеризующего уровень сейсмичности.

Методика

Оценивается состояние сейсмичности региона в целом по эмпирической функции распределения, выделившейся за определенный временной интервал сейсмической энергии: $F(K) = P(\lg E \leq K)$, где E – суммарная сейсмическая энергия в Дж. Тогда, задавая пороговые значения F и зная выделившуюся энергию E , мы можем сделать заключение о повышенной (например, если $F > 0.9$), либо пониженной (например, если $F < 0.1$) активности региона. Отметим, что расчет широко известных статистических параметров, таких как математическое ожидание и дисперсия, не может использоваться для энергии (или ее логарифма – энергетического класса), так как их распределение не относится к «красивым» распределениям, для которых аналогичный вывод можно было бы сделать, используя известные статистические критерии, без построения эмпирической функции распределения.

К используемому каталогу предъявляются достаточно высокие требования. Речь идет об его однородности и полноте. В первую очередь (если мы говорим об упоминаемых выше параметрах сейсмичности) чувствительными к качеству каталога являются: 1) число землетрясений N , 2) наклон графика повторяемости γ и 3) активность A_{10} . Энергия E ведет себя гораздо более устойчиво, т.к. практически вся она определяется наиболее сильными землетрясениями. Это легко продемонстрировать на следующем примере: рассмотрим типичный случай, когда наклон графика повторяемости $\gamma = 0.5$, и рассчитаем суммарную энергию землетрясений различного класса, а число таких землетрясений получим из закона Гутенберга–Рихтера. Оказывается, что при использовании диапазона верхних энергетических классов в три единицы мы получаем оценку суммарной выделившейся энергии, составляющую около 98% от полной, а оценка соответствующего эквивалентного энергетического класса $K = \lg E$ отличается от истинной лишь на 0.01, что обычно пренебрежимо мало. Таким образом, мы можем использовать данную методику даже в том случае, когда уровень надежной регистрации достаточно низок, но имеются предпосылки того, что сильнейшие из произошедших событий все-таки регистрируются.

Используемые каталоги землетрясений

Каталог землетрясений, используемый в расчетах, собран из перечисленных ниже каталогов:

- региональные каталоги землетрясений с 1962 г. по 1991 г. – ежегодные сборники «Землетрясения в СССР» (электронная версия);
- региональные каталоги землетрясений за 1992–1998 гг. – ежегодные сборники «Землетрясения Северной Евразии» (электронная версия);
- региональные каталоги землетрясений за 1999–2002 гг. – ежегодные сборники «Землетрясения Северной Евразии» (компакт-диски, прилагаемые к сборникам научных трудов);
- сводные каталоги землетрясений за 2003–2006 гг. – ежегодные сборники «Землетрясения России» (компакт-диски, прилагаемые к сборникам научных трудов);
- сводный каталог землетрясений 2007 г. – настоящий ежегодник (раздел VII.2 на CD-ROM).

В различных регионах используются различные энергетические классификации землетрясений (их авторы – Т.Г. Раутиан, С.Л. Соловьев, С.А. Федотов). Поэтому создание единого каталога является достаточно сложной задачей, которую еще предстоит решать в будущем. Так как в данной работе предполагалось с самого начала рассматривать сейсмичность по регионам, то данная проблема была не актуальна.

Энергетический класс иногда не был представлен в региональном каталоге, в таком случае он вычислялся из расчетной магнитуды M (см. раздел V) по корреляционным зависимостям С.Л. Соловьева $K_C=2\cdot M+1.2$ (для Сахалина и Курильских островов) и Т.Г. Раутиан $K_P=1.8\cdot M+4$ для остальных (кроме Камчатки) регионов.

Разделение на регионы

Разделение территории России на регионы соответствует принятому в ГС РАН разбиению всей территории на 11 сейсмоактивных регионов (рис. II.1).

