

УДК 550.34

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА RTL

Н. М. Кравченко

*Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН
г. Петропавловск-Камчатский*

Аннотация. По методике расчета прогностического параметра RTL, предложенной Соболевым Г.А. и Тюпкиным Ю.С. (1996), исследованы аномальные сейсмические области, предвещающие сильные землетрясения Камчатки. Анализ был проделан для двух диапазонов глубин: 0-70 км и 30-100 км. Показано, что 13 из 22 землетрясений с магнитудой не менее 6 предшествовали сейсмическим затишьям. Землетрясение происходило, как правило, на краю аномальной области при выходе RTL-параметра из минимума на фоновый уровень. Минимальное значение RTL варьируется от -7σ до -50σ , длительность затишья - от 5 до 26 месяцев. Сейсмические аномалии проявляются более значительно при анализе сейсмичности, приуроченной к глубинам 30-100 км.

ESTIMATION OF RELIABILITY OF PREDICTIVE PARAMETER RTL

N.M. Kravchenko

*Kamchatkan Methodical Seismological Department, Geophysical Service, RAS
Petropavlovsk-Kamchatsky*

Abstract. A technique for calculating a predictive parameter RTL proposed by G.A. Sobolev and Yu.S. Tyupkin (1996) was used for investigating anomalous seismic areas before strong earthquakes ($M \geq 6$) of Kamchatka. The analysis has been done for two depth ranges: 0-70 km and 30-100 km. It was found that the seismic quiescence took place in 13 from 22 cases within 2 years before the earthquake in its epicentral area. The main shock occurred as a rule at the edge of the anomalous area at an output of RTL-parameter from the minimum to the background level. The minimal RTL value varies from -7σ to -50σ , duration of seismic quiescence - from 5 to 26 months. Seismic anomalies are shown more considerably when examining the seismicity in the depth range 30 to 100 km.

Введение

Известны несколько способов среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений, основанных на выделении в сейсмогенных областях зон временного ослабления сейсмической активности, так называемого сейсмического затишья. Появление сейсмического затишья свидетельствует о накоплении сейсмической энергии и рассматривается некоторыми исследователями [3, 5 - 8] как предвестник готовящегося землетрясения.

Один из методов поиска сейсмических затиший был предложен Соболевым Г.А. и Тюпкиным Ю.С. в работе [3]. Авторы метода составили прогностический параметр RTL, основанный на анализе трех функций: эпицентральной R , временной T и учитывающей размер очага землетрясения L . Предлагаемая методика выделения аномальных сейсмических зон была проверена на материале землетрясений Камчатки с магнитудой более 7. Было показано, что во всех случаях в интервале до трех лет перед землетрясением в эпицентральной области проявлялась стадия сейсмического затишья.

В данной работе мы попытались оценить надежность сейсмического затишья, выделяемого посредством прогностического параметра RTL, в качестве предвестника землетрясения с магнитудой не менее 6.

Методика расчета параметра RTL была программно реализована В.В. Ивановым в системе анализа сейсмической обстановки с названием «RTL-анализатор». Алгоритмы метода RTL и подробное описание «RTL-анализатора» приведены в статье Иванова В.В. и Салтыкова В.А. [1], представленной в настоящем сборнике.

С помощью «RTL-анализатора» проделан ретроспективный анализ вариаций сейсмичности эпицентральных зон сильных землетрясений Камчатки, начиная с 1980 г. В работе использовался каталог землетрясений, полученный Камчатской региональной сетью сейсмических станций за период 1962-2003 гг. За нижний энергетический порог землетрясений был выбран $K=8.5$ по шкале Федотова С.А. [4], что соответствует уровню надежной регистрации для исследуемого района. Каталог предварительно очищен от афтершоков по программе, составленной В.Б. Смирновым (МГУ) с использованием алгоритма работы [2].

Методика исследования

Прогностический параметр RTL представляет собой произведение функций R , T и L , вычисляемых в точке с заданными координатами в определенный момент времени t . В расчете параметра RTL участвуют сейсмические события, произошедшие в цилиндрическом объеме, построенном вокруг данной точки с радиусом основания R_{\max} и высотой, соответствующей выбранному диапазону глубин, за интервал времени T_{\max} . Эпицентральная функция R и временная функция T определяются суммарным числом сейсмических событий с учетом степени убывания их влияния по мере удаления, соответственно, в пространстве и во времени от расчетной точки. Степень влияния удаленных сейсмических событий характеризуют коэффициентами r_0 и t_0 . Землетрясения, произошедшие на расстоянии большем чем r_0 от расчетной точки и удаленные во времени более чем на t_0 , оказывают почти на порядок меньшее влияние на значение RTL по сравнению с землетрясениями, случившимися вблизи точки прогноза и непосредственно перед прогнозом. Функция размера очага L определяется энергией землетрясений, попадающих в расчетный цилиндр, также с учетом убывания влияния удаленных событий. Вклад каждого произошедшего землетрясения пропорционален размеру очага и обратно пропорционален расстоянию до расчетной точки.

Функции R , T и L безразмерные и приводятся к единичной дисперсии. Отрицательные значения параметра RTL соответствуют ослаблению сейсмической активности.

Чтобы определить пространственное положение зоны затишья перед землетрясением, эпицентральная область покрывается сеткой с шагом $7'30''$ по широте и $15'$ по долготе. Каждому узлу сетки приписывается минимальное значение RTL в единицах среднеквадратичного отклонения в течение года, отсчитываемого назад от времени соответствующего землетрясения с шагом 15 дней. Узлы сетки, в которых значения $RTL < -3\sigma$, объединенные по принципу соседства в пространстве и во времени, определяют область сейсмического затишья. Количественно степень проявления сейсмического затишья характеризуется минимальным достижимым значением RTL и продолжительностью аномалии. Продолжительность аномалии определяется как интервал времени, в течение которого параметр $RTL < -3\sigma$. Справа этот интервал ограничен либо датой землетрясения, либо выходом RTL на фоновый уровень.

Как показала практика, параметр RTL чувствителен ко времени окончания каталога и, поскольку нас интересует прежде всего оценка сейсмической опасности в реальном времени, при ретроспективном анализе были использованы каталоги, ограниченные датами рассматриваемых землетрясений.

При расчетах были приняты значения: $r_0 = 50$ км, $t_0 = 1$ год, $R_{\max} = 100$ км, $T_{\max} = 2$ года, энергетический класс сейсмических событий 8.5-13.4.

Анализ вариаций сейсмичности для каждого землетрясения проделан для двух диапазонов глубин: 0-70 км и 30-100 км.

Результаты исследования

В период времени с 1980 по 2003 гг. в сейсмогенной зоне Камчатки на глубинах до 100 км произошло 26 землетрясений с магнитудой не менее 6.0. В работе использованы магнитуды M_s , определенные по поверхностным волнам Рэлея в Центральной Опытно-Методической Экспедиции в Обнинске.

Перед землетрясением 9 января 1983 г. ($M_s=6.2$) область сейсмического затишья более ярко выделяется при анализе сейсмичности для глубин 0-70 км (рис. 1). Эпицентр землетрясения приходится на край выделенной аномалии, минимальное значение RTL достигает -12σ , продолжительность аномалии 14 месяцев. Землетрясение произошло спустя 2 месяца после выхода параметра RTL на фоновый уровень. 17 августа 1983 г. через 10 месяцев после окончания затишья на границе аномальной области произошло более сильное землетрясение ($M_s=6.9$).

Для диапазона глубин 30-100 км (рис. 2) продолжительность аномалии RTL около 5 месяцев, и минимальное значение RTL -10σ . Землетрясение произошло на краю аномальной области спустя полгода после окончания затишья.

Землетрясение 19 мая 1985 г. ($M_s=6.2$) произошло в пределах аномальной области в локальном минимуме параметра RTL (рис. 3). К моменту землетрясения аномалия продолжалась уже более года и достигла минимального значения -55σ . Аномалия выделена для диапазона глубин 30-100 км.

Перед землетрясением 10 июля 1987 г. ($M_s=6.1$) аномалия RTL выделяется для диапазона глубин 0-70 км (рис. 4). Длительность аномалии – 12 месяцев, минимальное достижимое значение RTL -30σ . Землетрясение произошло на краю аномальной зоны спустя 14 месяцев после выхода параметра RTL на фоновый уровень.

