

II. Количественный анализ сейсмичности

II.1. Оценка уровня сейсмической активности регионов России

*В.А. Салтыков, Н.М. Кравченко,
С.Г. Пойгина, В.П. Воропаев*

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 γ – при использовании энергетических классов). Однако при необходимости качественной оценки сейсмического режима (т.е. 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 данном разделе 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 γ 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 Гуттенберга–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 предположения того, что сильнейшие из произошедших событий все-таки регистрируются.

Используемые каталоги землетрясений

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

- 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 2003–2012 гг. – ежегодные сборники «Землетрясения России» (компакт-диски, прилагаемые к сборникам);
- сводный каталог землетрясений 2013 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

Территория России разделена для исследований на 11 регионов (рис. II.1) в соответствии с принятой в ГС РАН регионализацией (см. раздел I.1 и Приложение).

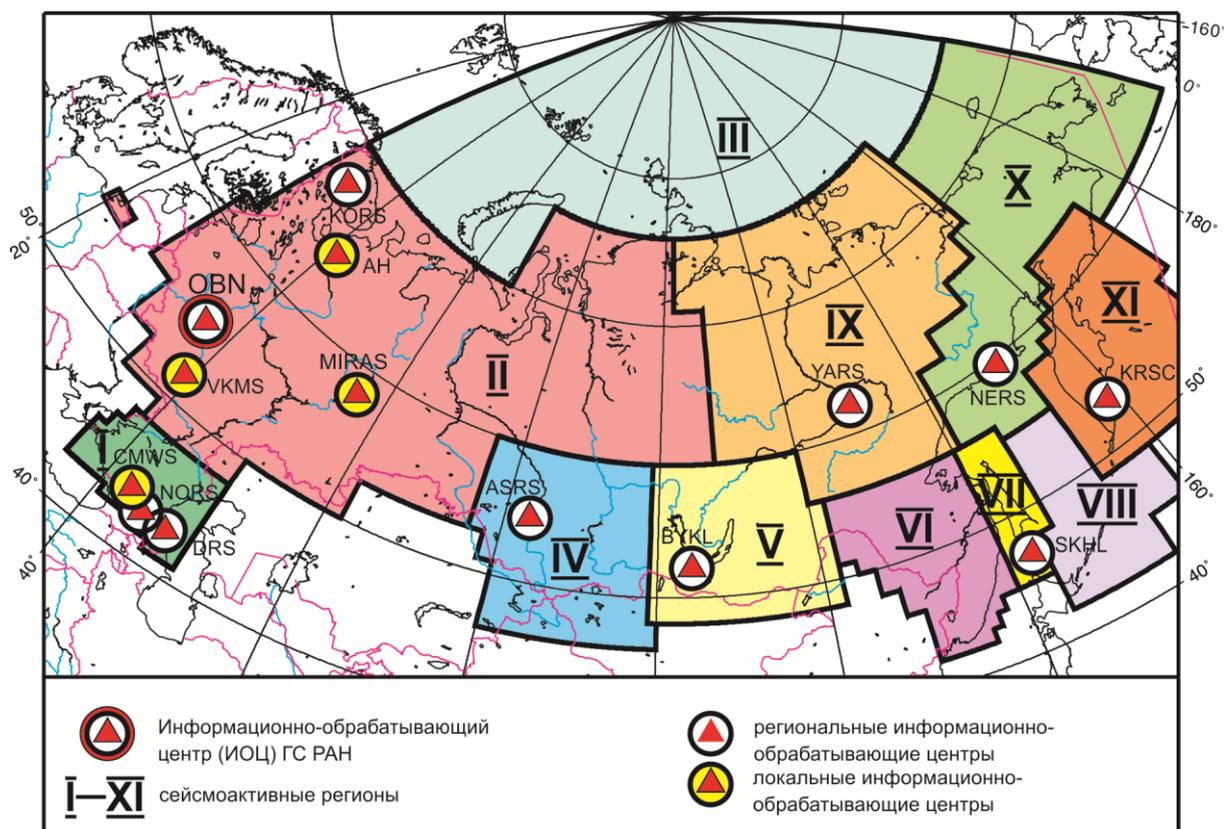


Рис. II.1. Границы регионов на территории России

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. На этих рисунках кружком отмечено значение функции распределения в 2013 г., диаметр кружка равен величине погрешности определения F .