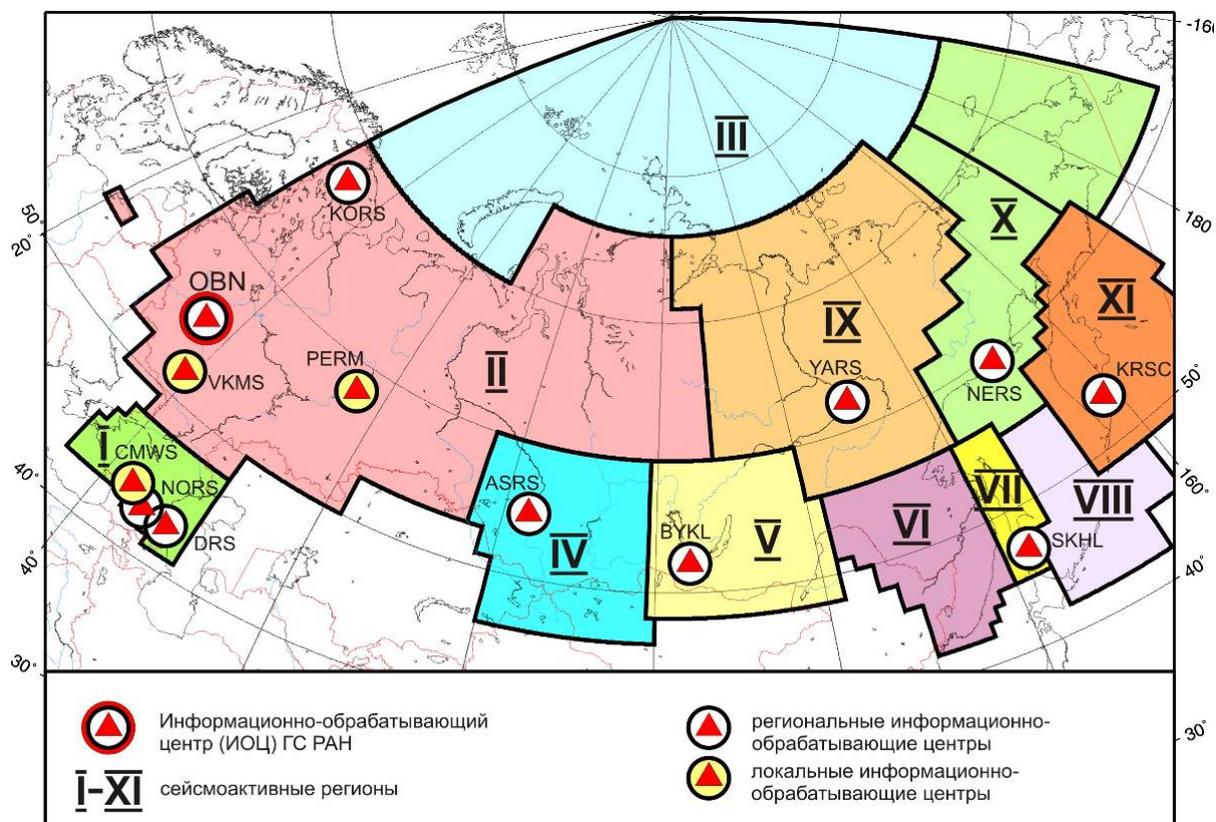


Рис. II.1. Границы регионов на территории России

Сейсмоактивные регионы на территории России (рис. II.1):

- I – Северный Кавказ,
- II – Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь,
- III – Арктика,
- IV – Алтай и Саяны,
- V – Прибайкалье и Забайкалье,
- VI – Приамурье и Приморье,
- VII – Сахалин,
- VIII – Курило-Охотский регион,
- IX – Якутия,
- X – Северо-Восток России и Чукотка,
- XI – Камчатка и Командорские острова.

Функции распределения годовой сейсмической энергии для отдельных регионов

Функция распределения сейсмической энергии, выделившейся за один год, для вышеуказанных регионов показана на рис. II.2–II.11, кружком отмечено значение функции распределения в 2007 г.