Аномальная область параметра RTL, предшествующая землетрясению 6 октября 1987 г. ($M_s=6.4$) прослеживается для обоих диапазонов глубин. Эпицентр землетрясения в обоих случаях приходится на границу аномальной области, поведение RTL параметра тоже практически одинаково (рис. 5 и 6). Землетрясение происходит при выходе параметра RTL из минимума. К моменту землетрясения сейсмическое затишье существовало 16-15 месяцев.

Землетрясение 19 декабря 1990 г. ($M_s=6.3$) произошло на краю аномальной области при минимальном значении RTL, равным -30σ (рис. 7). Сейсмическое затишье продолжало развиваться, в сентябре 1991 года параметр RTL был менее -40σ . 2 марта 1992 года на границе аномальной области произошло еще одно, более сильное землетрясение ($M_s=6.8$). Землетрясение произошло на выходе параметра RTL из минимума. Аномалия выделена для диапазона глубин 30-100 км.

Перед землетрясением 8 июня 1993 г. ($M_s=7.4$) сейсмическое затишье выделяется на обоих диапазонах глубин. Для глубин 0-70 км минимум RTL достигает -7σ , продолжительность аномалии – 10 месяцев (рис. 8). Для глубин 30-100 км минимальное значение RTL -13σ , продолжительность аномалии – 13 месяцев (рис. 9). В обоих случаях эпицентр землетрясения и облако афтершоков приходятся на область затишья. Также в обоих случаях на границе выделенной аномальной области 13 ноября 1993 г. происходит землетрясение с магнитудой 7.1.

Эпицентр землетрясения 21 июня 1996 г. ($M_s=7.3$) лежит на границе аномальной области, выделенной при анализе сейсмичности на глубинах 30-100 км. Минимальное значение параметра RTL -16σ , продолжительность затишья – 19 месяцев, землетрясение произошло на выходе RTL на фоновый уровень (рис. 10).

Сейсмическое затишье, предшествовавшее землетрясению 16 июля 1996 г. ($M_s=7.0$) характеризовалось параметром RTL -16σ и длительностью аномалии чуть больше года (рис. 11) на глубинах 0-70 км. При анализе глубокой сейсмичности аномалия

проявилась более ярко. Минимальное значение RTL достигло -40σ , длительность аномалии – 12 месяцев (рис. 12). Землетрясение произошло при выходе параметра RTL из минимума. Через 9 месяцев после окончания затишья на южной границе этой аномальной зоны произошло самое сильное камчатское землетрясение за последние 25 лет.

На глубинах 0-70 км перед землетрясением 5 декабря 1997 г. ($M_s=7.9$) тоже выделяется область сейсмического затишья (рис. 13). Минимальное значение RTL - 14σ , длительность затишья 12 месяцев, землетрясение произошло спустя 19 месяцев после выхода RTL на фоновый уровень. Эпицентр землетрясения лежит практически в центре аномалии.

Сейсмическое затишье перед землетрясением 8 марта 1999 г. ($M_s=7.1$) незначительно и выделяется только на диапазоне глубин 30-100 км (рис. 14). RTL достигает 11σ , продолжительность аномалии около полугода.

Эпицентр землетрясения 8 октября 2001 г. ($M_s=6.6$) лежит на некотором удалении от аномальной зоны. Землетрясение произошло в момент минимума параметра RTL, равного -20σ (рис. 15).

Обсуждение результатов

За последние 20 лет в сейсмогенной зоне Камчатки на глубинах до 100 км произошло 26 землетрясений с магнитудой не менее 6.0. Ретроспективное исследование эпицентральных областей этих землетрясений с помощью методики RTL показало, что в 14-ти случаях землетрясению предшествовала стадия сейсмического затишья, определяемого областью аномальных значений RTL-параметра. 8 сейсмических аномалий выделяются при анализе сейсмичности на глубинах 0-70 км, 10 - на глубинах 30-100 км. Землетрясение происходит как правило (в 8-ми случаях) на краю аномальной области при выходе RTL-параметра из минимума на фоновый уровень. 2 события произошли при нарастании аномалии, еще в 4-х случаях землетрясения либо удалены от аномальной зоны, либо произошли спустя некоторое время (от 4 месяцев до года) после выхода параметра на нулевой уровень. Минимальное достижимое значение RTL варьируется от -7σ до -50σ , длительность затишья - от 5 до 26 месяцев. Сейсмические аномалии проявляются более значимо при анализе сейсмичности, приуроченной к глубинам 30-100 км.

Все вышеперечисленные землетрясения и соответствующие им аномалии сведены в таблицу. Под временем ожидания в данном случае понимается промежуток времени между датой достижения минимального значения RTL и датой землетрясения. Время ожидания варьируется от 2 месяцев до 2 лет. В двух случаях в этой графе стоят «0». Это те события, которые произошли в минимуме RTL. В обоих случаях это локальные минимумы параметра.

В столбце, обозначенном «n», приведено суммарное число землетрясений в цилиндрическом объеме радиусом 100 км, построенном относительно точки с минимальным значением RTL для соответствующего диапазона глубин, за анализируемый промежуток времени. Авторы методики предполагают, что в таком «элементарном» цилиндрическом объеме должно находиться не менее 550 событий. В противном случае параметр RTL считается неопределенным. Согласно этому ограничению, аномалия, предшествующая землетрясению 10 июля 1987 г., не является значимой. Землетрясение 10 июля 1987 г. ($M_s=6.1$) произошло в области относительно низкой сейсмической активности (остров Беринга). Практически здесь же произошли землетрясения 31 мая 1982 г. ($M_s=6.5$), 26 ноября 1999 г. ($M_s=6.0$) и несколько севернее – событие 5 декабря 2003 г. ($M_s=6.3$). По-видимому, использованные в данной работе значения параметров R_{max} и T_{max} недостаточны, чтобы выделить аномалию RTL в области низкой сейсмической активности. Поэтому четыре вышеупомянутые землетрясения в оценке надежности прогностического параметра мы не будем учитывать.

Таким образом, 13 из 22 сильных землетрясений с магнитудой не менее 6, произошедших в сейсмогенной зоне Камчатки за последние 20 лет, мы можем сопоставить предшествующие сейсмические затишья длительностью не менее 6 месяцев с минимальным достижимым параметром RTL -8 σ , проявившиеся не более чем за 2 года до землетрясения.

Определим надежность предвестника, как отношение числа землетрясений, для которых было выделено предшествующее сейсмическое затишье, к числу всех землетрясений с магнитудой не менее заданной, произошедших за исследуемый период времени. Согласно этому определению, надежность прогностического параметра RTL в качестве предвестника сильного землетрясения ($M \geq 6$) равна 0.6.

Список литературы

1. Иванов В.В., Салтыков В.А. Система оценки сейсмической опасности «RTL-анализатор» // Настоящий сборник.
2. Молчан Г.М., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. 1991. Вып.24, с.19-50.
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. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд М.: Наука, 1972, 115 с.
5. Reasenberg P., Matthews M. Precursory seismic quiescence: a preliminary assessment of the hypothesis // Pageoph. 1988. V.126, p. 373-406.
6. Wiemer S., Wyss M. Seismic quiescence before the Landers ($M=7.5$) and Big Bear ($M=6.5$) 1992 Earthquakes // Bull. Seism. Soc. Amer. 1994. V. 84, p. 900-916.
7. Wyss M. Seismic quiescence precursor to the 1983 Kaoiki ($M_s=6.6$) Hawaii, earthquake // Bull. Seism. Soc. Amer. 1986. V. 76, p. 785-800.
8. Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence // Pageoph. 1988. V.126, p. 319-332.

