

УДК 550.34

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА RTL

© 2005 Н. М. Кравченко

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006
Адрес для переписки: 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйна, 9; КФ ГС РАН;
тел. 8(41522) 9-17-91; e-mail: hope@emsd.iks.ru*

Выполнен ретроспективный анализ вариаций слабой сейсмичности Камчатки по методу RTL (Соболев, Тюпкин, 1996) за период времени с 1980 г. по 2004 г. для двух диапазонов глубин: 0-70 км и 30-100 км. Оценена эффективность выделения аномалий сейсмического затишья на основе прогностического параметра RTL в качестве предвестника камчатских землетрясений с $M \geq 6$. Показано, что в 7 случаях из 9 для глубин 0-70 км и в 10 случаях из 16 для глубин 30-100 км в пределах области аномального уменьшения значений RTL или в ближайших ее окрестностях в интервале до 2 лет после достижения минимума RTL происходит землетрясение с $M \geq 6$.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве среднесрочного предвестника сильных землетрясений Г.А. Соболевым и Ю.С. Тюпкиным (1996) был предложен прогностический параметр RTL, основанный на выделении аномалии сейсмического затишья по трем характеризующим сейсмический режим функциям: эпицентральной R, временной T и энергетической L. Согласно модели авторов, пространственно-временные области с отрицательными значениями параметра RTL соответствуют зонам формирования сейсмического затишья, а увеличение параметра RTL после минимума – форшоковой активизации, при этом значительное сейсмическое событие следует ожидать в непосредственной близости к области аномально низких значений RTL.

Предложенная методика выделения предвестника была проверена авторами на материале шести сильных землетрясений Камчатки с магнитудами более 7 (Соболев, Тюпкин, 1996, 1998). Выяснено, что все проанализированные землетрясения произошли после смены стадии затишья на стадию активизации на краю области аномально низких значений RTL. Длительность промежутка времени, отсчитываемая от минимума графика RTL до сильного землетрясения, составляла от месяца до полутора лет. По результатам работы Г.Н. Копыловой и др. (1998) следует, что в эпицентральных областях не менее половины камчатских землетрясений с $M \geq 6.8$ во временном промежутке до 3 лет до землетрясения про-

являются предшествующие бухтообразные вариации параметра RTL. В работе (Кравченко, 2004) показано, что 13-ти из 22 землетрясений с $M \geq 6$, произошедших в сейсмоактивной зоне Камчатки с 1980 по 2003 г., предшествовали сейсмические затишья длительностью не менее полугода с минимальными величинами параметра RTL от -8σ , где σ – среднеквадратичное отклонение. Стадия затишья проявлялась в интервале до двух лет перед землетрясением в его эпицентральной зоне.

Целью данной работы является определение эффективности выделения сейсмического затишья по методике RTL в качестве предвестника сильного землетрясения. Под эффективностью предвестника понимается отношение числа сейсмических затиший, предшествующих, согласно модели, сильному землетрясению, к числу всех выделенных данным методом аномалий. Для этого с помощью программы анализа сейсмической обстановки «RTL анализатор» (Иванов, Салтыков, 2004) выполнен ретроспективный анализ фоновой сейсмичности в пределах сейсмоактивной зоны Камчатки за период с 1980 г. по 2004 г.; выделены и исследованы сейсмические затишья, проявившиеся в это время. В работе использован каталог землетрясений, полученный Камчатской региональной сетью сейсмических станций с 1962 года. За нижний порог представительности землетрясений выбран энергетический класс $K=8.5$, который соответствует уровню надежной регистрации землетрясений для исследуемого района. Из каталога предварительно исключены

афтершоки сильных землетрясений по программе, составленной В.Б. Смирновым с использованием алгоритма работы Г.М. Молчан и О.Е. Дмитриевой (1991).

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, происходящие на временной интервал $(t - T_{\max})$, для которых расстояние от эпицентра до расчетной точки не превышает R_{\max} , глубины гипоцентров соответствуют выбранному диапазону. 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 характеризуется 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, участвующих в расчете параметра RTL. Вклад каждого землетрясения пропорционален размеру очага и обратно пропорционален расстоянию до расчетной точки.

Функции R , T и L безразмерные и приводятся к единичной дисперсии.

