

УДК 550.34

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ

© 2013 П. В. Воропаев, В. А. Салтыков, к.ф.-м.н., доцент

Камчатский филиал геофизической службы РАН (КФ ГС РАН),
Россия, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9,
e-mail: salt@emsd.ru.

В Геофизической службе РАН разработана и постепенно внедряется методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09, в основе которой лежит функция распределения сейсмической энергии.

Для повышения оперативности получения оценок разработана программа, позволяющая вычислить текущий уровень сейсмичности для заданного сейсмического каталога. Имеется возможность построения номограмм и графиков временного хода уровня сейсмичности. При этом численные значения результатов вычислений сохраняются в файлы, которые могут быть использованы для дальнейшей обработки.

В настоящее время программа используется для предоставления еженедельных сведений о состоянии сейсмичности Камчатки в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Ключевые слова: сейсмичность, энергия, компьютерная программа, методика, каталог.

В настоящее время широко востребована информация о состоянии сейсмичности различных регионов мира. В этих сведениях могут быть заинтересованы как научные исследователи, так и специалисты различных государственных служб (МЧС, региональная администрация и т.д.). Информация о состоянии сейсмичности должна быть оперативно доступна и иметь наглядное, интуитивно понятное представление. В связи с этим возникает необходимость в создании средств оперативной обработки сейсмологических данных, определяющих текущий уровень сейсмичности.

С целью решения данной задачи была создана система вычисления уровня сейсмичности в виде программы для персонального компьютера, выполняемой в семействе ОС Windows. В основе работы программы лежит методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 [Салтыков и др., 2013; Салтыков, 2011]. Методика СОУС'09 рекомендована Ученым советом Геофизической службы РАН для использования в ее подразделениях, поэтому создание соответствующей программы позволит ускорить ее внедрение.

Описание методики СОУС'09

В основе шкалы методики СОУС'09 (рис. 1) лежит статистическая функция распределения логарифма выделившейся сейсмической энергии в качестве параметра, характеризующего уровень сейсмичности заданного пространственного объекта в определенный временной интервал. Такая шкала позволяет формализовать такие понятия как «сейсмический фон» и «аномалии», определяя их в границах величины базового параметра (квантилей функции распределения) логарифма выделившейся сейсмической энергии $\lg E$ для заданного временного окна ΔT .

Значение функции распределения	Шкала уровня сейсмичности	Относительное время мониторинга
1.0	Экстремально высокий	0.5%
0.995		
0.975	Высокий	2.0%
0.85	Фоновый повышенный	12.5%
0.15	Фоновый средний	70%
0.025	Фоновый пониженный	12.5%
0.005	Низкий	2.0%
0.0	Экстремально низкий	0.5%

Рис. 1. Шкала уровня сейсмичности методики СОУС '09. Исходя из методики, 95% времени сейсмичность пребывает в фоновом уровне. На высокий и низкий уровень сейсмичности приходится по 2% времени. На экстремально высокий и экстремально низкий уровень – 0.5% времени наблюдения.

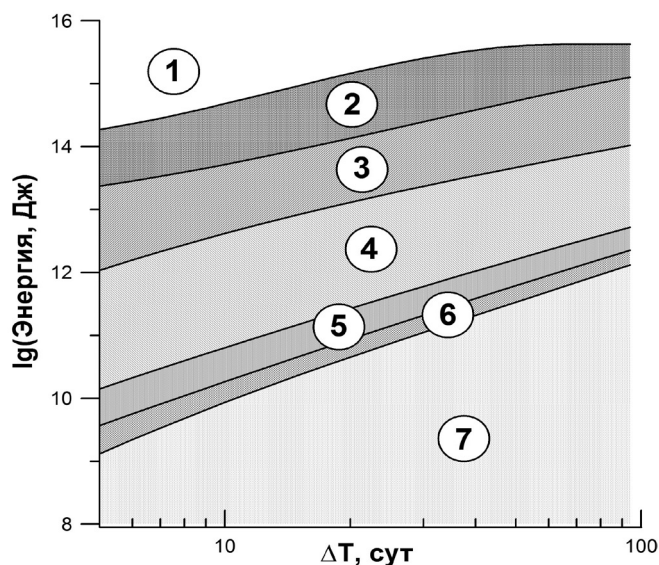
Для определения уровня сейсмичности заданного района необходимо вычислить значения квантилей, соответствующих пороговым значениям функции распределения F для различных временных интервалов. Для этого совершается следующий порядок действий. Из однородного каталога осуществляется выборка событий по определенной пространственной области и интервалу времени.

