

Мониторинг района вулкана Толбачик (Камчатка) по методике СОУС’09: организация, особенности, первые результаты

Салтыков В.А.

Monitoring of the Tolbachik volcano area (Kamchatka) using the SESL’09 method: organization, features, first results

Saltykov V.A.

Камчатский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: salt@emsd.ru

В докладе рассмотрены методические аспекты компактного представления результатов анализа карт уровня сейсмичности (СОУСкарт) по методике СОУС’09, а также непосредственно сами результаты, позволяющие делать выводы о сейсмической активизации/затишье в районе вулканов Плоский Толбачик, Удина, Зимина, Толбачинского дола, реки Толуд.

Введение

Разработанная в КФ ФИЦ ЕГС РАН методика «СОУС’09» [1] позволяет в качественных терминах определить уровень сейсмичности в заданной пространственно-временной области, основываясь на количественном параметре – значении функции распределения сейсмической энергии. Используемая шкала оценки уровня сейсмичности включает в себя пять основных градаций и три дополнительных (рис. 1). Формализация данной процедуры позволяет избежать ряда неоднозначностей при описании, оценке и сравнении сейсмического режима различных объектов.



Рис. 1. Шкала уровня сейсмичности СОУС’09.

Обычно для мониторинга конкретного объекта (например, вулкана) в интересах Камчатского филиала Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений приемлемым является анализ временного хода уровня сейсмичности в зафиксированной пространственной области при различных величинах временного окна dt , который визуализируется единственной СОУСграммой (рис. 2). В настоящее время так ведется мониторинг десяти вулканов Камчатки [2].

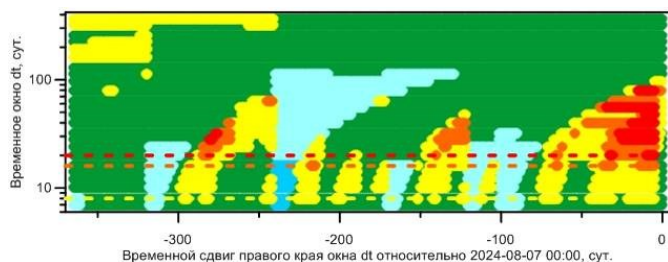


Рис. 2. Пример СОУСграммы. Цветовой код соответствует рис. 1.

Однако существуют ситуации, когда такой подход не дает желаемого результата. Это происходит в случаях 1) значительной миграции областей сейсмической активизации, 2) возникновения новых сейсмических объектов, а также 3) при пространственном перекрытии выделенных ранее объектов.

Для района вулкана Толбачик (рис. 3) характерны все три упомянутые ситуации, осложняющие анализ: 1) для Толбачинского дола характерны проявления моногенного вулканизма, когда активизируются «молчавшие» ранее структуры; 2) в долине р. Толуд отмечаются эффекты типа миграции сейсмичности; 3) достаточно близкое расположение вулканов Толбачик, Удина, Зимина не всегда позволяет корректно соотносить отмечаемые сейсмические аномалии.



Рис. 3. Район сейсмического мониторинга, рассматриваемый в работе.

В этом случае представляется целесообразным использование СОУСкарт. Однако, это с неизбежностью приводит к неприемлемому объему информации на выходе, что требует разработки новых подходов к визуализации результатов.

В докладе рассмотрены методические аспекты компактного представления результатов анализа сейсмичности по методике СОУС'09, а также непосредственно сами результаты, позволяющие сделать вывод о текущей сейсмической активизации вулкана Плоский Толбачик.

Сейсмичность района вулкана Толбачик

Сейсмичность района распределена неравномерно: даже визуально выделяются группы землетрясений, соответствующие вулканам Толбачик, Зимина, Удина (рис. 4б). Наиболее сильные землетрясения происходили в долине р. Толуд (рис. 4а). При этом оконтуривающие группы эллипсы частично перекрываются (рис. 4б), что осложняет интерпретацию.