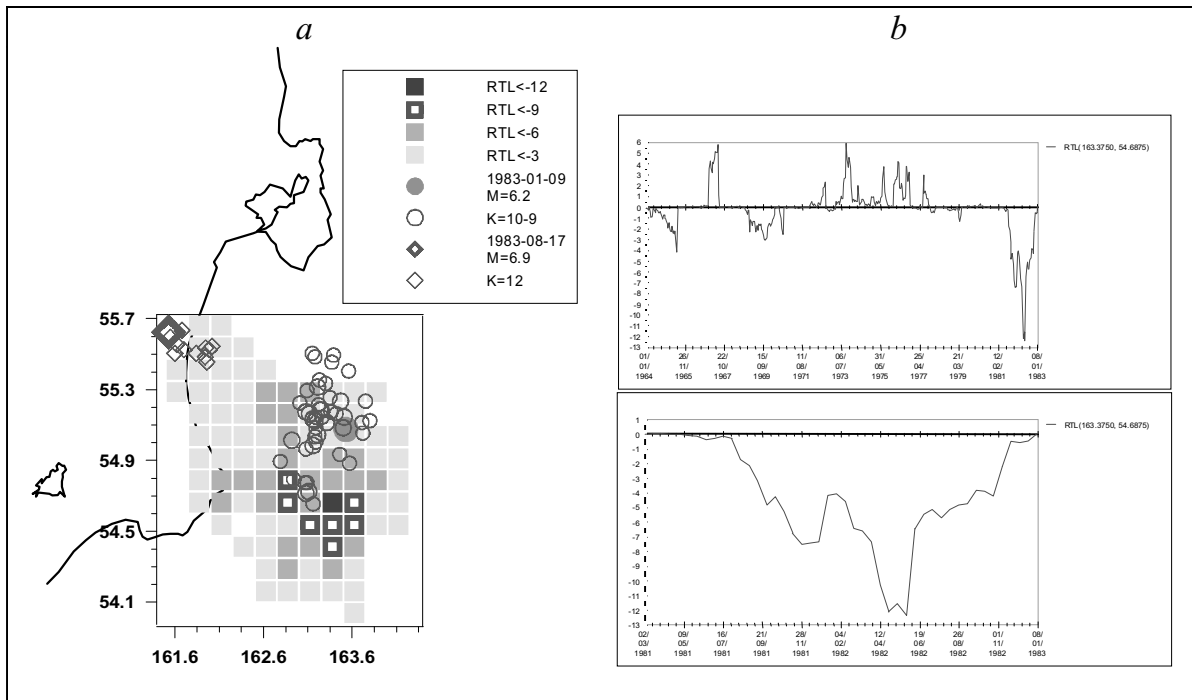


Рис.1. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 9 января 1983 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (a), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 54.69 с.ш. и 163.38 в.д.(b).

Fig.1. The anomalous area of RTL parameter before the 9 January 1983 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 54.69 N, 163.38 E (b).

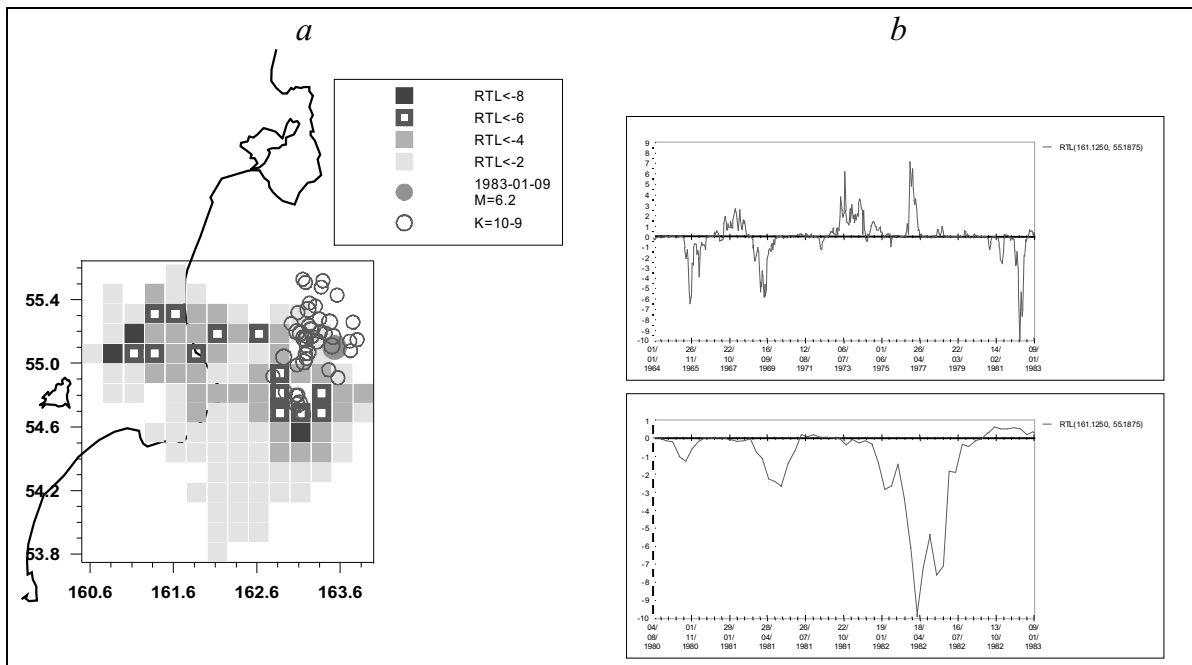


Рис.2. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 9 января 1983 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (a), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 55.19 с.ш., 161.13 в.д.(b).

Fig.2. The anomalous area of RTL parameter before the 9 January 1983 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 55.19 N, 161.13 E (b).

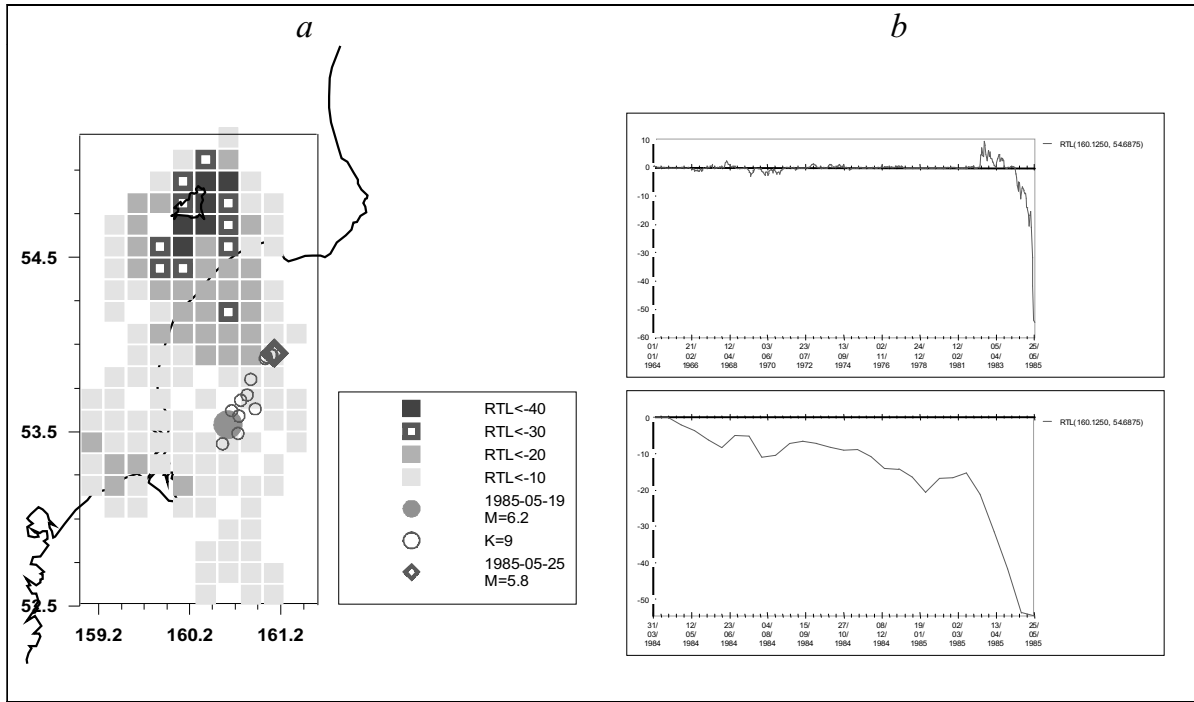


Рис.3. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 19 мая 1985 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точках с координатами 54.69 с.ш., 160.13 в.д. (б).

Fig.3. The anomalous area of RTL parameter before the 19 May 1985 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 54.69 N, 163.38 E (b).