Для выборки вычисляется набор функций распределения F для различных временных окон ΔT . Из данного набора функций строятся зависимости значений опорных квантилей ($K=0.995, 0.975, 0.85, 0.15, 0.025, 0.005$) шкалы СОУС '09 от величины временного окна ΔT . Полученные значения квантилей аппроксимируются монотонной кривой. Набор аппроксимированных линий образует номограмму (рис. 2), с помощью которой можно дать качественную оценку уровня сейсмичности произвольного интервала времени ΔT на основе вычисления количественного параметра – сейсмической энергии ΔE , выделившейся в заданном временном интервале.

Программная реализация методики

Предложенная методика требует проведения большого количества вычислений, что вызывает необходимость применения ЭВМ. Реализация алгоритма методики была выполнена в виде компьютерной программы, названной «Программа стати-

Рис. 2. Пример номограммы СОУС '09. Цифрами обозначены области с соответствующими уровнями сейсмичности: 1 – экстремально высокий, 2 – высокий, 3 – фоновый повышенный, 4 – фоновый средний, 5 – фоновый пониженный, 6 – низкий, 7 – экстремально низкий.



стической оценки уровня сейсмичности по шкале СОУС'09» (Свидетельство о государственной регистрации программы №2012615123) [Воропаев, 2012]. Данная программа создана для IBM – PC совместимого компьютера, с наличием операционной системы Windows XP / Vista/ 7. При разработке программы учитывались следующие требования: простота использования, оптимизация быстродействия, возможность дальнейшего расширения функциональных возможностей. Программа написана на языке программирования C++, и имеет графический интерфейс пользователя (рис. 3).

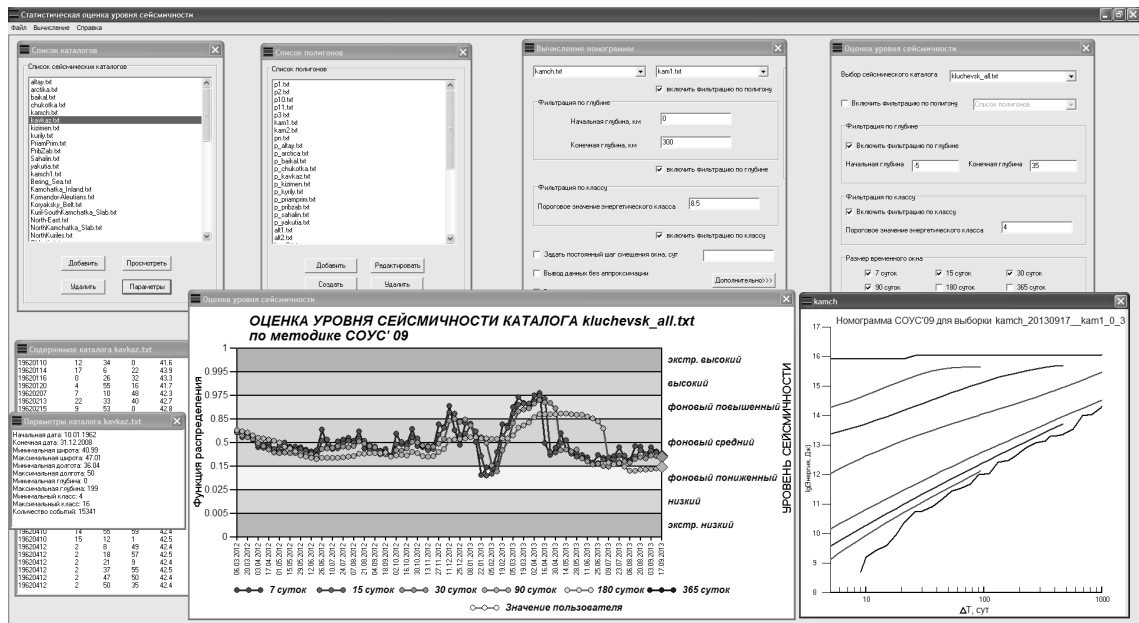


Рис. 3. Многооконный интерфейс пользователя. Главное и дочерние окна.