I. Северный Кавказ (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.5).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений на Северном Кавказе составила $1.10 \cdot 10^{13}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2013 гг. (рис. II.2). Для 2013 г. $F=0.67 \pm 0.07$.

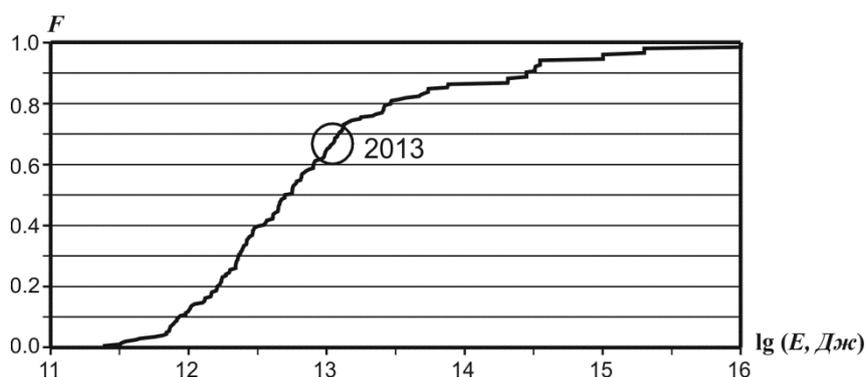


Рис. II.2. Функция распределения сейсмической энергии для региона Северный Кавказ

II. Восточно-Европейская платформа, Урал и Западная Сибирь (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 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 2013 г. см. на рис. I.11).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Арктике составила $3.32 \cdot 10^{11}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1965–2013 гг. (рис. II.3). Для 2013 г. $F=0.11 \pm 0.04$.

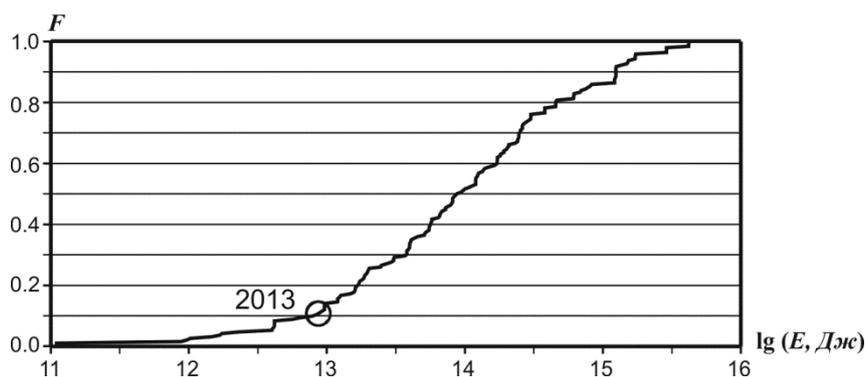


Рис. II.3. Функция распределения сейсмической энергии для региона Арктика

VI. Алтай и Саяны (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.14).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе «Алтай и Саяны» составила $5.17 \cdot 10^{13}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2013 гг. (рис. II.4). Для 2013 г. $F=0.60 \pm 0.07$.