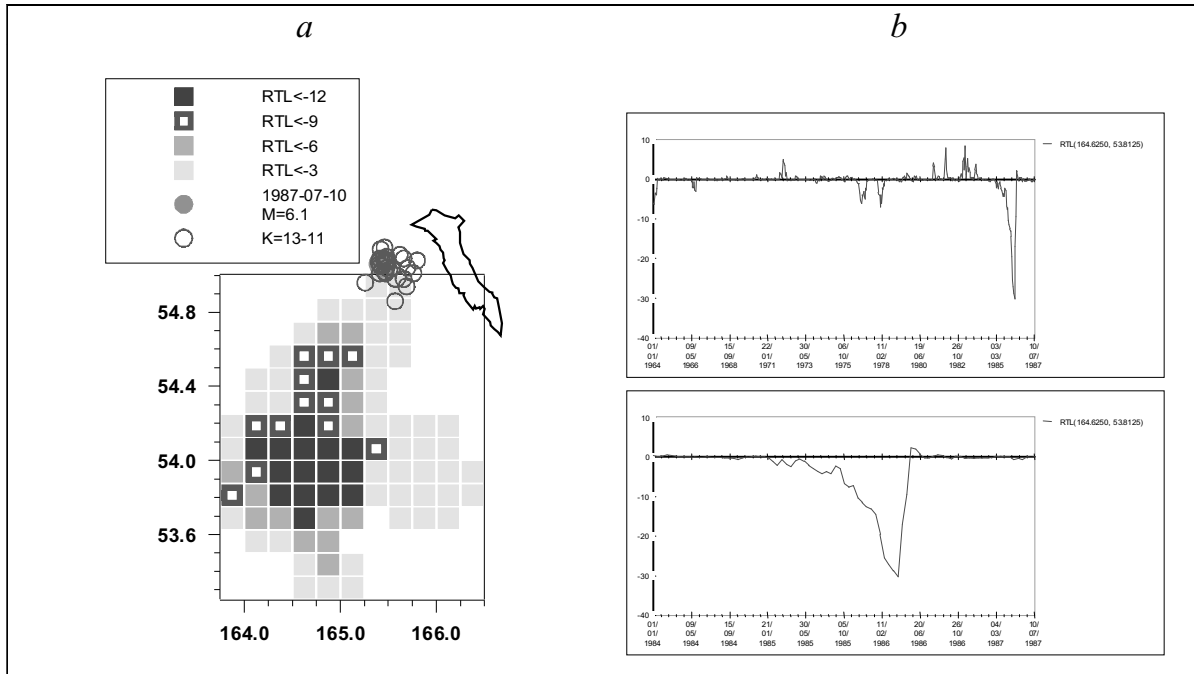


Рис.4. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 10 июля 1987 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 53.81 с.ш., 164.63 в.д. (б).

Fig.4. The anomalous area of RTL parameter before the 10 July 1987 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 53.81 N, 164.63 E (b).

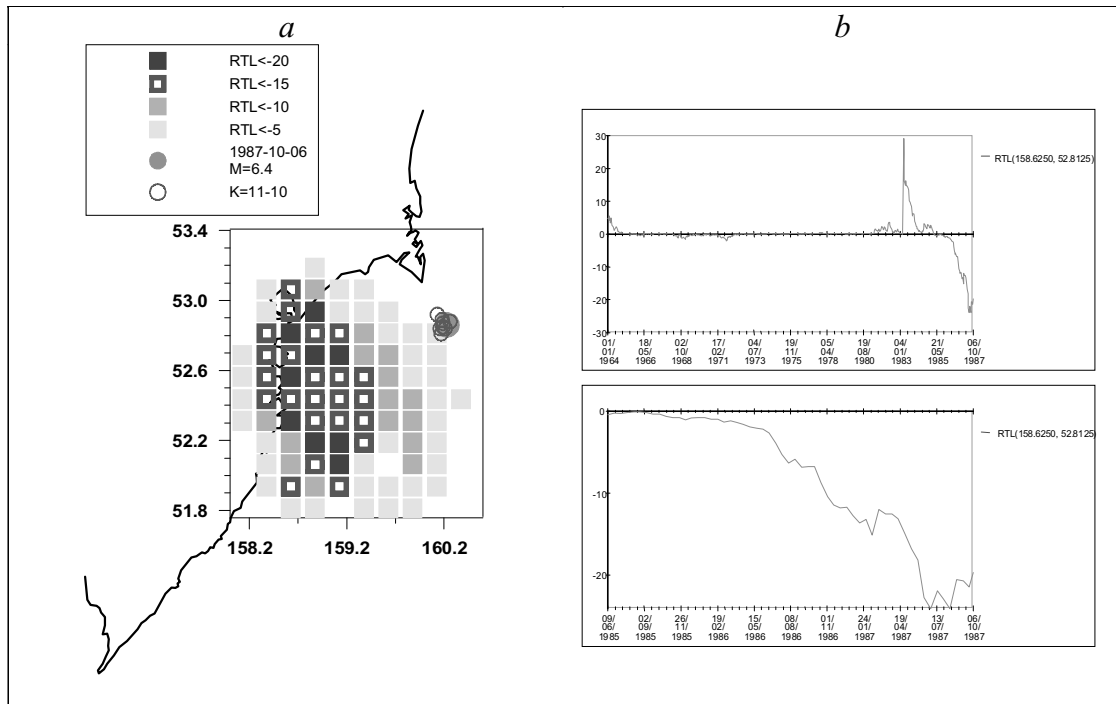


Рис.5. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 6 октября 1987 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 52.81 с.ш., 158.63 в.д. (б).

Fig.5. The anomalous area of RTL parameter before the 6 October 1987 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 52.81 N, 158.63 E (b).

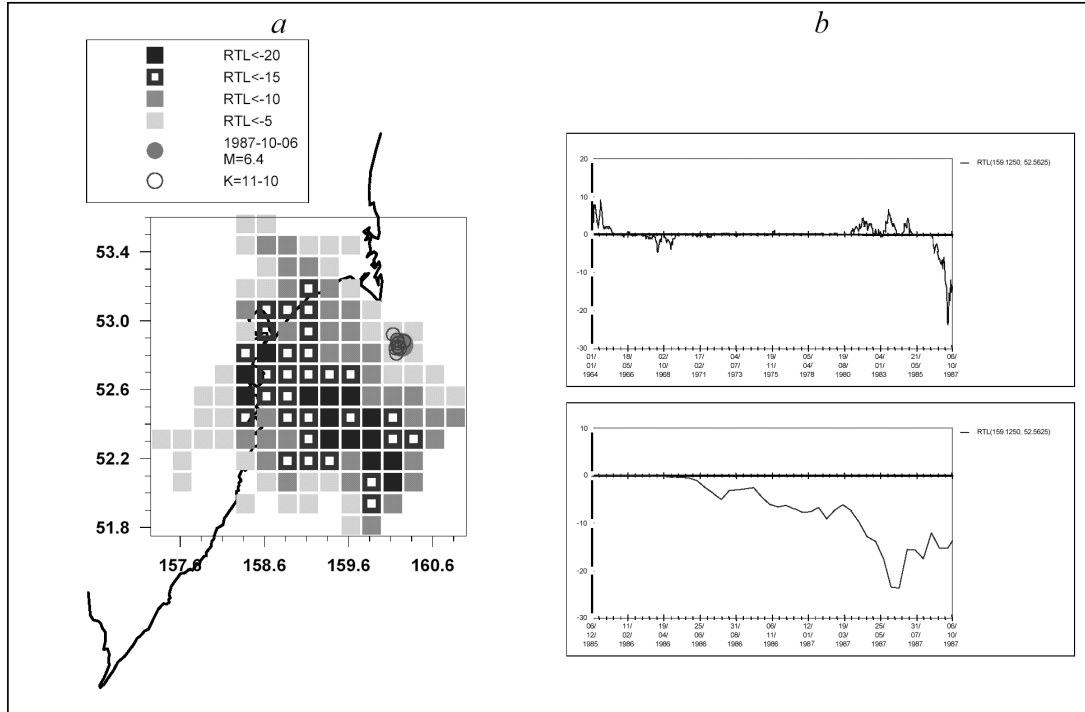


Рис.6. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 6 октября 1987 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 52.56 с.ш., 159.13 в.д. (б).

Fig.6. The anomalous area of RTL parameter before the 6 October 1987 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 52.56 N, 159.13 E (b).