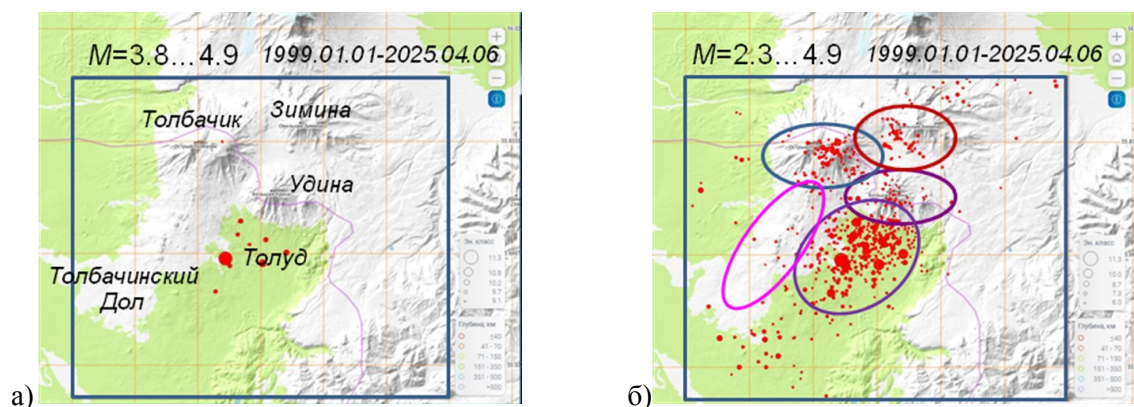


Рис. 4. Карта эпицентров землетрясений 1999-2005 гг. в рассматриваемом районе. а) Относительно сильные землетрясения с магнитудой $M=3.8-4.9$; б) Землетрясения с магнитудой $M \geq 1.8$. Эллипсы оконтуривают зоны группированных землетрясений.

СОУСкарты и их использование

В связи с неоднородностью пространственного распределения сейсмичности, возможности ее мониторинга в пределах рассматриваемого района также неодинаковы. На рис. 5 представлены контуры, в пределах которых возможно сканирование

единичными кругами различного радиуса R , что, в свою очередь, определяет разрешение получаемых построений. Ограничивающим условием является превышение числа представительных землетрясений в единичном круге $n \geq 100$.

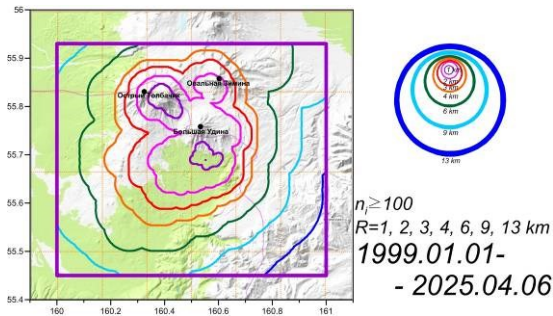


Рис. 5. Контуры мониторинга сейсмичности с различным пространственным разрешением, определяемым радиусом R ячейки сканирования

Очевидно, что в целях мониторинга использование СОУСкарты в представленном на рис. 6 виде практически невозможно из-за большого объема информации: на каждый момент времени для одного временного интервала dt и для одного радиуса R строится отдельная карта. Поэтому необходимо использовать некие обобщающие карты в зависимости от поставленных задач.