I. Северный Кавказ (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.5).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений на Северном Кавказе составила $1.43 \cdot 10^{13}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2007 гг. (рис. II.2). Для 2007 г. $F=0.76 \pm 0.06$.

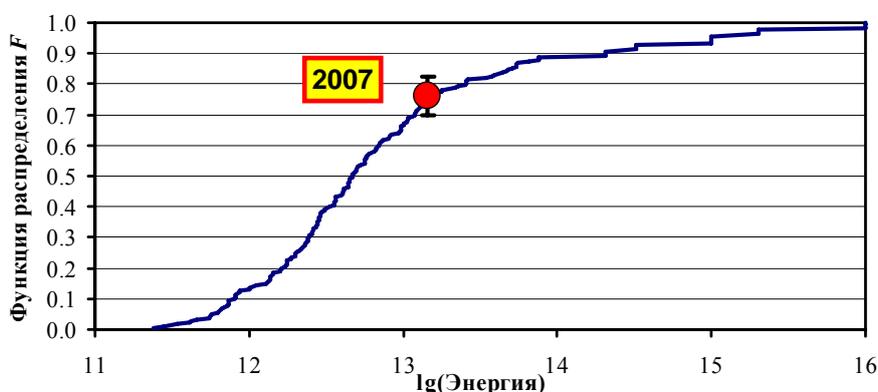


Рис. II.2. Функция распределения для региона Северный Кавказ

II. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров сейсмических событий в 2007 г. см. на рис. I.8).

Для данного региона оценки функции распределения не рассчитывались в силу недостаточной статистики и неоднородности каталога.

III. Арктика (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.10).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Арктике составила $1.98 \cdot 10^{10}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1965–2007 гг. (рис. II.3). Для 2007 г. $F=0.02 \pm 0.02$.

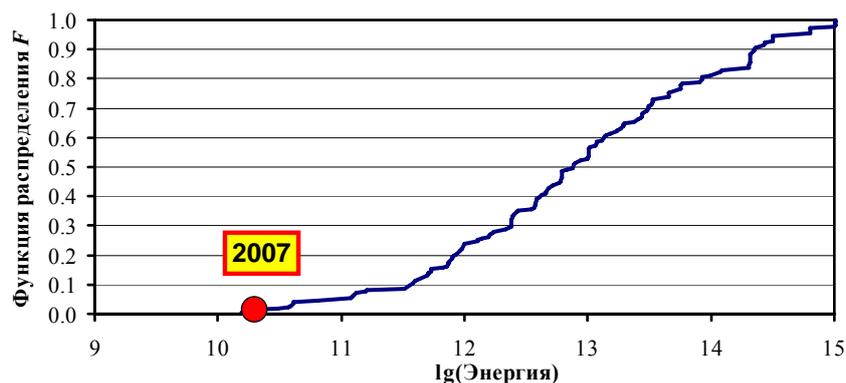


Рис. П.3. Функция распределения для Арктического региона

VI. Алтай и Саяны (границы региона см. на рис. П.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. 1.13).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Алтай-Саяны составила $1.20 \cdot 10^{12}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2007 гг. (рис. П.4). Для 2007 г. $F=0.02 \pm 0.02$.