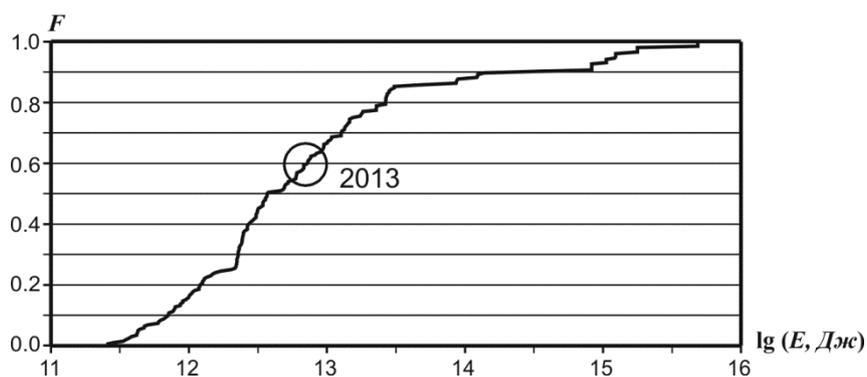


Рис. II.4. Функция распределения сейсмической энергии для региона Алтай и Саяны

V. Прибайкалье и Забайкалье (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.17).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе «Прибайкалье и Забайкалье» составила $1.77 \cdot 10^{13}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2013 гг. (рис. II.5). Для 2013 г. $F=0.24 \pm 0.06$.

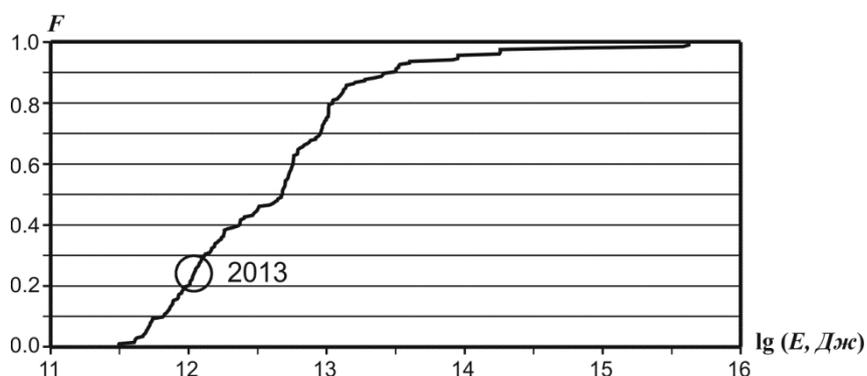


Рис. II.5. Функция распределения сейсмической энергии для региона Прибайкалье и Забайкалье

VI. Приамурье и Приморье (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.20).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе «Приамурье и Приморье» составила $2.40 \cdot 10^{15}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1974–2013 гг. (рис. II.6). Для 2013 г. $F=0.84 \pm 0.06$.

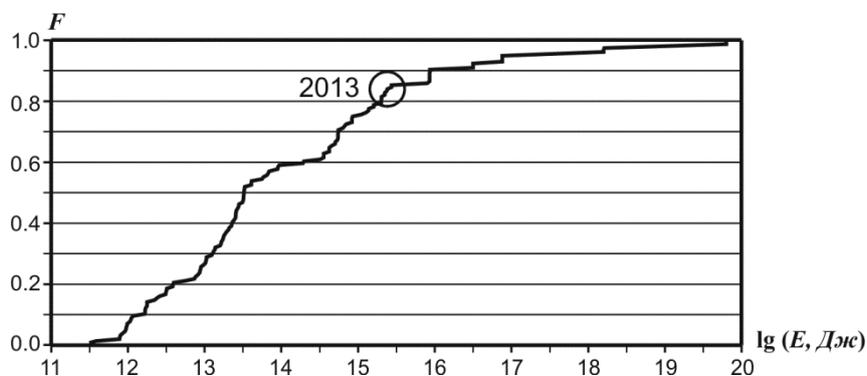


Рис. II.6. Функция распределения сейсмической энергии для региона Приамурье и Приморье

VII. Сахалин (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.20).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Сахалинском регионе составила $2.52 \cdot 10^{12}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2013 гг. (рис. II.7). Для 2013 г. $F=0.75 \pm 0.06$.