В расчетах принимались значения: $r_0 = 50$ км, $t_0 = 1$ год, $R_{\max} = 100$ км, $T_{\max} = 2$ года, энергетический класс сейсмических событий 8.5-13.0.

Выделение сейсмического затишья происходит следующим образом. Исследуемый район покрывается сеткой с шагом $7'30''$ по широте и $15'$ по долготе. Для каждого узла сетки рассчитывается временная зависимость параметра RTL в единицах среднеквадратичного отклонения Γ для всего каталога от его начала. «RTL-анализатор» позволяет получить визуальное изображение значений параметра RTL в заданный момент времени во всех узлах сетки. Перемещаясь во времени с определенным шагом (в данной работе - 15 суток), пользователь может наблюдать динамическую картину процесса развития и угасания сейсмического затишья и определить тем самым его пространственно-временное положение.

Далее каждому узлу сетки, попадающему в зону наблюдаемого затишья, приписывается минимальное значение параметра RTL за все время существования аномалии. Узлы сетки, в которых

значения параметра $RTL < -3\sigma$, объединяются по принципу соседства и определяют область сейсмического затишья.

Выделенная аномалия характеризуется минимальным достижимым значением параметра RTL за все время ее существования и длительностью затишья, соответствующего интервалу времени, в течение которого значения параметра RTL были меньше -3σ . Для точки сетки с минимальным достижимым для данного затишья значением RTL вычислялось суммарное число землетрясений, происходящих на расчетный цилиндр за анализируемый промежуток времени (от начала каталога до расчетной даты). Авторы методики полагают, что количество событий n , участвующих в определении аномалии, должно быть не менее 550. В противном случае аномалия не значима.

Как показала практика, параметры аномалии сейсмического затишья, определенной по пространственно-временному распределению параметра RTL, заметно изменяются во времени по мере пополнения расчетного каталога землетрясениями. Поэтому каталог землетрясений, используемый в расчете, добавляется с шагом в полгода, начиная с января 1980 года.

Рабочий момент процесса выделения сейсмической аномалии представлен на рис. 1.

На карте 1 а значения RTL рассчитаны на 4 ноября 1995 г. для диапазона глубин 0-70 км. Каталог землетрясений ограничен 31 декабря 1995 г. Для точки с координатами 54.94° с.ш., 161.88° в.д. приведен график изменения параметра RTL (рис. 1 б), из которого следует, что сейсмическое затишье в районе Кроноцкого полуострова начинает проявляться в апреле 1995 г. ($RTL < -3\sigma$), и минимальное значение RTL ($< -12\sigma$) достигается в ноябре 1995 г. На карте 1 в показано это же затишье при расчетной дате 3 марта 1996 г. Каталог землетрясений ограничен 31 декабря 1996 г. Значение RTL (рис. 1 г) выходит на фоновый уровень в августе 1996 г. Таким образом, представленное сейсмическое затишье характеризуется минимальным достижимым значением RTL, равным -12σ , и длительностью 17 месяцев.

Как видно из этой демонстрации, точность определения времени начала (окончания) аномалии может составлять 1-2 месяца даже для одного и того же узла сетки. Если аномалия характеризуется значениями RTL для разных точек сетки, то соответствующие временные отметки могут различаться на полгода. Степень проявления аномалии, определяемая величиной минимума RTL, также может меняться в зависимости от даты окончания расчетного каталога. Поэтому анализ вариаций сейсмичности посредством программы «RTL-анализатор» не позволяет получить точные количественные оценки параметров сейсмических аномалий, но позволяет выделить сейсмичес-

