

УДК 550.34

СИСТЕМА ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ “RTL-АНАЛИЗАТОР”

В. В. Иванов, В. А. Салтыков

*Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН,
683006, г.Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9, e-mail: salt@emsd.ru*

Аннотация. Рассматривается опыт реализации методик поиска сейсмического затишья и форшоковой активизации, базирующихся на исследованиях вариаций сейсмичности. Для выделения сейсмического затишья использовался метод, предложенный в работе [Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С., 1996] и основанный на алгоритме *RTL*. Для локализации зон форшоковой активизации было применено алгоритмическое решение, построенное на основе анализа разницы площадей сейсмогенных разрывов и являющееся дальнейшим развитием идеи, приведённой в работе [Соболев, Тюпкин, 1998]. Даётся краткое описание рассматриваемых методик. На базе означенных алгоритмов было разработано средство комплексного анализа, представляющее собой программный продукт, исполняемый в среде операционных систем Microsoft Windows 95/98® / Windows NT 4.0®. Особое внимание уделено реализации алгоритмов расчёта.

Подробно рассматриваются основные направления использования и функциональные возможности системы. Приводится краткий обзор возможностей по расширению функциональных возможностей и настройке системы, экспорту/импорту изображений, результатов расчета и координат точек, печати и предварительному просмотру.

Приводятся примеры практического применения разработанной системы.

SOFTWARE TOOLS FOR ANALYSIS OF SEISMICITY “RTL-ANALYZER”

V. V. Ivanov, V. A. Saltykov

*Kamchatkan Experimental and Methodical Seismological department, Geophysical Service, RAS,
683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: salt@emsd.ru*

There are several methods of intermediate-term earthquake prediction based on the investigation of small seismicity variations. It is supposed that a seismic quiescence followed by foreshock activation can be found before earthquake in its epicentral area. Therefore for the earthquake prediction it is important to clearly recognize areas with anomalies of seismic quiescence and foreshock activation.

The technique proposed by Sobolev and Tyupkin (1996) is used to discern areas of seismic quiescence. It is based on calculation of a predictive parameter, *RTL*. Seismic quiescence can be characterized by negative values of the *RTL* parameter in comparison to its perennial background. Analysis of area of seismogenic faults can be used to recognize areas of the foreshock activation [Sobolev, Tyupkin, 1998].

We present the application software specially designed for study of small seismicity variations using *RTL* prognostic parameter and area of seismogenic faults. Anomalies in low magnitude seismicity can be discerned more clearly and precisely using this software. It has interactive visual workspace and easy to use interface. This software has a lot of special features for seismic quiescence area localization and detailed study of the seismic process.

Введение

В практике сейсмологических наблюдений иногда отмечалось, что перед сильным землетрясением наблюдались характерные вариации слабой сейсмичности. Этот эффект лег в основу различных прогнозных методик, ориентированных на выделение в пространстве-времени областей с характерным поведением параметров сейсмичности. Одна из первых методик предложена в работе [6] и базируется на использовании темпа накопления упругой энергии в сейсмических брешах, т.е. участках сейсмоактивной зоны, расположенных между очагами уже произошедших сильных землетрясений. В другой методике [8] формализованно выделяются области сейсмического затишья. В методиках, описание которых мы находим в работах [1,5,7] используются комплексы сейсмологических параметров, включающие ослабление и усиление сейсмической активности, изменение концентрации очагов слабых землетрясений, наклон графиков повторяемости и некоторые другие характеристики сейсмического режима. Статистика применения различных методик свидетельствует о том, что удаётся предсказать отдельные сильные землетрясения с опережением от года до нескольких лет, но при этом не удаётся избежать пропуска целей и довольно значительного количества ложных аномалий.

Результаты ряда сейсмологических исследований свидетельствуют о том, что в очаге будущего землетрясения последовательно сменяют друг друга две стадии сейсмичности: затишье и форшоковая активизация. При этом затишье проявляется значительно чаще, свидетельствуя о накоплении сейсмической энергии, без которой невозможно землетрясение. Предполагается, что описанные эффекты проявляются сильнее в непосредственной близости к очагу будущего землетрясений и по мере приближения к моменту его возникновения. Используемая в данной работе методика поиска сейсмического затишья построена на базе алгоритмов RTL и ΔS , предложенных в работе [3,4].

Базовые сведения

Прогностический параметр RTL составлен на основе анализа трёх функций: эпицентральной R , временной T и учитывающей размер очага землетрясения L [3]. Значения RTL рассчитаны в окрестности точки пространства, характеризуемой координатами x, y, z в момент времени t .

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 - коэффициент, характеризующий степень убывания влияния более удалённых от рассматриваемой точки сейсмических событий. После вычисления стоящего в квадратных скобках выражения в него может быть введена поправка R_s 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, вычисляемые по эмпирическому соотношению между размером очага и энергетическим классом. За основу принято соотношение, приведённое в [2]:

$$\lg(l_i) = 0.244 \cdot K_i - 2.266$$

Если показатель степени $p=1$, то вклад каждого конкретного землетрясения пропорционален отношению линейного размера очага к эпицентральному расстоянию. При $p=2$ или 3 он пропорционален, соответственно, отношению площадей и объёмов. При значении $p=0$ все произошедшие землетрясения вносят равный вклад без учёта размеров их очагов.

Функции R , T и L безразмерные и приводятся к единичной дисперсии для удобства их использования в различных комбинациях. В рассматриваемом случае для анализа сейсмической обстановки используются рассмотренные выше функции как по отдельности, так и в виде их произведения. В этом случае сейсмическому затишью приписывается уменьшение прогностического параметра RTL , а форшоковой активизации - повышение его значения после минимума. Одним из преимуществ алгоритма RTL при поиске аномалий сейсмического затишья и форшоковой активизации, по мнению авторов методики, является его высокая чувствительность по отношению к вариациям многолетнего фона.

Форшоковая активизация, судя по её физическому смыслу, должна наблюдаться в непосредственной близости от очага будущего сильного землетрясения. Для её выявления может быть применён алгоритм, построенный на основе анализа разницы площадей сейсмогенных разрывов [4]. Вычисляется разница ΔS между накопленной площадью сейсмогенных разрывов в пределах круговой области радиусом R_{\max} за последний перед анализируемым моментом промежуток времени T_{\max} и средним многолетним значением. Затем полученная разница нормируется на среднеквадратичное отклонение. Площади разрывов оцениваются с использованием соотношения:

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

где K_i - энергетический класс текущих событий; $S_{R_{\max}} = \pi \cdot R_{\max}^2$ - площадь рассматриваемой круговой области. Параметр ΔS показывает превышение площади накопленных за анализируемый интервал времени разрывов по сравнению с многолетним фоном предыдущего периода.

В данной работе была предпринята попытка создания на основе описанных выше алгоритмов средства комплексного анализа сейсмической обстановки, которое бы в наиболее полной степени удовлетворяло всем потребностям пользователей, было простым в использовании, допускало дальнейшее расширение функциональных возможностей и обладало бы максимально возможным быстродействием. Именно таким средством является предлагаемая система оценки сейсмической опасности "RTL-анализатор", представляющая собой программный продукт, исполняемый в среде операционной системы Windows. Система снабжена интуитивно-понятным пользовательским интерфейсом, использующим широкий спектр элементов, значительно упрощающих работу. Следует особо отметить, что рассматриваемый продукт представляет собой многопоточное приложение, в полной мере использующее возможности по организации многозадачности операционной системы; множество действий, связанных с обработкой данных, выполняются параллельно, при этом поток пользовательского интерфейса используется для управления и организации взаимодействия с пользователем. Разработка была выполнена на языке программирования C++.

Так как возможности “*RTL*-анализатора” и действия пользователя при расчете параметров *RTL* идентичны, то все ниже написанное для *RTL* остается в силе и при расчете вариаций площадей сейсмогенных разрывов.

Минимальная и рекомендуемая конфигурация аппаратных средств

Для обеспечения нормального функционирования системы оценки сейсмической опасности необходимо, чтобы аппаратное обеспечение (персональный компьютер) соответствовало следующим требованиям:

| | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Процессор | Intel 80486DX2 – 66 |
| ОЗУ | 16 Мб |
| Видео | Super VGA 512 Кб (800x600x8 бит) |
| Операционная система | Windows 95 или Windows NT 4.0 |
| Объем свободного пространства на диске | 2Мб (что включает в себя объём, необходимый для размещения самого программного продукта, а также используемых в работе географических карт и каталогов землетрясений (без учёта места, необходимого для размещения файла подкачки операционной системы)). |

Однако рекомендуемой конфигурацией является следующая:

| | |
|----------------------------------------|---------------------------------------|
| Процессор | Intel Pentium 233MMX |
| ОЗУ | 128 Мб |
| Видео | Super VGA 2 Мб (1024x768x16 бит) |
| Операционная система | Windows 95/98 или Windows NT 4.0/2000 |
| Объем свободного пространства на диске | 3 Мб |

В этом случае быстродействие системы находится на стабильно высоком уровне, объёма оперативной памяти достаточно для выполнения практически любых задач.