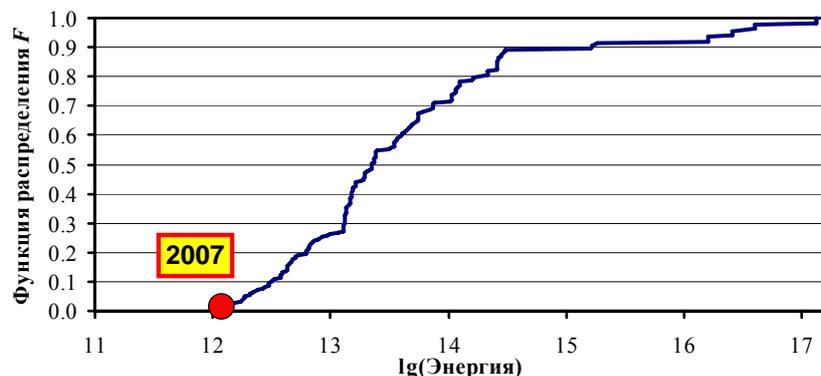


Рис. П.4. Функция распределения для региона Алтай и Саяны

V. Прибайкалье и Забайкалье (границы региона см. на рис. П.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. 1.16).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Прибайкалье и Забайкалье составила $2.25 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2007 гг. (рис. П.5). Для 2007 г. $F=0.72 \pm 0.07$.

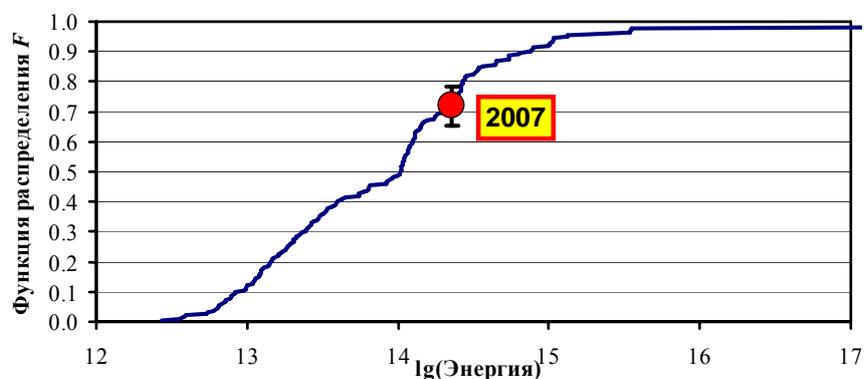


Рис. П.5. Функция распределения для региона Прибайкалье и Забайкалье

VI. Приамурье и Приморье (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.19).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Приамурье и Приморье составила $5.49 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1974–2007 гг. (рис. II.6). Для 2007 г. $F=0.75 \pm 0.07$.

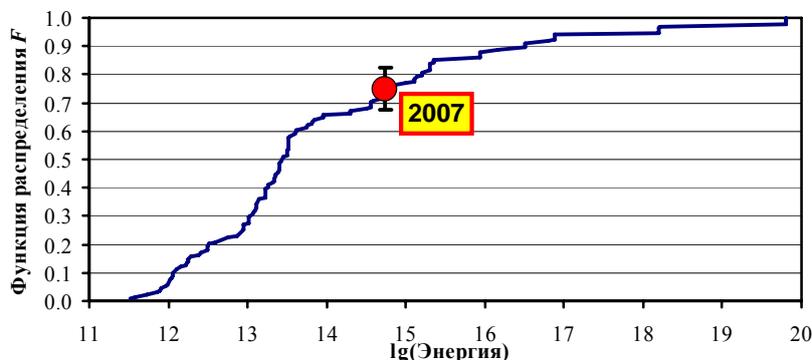


Рис. II.6. Функция распределения для региона Приамурье и Приморье

VII. Сахалин (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.19).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Сахалин составила $1.61 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2007 гг. (рис. II.7). Для 2007 г. $F=0.90 \pm 0.04$.