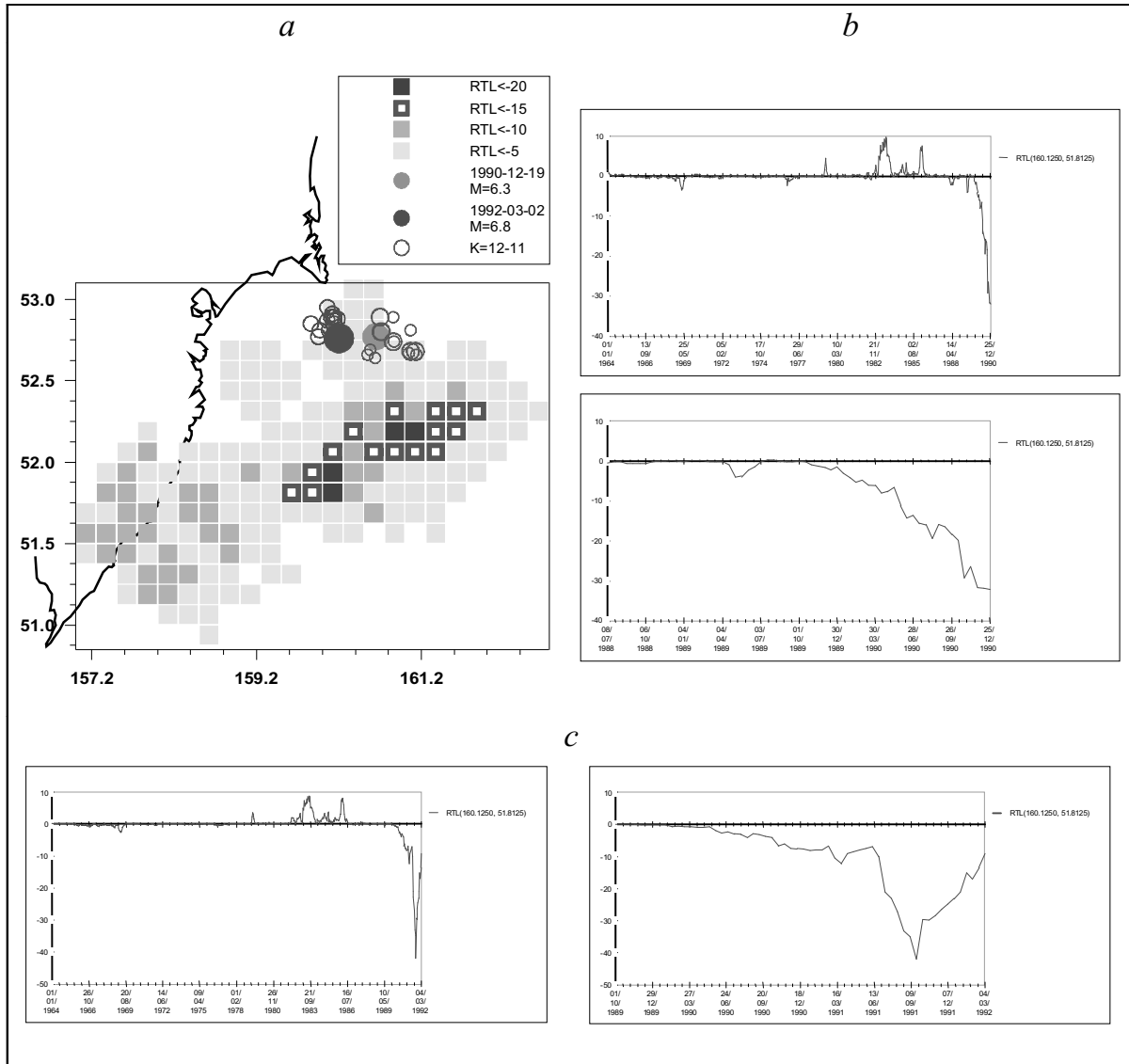


Рис.7. Аномальная область параметра RTL перед землетрясениями 19 декабря 1990 г. и 2 марта 1992 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и графики изменения параметра RTL в точке с координатами 51.81 с.ш., 160.13 в.д., рассчитанные для каталогов, ограниченных датами этих землетрясений (б) и (с), соответственно.

Fig.7. The anomalous area of RTL parameter before the 6 October 1987 and the 2 March 1992 earthquakes was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 51.81 N, 160.13 E are designed for the catalogues limited by dates of these earthquakes (b) and (c) accordingly.

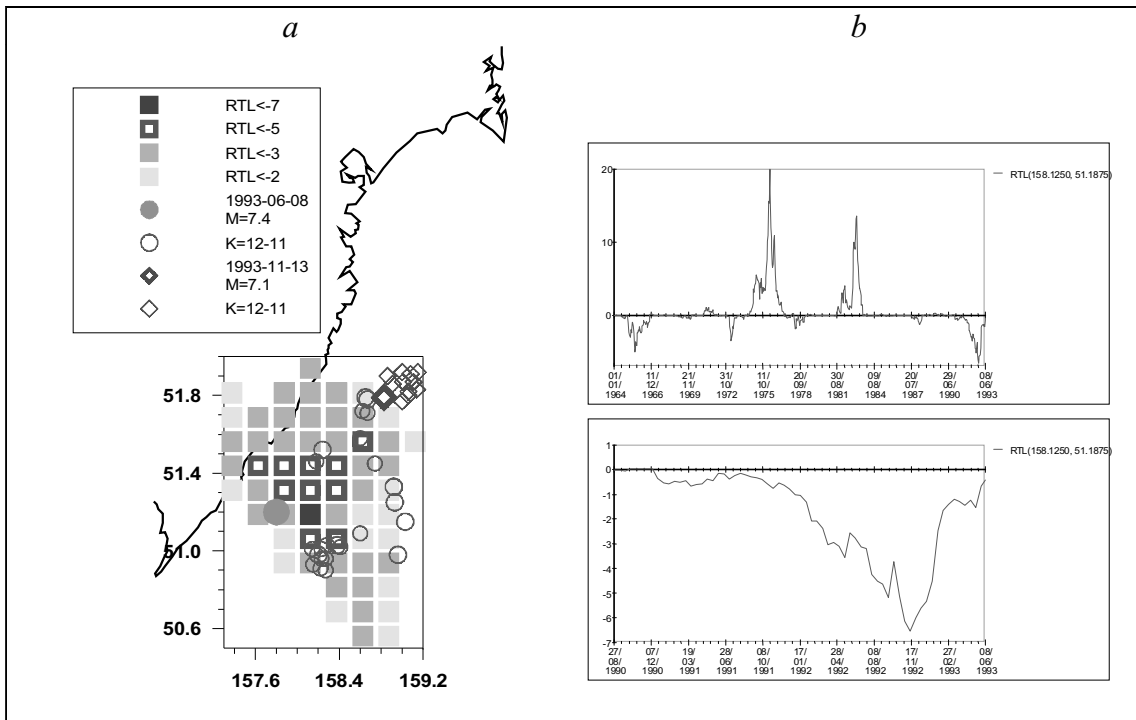


Рис.8. Аномальная область параметра RTL перед землетрясениями 8 июня и 13 ноября 1993 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 51.19 с.ш., 158.13 в.д. (б).

Fig.8. The anomalous area of RTL parameter before the 8 June and the 13 November 1993 earthquakes was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 51.19 N, 158.13 E (b).

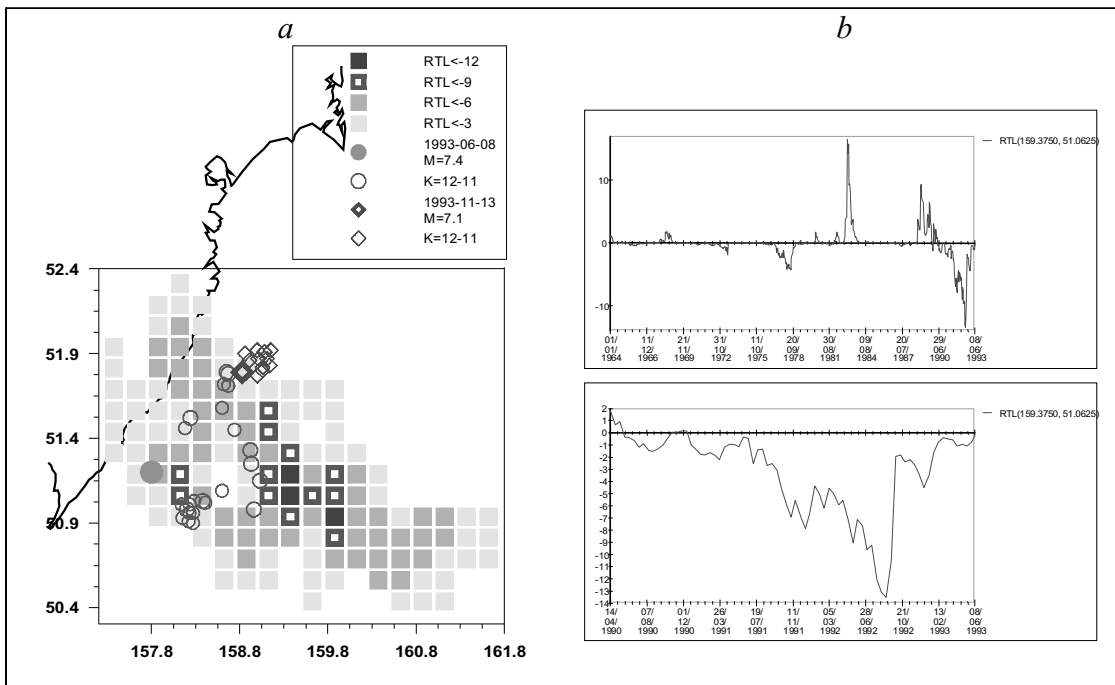


Рис.9. Аномальная область параметра RTL перед землетрясениями 8 июня и 13 ноября 1993 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 51.06 с.ш., 159.38 в.д. (б).