Основные функциональные возможности системы

На начальной стадии анализа пользователю предлагается визуальное представление уровня сейсмичности рассматриваемой области пространства в выбранном масштабе с возможностью настройки различных параметров отображения.

На основе представленной информации, либо руководствуясь иными соображениями, пользователь может визуально выбрать интересующие его точки пространства, для которых и будет произведён расчёт значений прогностических функций с использованием выбранного пользователем алгоритма. Отчёты по времени выбираются с некоторым шагом анализа за весь период наблюдений (за всю длину каталога землетрясений). Рассматриваемый режим точечного анализа предназначен в основном для исследования сейсмической обстановки в заранее выявленных характерных точках пространства. Рассчитанные значения визуализируются в виде графиков соответствующих функций. Пользователю предоставляется возможность самостоятельно, в соответствии с конкретными потребностями, сформировать набор диаграмм, в каждой из которых разместить один или несколько графиков требуемых зависимостей. Необходимо отдельно отметить, что предусмотрена возможность вручную задать координаты анализируемых точек, настроить все параметры алгоритма расчёта, а также выбрать цвета, используемые при отображении графиков зависимостей на диаграммах. После выполнения расчёта пользователю предоставляется для анализа совокупность заданных им диаграмм с возможностью выбора отображаемого промежутка времени.

Необходимо особо остановиться на реализации алгоритмов расчёта. Благодаря применению оптимизационных решений, а также оптимизации кода, удалось достичь значительного прироста производительности. Так время выполнения расчёта значений функций R , T и L в точке пространства с использованием применённой реализации алгоритма составляет для персонального компьютера класса Pentium-166 не более 50-70 мс (с учётом затрат системных ресурсов на визуализацию состояния расчёта), что

более чем на порядок меньше времени, затраченного при использовании программы для расчёта “в лоб” значений *RTL* в точке пространства. Следует также отметить особенность используемого в “*RTL-анализаторе*” алгоритма - время расчёта определяется только длиной каталога землетрясений (количеством событий) и не зависит от установленного значения шага по времени, кроме того применённый алгоритм обладает повышенной устойчивостью к малым значениям временного шага. Благодаря достигнутому уровню производительности появилась возможность выполнять анализ не только отдельных точек, но и целых областей пространства, в этом случае возможности по анализу ограничены лишь объёмом оперативной памяти используемого персонального компьютера.

Существует также и альтернативный подход к анализу сейсмической обстановки. На основе представленной информации об уровне сейсмической активности пользователь может визуально выбрать область пространства для дальнейшего анализа. Расчёт значений прогностических параметров производится в точках области, выбираемым с заданным шагом. Пользователь может самостоятельно изменять размеры области, шаг анализа, задавать местоположение области вручную, выбрать используемый при расчёте алгоритм, а также настроить все его параметры.

В процессе производства вычислений пользователь может визуально контролировать текущее состояние расчётного модуля, а также в любой момент прервать вычисления. В результате расчёта система предлагает пользователю визуальное изображение значений выбранных параметров в точках области в заданный момент времени. Пользователь может выбирать масштаб изображения, параметр для визуализации (*R*, *T*, *L* или *RTL*) и момент времени, а также воспроизвести анимированное изображение динамики изменения значений прогностических параметров. Пользуясь встроенными в систему средствами, пользователь может выделить аномалии значений параметров, определить их границы и области пиковых значений, измерить времена жизни аномалий. На основании данных хронологического обзора пользователь может визуально выделить интересующие его точки, в которых произвести детальный анализ посредством построения диаграмм. В данном случае выполнение расчёта в точках не требуется и заданная пользователем структура диаграмм будет представлена немедленно.

Изначально система оценки сейсмической опасности “*RTL-анализатор*” разрабатывалась применительно лишь к алгоритму *RTL*, что наложило некоторые ограничения на возможность расширения; так встраиваемый алгоритм должен быть построен на принципе расчёта значений совокупности пространственных, временных или пространственно-временных функций и допускать принятую в “*RTL-анализаторе*” визуализацию результатов. Алгоритм, базирующийся на основе анализа разности площадей сейсмогенных разрывов, был встроен в систему в процессе развития последней. Следует, однако, отметить, что возможность по расширению функциональных возможностей посредством встраивания дополнительных алгоритмических модулей, предусматривалась в системе изначально.

Полученные в процессе работы “*RTL-анализатора*” результаты доступны для вторичного использования, для этого в систему введены режим печати, снабжённый возможностью предварительного просмотра, возможность передачи изображений в векторном виде посредством буфера обмена операционной системы. Кроме того, имеется возможность экспорта результатов расчёта в различные приложения-приёмники, для чего программный продукт имеет встроенный контроллер OLE автоматизации.

Имеется также возможность повторного использования созданной пользователем структуры диаграмм (совокупности анализируемых точек), для чего система снабжена средствами для экспорта/импорта структуры диаграмм и координат анализируемых точек в текстовый файл. Данная возможность значительно облегчает периодический контроль совокупности характерных точек.

Интерфейс пользователя системы

Система оценки сейсмической опасности “*RTL*-анализатор” снабжена интуитивно понятным пользовательским интерфейсом, использующим широкий спектр возможностей, предоставляемых графическим интерфейсом пользователя (GUI) операционной системы Windows. Общий вид главного окна приложения представлен на рисунке 1.

Интерфейс пользователя построен на основе следующих базовых элементов: выпадающее и контекстные меню, панель инструментов, диалоговая панель и строка состояния. Выпадающее меню и панель инструментов расположены, по умолчанию, в верхней части окна, диалоговая панель - в правой, а строка состояния - в нижней частях окна. Меню, панели инструментов и строка состояния являются контекстно-зависимыми и изменяют свою геометрию, состав и функциональные свойства в зависимости от текущего состояния процесса анализа. Элементы всех панелей системы снабжены всплывающими подсказками и краткой справкой в строке состояния, которые появляются автоматически при наведении указателя мыши на соответствующий элемент; кроме того, на кнопки панели инструментов нанесены интуитивно-понятные изображения. В строке состояния помимо кратких справок отображается информация, специфичная для выбранного в настоящий момент рабочего инструмента.

Пользователь может самостоятельно, в соответствии с индивидуальными потребностями, настроить геометрию и местоположение панели инструментов, имеется также возможность отключения панели инструментов и/или строки состояния; все внесённые в настройки интерфейса изменения сохраняются автоматически при завершении работы с системой и восстанавливаются автоматически при повторном запуске.

Взаимодействие пользователя с системой построено по принципу “Мастер анализа”: процесс анализа разбит на определённые этапы, последовательное выполнение которых приводит к получению конечного результата. Переход между соседними эта-