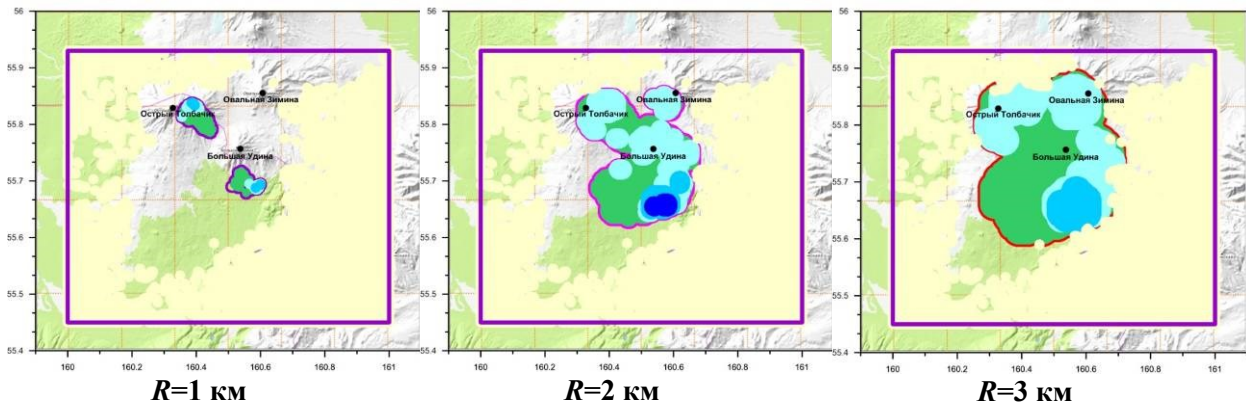


Рис. 6. Пример СОУСкарт: оценки уровня сейсмичности во временном интервале $dt=28$ сут., предшествующем 10 апреля 2025 г., для указанных размеров (радиус R) сканирующей ячейки.

Предполагая, что сейсмическая активизация предваряет вулканическую, целесообразно сосредоточиться на выявлении зон с экстремально высоким и/или высоким уровнем сейсмичности. Тогда возможно построение на конкретную дату t лишь одной карты, демонстрирующей все зоны с заданным уровнем сейсмичности, выявленным хотя бы в одном из всего набора временных интервалов dt и радиусов R (рис. 7а).

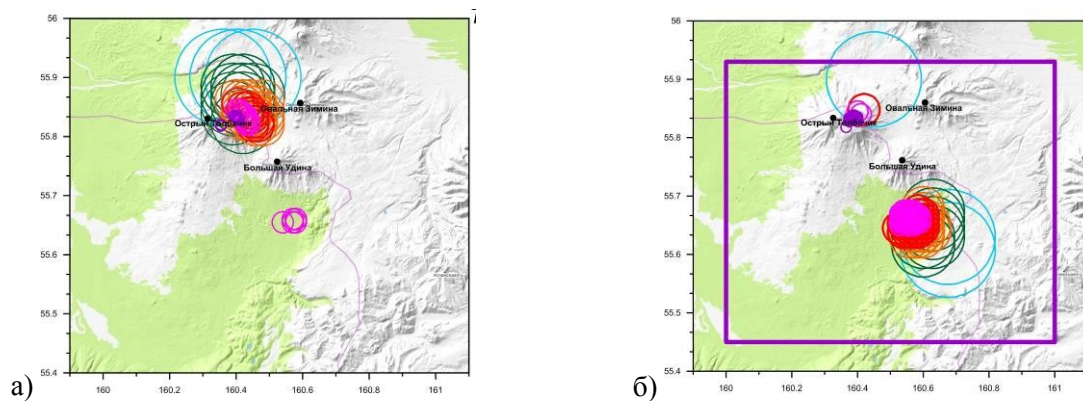


Рис. 7. Примеры карт зон экстремально высокого уровня сейсмичности на конкретную дату (а) и наблюдавшихся в течение 1 месяца (б).

Объединив такие карты для набора t (например, в течение месяца, года), достигается следующий уровень обобщения (рис. 7б), позволяющий определить самые активные объекты. Наиболее простой способ для этого – определить место (точку) наибольшего сгущения аномалий фиксированного радиуса. А затем для этой точки (или точек) построить СОУСграммы. В представленном на рис. 7б примере таких зон две и связываются они с вулканом Плоский Толбачик и с долиной р. Толуд. СОУСграммы для этих зон при нескольких значениях R представлены на рис. 8.

