

УДК 004.9

«RTL АНАЛИЗАТОР» И МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА  
КАМЧАТКЕ

**В.В. Иванов, Н.М. Кравченко**

*Камчатская Опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: [vlad@emsd.iks.ru](mailto:vlad@emsd.iks.ru)*

Известно множество способов среднесрочного прогноза землетрясений, основанных на исследовании вариаций слабой сейсмичности. Предполагается, что в очаге будущего землетрясения может наблюдаться сейсмическое затишье, сменяющееся фазоковой активизацией. Поэтому важным нам представляется оперативная и, по возможности, точная локализация областей, в которых проявляются эти стадии.

Нами были использованы методы, предложенные Соболевым и др. в работе [1]. Поиск сейсмического затишья базируется на расчете прогностического параметра RTL. Он составлен на основе трех функций: эпицентральной  $R$ , временной  $T$  и учитывающей размер очага  $L$ .

Эпицентральная функция  $R$  выражается формулой:

$$R(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{r_i}{r_0}\right) \right] - R_s$$

где  $r_i$  - эпицентральные расстояния от произошедших к моменту  $t$  сейсмических событий до рассматриваемой точки пространства (число этих событий  $n$  ограничивается интервалом времени  $T_{\max}$ , выбираемым экспериментально, и радиусом круговой области  $R_{\max}$ );  $r_0$  - коэф-

фициент, характеризующий степень убывания влияния более удаленных от рассматриваемой точки сейсмических событий.  $R_s$  - поправка на тренд и периодические сезонные вариации.

Временную функцию  $T$  вычисляют в соответствие со следующим соотношением:

$$T(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_s$$

где  $t_i$  - времена  $n$  сейсмических событий в пределах  $T_{\max}$  и  $R_{\max}$ ; коэффициент  $t_0$  характеризует скорость «забывания» предыдущих сейсмических событий по мере их удаления от рассматриваемого момента времени.

Функция размера очага имеет вид:

$$L(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{r_i}\right)^p \right] - L_s$$

где  $l_i$  - размер очагов произошедших к моменту землетрясения сейсмических событий.

Значения функций рассчитываются в окрестности заданной точки пространства в выбранный момент времени  $t$ . Функции приводятся к единичной дисперсии и обычно используются в виде произведения. При этом сейсмическое затишье характеризуется отрицательными значениями параметра RTL по отношению к многолетнему фону.

Земная кора состоит из разнопрочных и разнонапряженных составляющих, следствием чего является появление слабых землетрясений (разрушение блоков сравнительно малой прочности) перед более сильными землетрясениями - так называемая форшоковая активизация. Для локализации зон форшоковой активизации может быть применена методика анализа разницы площадей сейсмогенных разрывов. Вычисляется разница  $\Delta S$  между площадью сейсмогенных разрывов в выбранный момент времени и средним многолетним значением. Площади разрывов оцениваются с использованием соотношения:

$$S = \frac{1}{T_{\max}} \cdot \frac{1}{S_{R_{\max}}} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{\frac{2}{3} \cdot (K_i - K)}$$

На основе описанных алгоритмов был создан программный продукт «RTL-анализатор», обладающий высоким быстродействием и широким спектром функциональных возможностей, простой и удобный в использовании.

«RTL-анализатор» – это многопоточное 32-х разрядное приложение, исполняемое в среде операционной системы Windows. При разработке была произведена оптимизация кода и реализована промежуточная упаковка данных, результатом чего стали скромные аппаратные требования программы. Для работы вполне достаточно компьютера с процессором i486 и объемом оперативной памяти вдвое меньшем, чем объем получаемых результатов вычислений.