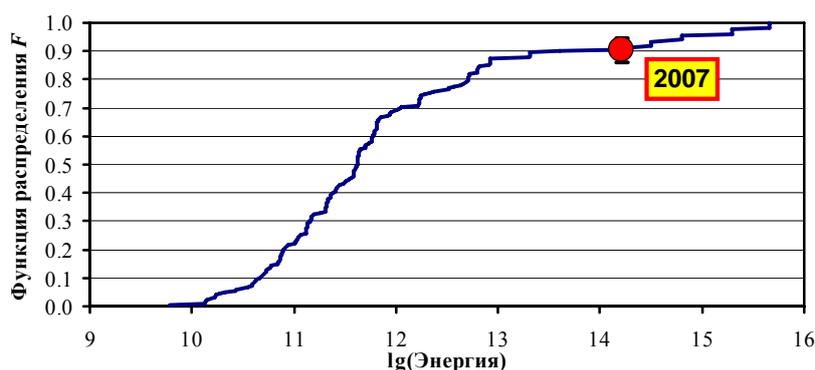


Рис. II.7. Функция распределения для региона Сахалин

VIII. Курило-Охотский регион (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.19).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Курило-Охотском регионе составила $2.52 \cdot 10^{17}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2007 гг. (рис. II.8). Для 2007 г. $F=0.94 \pm 0.04$.

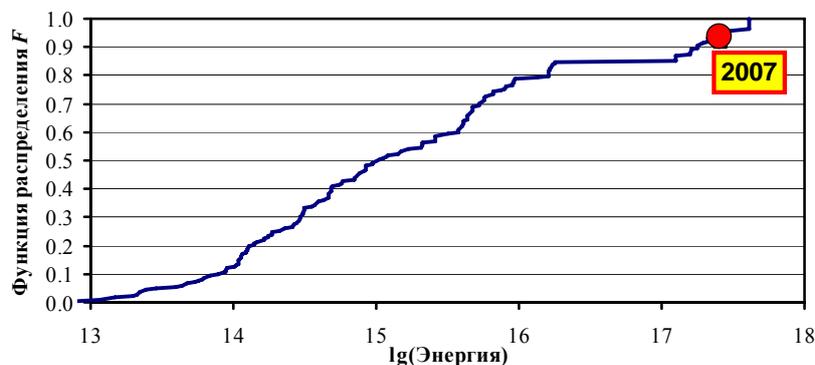


Рис. II.8. Функция распределения для Курило-Охотского региона

IX. Якутия (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.24).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Якутском регионе составила $1.38 \cdot 10^{13}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1968–2007 гг. (рис. II.9). Для 2007 г. $F=0.58 \pm 0.08$.

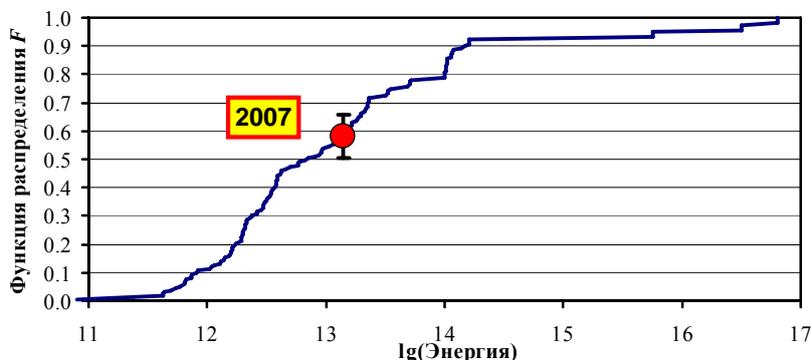


Рис. II.9. Функция распределения для Якутского региона

X. Северо-Восток России и Чукотка (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.27).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Северо-Восток России и Чукотка составила $2.34 \cdot 10^{11}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1968–2007 гг. (рис. II.10). Для 2007 г. $F=0.10 \pm 0.05$.

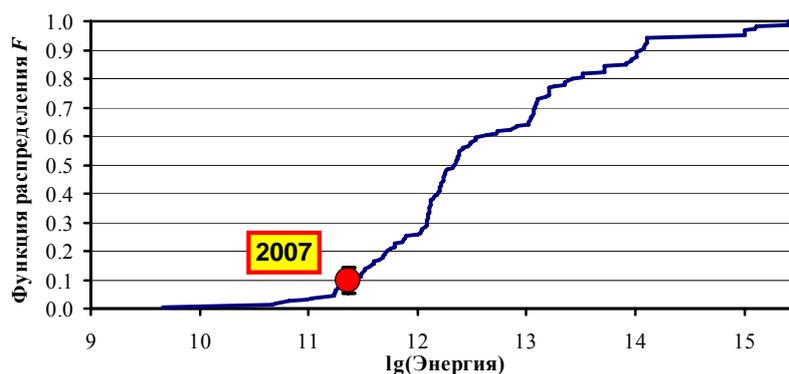


Рис. II.10. Функция распределения для региона Северо-Восток России и Чукотка

XI. Камчатка и Командорские острова (границы региона см. на рис. II.1, карту эпицентров землетрясений в 2007 г. см. на рис. I.30).