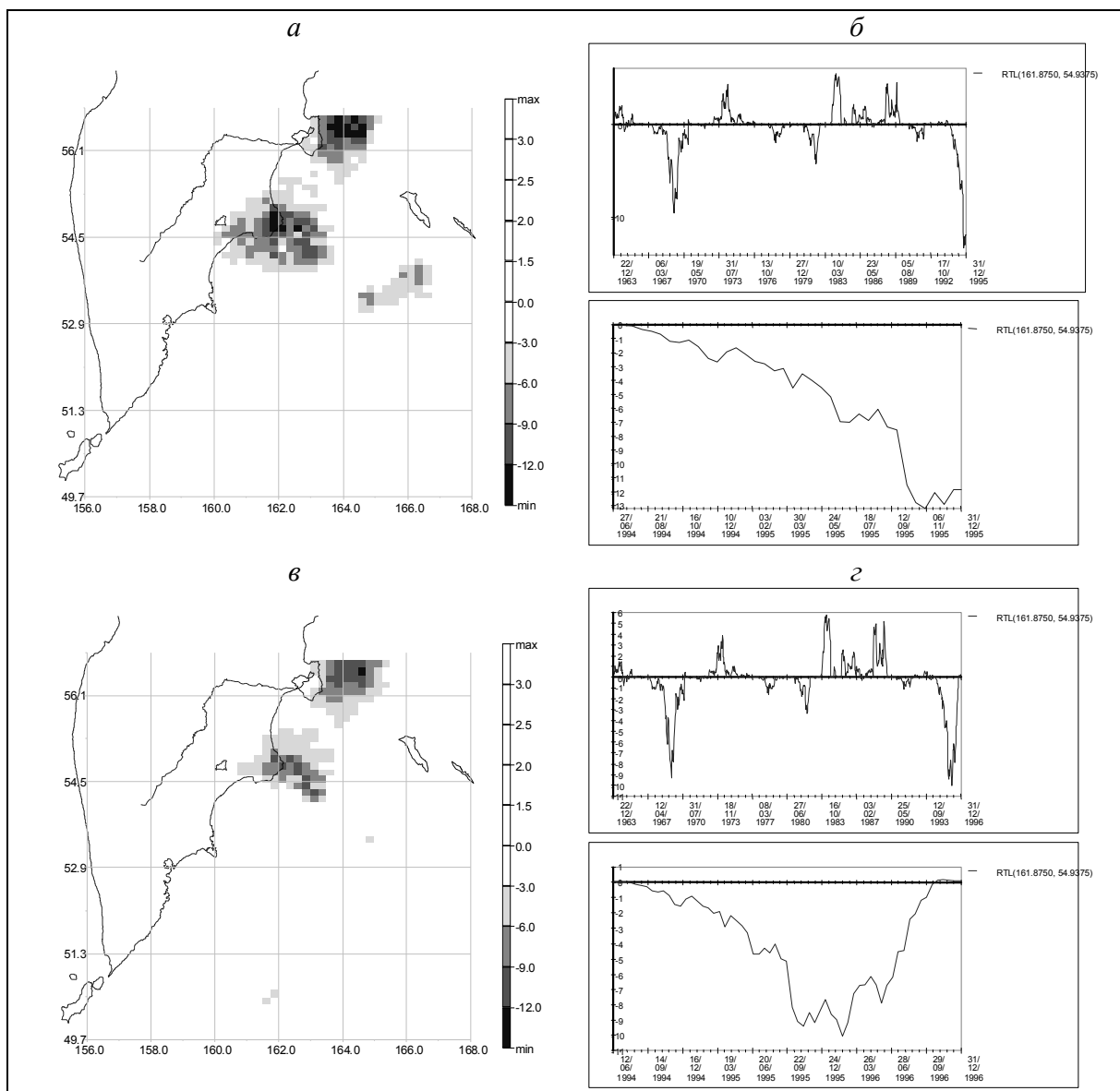


Рис. 1. Карты значений RTL: *а* - рассчитанные на 4 ноября 1995 г., *в* - на 3 марта 1996 г. Графики изменения параметра RTL в точке с координатами 54.94° с.ш. и 161.88° в.д.: *б* - для каталога землетрясений 1962-1995 гг., *з* - 1962-1996 гг.

кие затишья по заданной минимальной величине параметра RTL.

В работе рассматривались только те аномальные области, которые соответствовали условию значимости, предложенному авторами методики ($n \geq 550$), и при минимуме значений параметра RTL не более -8σ хотя бы в одной из расчетных точек. Если в пределах зоны сейсмического затишья или в ее окрестности в течение 2 лет после его окончания происходило сейсмическое событие с $M \geq 6$, то оно сопоставлялось с этой зоной. Величиной, характеризующей принадлежность сейсмического события к выделенной области сейсмического затишья, служит также параметр α , равный отношению расстояния между точкой с минимальной величиной RTL и эпицентром землетрясения к размеру очага. Размеры очагов

оценивались в этом случае по величине магнитуды по формуле, приведенной в работе Г.А. Соболева и Ю.С. Тюпкина (1996). Авторы метода полагают, что α не должен быть более 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для диапазона глубин 0-70 км по методике RTL было выделено 9 зон сейсмического затишья.