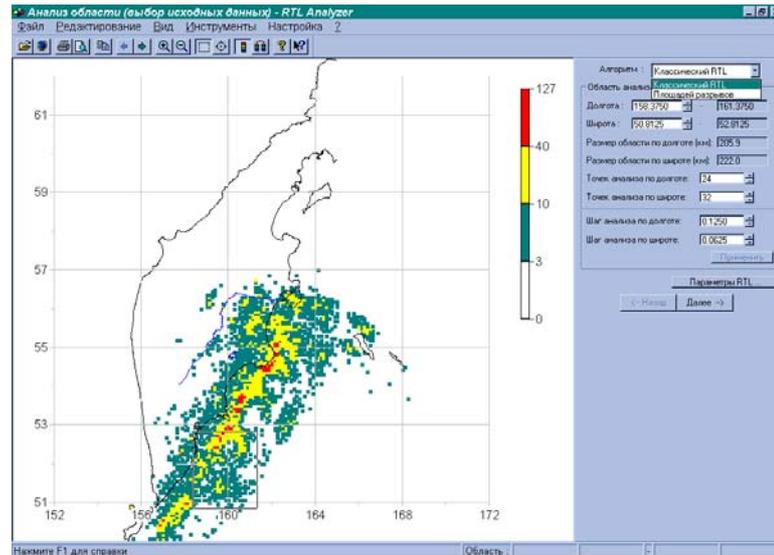


Рис.1. Выбор исходных данных

С точки зрения пользователя «RTL-анализатор» – это визуальная среда с понятным и привычным интерфейсом, все элементы которого контекстно-зависимы, снабжены подсказками и имеют защиту от ввода некорректных данных. Процесс анализа разбит на этапы, выполняя и комбинируя которые пользователь может достичь требуемого результата.

Одной из наиболее интересных возможностей системы является анализ области пространства. Пользователь может визуально, либо, введя соответствующие координаты, выбрать область, в точках которой будет выполнен расчет значений прогностических параметров, после чего перейти к этапу хронологического обзора.

В процессе хронологического обзора на слайде (рис. 2) отображаются значения прогностического параметра в заданный момент времени в выбранной пользователем системе условных обозначений. В программе предусмотрено два типа шкал: абсолютная - когда значения границ диапазонов жестко заданы, и относительная – когда границы определяются диапазоном значений параметров, отображаемых на слайде. Кроме того, пользователь может качественно оценить динамику изменения значений прогностических параметров в точках заданной области, наблюдая цветное анимированное изображение.

В программном продукте предусмотрены и другие средства анализа. Пользователь может, даже не прерывая воспроизведения анимации, выбрать точки, для которых будут построены временные зависимости требуемых прогностических параметров. Точки помечаются специальными полупрозрачными флажками, которые видны и в процессе хронологического обзора. Графики временных зависимостей размещаются в диаграммах, каждой из которых может быть присвоено уникальное имя.