Fig.9. The anomalous area of RTL parameter before the 8 June and the 13 November 1993 earthquakes was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 51.06 N, 159.38 E (b).

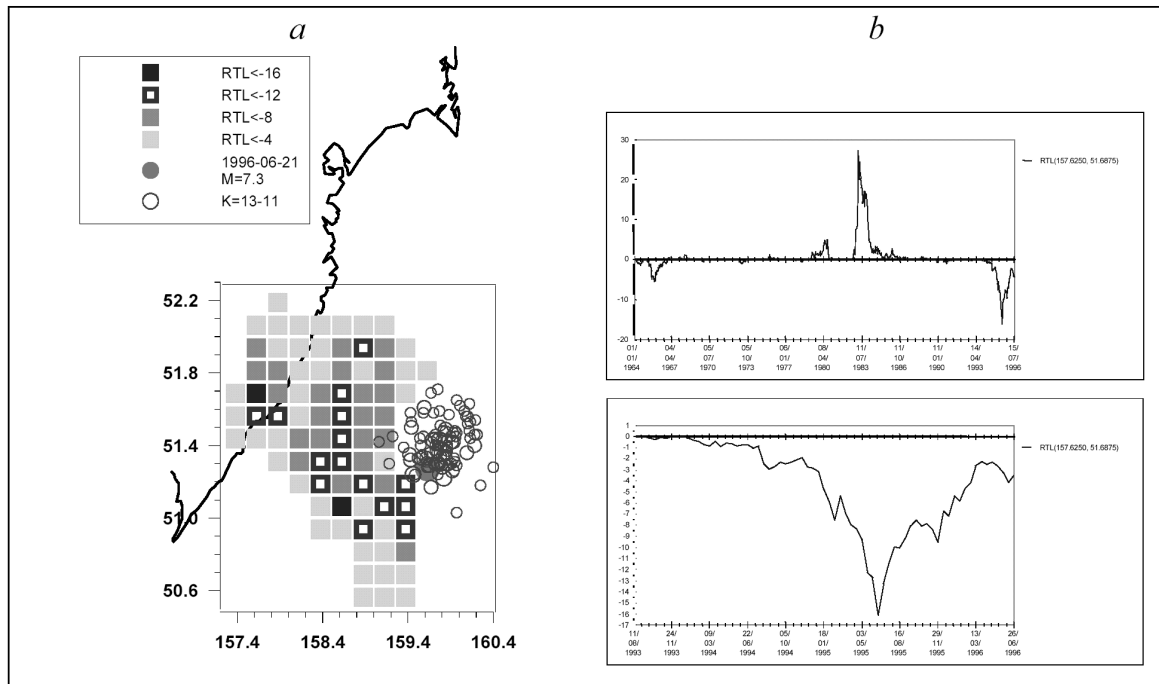


Рис.10. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 21 июня 1996 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 51.69 с.ш., 157.63 в.д. (b).

Fig.10. The anomalous area of RTL parameter before the 21 June 1996 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 51.69 N, 157.63 E (b).

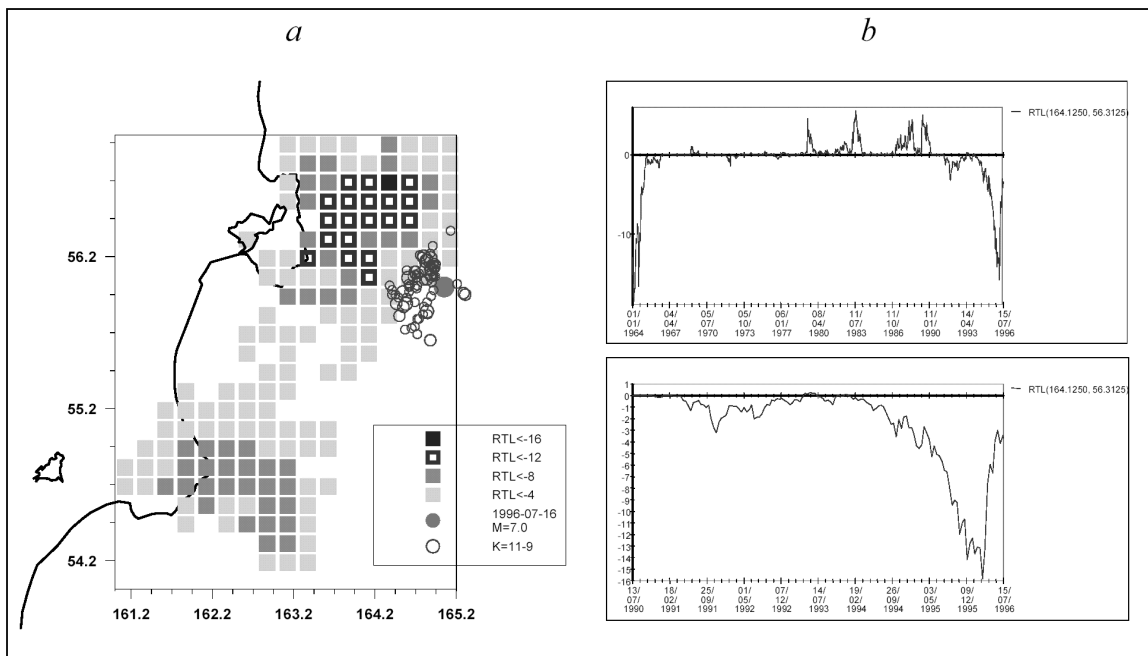


Рис.11. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 16 июля 1996 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 56.31 с.ш., 164.13 в.д. (b).

Fig.11. The anomalous area of RTL parameter before the 16 July 1996 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 56.31 N, 164.13 E (b).

