

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ УРОВНЯ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕЙСМОАКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ КАМЧАТСКОГО КРАЯ

**Воропаев П.В.**

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский,  
[chicoli@emsd.ru](mailto:chicoli@emsd.ru)*

### Введение

В настоящее время весьма актуальной является задача оперативного получения и представления в интуитивно понятном виде информации о состоянии сейсмичности различных сейсмоактивных областей Камчатского края. Одним из способов решения является использование автоматизированной системы оценки уровня сейсмичности, реализованной в виде компьютерной программы, алгоритм вычислений которой основан на методике Статистической Оценки Уровня Сейсмичности (СОУС'09).

### Методика СОУС'09

Методика СОУС'09 [6] разработана в Камчатском филиале Геофизической службы РАН. Ее основной особенностью является способность в качественных терминах, понятных даже неспециалистам, дать характеристику уровня сейсмичности в заданной пространственно-временной области.

В основе шкалы методики СОУС'09 (рис. 1) лежит статистическая функция распределения логарифма выделившейся сейсмической энергии в качестве параметра, характеризующего уровень сейсмичности заданной пространственной области 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  $lgE$  для заданного временного окна  $\Delta T$ .

Шкала СОУС'09 включает в себя семь градаций: экстремально высокий, высокий, фоновый повышенный, фоновый средний, фоновый пониженный, низкий, экстремально низкий уровень (рис. 1).

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

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.

### 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 статистической оценки уровня сейсмичности по шкале СОУС'09" (Свидетельство о государственной регистрации программы № 2012615123). 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 [1, 2]. Одним из последних нововведений является способность автоматической выборки землетрясений из сейсмического каталога КФ ГС РАН с последующим вычислением уровня сейсмичности для областей с различной пространственной конфигурацией, в том числе заданных в виде эллипса.

### Оценка сейсмичности сейсмоактивных областей Камчатского края

На основании данных Камчатского регионального каталога землетрясений Камчатского филиала геофизической службы РАН (представительный класс  $K_S=8.5$  [7], период наблюдения: 1962-2015 гг.), с использованием вышеописанных программных средств, осуществляется мониторинг сейсмоактивных зон Камчатки (рис. 2), и активных вулканов: Ключевской, Безымянный, Толбачик [4-6]. Наибольшей по площади является Камчатская сейсмоактивная зона (рис. 2 А). Детально уровень сейсмичности рассматривается в локальных эллиптических областях, приуроченных к участкам побережья Камчатки (рис. 2 Б, Таблица 1).