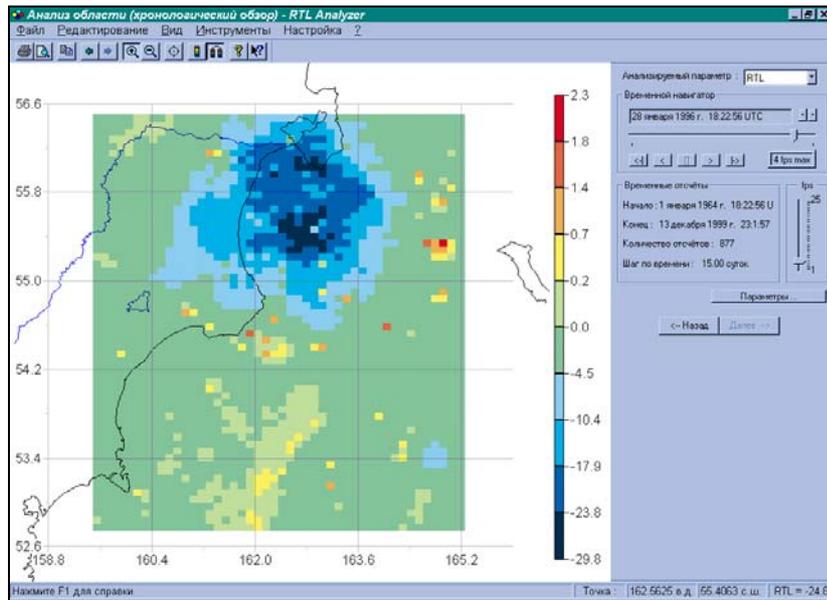


Рис. 2. Режим хронологического обзора

Данные, представленные на диаграммах (рис. 3) могут быть сохранены в виде файлов или экспортированы непосредственно в Microsoft Excel. Диаграммы и слайды, формируемые системой, являются векторными изображениями и могут быть переданы в любое приложение через буфер обмена операционной системы. Кроме того, предусмотрена возможность печати с режимом предварительного просмотра.

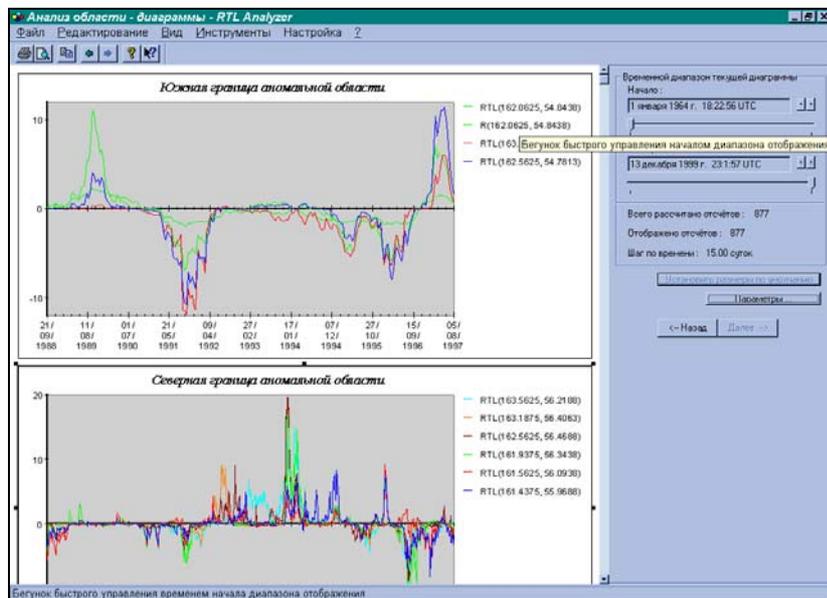


Рис. 3. Режим обработки диаграмм

В программе «RTL анализатор» реализованы гибкие возможности по настройке пользовательского интерфейса, режимов отображения географических карт и шкал, изменению всех параметров алгоритмов расчета. Изменение всех параметров возможно на любом этапе,