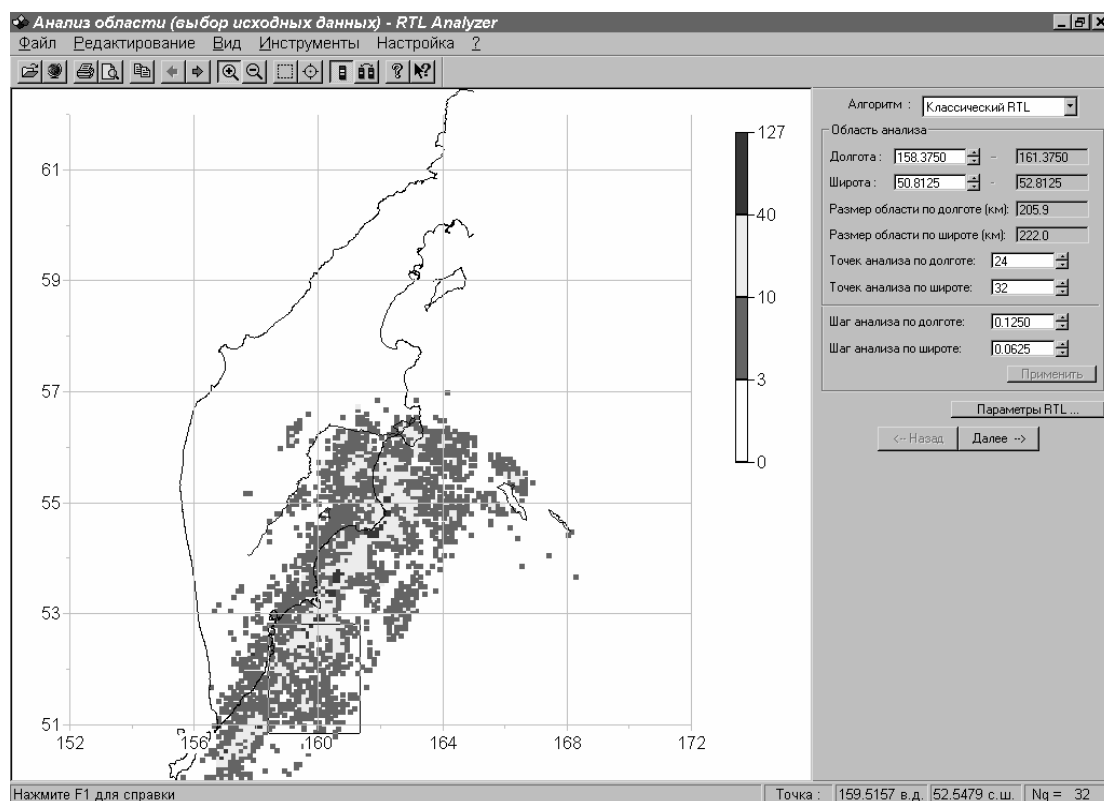


Рис. 1. Общий вид главного окна системы “*RTL*-анализатор”.

Fig. 1. General view of the main window of the system “*RTL*-analyzer”.

пами возможен только после задания всех необходимых исходных данных и осуществляется посредством нажатия кнопок “Вперёд” и “Назад” панели инструментов или диалоговой панели, либо выбором соответствующего пункта выпадающего или контекстного меню. Предусмотрена множественность режимов работы, различающихся как по виду представления окончательных результатов, так и по совокупности и последовательности этапов анализа.

Все элементы интерфейса, связанные с пользовательским вводом, имеют защиту, надёжно предохраняющую расчётные модули от ввода некорректных данных.

Клиентская область главного окна приложения (Рис. 1) содержит слайд - графическую информацию, необходимую пользователю на текущем шаге анализа. На слайде может быть представлена как информация, нанесённая на географическую карту, так и различные диаграммы.

Настройка всех параметров системы производится при помощи унифицированного диалога, содержащего набор листов свойств. Имеется возможность применения внесённых в параметры изменений без закрытия диалога, что позволяет достичь наибольшего удобства при настройке параметров.

Основные направления и режимы анализа сейсмической обстановки

Процесс анализа сейсмической обстановки при помощи “RTL-анализатора” разбит на совокупность этапов, на каждом из которых пользователь должен выполнить необходимые действия, приводящие, в конечном итоге, к получению результата. Существует также два различных направления анализа, для каждого из которых характерен свой набор этапов. Для облегчения понимания дальнейшего изложения сформулируем характерные черты доступных направлений анализа, а также приведём перечень существующих им этапов.

Анализ совокупности точек (точечный анализ)

Пользователь определяет совокупность точек пространства, в которых будет произведён расчёт значений прогностических функций. Для анализа результатов пользователь формирует набор диаграмм, на каждой из которых размещает графики прогностических функций в выбранных точках области. Рассматриваемому режиму характерны следующие этапы анализа:

1) Выбор исходных данных - выбор точек анализа. На данном этапе пользователь создаёт структуру диаграмм, добавляя в них графики требуемых функций в заданных им точках области, производит, при необходимости, выбор алгоритма и настройку его параметров. Выбор анализируемых точек возможен как визуально, так и путём указания географических координат.

2) Обработка диаграмм. На рассматриваемом этапе пользователь анализирует приведённые на диаграммах данные, задаёт промежутки времени, отображаемые на диаграммах, при необходимости производит экспорт результатов расчёта. На данном этапе возможен возврат к предыдущему шагу, при этом все внесённые в настройки системы изменения, а также созданная пользователем структура диаграмм сохраняются.

Анализ области пространства

При использовании данного режима пользователь может выбрать для исследования область пространства, в точках которой будет произведён расчёт значений прогностических функций за весь период наблюдений (длину каталога). В результате расчёта пользователь получает возможность хронологического анализа динамики изменения значений прогностических параметров в точках области, на основе чего сформировать набор характерных точек, для которых и произвести точечный анализ без выполнения дополнительных вычислений. Для этого режима характерны следующие этапы анализа:

1) Выбор исходных данных - выбор области анализа. На данном этапе пользователь выбирает область пространства заданных размеров для последующего анализа. Задания географического местоположения области возможно как визуально, так и вручную.

Имеется возможность установить требуемые размеры области, шаг анализа, а также выбрать алгоритм и настроить его параметры.

2) Хронологический обзор. Выбор анализируемых точек. На этапе хронологического обзора пользователь может при помощи различных средств проанализировать динамику изменения значений рассчитанных параметров во времени, выделить области аномальных значений, определить их границы, области пиковых значений, а также измерить “глубины” аномалий и времена их жизни. На данном этапе возможен возврат к предыдущему шагу анализа, например, для коррекции параметров области.

3) Выбор анализируемых точек. На данном этапе пользователь создаёт структуру диаграмм, добавляя в них графики требуемых функций в выбранных точках области. Во многом рассматриваемый этап аналогичен выбору исходных данных в режиме точечного анализа за исключением невозможности точного задания координат точек.

4) Обработка диаграмм. На рассматриваемом этапе пользователь анализирует приведённые на диаграммах данные, задаёт промежутки времени, отображаемые на диаграммах, при необходимости производит экспорт результатов расчёта. На данном этапе возможен возврат к предыдущему шагу с сохранением всех настроек и заданной структуры диаграмм.

Изменение параметров алгоритма расчёта возможно на любом шаге анализа, при этом, в случае необходимости, система предложит пользователю повторить расчёт значений для применения внесённых изменений. Данное обстоятельство открывает широкие возможности по варьированию параметров алгоритма в соответствии с особенностями сейсмического режима рассматриваемого региона.

Выбор исходных данных, анализ сейсмической активности исследуемой области. Возможности системы по работе с географическими картами

На этапе выбора исходных данных клиентская область главного окна “*RTL-анализатора*” содержит изображение слайда, характеризующего уровень сейсмической активности анализируемой области пространства (Рис.1).

Метод определения уровня сейсмической активности в точках анализируемой области может быть формализован следующим образом: производится разбиение области анализа на ячейки с заданными геометрическими размерами, для каждой из ячеек производится расчёт уровня сейсмической активности. Под уровнем сейсмической активности в данном случае понимается общее за весь период регистрации (за всю длину каталога землетрясений) количество событий, эпицентры которых принадлежат анализируемой ячейке. Значения уровня сейсмической активности в ячейках анализируемой области отображаются на слайде в выбранной системе условных обозначений. Поля “*Шаг анализа по долготе*” и “*Шаг анализа по широте*” содержат значения геометрических размеров ячеек, которые могут быть заданы или скорректированы пользователем.

На слайд также наносится изображение выбранной географической карты. Используемая системой карта состоит из секций, содержащих отдельные элементы (острова, реки, озёра и т.д.), что открывает возможность выбора уровня детализации отображения географической карты. Данный подход был реализован в виде листа свойств (Рис. 2), позволяющего также управлять отображением на слайде координатной сетки.

Масштаб изображения, представленного на слайде, может быть выбран пользователем при помощи двух основных инструментов - “*Увеличительное стекло*” и “*Уменьшающее стекло*”. Применение инструмента “*Увеличительное стекло*” приводит к уменьшению области, отображаемой на слайде и, соответственно, увеличению изображения. Действие инструмента “*Уменьшающее стекло*” обратно описанному выше.

При представлении на слайдах пространственных координат используется прямоугольная координатная система, масштабы по широте и долготе приводятся автоматически с использованием значения географической широты точки, расположенной в центре отображаемой области.

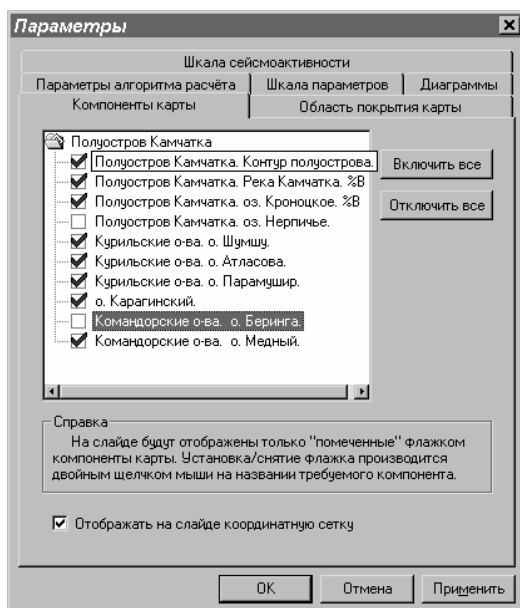


Рис. 2. Выбор уровня детализации отображения географической карты.