Основные функциональные возможности программы

В системе предусмотрена возможность хранения файлов сейсмических каталогов. Программа предоставляет возможность пространственной фильтрации записей землетрясений из каталога. Одним из способов является выборка событий, ограниченных заданным многоугольником. Система вычисляет номограмму СОУС'09 для сформированной пользователем выборки, выводит ее на экран, а также сохраняет результаты вычислений в текстовый файл, который может быть использован для обработки в других программах. При вычислении номограммы существует возможность вывода в файлы и на экран результатов промежуточных вычислений, таких как функции распределения выделившейся сейсмической энергии для заданного временного интервала и таблица эмпирических опорных квантилей распределения. Пользователь может построить график временного хода уровня сейсмичности на основании заданной им выборки. При этом может быть использован как набор временных окон по умолчанию, так и произвольное окно, заданное пользователем. В результате вычислений, на экран выводится часть графика временного хода уровня сейсмичности, которая соответствует последним восьмидесяти неделям сейсмического каталога. Полный ряд значений зависимости уровня сейсмичности от даты сохраняется в текстовые файлы.

Алгоритм вычисления номограммы

Процесс вычисления номограммы разбит на несколько этапов. Основываясь на данных сейсмического каталога, координат многоугольника, интервала глубин и порогового значения энергетического класса, производится выборка записей землетрясений из каталога.

Создается набор временных окон ΔT , по которому будет производиться дальнейшее вычисление. Для каждого окна ΔT из данного набора строится эмпирическая функция распределения $F=P(\lg E)$ для выделившейся сейсмической энергии E во временном окне ΔT .

Основываясь на вычисленной функции распределения, определяются значения логарифма энергии, соответствующие опорным значениям квантилей, методики СОУС'09 ($K = 0,005; 0,025; 0,15; 0,85; 0,975; 0,995$), а также минимальное и максимальное значения, которые записываются в соответствующий массив.

Цикл вычисления повторяется для всех значений временных окон ΔT . По окончании цикла получается таблица, содержащая значения номограммы. Столбцы данной таблицы соответствуют значениям опорных квантилей K , строки – величине временного окна ΔT . Значения выводятся на экран в виде соответствующего графика.

Алгоритм построения графика временного хода уровня сейсмичности

Производится выборка записей землетрясений из каталога в соответствии с заданными критериями (географические координаты, глубина, энергетический класс).

Для каждого окна ΔT (возможны варианты в 7, 15, 30, 90, 180, 365 суток) строится эмпирическая функция распределения $F=P(\lg E)$ для выделившейся сейсмической энергии E во временном окне ΔT . Данная функция вычисляется так же, как при построении номограммы.

С конца полученной выборки в цикле производится вычисление логарифма выделившейся сейсмической энергии за период каждого временного окна ΔT . Шаг смещения одинаков для всех окон, и равен 7 суткам. Цикл завершается по достижении окном начала выборки. Определяется величина уровня сейсмичности за период временного окна ΔT , путем сопоставления величины логарифма выделившейся сейсмической энергии в интервале ΔT с аргументом ранее вычисленной функции распределения.

Для каждого временного окна составляется таблица из двух столбцов. В первый вносится значение даты конца временного окна, во второй записывается значение функции распределения. Таблица заполняется в процессе циклического вычисления до момента окончания выборки.

На основании вычисленных данных, строится график уровня сейсмичности (рис. 3). Представление на графике всех уровней сейсмичности производится с помощью неравномерной шкалы ординат, которая позволяет визуализировать каждый уровень сейсмичности в собственном масштабе.

Примеры использования программы

В качестве первого примера для использования программы выбран сейсмический каталог Северного Кавказа с 1962 по 2008 г. Областью, внутри которой осуществляется выборка событий, является прямоугольник 40-47 гр. с. ш., 36-50 гр. в. д.

Пороговым значением выбран энергетический класс $K=8.0$. Вычисление производилось для временных окон размером 7, 30, 365 суток. В результате программой построен график временного хода уровня сейсмичности (рис. 4).

Примечательной особенностью этого графика является выход сейсмичности на экстремально высокий уровень во временном окне 7 суток в октябре 2008 года, который был вызван землетрясением 11.10.2008, $K=14.5$. Эпицентр данного события находился в Шелковском районе Чеченской республики. Сила толчков в эпицентре достигала 7-8 баллов. Произошли многочисленные разрушения [Маловичко, 2010]. Данному событию предшествовало длительное плавное понижение уровня сейсмичности в годовом временном окне.