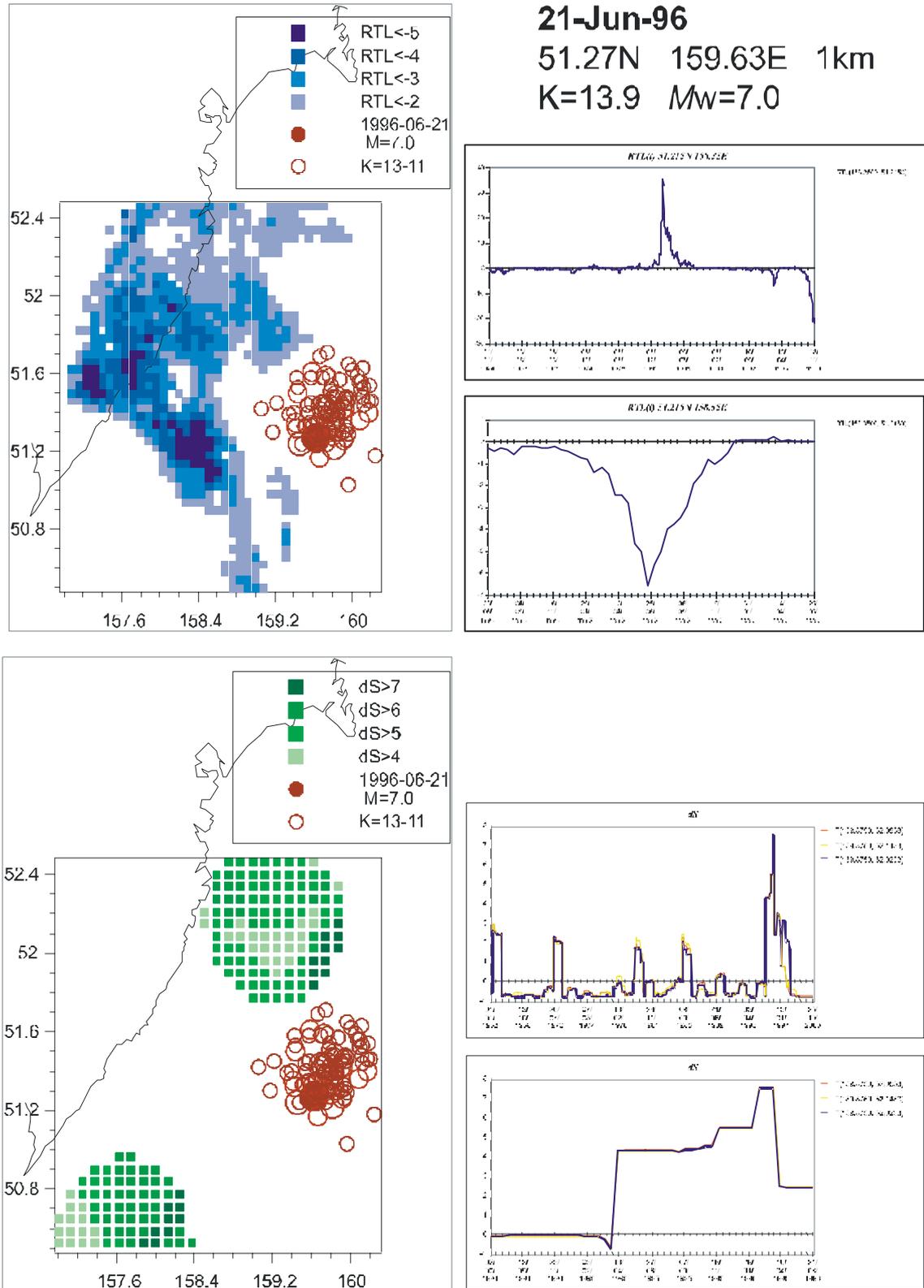


Рис. 4. Ретроспективный анализ для землетрясения 21 июня 1996 года с использованием метода RTL (вверху) и метода анализа разности площадей сейсмогенных разрывов (внизу)

при этом программа сама определит, что необходимо пересчитать и автоматически произведет необходимые действия. «RTL-анализатор» используется в КОМСП с 1999 года. За это время выполнен ретроспективный анализ каталога землетрясений Камчатки с  $M_w \geq 6.0$ , начиная с 1970 года. Было установлено, что в 12 случаях из 29 в интервале до двух лет перед

землетрясением в окрестности его очага может быть достоверно выделена область аномальных значений RTL. Как правило, землетрясения происходили на краю аномальной области в момент выхода значений параметра RTL на уровень многолетнего фона. Минимальные значения RTL для различных землетрясений варьировались от -7 до -40. Длительность интервала между минимумом аномалии и сейсмическим событием составляла от 2 месяцев до 2 лет. Результаты ретроспективного анализа для землетрясения 21 июня 1996 года ( $M_w=7.0$ ) с использованием методов RTL анализа разности площадей сейсмогенных разрывов представлены на рис. 4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 64-74.
2. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Стадии подготовки, сейсмические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С. 17-26.
3. Соболев Г.А. Стадии подготовки сильных Камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4-5. С. 63-72.