Fig. 2. Choice of the map components.

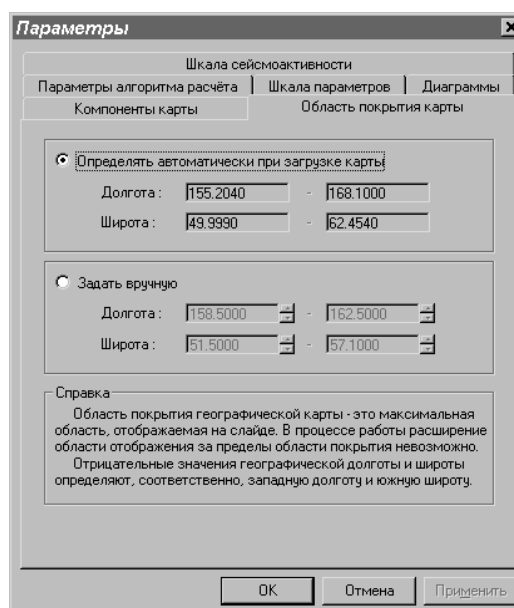


Рис. 3. Выбор области покрытия географической карты.

Fig. 3. Choice of the depicted area.

Максимальная область, которая может быть отображена на слайде, называется областью покрытия; по умолчанию значения её границ определяются автоматически в соответствии с областью охвата используемой географической карты. При помощи специализированного листа свойств (Рис. 3) пользователю предоставляется возможность выбрать режим определения области покрытия и/или задать вручную наиболее предпочтительные значения её границ.

При визуализации значений сейсмической активности используется шкала значений, отображаемая в правой части слайда. Пользователю предлагается на выбор абсолютная и относительная шкалы, переключаемые при помощи соответствующих кнопок панели инструментов.

Под абсолютной шкалой значений понимается шкала, значения границ отрезков которой жестко заданы в единицах отображаемого параметра. Под относительной шкалой значений понимается такая шкала, значения границ отрезков которой определяются в зависимости от диапазона значений отображаемого параметра, представленных в данный момент на слайде.

В случае относительной шкалы сейсмической активности значения границ диапазонов заданы в долях максимального значения уровня параметра, представленного на слайде. Таким образом значения границ отрезков зависят как от текущего масштаба изображения и геометрических размеров ячеек, так и от особенностей сейсмического режима отображаемой на слайде области. Для настройки шкал сейсмической активности предназначен лист свойств (общий вид которого представлен на рис.4), позволяющий задать не только значения границ отрезков шкал, но и выбрать цвета, используемые при визуализации значений.

Рассмотренная реализация метода визуализации информации о сейсмической активности введена в систему лишь с информационной целью и не претендует на полноту представления сейсмического режима анализируемой области пространства.

В соответствие с принятыми в процессе разработки системы приоритетами, основным режимом является анализ выбранной области. Под анализом области понимается следующее: выбранная пользователем область анализа разбивается на ячейки заданного размера (значения полей «Шаг анализа по долготе» и «Шаг анализа по широте»); значению рассчитываемого параметра в ячейке анализа приписывается значение в точке,



Рис. 4. Настройка шкал сейсмической активности.

Fig. 4. Setup of the seismic activity bar.

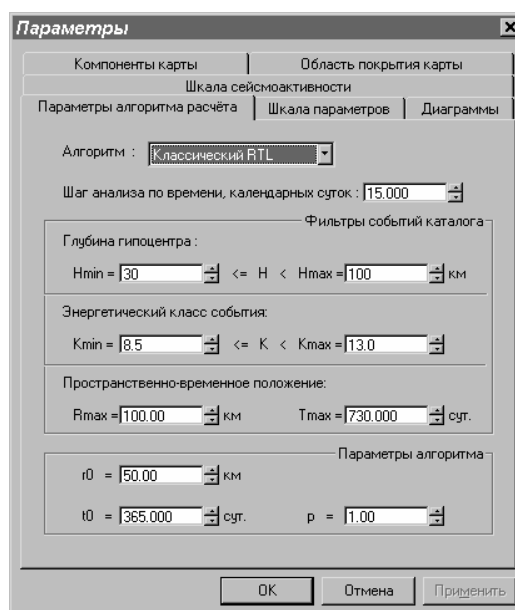


Рис. 5. Настройка параметров алгоритма расчёта.

Fig. 5. Setup of algorithm parameters.

равноотстоящей от границ рассматриваемой ячейки (значение в центре ячейки). Геометрические размеры анализируемой области, выраженные в шагах анализа (размерах ячейки), содержатся в элементах “Точек анализа по долготе” и “Точек анализа по широте”.

Визуальный выбор области для анализа возможен при помощи специализированного рабочего инструмента “Выбор области анализа”. Возможно также ручное задание границ и размеров области, которое осуществляется путём ввода и/или корректировки значений в соответствующих полях диалоговой панели.

Следует отметить, что при помощи диалоговой панели пользователь может выбрать из представленного списка алгоритм, который будет использован при расчёте значений в точках области, а также перейти непосредственно к настройке алгоритма, осуществляемой при помощи соответствующего листа свойств (Рис.5), содержащего исчерпывающий набор средств для задания параметров используемого алгоритмического модуля.

Кроме того, клиентская область главного окна системы снабжена контекстным меню, позволяющим простым нажатием правой кнопки мыши выполнить большинство необходимых в данный момент действий, таких как переключение рабочих инструментов и шкал, изменение режима анализа, а также произвести настройку различных параметров системы.

Результатом выбора области и, при необходимости, настройки алгоритма, является переход к следующему шагу анализа.

Перед выполнением расчёта система запрашивает у пользователя подтверждение, общий вид которого представлен на Рис. 6, содержащее помимо исчерпывающих сведений о заданной области и параметрах расчёта ещё и объём памяти, необходимый системе для размещения полученных данных, что позволяет соизмерить возможности используемого персонального компьютера с требуемым для работы с областями заданных размеров объёмом системных ресурсов.

В случае получения от пользователя подтверждения, система производит расчёт значений анализируемых параметров в точках заданной области. Расчётный алгоритмический модуль выполняется в виде параллельного потока. В процессе выполнения расчёта поток пользовательского интерфейса системы осуществляет визуализацию текущего состояния расчётного потока (Рис.7). Нажатие кнопки “Отмена” в диалоге

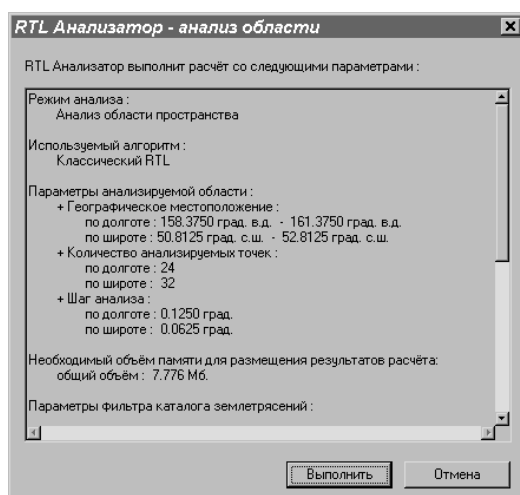


Рис. 6. Общий вид диалога подтверждения выполнения расчёта.

Fig. 6. General view of the calculation parameter confirmation.

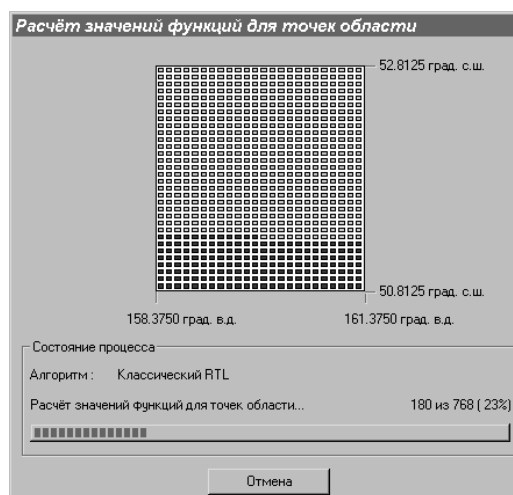


Рис. 7. Общий вид диалога контроля состояния расчёта.