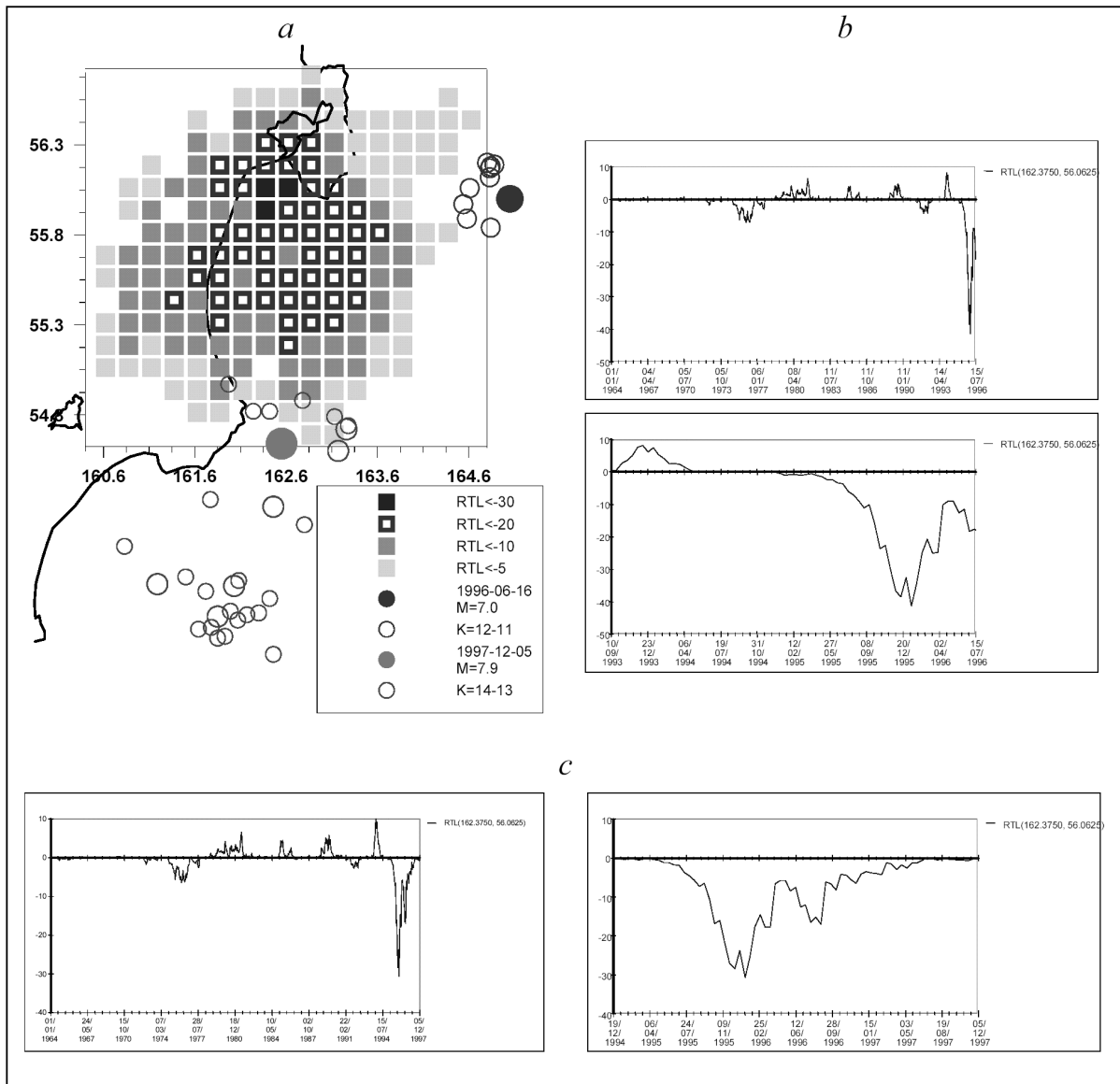


Рис.12. Аномальная область параметра RTL перед землетрясениями 16 июля 1996 г. и 5 декабря 1997 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 56.06 с.ш., 162.38 в.д. (б).
Fig.12. The anomalous area of RTL parameter before the 16 July 1996 and the 5 December 1997 earthquakes was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 56.06 N, 162.38 E are designed for the catalogues limited by dates of these earthquakes (b) and (c) accordingly.

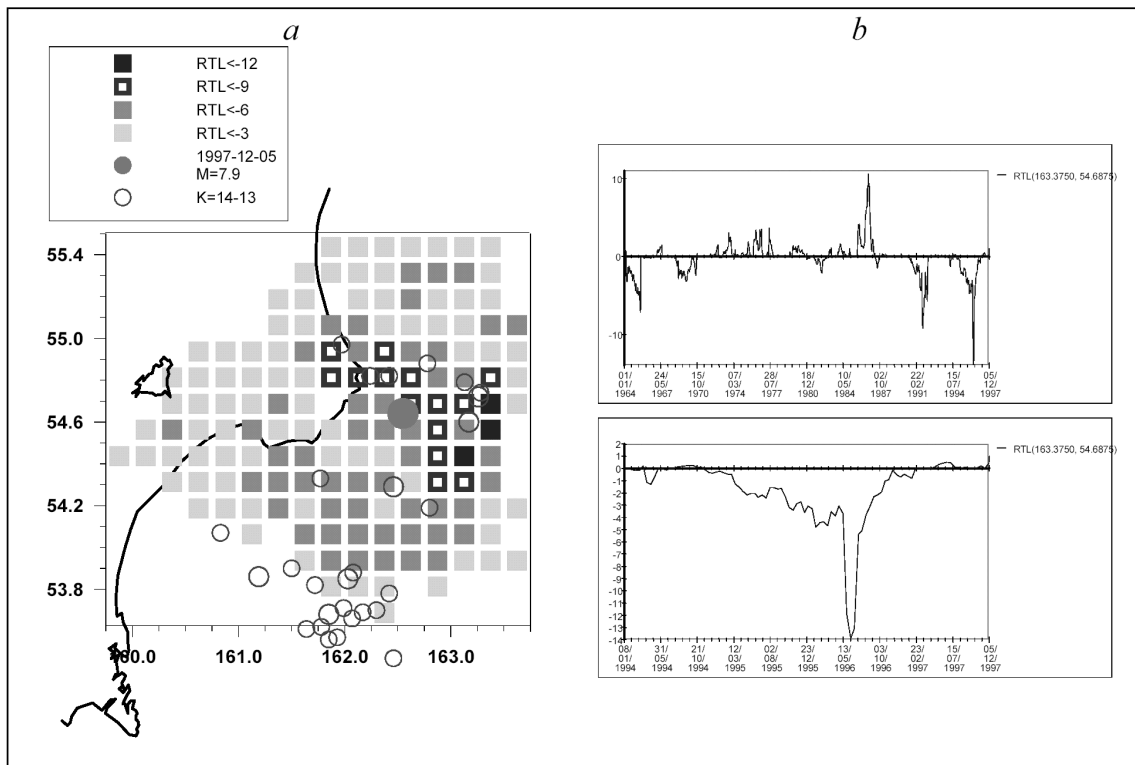


Рис.13. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 5 декабря 1997 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 54.69 с.ш., 163.38 в.д. (b).

Fig.13. The anomalous area of RTL parameter before the 5 December 1997 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 54.69 N, 164.38 E (b).

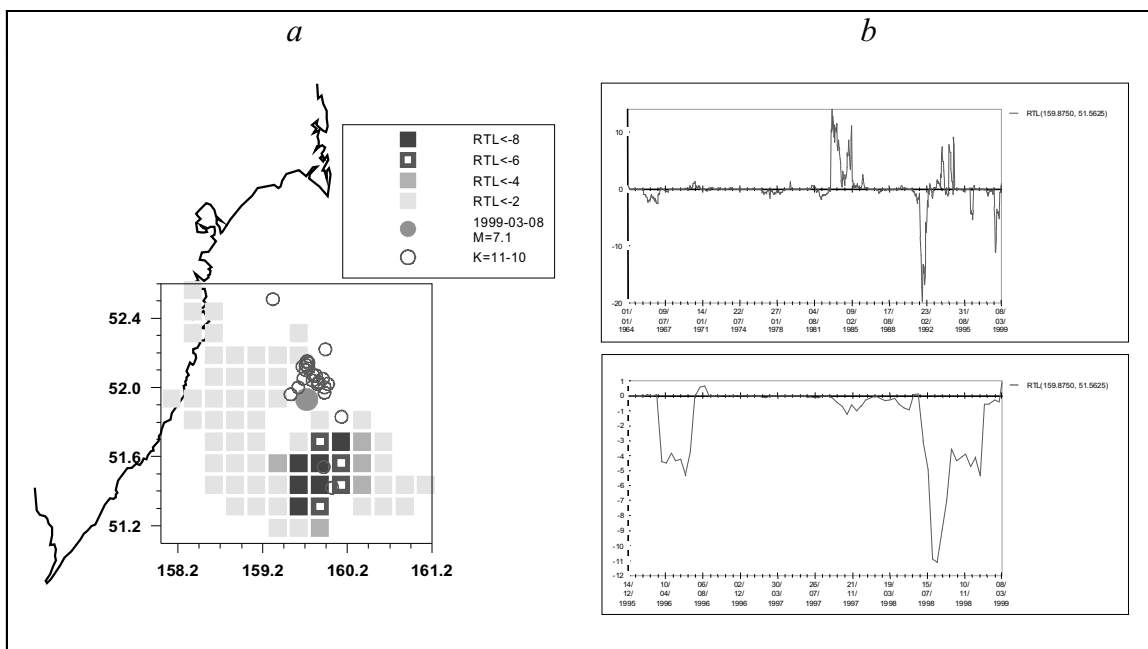


Рис.14. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 8 марта 1999 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 51.56 с.ш., 159.88 в.д. (b).

Fig.14. The anomalous area of RTL parameter before the 8 March 1999 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 51.56 N, 159.88 E (b).

