

## 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 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  $\gamma$  – 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.

Обычно предъявляются достаточно высокие требования к используемому каталогу. Речь идет об его однородности и полноте. Следует отметить, что в первую очередь (если мы говорим об упоминаемых выше параметрах сейсмичности) чувствительными к качеству каталога являются: 1) число землетрясений  $N$ , 2) наклон графика повторяемости  $\gamma$  и 3) активность  $A_{10}$ . Энергия  $E$  ведет себя гораздо более устойчиво, так как практически вся выделившаяся энергия 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 сильнеешие из произошедших событий все-таки регистрируются.

### Используемые каталоги землетрясений

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

- региональные каталоги землетрясений с 1962 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 2003–2007 гг. – ежегодные сборники «Землетрясения России» (компакт-диски, прилагаемые к сборникам научных трудов);
- сводный каталог землетрясений 2008 г. – настоящий ежегодник (раздел VII.2 на CD-ROM).

В различных регионах используются разные энергетические классификации землетрясений [Раутиан, 1960, 1964; Соловьев, Соловьева, 1967; Федотов, 1972].

Если энергетический класс не был представлен в региональном каталоге, то он вычислялся из расчетной магнитуды  $M$  (см. раздел V) по корреляционным зависимостям С.Л. Соловьева  $K_C=2 \cdot M+1.2$  [Соловьев, Соловьева, 1967] (для Сахалина и Курильских островов) или Т.Г. Раутиан  $K_P=1.8 \cdot M+4$  [Раутиан, 1960, 1964] для остальных регионов (кроме Камчатки).