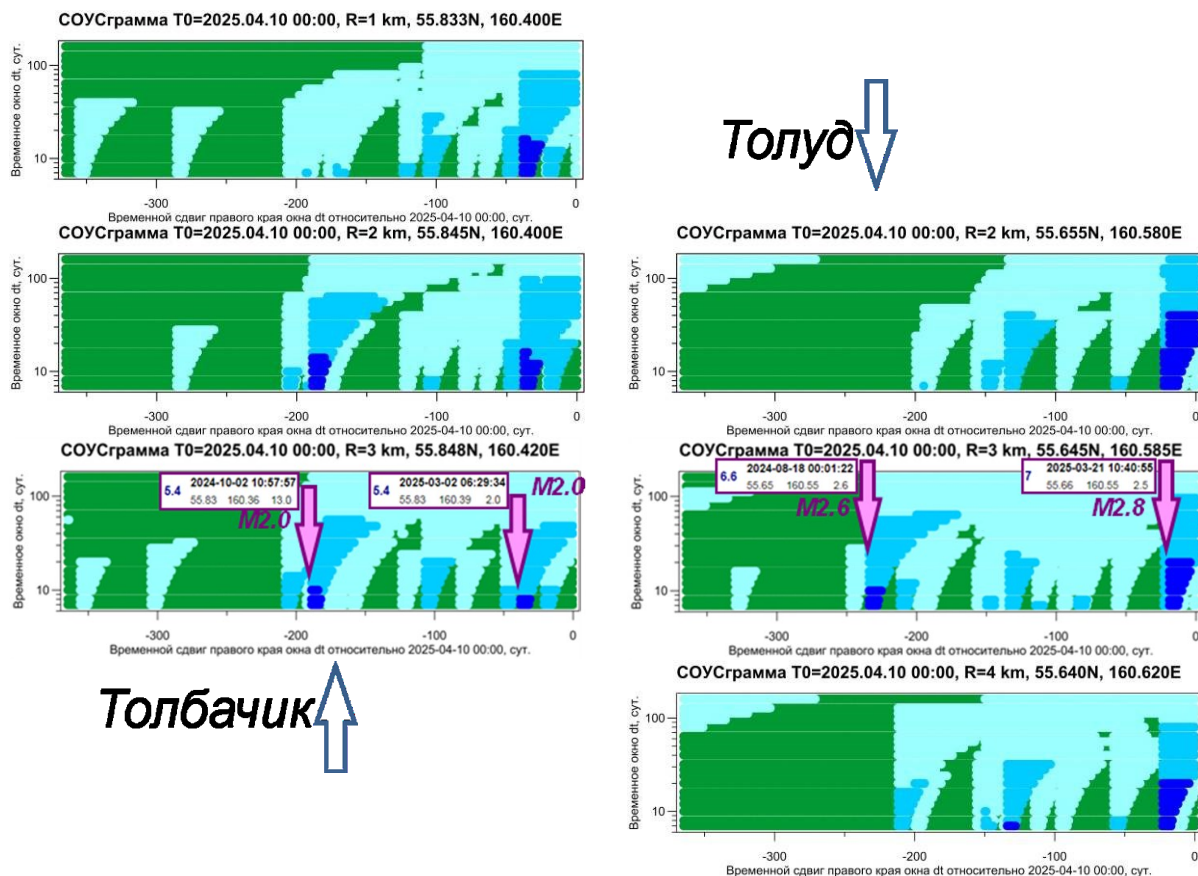


Рис. 8. СОУСграммы, построенные для точек, определенных как максимальное сгущение аномалий экстремально высокого уровня сейсмичности в марте 2025 г. для нескольких значений R . Стрелками отмечены наиболее сильные землетрясения.

Заключение

Сопоставление СОУСграмм для двух пространственно различных зон позволяет сделать вывод о параллельном развитии сейсмических активизаций Плоского Толбачика и Толудской зоны. Это можно рассматривать как основной результат методической в целом работы.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20019 (<https://rscf.ru/project/24-17-20019/>) с использованием данных, полученных на УНУ СИЗК МАК и КНСМ РФ (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>, <http://www.gsras.ru/unu/>).

Список литературы

1. Салтыков В.А. Статистическая оценка уровня сейсмичности: методика и результаты применения на примере Камчатки // Вулканология и сейсмология. 2011. № 2. С. 53-59. <https://doi.org/10.1134/S0742046311020060>
2. Салтыков В.А., Шакирова А.А. Мониторинг состояния вулканов п-ва Камчатка (Россия) на основе статистической оценки уровня сейсмичности // Геология и геофизика. 2026. <https://doi.org/10.15372/GiG2025208>