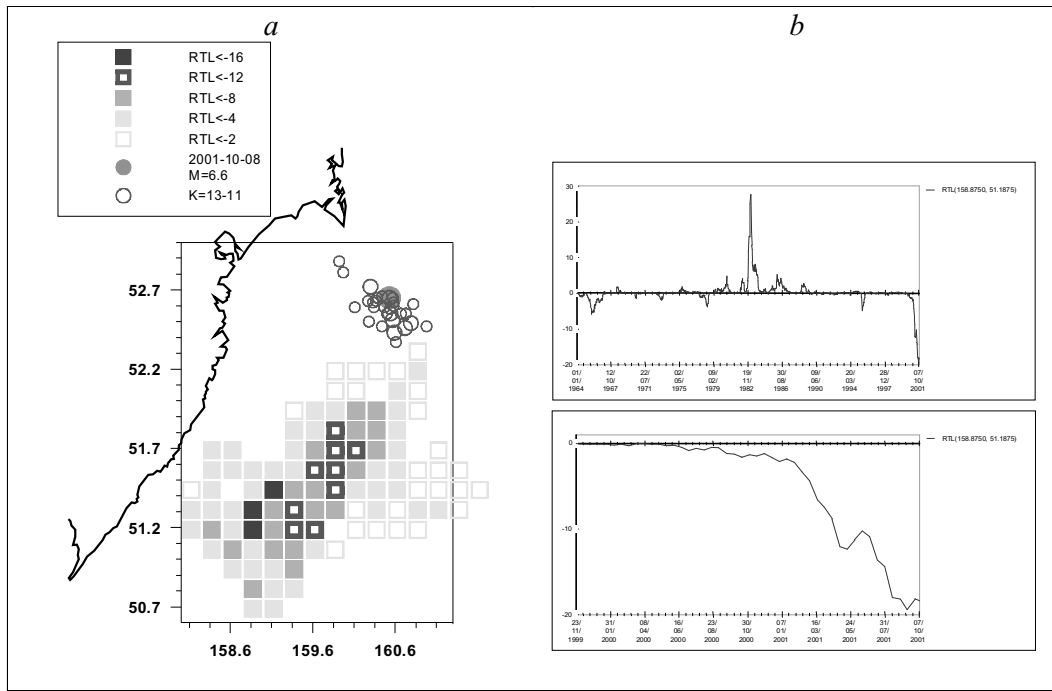


Рис.15. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 8 октября 2001 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 30-100 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 51.19 с.ш., 158.88 в.д. (б).

Fig.15. The anomalous area of RTL parameter before the 8 October 2001 earthquakes was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 30-100 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 51.19 N, 158.88 E (b).

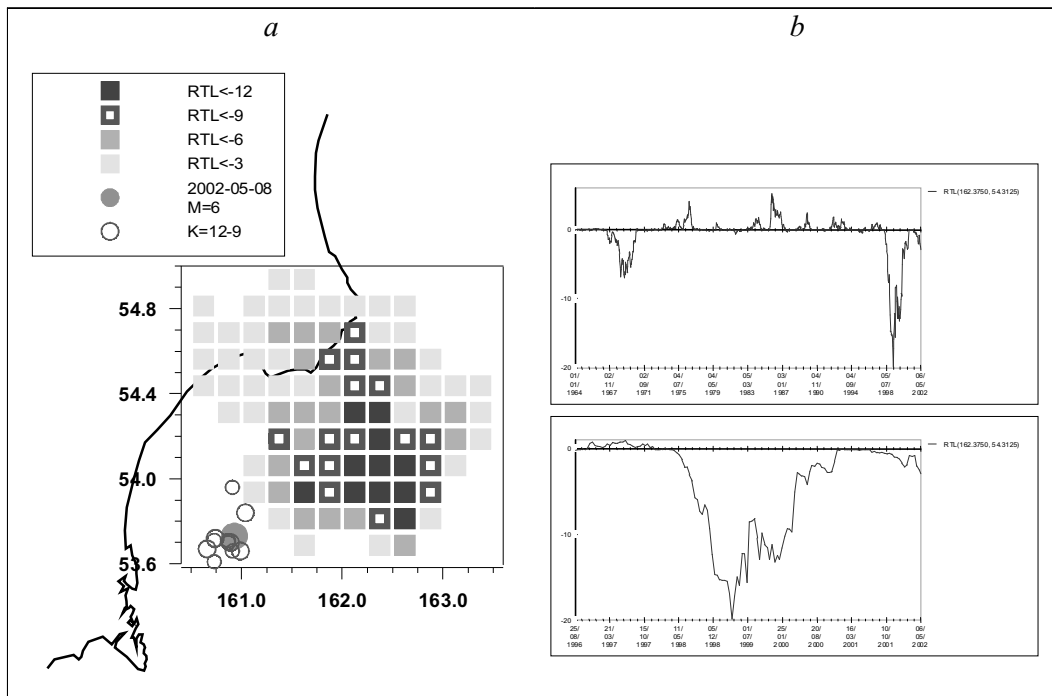


Рис.16. Аномальная область параметра RTL перед землетрясением 8 мая 2002 г., выделенная при анализе сейсмичности на глубине 0-70 км (а), и график изменения параметра RTL в точке с координатами 54.31 с.ш., 162.38 в.д. (б).

Fig.16. The anomalous area of RTL parameter before the 8 May 2002 earthquake was allocated at the analysis of seismicity in the depth range 0-70 km (a). Variations of RTL parameter within a cylindrical volume by radius 100 km around the point with coordinates 54.31 N, 162.38 E (b).

Таблица. Землетрясения с магнитудой не менее 6.0, произошедшие в период с 1980 по 2003 г., и параметры соответствующих им сейсмических аномалий. $\Delta\tau$ – длительность аномалии, Δt – время ожидания.

Table. Strong earthquakes ($M \geq 6.0$) occurred near Kamchatka for 1980 - 2003 years and parameters of the corresponding seismic anomalies. ΔH – depth range, n – number of events ($K_{\min} = 8.5$) within a cylindrical volume by radius 100 km around the minimal parameter RTL point, $\Delta\tau$ – duration of seismic anomaly, Δt – time interval between the minimal parameter RTL date and the main shock.

N	Date	Coordinates, degrees		Depth, km	Ms	ΔH , km	n	RTL, σ	$\Delta\tau$ -, month	Δt , month.
1	23-Jan-1980	52.23	160.4	14	6.1					
2	31-May-1982	55.07	165.48	40	6.5					
3	9-Jan-1983	55.1	163.53	19	6.2	0-70 30-100	2100 1000	<-12 <-10	14 5	7 9
4	17-Aug-1983	55.65	161.53	102	6.9	0-70	2100	<-12	14	14
5	27-Jul-1984	52.97	161.33	58	6.2					
6	28-Dec-1984	56.18	163.44	19	6.5					
7	6-Mar-1985	55.09	162.46	46	6.0					
8	19-May-1985	53.54	160.62	39	6.2	30-100	700	<-50	12	0
9	10-Jul-1987	55.06	165.44	49	6.1	0-70	250	<-30	12	18
10	4-Oct-1987	55.53	162.08	72	6.2					
11	6-Oct-1987	52.86	160.23	33	6.4	0-70 30-100	2100 1700	<-20 <-20	16 15	2 5
12	24-May-1989	56.3	163.77	39	6.4					
13	19-Dec-1990	52.77	160.65	24	6.3	30-100	700	<-30	12	0
14	2-Mar-1992	52.76	160.2	20	6.8	30-100	900	<-35	26	6
15	8-Jun-1993	51.2	157.8	40	7.4	0-70 30-100	1700 700	<-7 <-13	10 13	7 10
16	13-Nov-1993	51.79	158.83	40	7.1	0-70 30-100	1700 700	<-7 <-13	10 13	12 15
17	1-Jan-1996	53.9	159.43	0	6.5					
18	21-Jun-1996	51.27	159.63	1	7.3	30-100	1100	<-16	19	13
19	16-Jul-1996	56.0	165.05	40	7.0	0-70 30-100	800 900	<-16 <-40	13 12	6 7
20	5-Dec-1997	54.64	162.55	10	7.9	0-70 30-100	3600 1000	<-14 <-30	12 20	17 23
21	1-Jun-1998	52.81	160.37	31	6.6					
22	8-Mar-1999	51.93	159.72	7	7.1	30-100	900	<-11	6	6
23	26-Nov-1999	55.07	165.23	34	6.0					
24	2-Aug-2001	56.05	163.9	31	6.2					
25	8-Oct-2001	52.65	160.53	22	6.6	30-100	1300	<-20	8	1
26	5-Dec-2003	55.56	165.73	14	6.0					