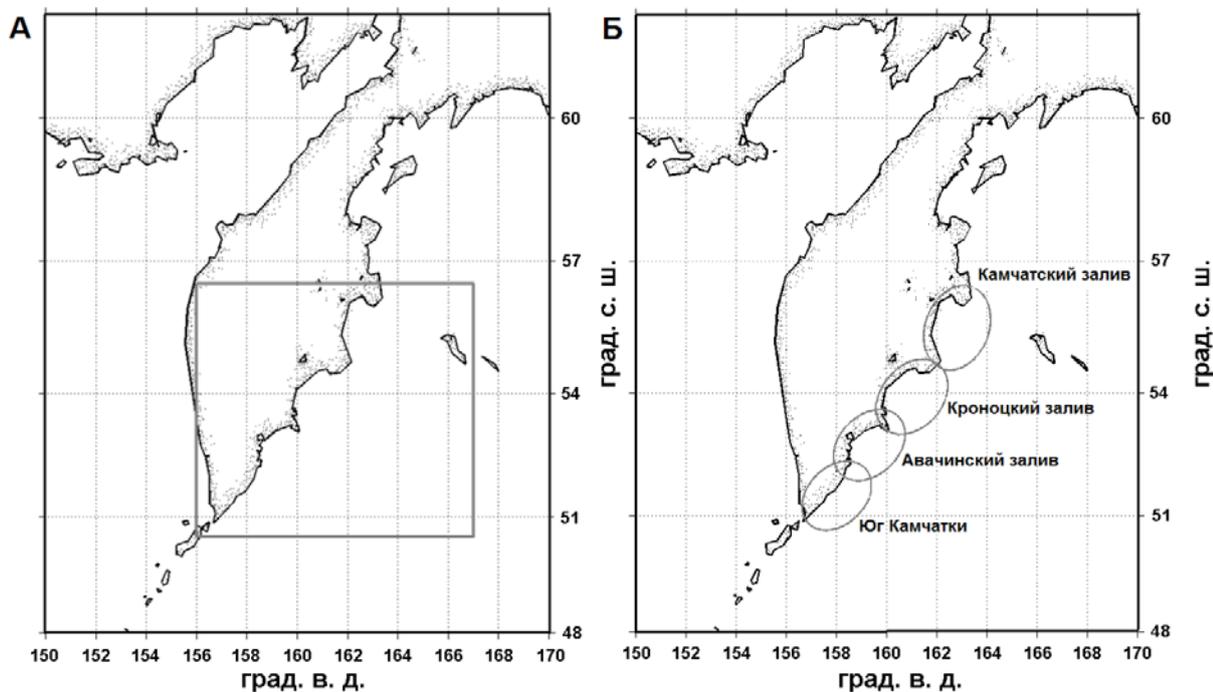


Рис. 2. Примеры сейсмоактивных зон Камчатки, на территории которых осуществляется мониторинг по методике СОУС'09. А – Камчатская сейсмоактивная зона (50.5 – 56 град. с. ш., 156 – 167 град. в. д., глубина 0-300 км); Б – эллиптические области, соответствующие участкам побережья Камчатки (Таблица 1).

Таблица 1. Сейсмоактивные зоны Камчатского края, заданные в виде эллиптических областей.

Зона	Координаты центра, град		Полуось, км		Азимут, град	Глубина, км
	Широта	Долгота	Большая	Малая		
Юг Камчатки	51.5	158	110	80	45	0-200
Авачинский залив	52.75	159.3	110	80	45	
Кроноцкий залив	53.9	161	110	80	50	
Камчатский залив	55.5	162.8	110	80	70	
Юг Камчатки и Авачинский залив	52	158.7	180	100	50	

На рисунке 3 приведен пример графика временного хода уровня сейсмичности для Камчатской сейсмоактивной зоны с января 2014 г. по август 2015 г. Уровнем надежной регистрации для данной зоны является энергетический класс  $K_S=8.5$ . Вычисление производилось для временных окон размером 7, 30, 365 суток. Особенностью данного графика является выход сейсмичности во временном окне 30 суток на экстремально низкий уровень в период с 29 июля по 12 августа 2015 г. с последующим возвратом на фоновый средний уровень.

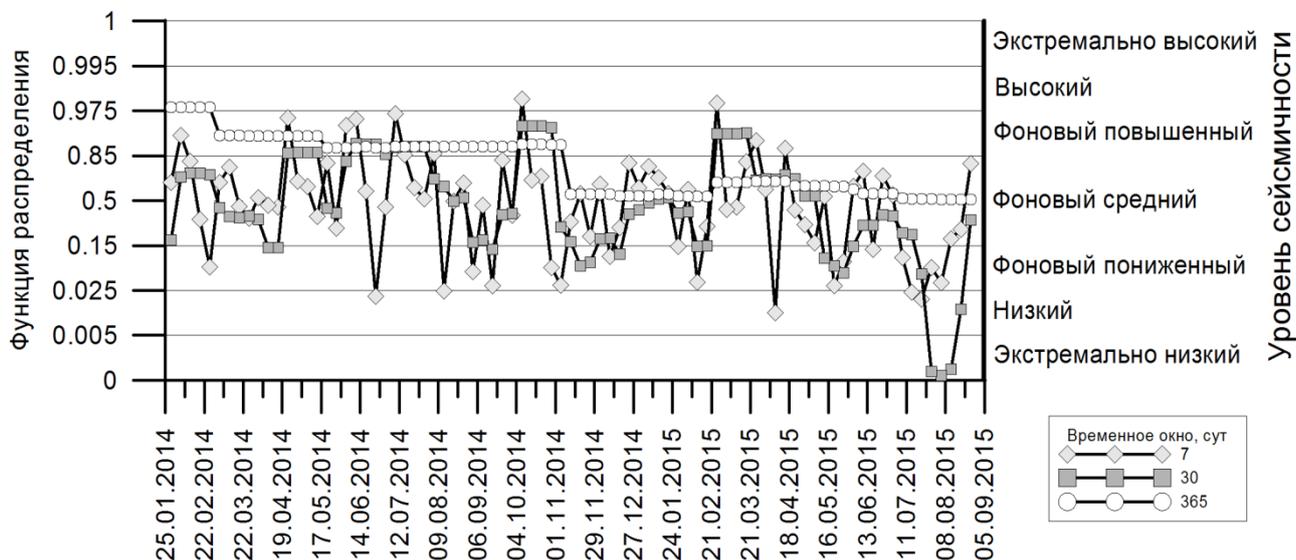


Рис. 3. Пример временного хода уровня сейсмичности Камчатской сейсмоактивной зоны.