Fig. 7. General view of the calculation state control dialogue.

(Рис.7) приводит к передаче расчётному потоку команды на завершение, что позволяет пользователю в любой момент прервать выполнение расчёта.

Хронологический анализ динамики изменения значений расчётных параметров в точках области

Результатом работы расчётного алгоритмического модуля является переход системы к следующему шагу - хронологическому анализу динамики изменения значений расчётных параметров в точках области пространства (хронологическому обзору). Данный этап является одним из двух основных режимов представления результатов анализа.

Как было отмечено выше, все элементы управления приложения являются контекстно-зависимыми и изменяют свою геометрию, состав элементов и функциональные свойства в соответствии с текущим состоянием процесса анализа. Таким образом, на каждом этапе анализа пользователю предлагается специализированный набор элементов управления. Общий вид главного окна приложения, характерный для режима хронологического обзора представлен на Рис. 8.

В рассматриваемом режиме работы в клиентской области окна отображаются значения выбранного пользователем параметра в заданный им момент времени в точках области анализа в соответствии с принятой системой условных обозначений.

Остановимся подробнее на элементах управления, характерных для данного этапа анализа. В верхней части диалоговой панели имеется выпадающий список, при помощи которого пользователь может выбрать параметр, значения которого будут визуализированы на слайде. Непосредственно под элементом списка располагается информационное текстовое поле, отображающее момент времени, соответствующий отображаемым на слайде значениям. Ниже текстового элемента имеется бегунок управления временем, позволяющий пользователю наиболее удобно и быстро выбрать требуемый временной отсчёт.

Одним из примечательных потребительских свойств системы “RTL-анализатор” является возможность визуально проследить динамику изменения значений рассчитанных параметров, наблюдая цветное анимированное изображение. Для управления процессом автоматического воспроизведения предназначен специальный набор клавиш, расположенных единым блоком под бегунком управления временем. Скорость показа анимации может быть задана пользователем при помощи специального бегунка.

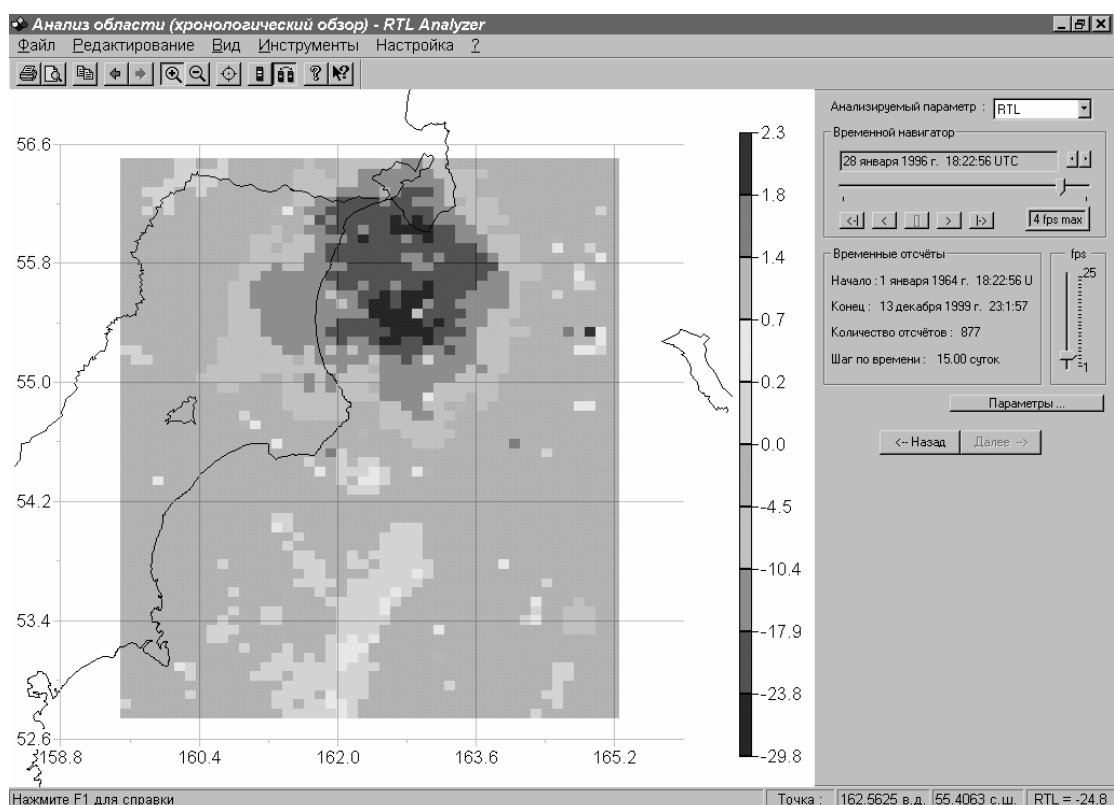


Рис. 8. Общий вид главного окна системы “RTL-анализатор” в режиме хронологического обзора.

Fig. 8. General view of the main window of the system “RTL-analyzer” in chronological review.

Кроме того, имеется возможность сместить момент времени, отображаемый на слайде, на значение временного шага.

Все элементы диалоговой панели снабжены всплывающими подсказками, появляющимися автоматически при наведении указателя мыши на соответствующий объект, таким образом разобраться в назначении и функциональных свойствах конкретных управляющих элементов не составляет для пользователя никакого труда. Следует отметить, что диалоговая панель носит наряду с управляющей также и информационную нагрузку.

Для визуализации значений выбранного параметра используется шкала значений (отображается в правой части слайда). Как и на этапе выбора исходных данных, пользователю предлагается на выбор абсолютная или относительная шкала.

Под абсолютной шкалой значений понимается шкала, значения границ отрезков которой жестко заданы в единицах отображаемого параметра. Под относительной шкалой значений понимается такая шкала, значения границ отрезков которой определяются в зависимости от диапазона значений отображаемого параметра, представленных в данный момент на слайде.

Механизм задания значений границ отрезков относительной и абсолютной шкал в целом аналогичен использованному на этапе выбора исходных

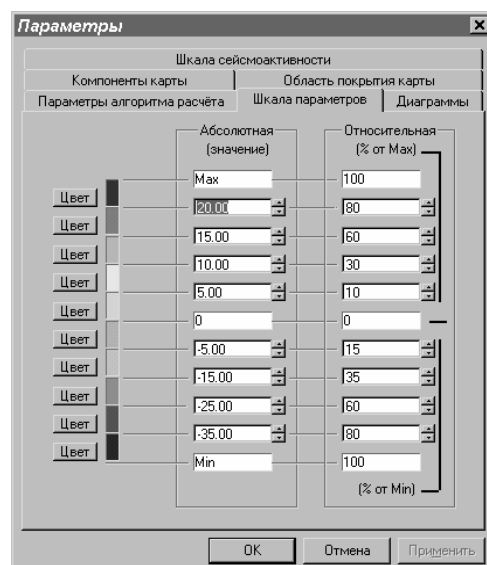


Рис. 9. Настройка шкал параметров.

Fig. 9. Setup of parameter scale.