Во втором примере приведен график временного хода уровня сейсмичности для территории Камчатского края (рис. 5). Вычисление производилось на основании Камчатского сейсмического каталога, содержащего сведения о землетрясениях с 1962 по 2013 гг. Данное построение осуществляется для прямоугольной области ограниченной координатами: 50.5-56.5 гр. с. ш., 156-167 гр. в. д.

Пороговым значением выбран энергетический класс $K_s=8.5$. Вычисление производилось для временных окон размером 7, 30, 365 суток. Особенностью данного графика является выход уровня сейсмичности в окнах 7 и 30 суток на экстремально высокий уровень в марте 2013 года, вследствие землетрясения 01.03.2013, $K=15.1$. Данное землетрясение произошло в 80 километрах восточной южного побережья полуострова Камчатка. Расстояние от эпицентра до г. Петропавловска-Камчатского составило 270 км. По макросейсмическим наблюдениям сила толчков в г. Петропавловск-Камчатский составила 4-5 баллов.

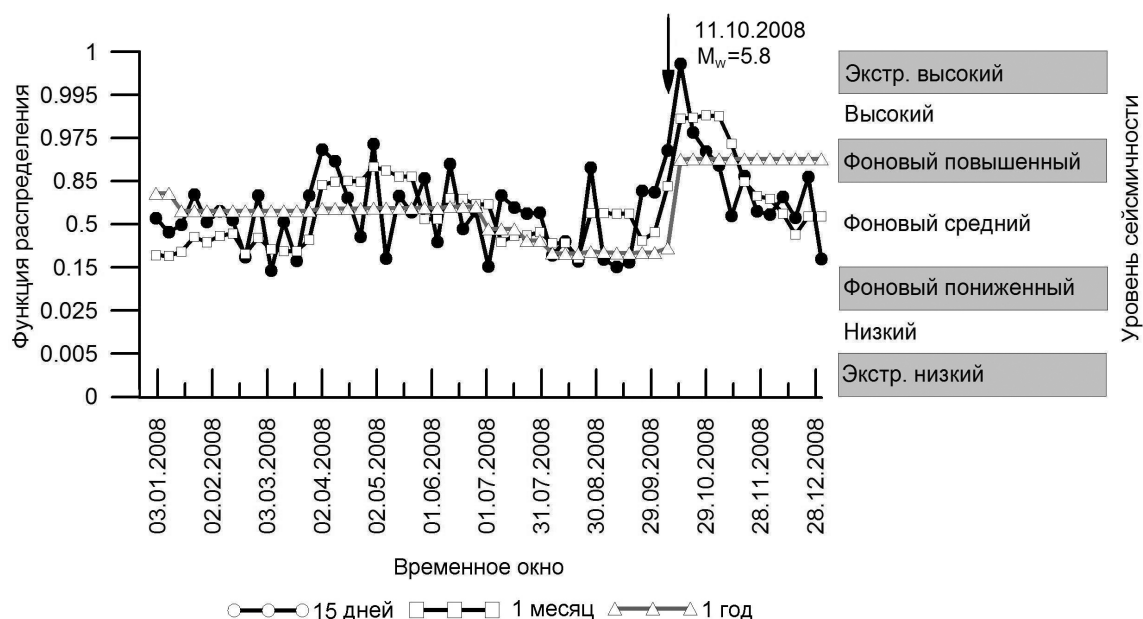


Рис. 4. График временного хода уровня сейсмичности для территории Кавказа, ограниченной прямоугольной областью 40-47 гр. с. ш., 36-50 гр. в. д. Стрелкой обозначено землетрясение 11.10.2008, $K=14.5$, произошедшее в Шелковском районе Чеченской республики.