### Разделение на регионы

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

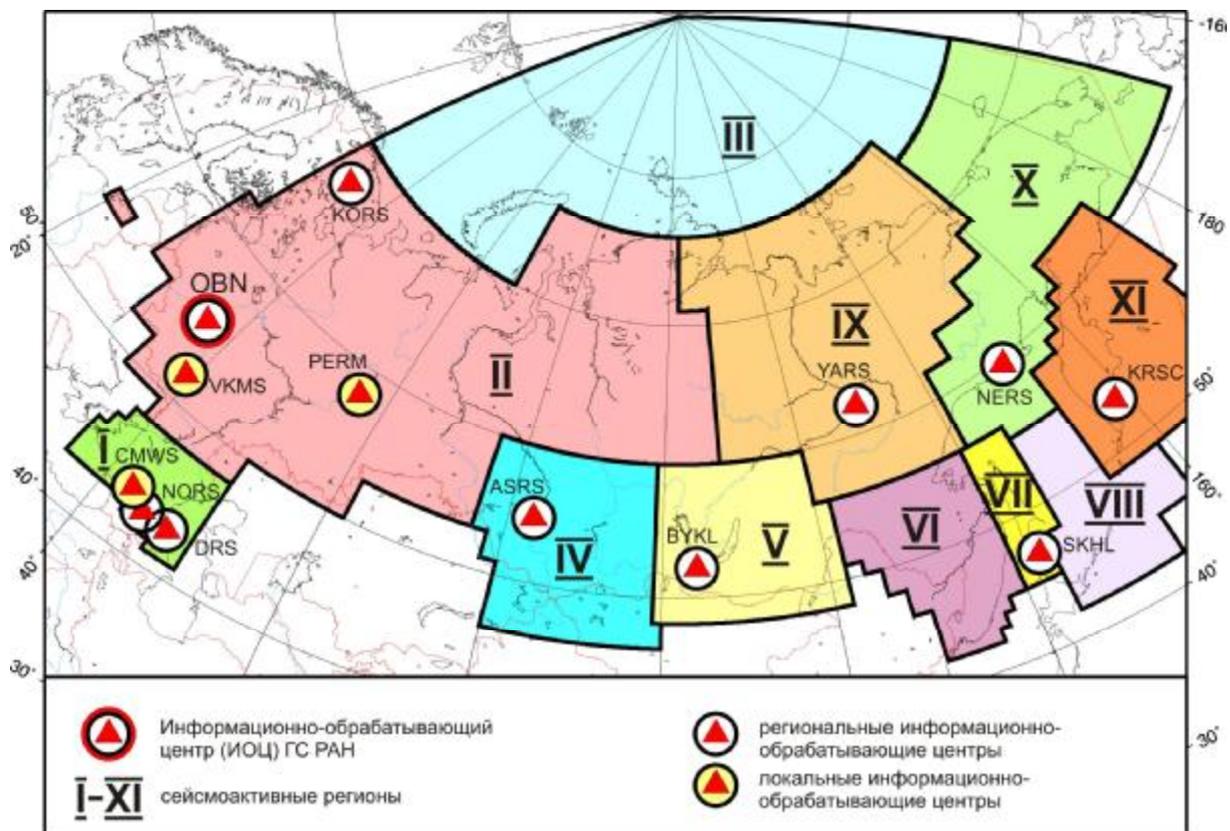


Рис. II.1. Границы регионов на территории России

Сейсмоактивные регионы на территории России (рис. П.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. П.2–П.11, кружком отмечено значение функции распределения в 2008 году.

**I. Северный Кавказ** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.5).

В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений на Северном Кавказе составила  $3.52 \cdot 10^{14}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1962–2008 гг. (рис. П.2). Для 2008 г.  $F=0.93 \pm 0.04$ .

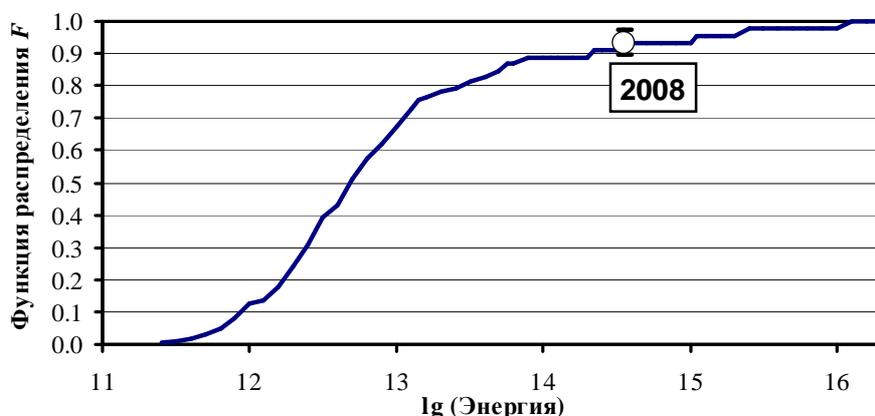


Рис. П.2. Функция распределения сейсмической энергии для региона Северный Кавказ

**II. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 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 и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.10).

В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Арктике составила  $2.57 \cdot 10^{13}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1965–2008 гг. (рис. П.3). Для 2008 г.  $F=0.66 \pm 0.07$ .

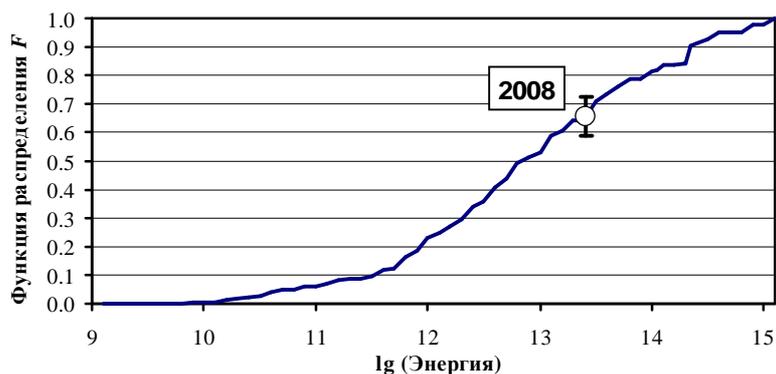


Рис. П.3. Функция распределения сейсмической энергии для региона Арктика

VI. Алтай и Саяны (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.13).

В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Алтай-Саяны составила  $1.07 \cdot 10^{15}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1962–2008 гг. (рис. П.4). Для 2008 г.  $F=0.90 \pm 0.04$ .