На рис. 2 *а* представлены зоны 1-3. В зоне 1 сейсмическая аномалия выделяется с сентября 1981 г. по ноябрь 1982 г. Минимум RTL достигал значения -12σ в июне 1982 г. В течение 2 лет после достижения минимального значения параметра RTL на границе выделенной аномалии произошло три землетрясения с $M > 6$. В работе исполь-

зованы магнитуды, определенные по поверхностным волнам Релея в Центральной Опытно-Методической Экспедиции в Обнинске. Землетрясение 21 ноября 1982 г. (55.42° с.ш., 163.36° в.д., Н=40 км, М=6.8) произошло при выходе параметра RTL на фоновый уровень. 9 января 1983 г. произошло землетрясение с М=6.2 (52.4° с.ш., 163.53° в.д., Н=19 км) и 17 августа 1983 г., спустя 9 месяцев после окончания затишья, на границе этой же аномальной области произошло более сильное землетрясение (55.65° с.ш., 161.53° в.д., Н = 98 км, М=6.9).

В зоне 2 продолжительность аномалии RTL составила около 16 месяцев, с октября 1986 г. по январь 1988г. В августе 1987 г. значение параметра RTL достигло минимального значения -16σ. 6 октября 1987 г. на границе зоны 2 произошло землетрясение с М=6.4 (52.86° с.ш., 160.23° в.д., Н=33 км).

С конца 1986 г. до середины 1989 г. в зоне 3 существовала сейсмическая аномалия с минимальной величиной параметра RTL, равной -12σ.

В зоне 4 (рис. 2 б) аномалия сейсмического затишья длилась с декабря 1990 г. до февраля 1992 г. Параметр RTL достигал -12σ.

Аномалия в зоне 5 относительно невелика (RTL=-8σ), длительность ее составляла 10 месяцев, с мая 1982 г. по февраль 1983 г. Минимального значения параметр RTL достигал в ноябре-декабре 1992 г. 8 июня 1993 г. на юго-западной границе этой зоны произошло сильное землетрясение (51.2° с.ш., 157.8° в.д., Н=40 км, М=7.4). 13 ноября 1993 г. землетрясение с М=7.1 (51.79° с.ш.,

158.83° в.д., Н=40 км) произошло на северо-восточной границе области сейсмического затишья.

В зоне 6 (рис. 2 в) затишье длилось с августа 1995 г. по август 1996 г. Минимальное значение параметра RTL (-16σ) отмечено в марте 1996г. 16 июля 1996 г. на границе этой аномальной зоны при выходе параметра RTL на фоновый уровень произошло землетрясение с М=7.1 (56° с.ш., 165.05° в.д., Н=40 км).

В зоне 7 длительность сейсмического затишья составляла 17 месяцев, минимум RTL равен -12σ. Эпицентр землетрясения 5 декабря 1997 года (54.64° с.ш., 162.55° в.д., Н=10 км, М=7.9) расположен в северо-восточной области зоны затишья. Интервал времени между датой минимального значения RTL и этим сейсмическим событием составил 22 месяца.

В зоне 8 (рис. 2 г) сейсмическое затишье длилось с августа 1998 г. по июнь 2000 г. Минимального значения (-25σ) параметр RTL достигал в мае 1999 г. и в январе 2000 г. 8 мая 2002 г. на юго-западной границе области затишья произошло землетрясение с М=6.0 (53.73° с.ш., 160.93° в.д., Н=43 км).

В зоне 9 (рис. 2 д) значение RTL было меньше фонового с мая 2002 г. по декабрь 2003 г. Минимум RTL (-12σ) приходится на март - апрель 2003 г. 14 апреля 2004 г. на границе этой зоны произошло землетрясение с М=6.0 (55.16° с.ш., 162.97° в.д., Н=47 км).

Все вышеперечисленные сейсмические затишья и соответствующие им землетрясения с М≥6 сведены в табл. 1.