Процесс вычисления уровня сейсмичности эллиптических зон аналогичен оценке для Камчатской сейсмоактивной зоны. На рисунке 4 приведен пример графика временного хода уровня сейсмичности для эллиптической зоны юга Камчатки. Вычисление производилось для временных окон размером 7, 30, 365 суток. Особенностью данного графика является выход сейсмичности во временном окне в 7 суток на экстремально высокий уровень, вследствие землетрясения 02.10.2014 г.,  $K_S = 14.0$ .

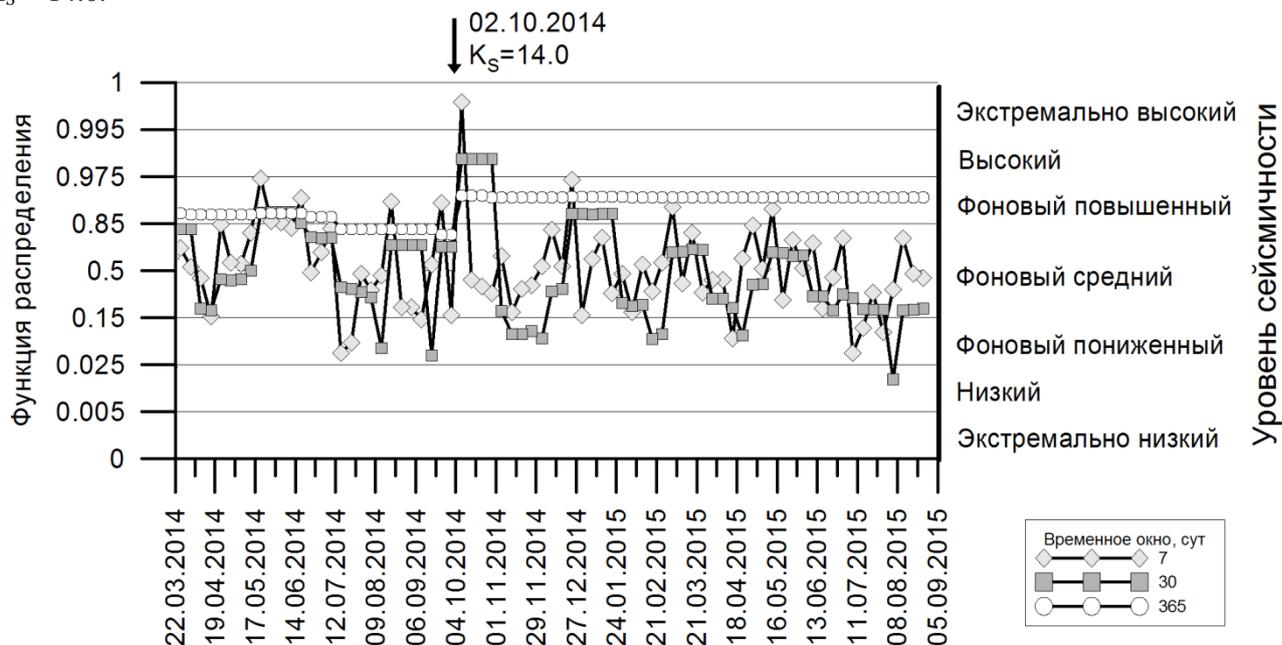


Рис. 4. Пример временного хода уровня сейсмичности в эллиптической зоне юга Камчатки (Таблица 1). Стрелкой обозначено землетрясение 02.10.2014 г.,  $K_S = 14.0$ .

Мониторинг уровня сейсмичности вулканов Ключевской, Безымянный, Толбачик производится с использованием сейсмического каталога Ключевской группы вулканов КФ ГС РАН с 2000 по 2015 гг.