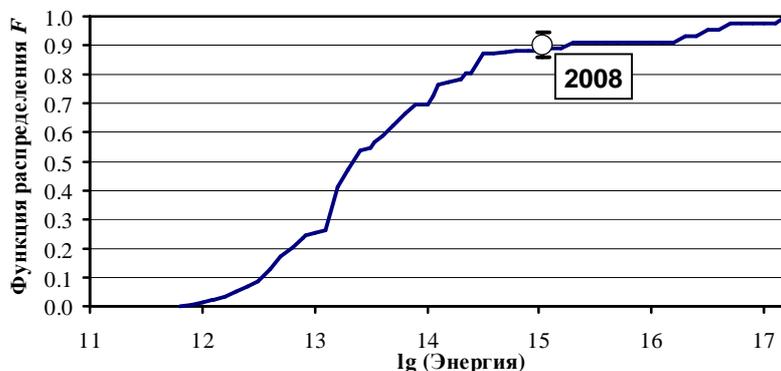


Рис. П.4. Функция распределения сейсмической энергии для региона Алтай и Саяны

V. Прибайкалье и Забайкалье (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.16).

В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Прибайкалье и Забайкалье составила  $8.17 \cdot 10^{15}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1962–2008 гг. (рис. П.5). Для 2008 г.  $F=0.97 \pm 0.03$ .

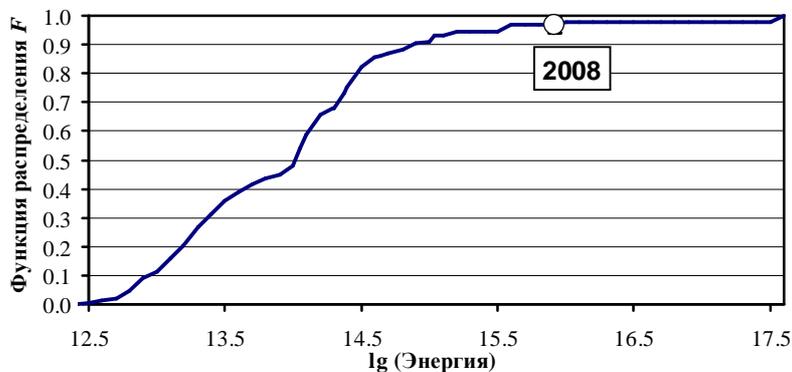
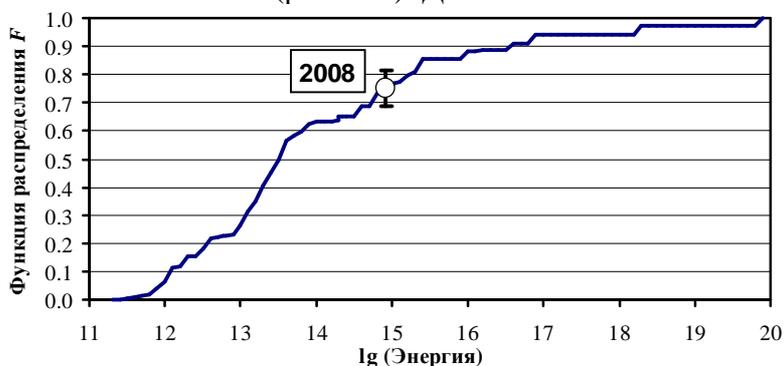


Рис. П.5. Функция распределения сейсмической энергии для региона Прибайкалье и Забайкалье