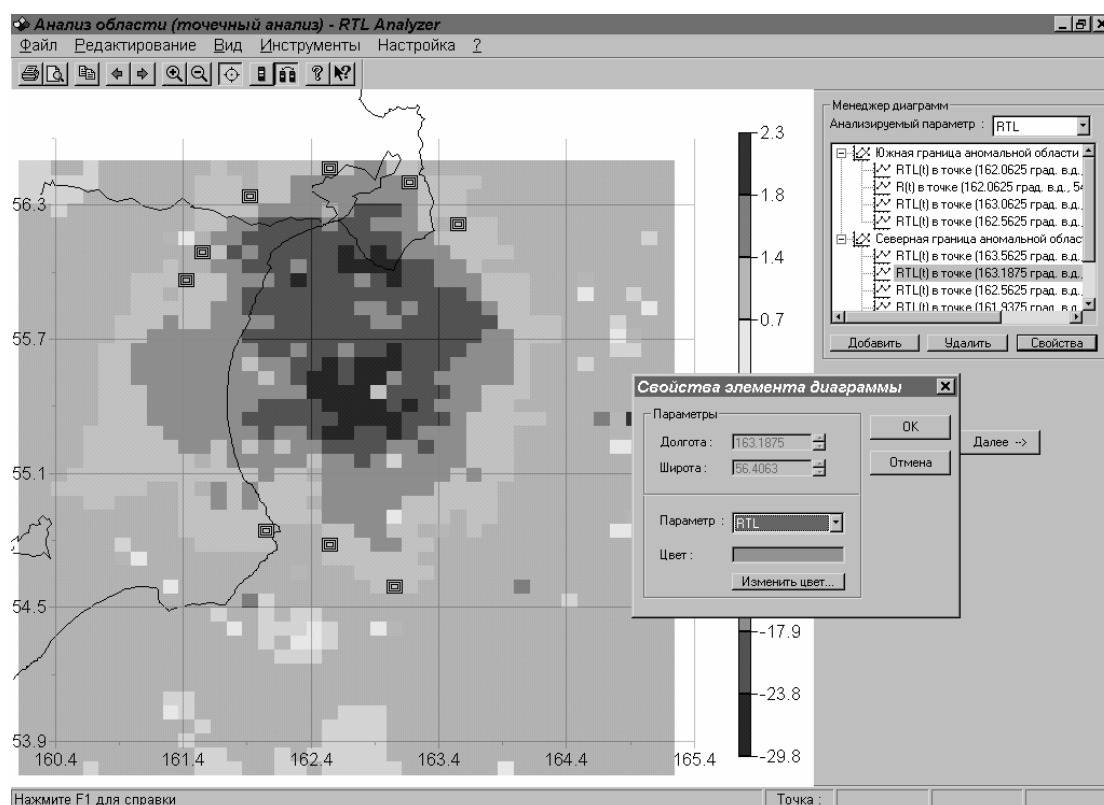


Рис. 10. Использование менеджера диаграмм при выборе совокупности анализируемых точек пространства.

Fig. 10. Use of diagram manager in choice of analyzed points.

данных за одним исключением. В случае шкал расчётных параметров отметка “0” зафиксирована и не может быть изменена. В случае относительной шкалы значения границ её диапазонов положительной её части заданы в долях максимального значения параметра, представленного на слайде, а отрицательной - в долях минимального значения.

Для настройки шкал анализируемых параметров предназначен лист свойств, об- щий вид которого представлен на Рис. 9, позволяющий задать не только значения границ отрезков относительной и абсолютной шкал, но и выбрать цвета, используемые при отображении значений.

Возможности рассматриваемой системы по хронологическому анализу характера и динамики изменения расчётных параметров позволяют пользователю визуально проследить процессы формирования и развития областей с аномальными значениями параметров, определить их геометрию, выделить пограничные и пиковые области, а также измерить время «жизни» аномалий.

Возможно также считывание точных значений отображаемого параметра в точках области: при помещении курсора мыши в выбранную точку слайда независимо от используемого в настоящий момент рабочего инструмента, при этом в соответствующих секциях строки состояния отображаются значения координат точки, в которой произведён расчёт, а также точное значение выбранного параметра.

Выбор точек пространства для детального анализа. Менеджер диаграмм

Но в большинстве случаев одного лишь качественного анализа динамики процессов на этапе хронологического обзора оказывается недостаточно. Поэтому возникает необходимость более детально исследовать характер изменения параметров в характер-

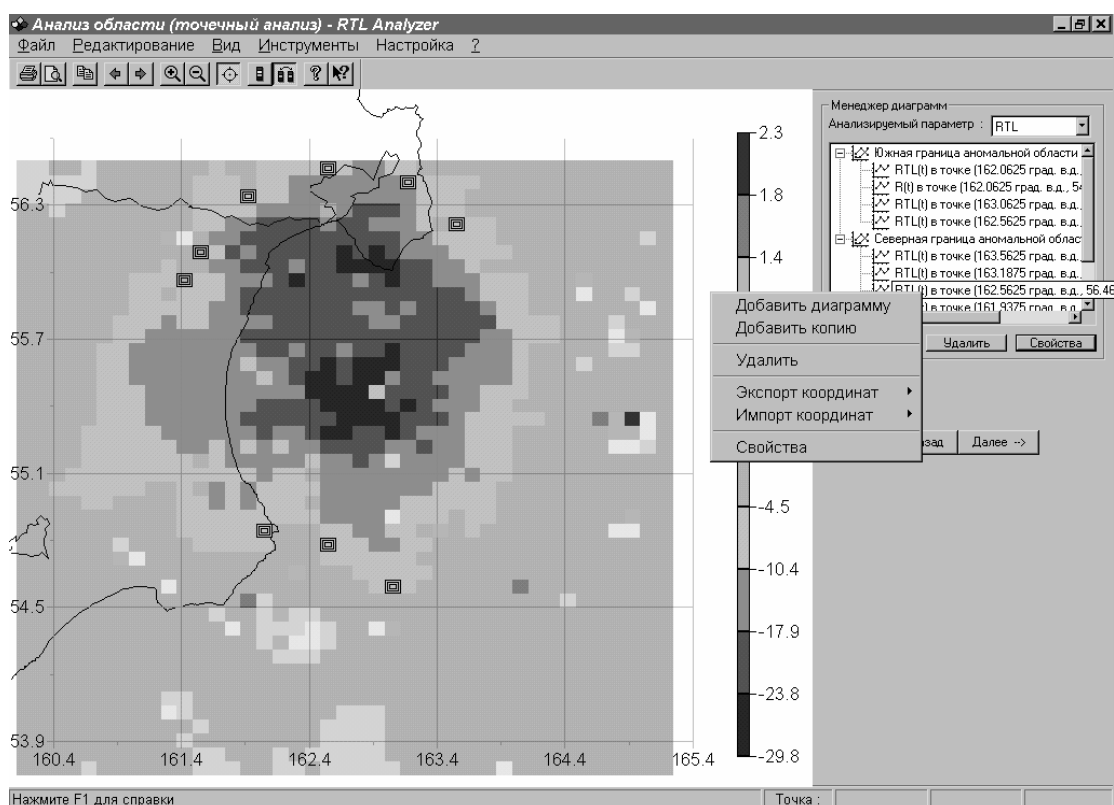


Рис. 11. Использование контекстного меню менеджера диаграмм.
Fig. 11. Use of the context menu of the diagram manager.

ных точках аномальной области, а также произвести сравнение формы кривой зависимости расчётных параметров от времени как с характерной (прогностической) формой так и с формами кривых в других точках, то есть произвести точечный анализ. Для выполнения поставленной задачи в системе “*RTL-анализатор*” предусмотрена возможность построения временных зависимостей различных параметров в заданных точках пространства.

Для получения доступа к режиму точечного анализа пользователь системы должен выбрать в качестве рабочего инструмента “*Селектор точек анализа*”. Общий вид главного окна системы в режиме точечного анализа представлен на Рис. 10. Согласно принятой идеологии все элементы управления системы автоматически приводятся в соответствие с потребностями пользователя при работе в данном конкретном режиме.

Остановимся более подробно на особенностях функционирования “*RTL-анализатора*”. Для более полного понимания дальнейшего изложения рассмотрим заложенную в систему идеологию точечного анализа: пользователь формирует одну или несколько диаграмм, в каждой из которых содержится произвольное количество графиков временных зависимостей заданных пользователем параметров в заданных точках пространства. Для управления структурой диаграмм и предназначен специальный инструмент - “*Менеджер диаграмм*”, размещённый в диалоговой панели. При помощи кнопок менеджера диаграмм пользователь может создать требуемый набор диаграмм, выбрать их наименования, а при помощи инструмента “*Выбор анализируемых точек*” пользователь может добавить в выбранную диаграмму график временной зависимости параметра, заданного в графе “*Анализируемый параметр*” «Менеджера диаграмм» в указанной точке пространства. Более подробно остановимся на особенностях применения инструмента “*Выбор анализируемых точек*”. Для выбора точки необходимо установить курсор мыши на её изображение и нажать левую кнопку мыши. При этом в выделенную диаграмму будет добавлен график параметра в указанной пользователем точке. Необходимо отметить следующее свойство системы “*RTL-анализатор*”: для точек, представлен-