Особенности проявления сейсмичности под вулканом Ключевской таковы, что позволяют выделить два сейсмоактивных объема: 1) на глубине от -5 до 5 км; 2) на глубине от 20 до 35 км, и, как показано в предыдущих исследованиях [3] можно рассматривать сейсмичность выбранных элементов магматической питающей системы Ключевского вулкана независимо друг от друга.

На рисунке 5 представлен пример временного хода уровня сейсмичности Ключевского вулкана для данных сейсмоактивных объемов во временных окнах 7, 15, 30 и 90 суток. В рассматриваемый период времени произошло извержение вулкана длительностью с декабря 2014 г по июнь 2015. Данное извержение сопровождалось незначительной сейсмической активностью на глубинах 20 – 35 км. Сейсмичность глубинах -5 – 5 км во временных окнах 7, 15 и 30 суток выходит на фоновый повышенный уровень в начале извержения, с последующим возвратом на фоновый средний уровень.

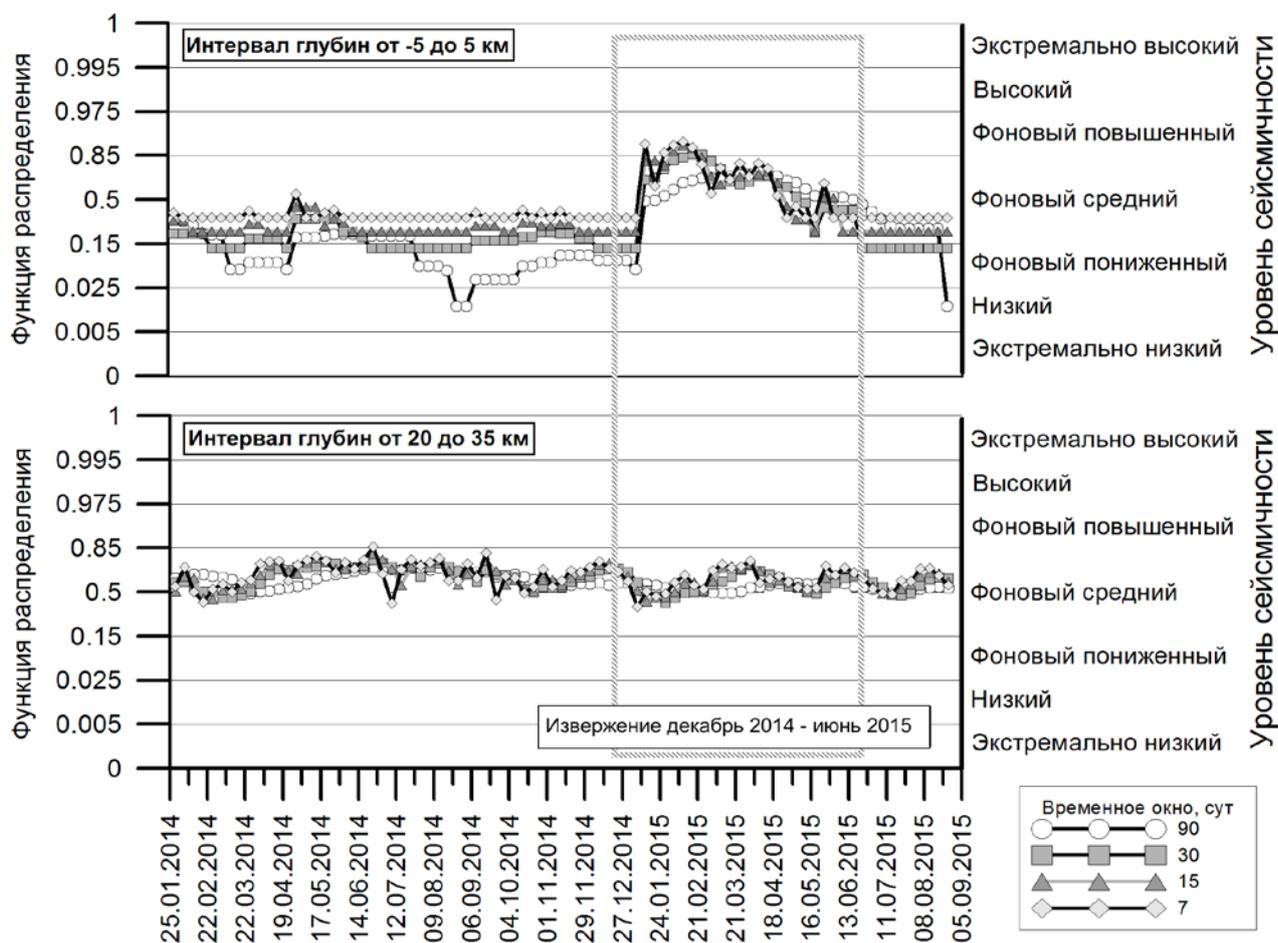


Рис. 5 Временной ход уровня сейсмичности в двух сейсмоактивных объемах на глубинах -5 – 5 км и 20 – 35 км под Ключевским вулканом, включающий в себя период извержения декабрь 2014 – июнь 2015 г.

Сейсмичность вулкана Толбачик, ввиду особенностей связанного с данным объектом сейсмического процесса, рассматривается во временных окнах 15, 30, 60, 90 суток. В начале Трещинного Толбачинского извержения имени 50-летия Института вулканологии и сейсмологии. (ТТИ-50) на вулкане наблюдался выход сейсмичности на экстремально высокий уровень [4]. В процессе извержения уровень сейсмичности плавно снижался, и к настоящему времени он находится на фоновом среднем во всех рассматриваемых временных окнах.

Мониторинг уровня сейсмичности вулкана Безымянный производится во временном окне 5 суток [5]. Последний выход сейсмичности этого вулкана на экстремально высокий уровень наблюдался в сентябре 2012 г, который был связан с извержением 01.09.2012 г. После данного события сейсмичность Безымянного несколько лет пребывала на фоновом среднем уровне, и в августе 2015 наблюдался выход на фоновый повышенный уровень, о чем было сделано

соответствующее сообщение в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений.

### **Заключение**

В Геофизической службе РАН разработана и внедрена методика статистической оценки уровня сейсмичности СОУС'09, в основе которой лежит функция распределения сейсмической энергии. Оценки сейсмичности различных сейсмоактивных областей и вулканических объектов Камчатки проводятся еженедельно.

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 [8].