Таблица 1. Зоны сейсмического затишья, выделенные методом RTL, за период времени с 1980 по 2004 г. для диапазона глубин 0-70 км и соответствующие им землетрясения с М ≥ 6

N	Время аномалии	RTL _{min} , σ	Длительность затишья, мес	Координаты точки RTL _{min} °сш., °вд	n	Дата землетрясения	M	α	Время ожидания, мес
1	09.1981-11.1982	-12	14	54.69 163.38	2100	21.11.1982 09.01.1983 17.08.1983	6.8 6.2 6.9	2.5 2.6 4.3	5 7 14
2	10.1986-01.1988	-20	16	52.69 159.13	2100	06.10.1987	6.4	3.5	2
3	12.1986-06.1988	-12	19	50.18 158.38	1200	-			
4	12.1990-02.1992	-12	14	54.56 163.88	1700	-			
5	05.1992-02.1993	-8	10	51.19 158.13	1700	08.06.1993 13.11.1993	7.4 7.1	0.4 1.7	7 12
6	08.1995-08.1996	-16	13	56.69 164.38	800	16.07.1996	7.0	2.1	4
7	04.1995-08.1996	-12	17	54.31 163.13	3500	05.12.1997	7.9	0.5	22
8	08.1998-06.2000	-25	22	54.56 161.38	4600	08.05.2002	6.0	6.7	26
9	05.2002-04.2004	-12	26	54.19 163.38	2700	14.04.2004	6.0	7.7	13