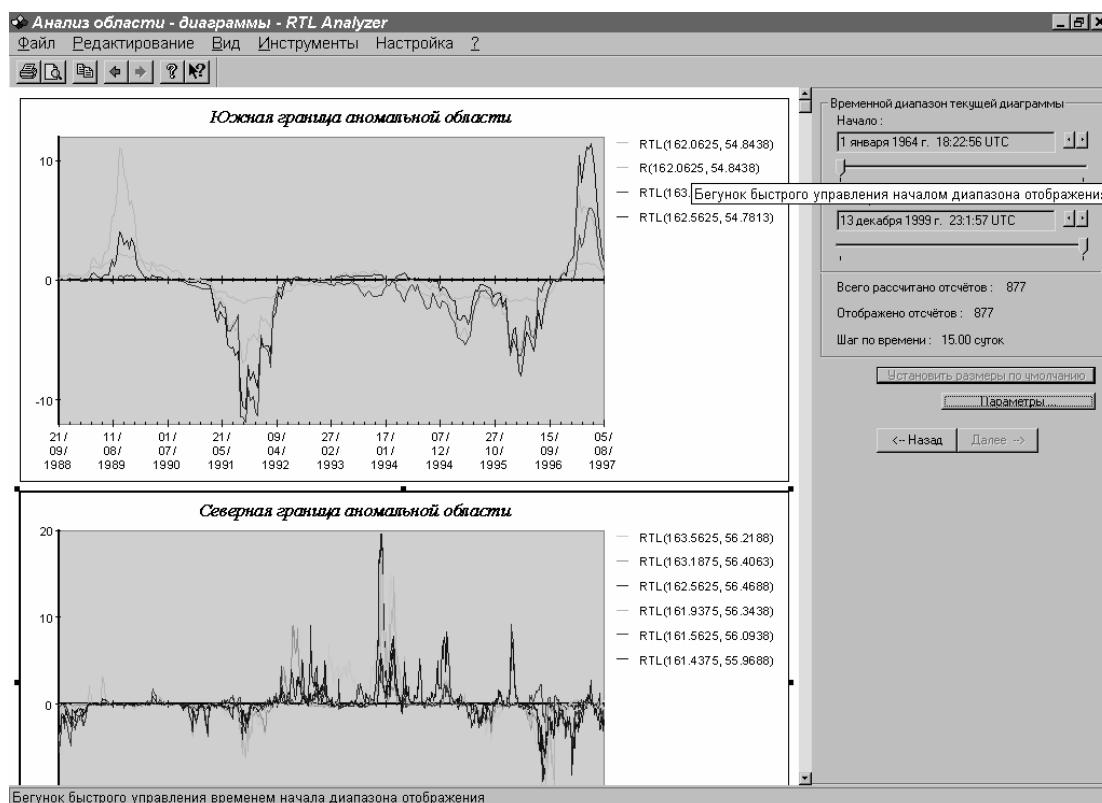


Рис. 12. Общий вид главного окна системы в режиме анализа диаграмм.
Fig. 12. General view of the main window of the system in diagram analysis.

ных в диаграммах, соответствующие им элементы области помечаются специальными полупрозрачными флажками, отображаемые не только в режиме выбора точек, но и при хронологическом обзоре, что значительно облегчает выделение характерных точек.

Выбор параметра, временная зависимость которого будет изображена на диаграмме, возможен как перед добавлением выбранной точки в диаграмму (при помощи списка «Анализируемый параметр» «Менеджера диаграмм»), так и после её добавления при помощи диалога «Свойств элемента диаграммы», общий вид которого представлен на Рис. 10. В общем случае, рассматриваемый диалог позволяет задать исчерпывающий набор свойств элемента диаграммы, таких как пространственное местоположение точки, параметр, график которого предполагается нанести на диаграмму, а также цвет, используемый при построении этого графика. Следует отметить, что задание пользователем точного пространственного местоположения точки после её добавления в диаграмму возможно только в режиме точечного анализа, активированного на этапе выбора исходных данных. Связано это со следующим обстоятельством: при анализе области пространственное местоположение добавляемых в диаграмму точек однозначно определяется координатами центра соответствующего элемента области, в котором и был произведён расчёт значений.

Спектр функциональных возможностей «Менеджера диаграмм» не ограничивается возможностью добавления/удаления элементов (диаграмм или точек) и редактированием их свойств. Как и клиентская область окна, рабочая область менеджера диаграмм снабжена контекстным меню, общий вид которого представлен на Рис. 11, при помощи которого можно произвести множество необходимых действий. Так пользователь может либо добавить к совокупности диаграмм копию выбранной диаграммы, либо добавить в текущую диаграмму заданное количество копий её элемента (точек). Таким образом, открывается возможность сопоставить на одной диаграмме значения различных параметров в одной точке, не производя многократного выбора одной и той же точки.

Среди дополнительных возможностей, поддерживаемых системой, имеется средство по экспорту/импорту структуры диаграмм, позволяющее сохранить в виде текстового файла текущую структуру, включая используемые при построении графиков цвета (*экспорт координат*), а также загрузить в «Менеджер диаграмм» структуру из файла (ранее сохранённую либо созданную вручную при помощи текстового редактора) (*импорт координат*). Применение *импорта координат* имеет некоторые особенности, например, в режиме анализа области будут импортированы только координаты тех точек, которые принадлежат рассчитанной области пространства, причём значения координат будут смещены к центрам соответствующих элементов. Средство импорта допускает множественность форматов координат, имеется возможность импортировать только последовательность точек (без импорта структуры диаграмм).

Доступ к режиму точечного анализа возможен как на этапе хронологического обзора (когда расчёт значений параметров в точках области уже выполнен), так и на этапе выбора исходных данных. В последнем случае расчёт значений анализируемых параметров будет произведён для каждой заданной пользователем точки в отдельности.

Анализ на основе диаграмм

Для детального анализа динамики изменения значений рассчитанных параметров в заданных точках пространства предназначен *режим обработки диаграмм*, переход к которому возможен только после выбора совокупности точек для анализа. Рассматриваемый режим является, наряду с хронологическим обзором, одним из основных режимов представления результатов анализа.

На Рис. 12 представлен общий вид главного окна «*RTL-анализатора*» на данном этапе. В рассматриваемом случае клиентская область окна снабжена полосой прокрутки и содержит не изображение слайда, а изображения отдельных объектов-диаграмм, структура которых была задана пользователем на предыдущем шаге анализа.

На текущем этапе анализа производится автоматическое приведение всех элементов управления в состояние, отвечающее запросам пользователя. Диалоговая панель содержит набор элементов управления, предназначенных для настройки параметров выбранной (активной) диаграммы. Активизация выбранной пользователем диаграммы осуществляется одинарным нажатием левой кнопки мыши при помещении курсора в её поле; выделенная диаграмма отображается внутри объекта-трекера, снабжённого элементами изменения размеров (изображаются в виде закрашенных прямоугольников). Таким образом пользователь может установить произвольные размеры выделенной диаграммы; также имеется возможность восстановления размеров, заданных по умолчанию (при помощи соответствующей кнопки).

Верхняя часть диалоговой панели (Рис.12) содержит две группы элементов управления временем, предназначенных для установки, соответственно, начального и конечного моментов времени, отображаемых на текущей диаграмме. При изменении выбора диаграммы рассматриваемая совокупность объектов автоматически приводится в состояние, установленное для активируемой диаграммы. Функциональные свойства объектов во многом аналогичны описанным для случая хронологического обзора, с их помощью пользователь может задать для каждой диаграммы требуемый диапазон отображения, выделить аномалии и установить требуемый масштаб по времени.

Вторичное использование результатов расчёта. Экспорт данных

Как показано выше, система «*RTL-анализатор*» представляет результат анализа либо в виде слайдов, характеризующих состояние выбранного параметра в конкретный момент времени, либо в виде различных диаграмм. Вероятно, в процессе анализа сейсмической обстановки рассмотренной номенклатуры выходных данных окажется недостаточно, возможно, у пользователя возникнет необходимость использовать

результаты расчёта, полученные “RTL-анализатором”, для обработки и анализа альтернативными средствами, например средствами Microsoft Excel®.

Для обеспечения переносимости данных в систему встроен ряд модулей экспорта, специально предназначенных для обмена результатами расчёта. Доступ к экспорту данных возможен только на этапе обработки диаграмм, таким образом, система допускает передачу расчётных данных только для точек пространства, представленных на диаграммах. Реализация данного подхода обусловлена в большей степени значительными объёмами передаваемых данных и необходимостью обеспечения гибкости системы. Рассмотрим возможные направления экспорта более подробно.

Экспорт результатов расчёта в текстовый файл. В этом случае в выбранный пользователем текстовый файл будут сохранены результаты расчёта параметров для точек, представленных на активной или всех диаграммах, снабженный исчерпывающим набором параметров, описывающих алгоритм выполненного расчёта. Сохранение значений в текстовом файле производится в формате, установленном в настройках локализации операционной системы.

Экспорт результатов расчёта в книгу Microsoft Excel®. Для этого в систему “RTL-анализатор” был встроен контроллер OLE автоматизации, использующий в качестве серверного приложения Microsoft Excel®, версии 5.0 и выше. Встроенная реализация контроллера OLE автоматизации обеспечивает поиск и, при необходимости, запуск серверного приложения, создание рабочей книги (при необходимости), экспорт набора параметров, описывающих использованный алгоритм, а также экспорт данных для точек, представленных на активной или на всех диаграммах. Изменение форматов ячеек книги производится автоматически, данные различных диаграмм размещаются на отдельных листах книги, которым присваиваются наименования в соответствие с заданными заголовками диаграмм.