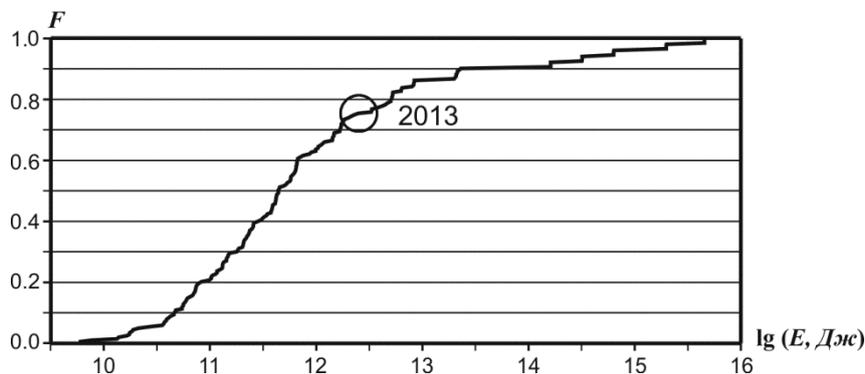


Рис. II.7. Функция распределения сейсмической энергии для региона Сахалин

VIII. Курило-Охотский регион (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.20).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Курило-Охотском регионе составила $4.44 \cdot 10^{15}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2013 гг. (рис. II.8). Для 2013 г. $F=0.68 \pm 0.06$.

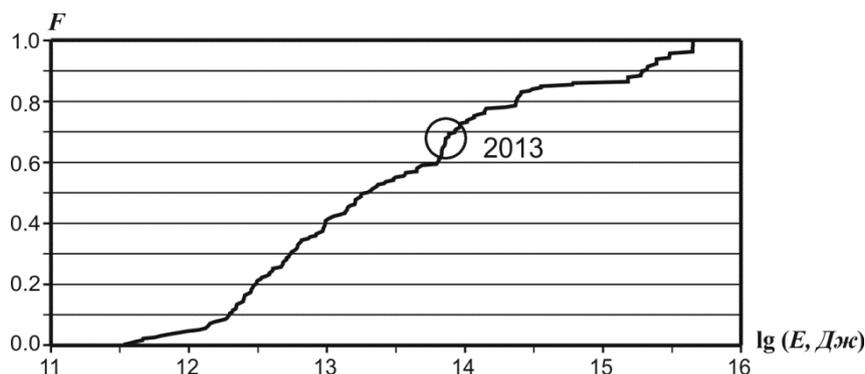


Рис. II.8. Функция распределения сейсмической энергии для Курило-Охотского региона

IX. Якутия (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.25).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Якутском регионе составила $2.5 \cdot 10^{16}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1968–2013 гг. (рис. II.9). Для 2013 г. $F=0.98 \pm 0.02$.

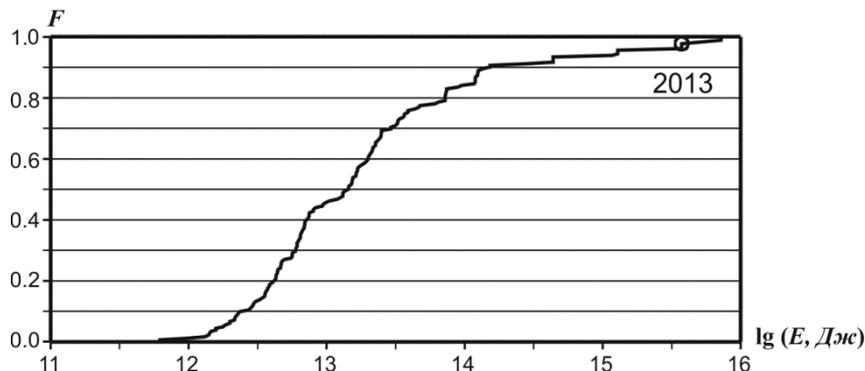


Рис. II.9. Функция распределения сейсмической энергии для Якутского региона

X. Северо-Восток России и Чукотка (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.28).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в регионе «Северо-Восток России и Чукотка» составила $8.80 \cdot 10^{11}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1968–2013 гг. (рис. II.10). Для 2013 г. $F=0.25 \pm 0.06$.