В 2007 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Камчатском регионе составила $1.26 \cdot 10^{14}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2007 гг. (рис. II.11). Для 2007 г. $F=0.20 \pm 0.06$.

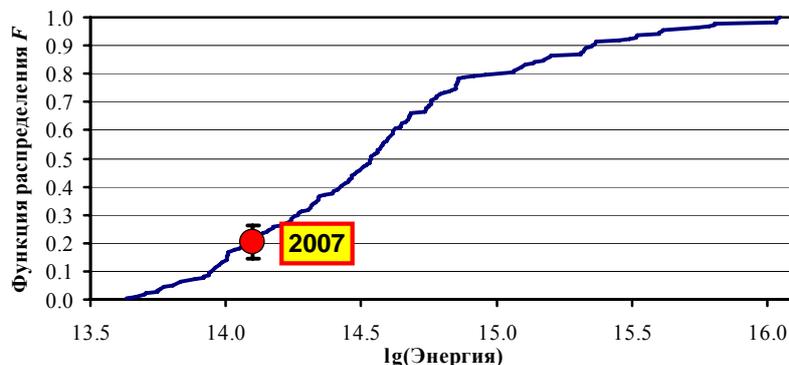


Рис. II.11. Функция распределения для региона Камчатки и Командорских островов

Заключение

В работе [Салтыков, 2009] предложена шкала уровня сейсмичности «СОУС'09», определяющая уровень сейсмичности, исходя из величины функции распределения F . Шкала включает пять основных градаций и три дополнительных.

Основные градации:

- экстремально низкий – $F < 0.005$,
- низкий – $0.005 < F < 0.025$,
- фоновый – $0.025 < F < 0.975$,
- высокий – $0.975 < F < 0.995$,
- экстремально высокий – $F > 0.995$.

Фоновый уровень может быть разбит на три дополнительных:

- фоновый пониженный – $0.025 < F < 0.15$,
- фоновый средний – $0.15 < F < 0.85$,
- фоновый повышенный – $0.85 < F < 0.975$.

В соответствии с этой шкалой уровень сейсмичности в 2007 г. в регионах России оценен также на качественном уровне (табл. II.1).

Таблица II.1. Значения функции распределения сейсмической энергии для 2007 г.

Регион	F	Уровень сейсмичности
Курило-Охотский регион	0.94	фоновый повышенный
Сахалин	0.90	фоновый повышенный
Северный Кавказ	0.76	фоновый средний
Приморье и Приамурье	0.75	фоновый средний
Прибайкалье и Забайкалье	0.72	фоновый средний
Якутия	0.58	фоновый средний
Камчатка и Командорские острова	0.20	фоновый средний
Северо-Восток России и Чукотка	0.10	фоновый пониженный
Арктика	0.02	низкий
Алтай и Саяны	0.02	низкий

Повышенным уровнем сейсмичности в 2007 г. характеризуются Курило-Охотский регион и Сахалин, низким – регионы Алтай и Саяны, Арктика и Северо-Восток России и Чукотка.

Отмечается особенность: некоторые соседние регионы (Сахалин и Курило-Охотский; Прибайкалье-Забайкалье и Приморье-Приамурье; Камчатка и Северо-Восток России и Чукотка) имеют близкие значения F . Это является аргументом в пользу гипотезы о сходных тенденциях сейсмического процесса в соседних регионах.