**VI. Приамурье и Приморье** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.19).

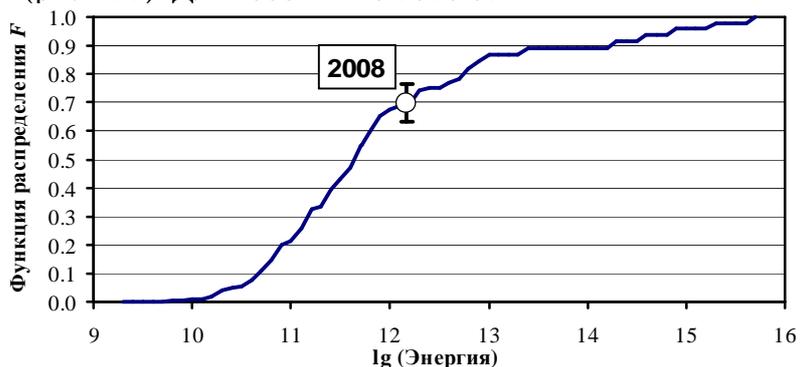
В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Приамурье и Приморье составила  $8.37 \cdot 10^{14}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1974–2008 гг. (рис. II.6). Для 2008 г.  $F=0.75 \pm 0.06$ .



**Рис. II.6. Функция распределения сейсмической энергии для региона Приамурье и Приморье**

**VII. Сахалин** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.19).

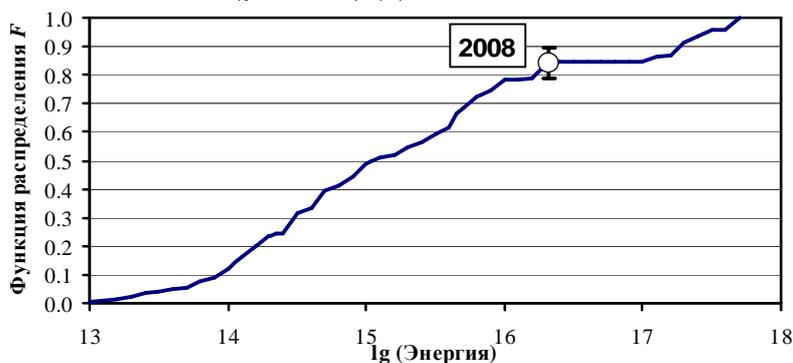
В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Сахалин составила  $1.48 \cdot 10^{12}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1962–2008 гг. (рис. II.7). Для 2008 г.  $F=0.70 \pm 0.07$ .



**Рис. II.7. Функция распределения сейсмической энергии для региона Сахалин**

**VIII. Курило-Охотский регион** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.19).

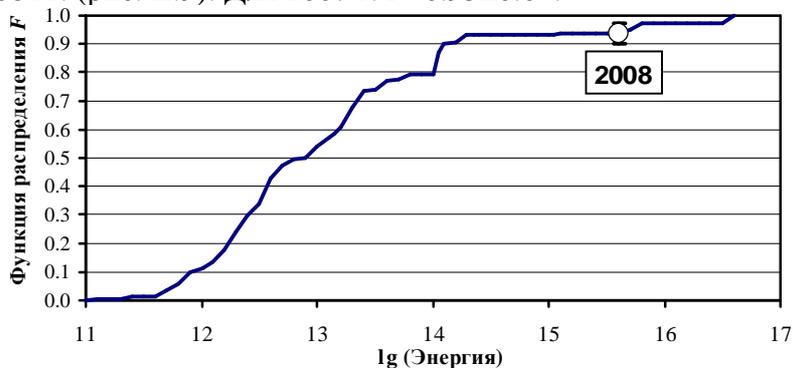
В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Курило-Охотском регионе составила  $2.1 \cdot 10^{16}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1962–2008 гг. (рис. II.8). Для 2008 г.  $F=0.84 \pm 0.05$ .