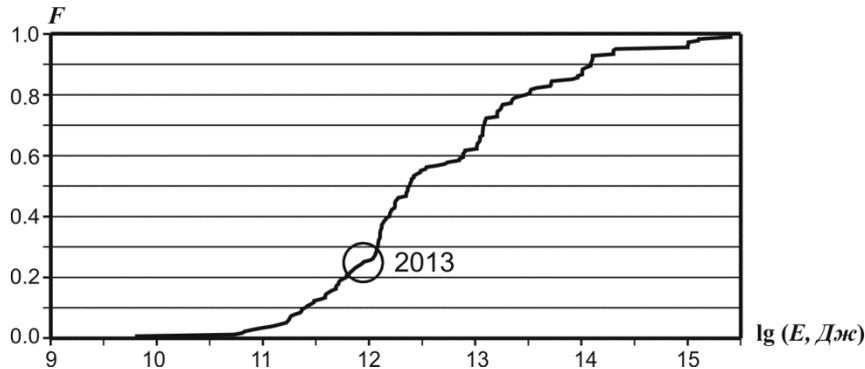


Рис. II.10. Функция распределения сейсмической энергии для региона Северо-Восток России и Чукотка

XI. Камчатка и Командорские острова (границы региона и карту расположения эпицентров землетрясений в 2013 г. см. на рис. I.31).

В 2013 г. суммарная энергия зарегистрированных землетрясений в Камчатском регионе составила $1.07 \cdot 10^{17}$ Дж. Функция распределения F построена по данным каталогов за 1962–2013 гг. (рис. II.11). Для 2013 г. $F=1$.

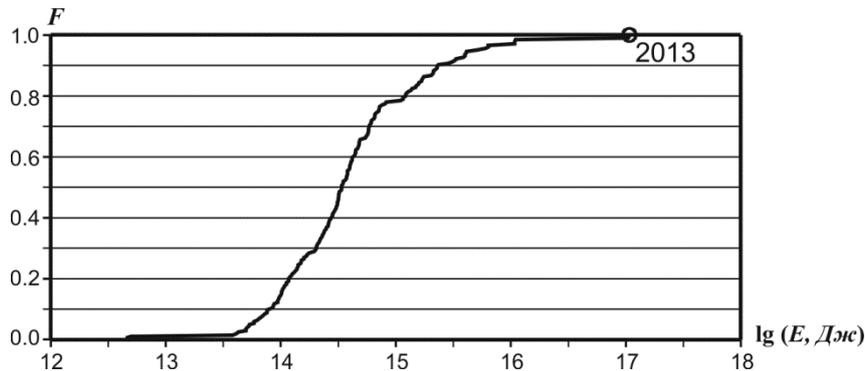


Рис. II.11. Функция распределения сейсмической энергии для региона Камчатка и Командорские острова

Заключение

В [Салтыков, 2009] была 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 – $0.85 < F < 0.975$.

Оценки уровня сейсмичности в соответствии с этой шкалой в 2013 г. в регионах России показаны в табл. II.1.

Таблица II.1. Значения функции распределения сейсмической энергии и категории уровня сейсмичности согласно шкале «СОУС'09» для 2013 г.

Регион	F	Уровень сейсмичности
Северный Кавказ	0.67	фоновый средний
Арктика	0.11	фоновый пониженный
Алтай и Саяны	0.60	фоновый средний
Прибайкалье и Забайкалье	0.24	фоновый средний
Якутия	0.98	высокий
Северо-Восток России и Чукотка	0.25	фоновый средний
Приамурье и Приморье	0.84	фоновый средний
Сахалин	0.75	фоновый средний
Курило-Охотский регион	0.68	фоновый средний
Камчатка и Командорские острова	1	экстремально высокий

Таким образом, сейсмичность всех регионов (за исключением Якутии и Камчатки) в 2013 г. соответствует фоновому уровню. Уровень сейсмичности Якутии оценивается как высокий, в пределах ошибки определения – экстремально высокий. Сейсмическая энергия Камчатского региона достигла максимального значения. Уровень сейсмичности Камчатки оценивается как экстремально высокий.