Помимо мониторинга уровня сейсмичности Камчатского края, данная компьютерная система применяется для различных региональных зон ответственности Геофизической службы РАН, для которых сводки об уровне сейсмической активности составляются ежегодно и с 2009 г. публикуются в научных ежегодниках «Землетрясения России».

Ведется работа по расширению возможностей системы согласно актуальным задачам. Уделяется внимание максимальной автоматизации процесса вычислений и представления результатов в удобной для пользователя форме. В текущую версию программы включена возможность работы с зонами эллиптической пространственной конфигурации, улучшено графическое отображение интерфейса пользователя, а также добавлена функция автоматического обновления данных сейсмического каталога.

### **Список литературы**

1. Воропаев П.В., Салтыков В.А. Программа для статистической оценки уровня сейсмичности в заданной пространственно-временной области. // Труды IV научно-технической конференции "Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России". Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2013. С. 318-322.
2. Воропаев П.В., Салтыков В.А. Вычислительная система оценки уровня сейсмичности // Геология и геофизика Юга России, 2013. № 2. С 18-25.
3. Воропаев П.В., Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Коновалова А.А. Вариации уровня сейсмичности Ключевского вулкана в 2000-2012 гг. (статистическая оценка). // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога. 29 – 30 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 174-178.
4. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Воропаев П.В. Анализ сейсмичности, предварявшей Трещинное Толбачинское извержение 2012-2013 гг. // Землетрясения России в 2012 году. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 82-86.
5. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А., Воропаев П.В. Коновалова А. А. Вариации уровня сейсмичности вулкана Безымянный перед извержениями 2000-2012 гг. Современные методы и интерпретации сейсмологических данных. Материалы Девятой Международной сейсмологической школы Республика Армения, 8-12 сентября 2014. Обнинск: ГС РАН, 2014. С. 188-192.
6. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. №2. С.53-59.
7. Чебров В.Н. Региональная система сейсмического мониторинга // Труды IV научно-технической конференции "Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России". Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН, 2013. С. 8-15.
8. Чебров В.Н., Салтыков В.А., Серафимова Ю. К. Опыт выявления предвестников сильных ( $M \geq 6.0$ ) землетрясений на Камчатке в 1998-2011 гг. по материалам КФ РЭС // Вулканология и сейсмология. 2013. №1. С. 85-95.