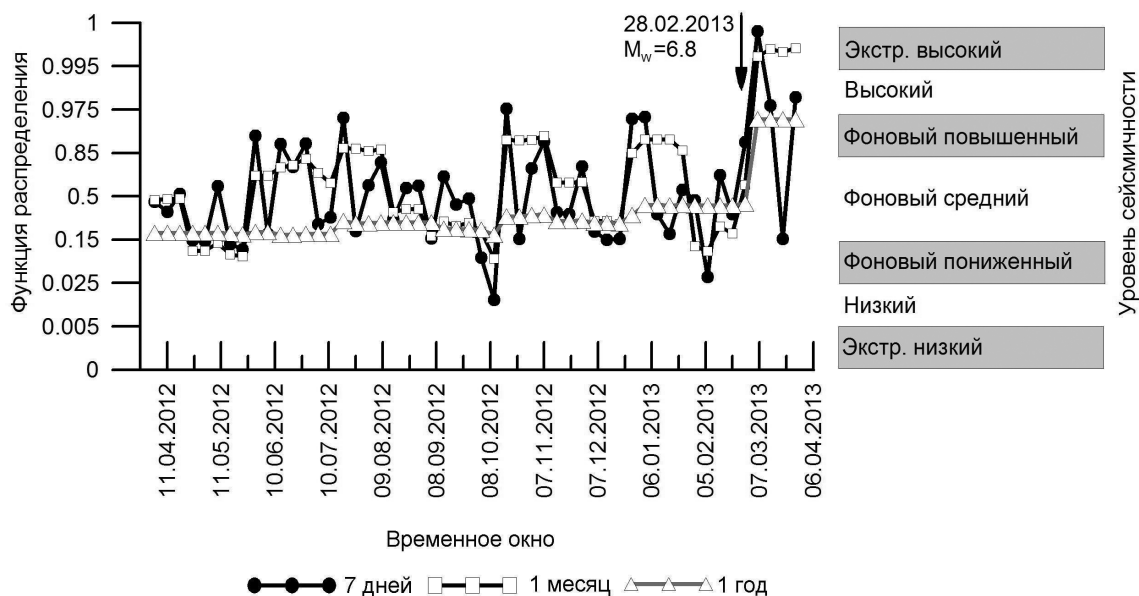


Рис. 5. График временного хода уровня сейсмичности для территории Камчатки, ограниченной прямоугольной областью 50.5-56.5 гр. с. ш., 156-167 гр. в. д. Стрелкой обозначено землетрясение 01.03.2013, $K=15.1$.

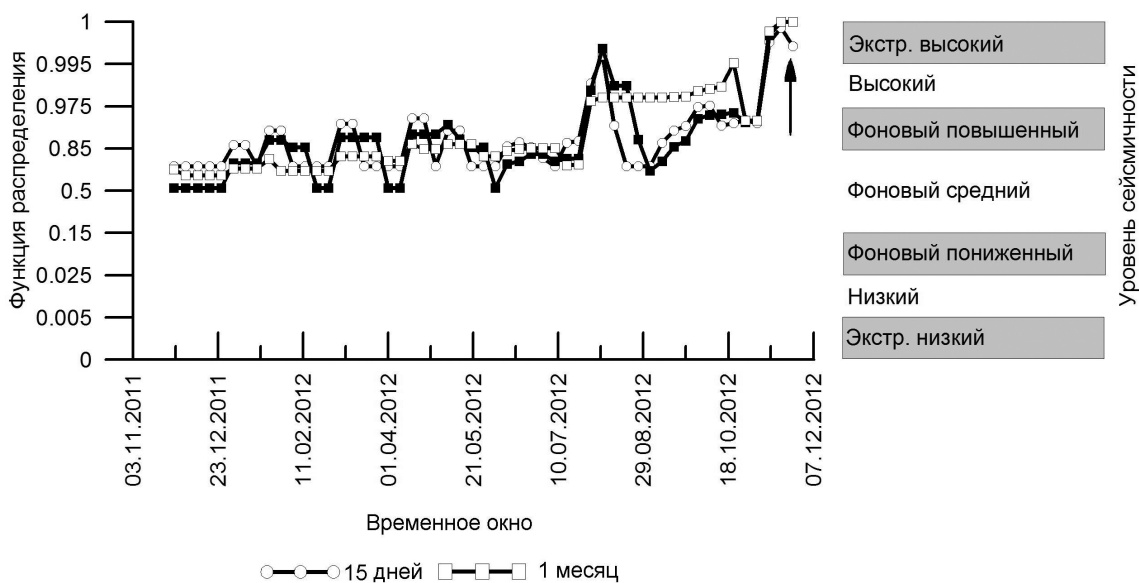


Рис. 6. График временного хода уровня сейсмичности для области радиусом 10 км, от вершины вулкана Плоский Толбачик, глубиной до 30 км. Стрелкой обозначен момент начала Трещинного Толбачинского извержения 27.11.2012.