Для выбора режимов и направления передачи данных пользователю предлагается соответствующий диалог.

Возможности по использованию результатов работы системы. Печать и предварительный просмотр

У пользователя системы неизбежно возникает потребность использовать полученные в работе с “RTL-анализатором” изображения (слайды состояния параметров либо диаграммы) в процессе подготовки различных документов, таких, например, как экспертные заключения. Предвидя эти потребности пользователей, в “RTL-анализатор” была введена возможность копирования представленного на слайде изображения или изображения текущей диаграммы в буфер обмена операционной системы. Отличительной особенностью реализации данного подхода является следующее обстоятельство: любые изображения, построенные “RTL-анализатором” (слайд с информацией о сейсмической активности или слайд с информацией об уровне параметра в заданный момент времени, либо диаграмма) помещаются в буфер обмена в векторном формате, что позволяет избежать потери качества изображения, а также даёт возможность произвести редактирование изображения непосредственно в приёмнике. Для помещения текущего слайда или диаграммы в буфер обмена пользователь может воспользоваться либо соответствующей кнопкой панели инструментов, либо выбрать соответствующий пункт меню, либо воспользоваться “горячей клавишей”.

В дополнение к возможностям по работе с буфером обмена, в программный продукт введена возможность получения твёрдых копий изображений. Имеется возможность настройки широкого спектра параметров печати, а также режим предварительного просмотра.

Следует отметить, что печать возможна на всех без исключения этапах и во всех режимах анализа. Разбивка на страницы производится автоматически, имеется возможность выбора отдельных страниц, которые будут напечатаны, производимого путём задания их номеров. Настройка печати производится при помощи специального

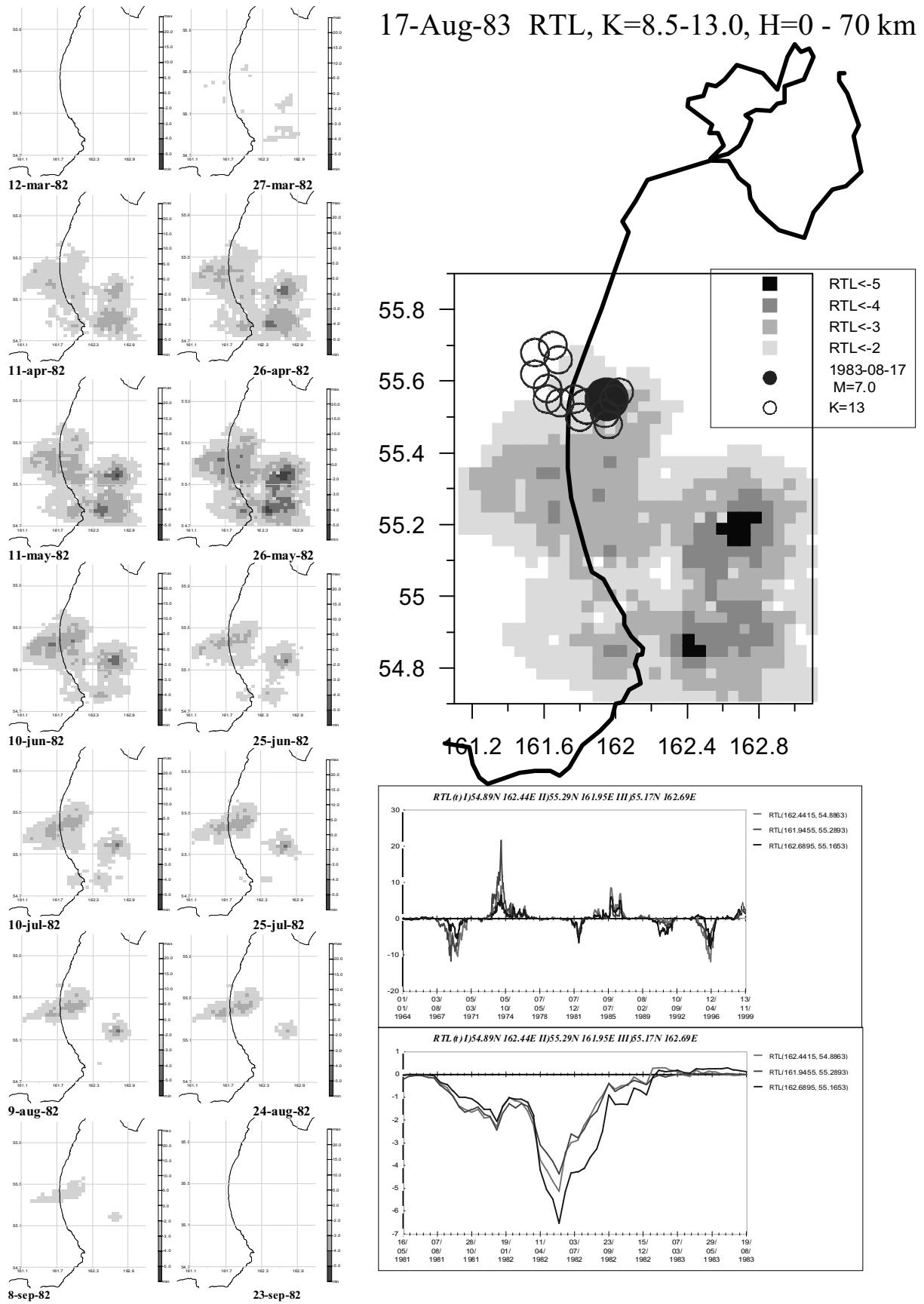


Рис. 13. Результаты обработки землетрясения $M=6.5$ 17 августа 1983 года.
 Fig. 13. Analysis of seismicity before earthquake Aug. 17, 1983, $M=6.5$.

диалога, позволяющего задать геометрические размеры области печати, а также настроить режимы печати колонтитулов, содержащих различную справочную информацию.

Источники справочной информации

Для получения информации о номере версии программного продукта, а также номенклатуре встроенных алгоритмических модулей и модулей экспорта предназначен диалог «*О программе*».

При использовании справочной системы «*RTL-анализатора*» пользователю предоставляется возможность получения контекстно-зависимой справочной информации. На панели инструментов всегда присутствует специальный инструмент - «*Помощник*», щелкнув которым на интересующем объекте пользователь может получить связанную с ним справочную информацию.

Результаты практического использования системы оценки сейсмической опасности «RTL-анализатор»

Система оценки сейсмической опасности «*RTL-анализатор*» внедрена и эксплуатируется в Лаборатории сейсмического мониторинга Камчатской Опытно-методической сейсмологической партии Геофизической службы РАН. Результаты, полученные в процессе ретроспективного анализа сейсмичности перед землетрясением 17 августа 1983 года с магнитудой $M=6.5$, приведены на Рис. 13 в качестве примера. На нём представлена последовательность состояния прогностического параметра *RTL*, позволяющая оценить динамику развития области аномальных значений. Геометрия аномалии с нанесёнными на неё условными обозначениями основного события и всех его афтершоков приведена в правой части рисунка. Кроме того, приводятся графики временных зависимостей прогностического параметра *RTL* в точках области, в которых достигаются его минимальные значения.

Из рисунка видно, что рассматриваемое землетрясение предвлялось аномалией значений параметра *RTL*, достигшей минимальных значений 26 мая 1982 года. Впоследствии геометрические размеры аномальной области постепенно уменьшались, и 23 сентября 1982 года она прекратила своё существование. Землетрясение произошло на границе аномальной области, причем форма кривых параметров *RTL* соответствует прогностической.

Список литературы

1. Габриелов А.М., Дмитриева О.Д., Кейлис-Борок В.И. и др. Долгосрочный прогноз землетрясений. М.: ИФЗ АН СССР, 1986. С. 125.
2. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука. 1985. 408 с.
3. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 64-74.
4. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Стадии подготовки, сейсмические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С.17-26.
5. Соболев Г.А., Челидзе Т.Л., Завьялов А.Д. и др. Карты ожидаемых землетрясений, основанные на комплексе сейсмологических признаков // Изв. АН СССР. Физика земли. 1990. № 11. С. 45-56.
6. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 121-150.
7. Kosobokov V.G., Keilis-Borok V.I. Localization of intermediate-terb earthquakes prediction // J. Geophys. Res. B. 1990. V. 95. № 12. P. 763-772.
8. Wyss M., Habermann R.E. Precusory seismic quiescence // AGEOPH. 1988. V. 126. № 2/4. P. 319-332.