**Рис. II.8. Функция распределения сейсмической энергии для Курило-Охотского региона**

**IX. Якутия** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.24).

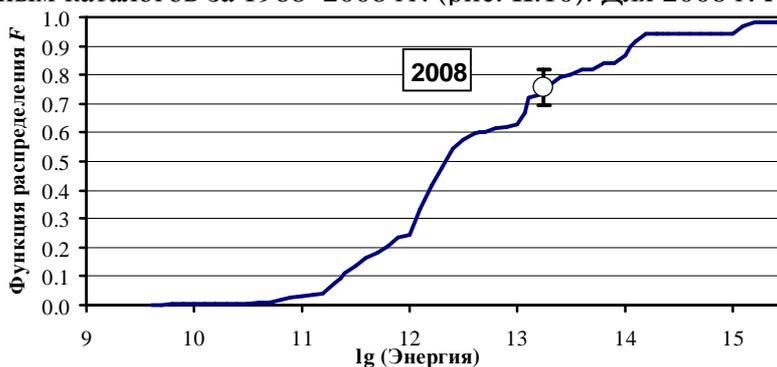
В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Якутском регионе составила  $4.02 \cdot 10^{15}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1968–2008 гг. (рис. II.9). Для 2007 г.  $F=0.93 \pm 0.04$ .



**Рис. II.9.** Функция распределения сейсмической энергии для Якутского региона

**X. Северо-Восток России и Чукотка** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.27).

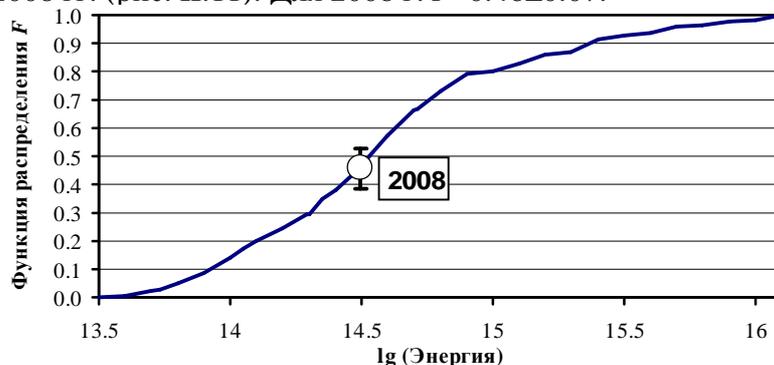
В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе Северо-Восток России и Чукотка составила  $1.75 \cdot 10^{13}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1968–2008 гг. (рис. II.10). Для 2008 г.  $F=0.76 \pm 0.06$ .



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

**XI. Камчатка и Командорские острова** (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2008 г. см. на рис. I.30).

В 2008 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Камчатском регионе составила  $3.13 \cdot 10^{14}$  Дж. Функция распределения  $F$  построена по данным каталогов за 1962–2008 гг. (рис. II.11). Для 2008 г.  $F=0.46 \pm 0.07$ .



**Рис. II.11.** Функция распределения сейсмической энергии 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 и три дополнительных градации.

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 2008 г. в регионах России оценен также на качественном уровне (табл. II.1).

**Таблица II.1. Значения функции распределения сейсмической энергии и категории уровня сейсмичности согласно шкале «СОУС'09» для 2008 г.**

Регион	$F$	Уровень сейсмичности
Алтай и Саяны	0.90	фоновый повышенный
Арктика	0.66	фоновый средний
Северо-Восток России и Чукотка	0.76	фоновый средний
Камчатка и Командорские острова	0.46	фоновый средний
Якутия	0.93	фоновый повышенный
Прибайкалье и Забайкалье	0.97	фоновый повышенный
Приморье и Приамурье	0.75	фоновый средний
Северный Кавказ	0.93	фоновый повышенный
Сахалин	0.70	фоновый средний
Курило-Охотский регион	0.84	фоновый средний

Сейсмичность всех регионов, для которых сделаны оценки, соответствует в 2008 г. фоновому уровню. В шести регионах фоновый уровень сейсмичности оценен как средний, в четырех – как повышенный. Отмечается особенность: некоторые соседние регионы (Алтай и Саяны, Прибайкалье и Забайкалье, Якутия, Сахалин, Приморье и Приамурье, Северо-Восток России и Чукотка) имеют близкие значения  $F$ .