В третьем примере приведен график временного хода уровня сейсмичности в пределах года, предворяющего Трещинное Толбачинское извержение, начавшееся в ноябре 2012 г. В основу рассматриваемого каталога легли события, произошедшие в 1999-2012 гг. в зоне радиусом 10 км от вершины вулкана Плоский Толбачик в диапазоне глубин до 30 км. Уровень надежной регистрации землетрясений составляет $K_S=4.5$. Подавляющее большинство землетрясений (более 80%) зафиксированы на глубине до 5 км; максимальные энергетические классы $K_S = 7\div 9$ отмечены для сейсмических событий 26-27.11.2012 г., которые произошли в течение последних суток перед извержением и связываются с его начальной фазой.

Выявлен статистически значимый переход уровня сейсмичности с фонового на высокий, а затем на экстремально высокий уровень, что соответствует многократному увеличению числа землетрясений и выделившейся сейсмической энергии в июле-ноябре 2012 г. Уход с фонового уровня отмечается с августа 2012 г. Последние три недели перед трещинным прорывом 2012 г. сейсмичность анализируемого сейсмоактивного объема находилась на экстремально высоком уровне.

Заключение

В Геофизической службе РАН разработана и постепенно внедряется методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09 [Воропаев, 2012], в основе которой лежит функция распределения сейсмической энергии. Оценки сейсмичности одного из наиболее сейсмоопасных регионов России – Камчатки – проводятся еженедельно. Для различных региональных зон ответственности Геофизической службы РАН сводки об уровне сейсмической активности составляются ежегодно и с 2009 г. публикуются в научных ежегодниках «Землетрясения России».

Для повышения оперативности получения оценок разработана программа, позволяющая вычислить текущий уровень сейсмичности для заданного сейсмического каталога. Имеется возможность построения номограмм и графиков временного хода уровня сейсмичности. При этом численные значения результатов вычислений сохраняются в файлы, которые могут быть использованы для дальнейшей обработки.

В настоящее время программа используется для предоставления еженедельных сведений о состоянии сейсмичности Камчатки в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

Ведется работа по расширению возможностей системы. В новую версию программы, которая находится на стадии тестирования, включен модуль графического отображения сейсмических каталогов и выборки из них, а также добавлена возможность делать выборки в виде эллиптических пространственных областей.

Литература

1. Воропаев П. В. Программная реализация оценки уровня сейсмичности по методике СОУС'09 // Материалы X региональной молодежной научной конференции 28-29 ноября 2012 г., – Петропавловск-Камчатский, – ИВиС ДВО РАН. – 2012. С. 101-113.
2. Землетрясения России в 2008 году. // Под ред. Маловичко А. А. / Обнинск: ГС РАН, 2010. – 224 с.
3. Салтыков В. А., Кугаенко Ю. А., Кравченко Н. М., Коновалова А. А. «Параметрическое представление динамики сейсмичности Камчатки» // Вулканология и сейсмология. – 2013. № 1. С. 65-84.
4. Салтыков В. А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. – 2011. № 2. С. 53-59.

THE LEVEL OF SEISMICITY ASSESSMENT COMPUTER SYSTEM

© 2013 P. V. Voropaev, V. A. Saltykov, SC. Candidate (Phys.-math.),
Associate Professor

Kamchatka branch of geophysical survey of RAS,
Russia, 683006, Petropavlovsk-Kamchatskiy, 9 Pijpa Boulevard,
e-mail: salt@emsd.ru.

In the geophysical survey of RAS the method of statistical estimation of the level of seismicity SOUS'09 based on the distribution function of seismic energy is developed and gradually implemented.

For expediting estimates a program that allows you to calculate the current level of seismicity for specified seismic catalog is developed. It is possible to build graphs nomogramms and temporal level of seismicity. The numeric values of the calculated results are stored in files which can be used for further processing.

Currently, the program is used to provide status information about the weekly seismicity of Kamchatka in the Kamchatka branch of the Russian Expert Council on earthquake prediction, and to create the online processing of seismological data, determining the current level of seismicity.

Keywords: seismicity, energy, software, methodology, catalog.