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА RTL

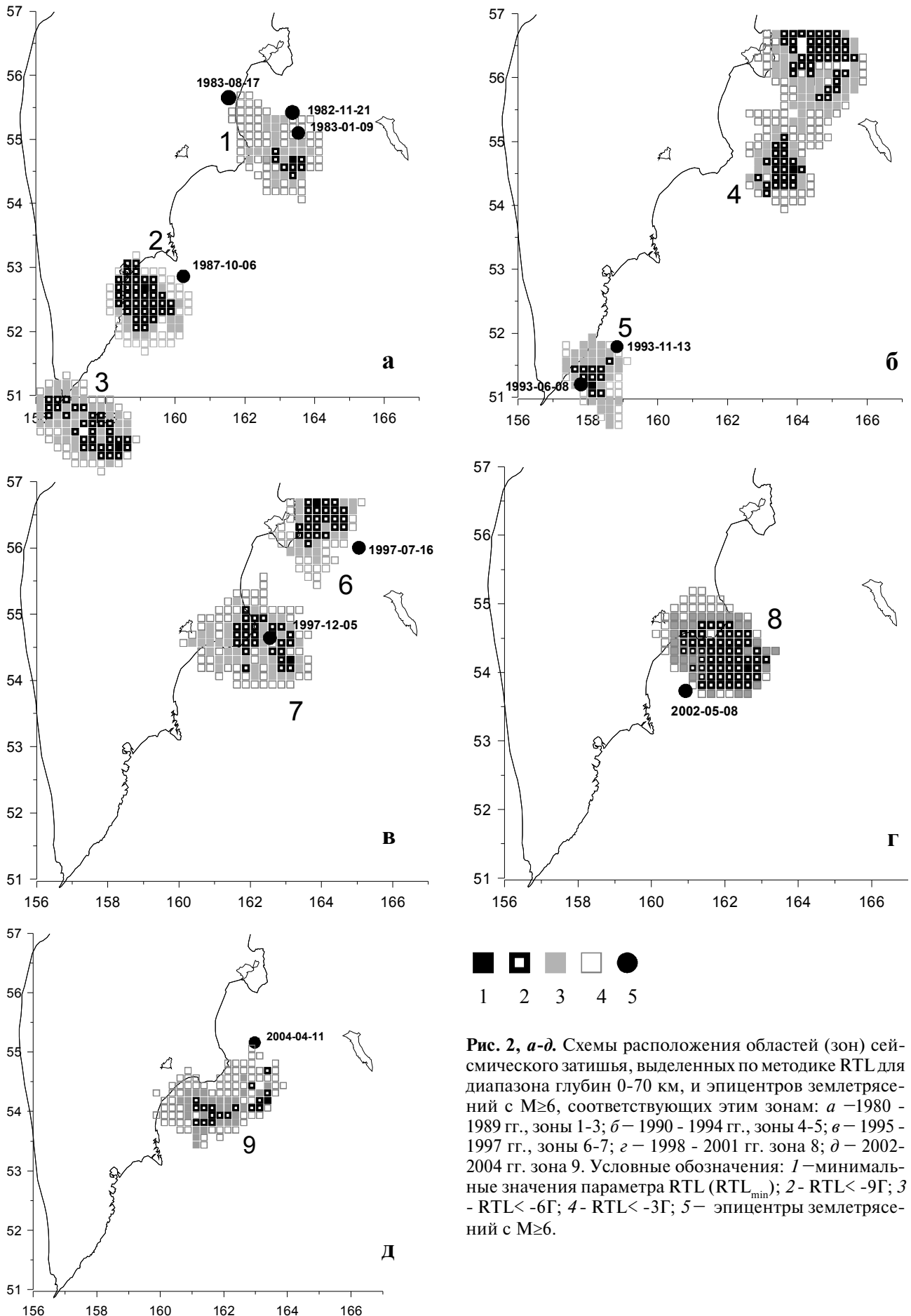


Рис. 2, а-д. Схемы расположения областей (зон) сейсмического затишья, выделенных по методике RTL для диапазона глубин 0-70 км, и эпицентров землетрясений с $M \geq 6$, соответствующих этим зонам: а – 1980 - 1989 гг., зоны 1-3; б – 1990 - 1994 гг., зоны 4-5; в – 1995 - 1997 гг., зоны 6-7; г – 1998 - 2001 гг. зона 8; д – 2002-2004 гг. зона 9. Условные обозначения: 1 – минимальные значения параметра RTL (RTL_{min}); 2 - $RTL < -9G$; 3 - $RTL < -6G$; 4 - $RTL < -3G$; 5 – эпицентры землетрясений с $M \geq 6$.

Для каждой выделенной зоны сейсмического затишья приведены: временной интервал аномалии, минимальное значение RTL за все время ее существования, продолжительность сейсмического затишья, географические координаты точки, в которой определено минимальное значение параметра RTL и количество землетрясений, попадающих в «расчетный» цилиндр для точки сетки с минимальным значением RTL . Для землетрясений, сопоставляемых с зоной затишья, рассчитаны значения параметра α и времени ожидания. Под временем ожидания в данном случае понимается промежуток времени между датой достижения минимального значения RTL и датой землетрясения.

Продолжительность сейсмических затиший варьируется от 10 до 22 месяцев, минимальные значения RTL составляют от -8σ до -25σ . Семи зонам из выделенных девяти можно сопоставить последующее сейсмическое событие с $M \geq 6$. Эпицентр землетрясения, как правило, лежит в пределах, либо на границе зоны аномально низких значений параметра RTL . Длительность стадии активизации, отсчитываемая от минимума графика RTL до возникновения землетрясения, составляет от 2 до 26 месяцев.

Для диапазона глубин 30-100 км было выделено 16 зон сейсмического затишья.

На рис. 3 а показаны зоны 1d-4d.

В зоне 1d сейсмическое затишье длилось в течение 10 месяцев, с декабря 1981 г. по сентябрь 1982 г., минимальное значение RTL достигало -9 . На северной границе этой зоны произошло 3 сильных землетрясения: 21 ноября 1982 г. ($M=6.8$), 9 января 1983 г. ($M=6.2$) и 17 августа 1983 г. ($M=6.9$).

В зоне 2d аномалия продолжалась с марта 1985 г. по август 1986 г. 19 мая 1985 г. на южной границе этой аномальной области произошло землетрясение с $M=6.2$ (53.54° с.ш., 160.62° в.д., $H=39$ км). К моменту землетрясения значение параметра RTL в точке с координатами 54.69° с.ш., 160.13° в.д. было равно -22σ . В августе 1985 г. значение RTL достигало -25σ . Возможно, дальнейшее понижение значений параметра RTL имело искусственный характер и было обусловлено удалением из каталога афтершоков землетрясения 19 мая 1985 г.

Сейсмическое затишье в зоне 3d выделялось в течение 12 месяцев, с декабря 1986 г. по ноябрь 1987 г. В июне 1987 г. минимальное значение RTL составляло -20σ . На юго-восточной границе этой зоны произошло землетрясение 6 октября 1987 г. (52.86° с.ш., 160.23° в.д., $H=33$ км, $M=6.4$).

В зоне 4d затишье продолжалось в течение 1987 г. и 1988 г. при минимальном значении RTL -12σ в августе 1987 г.

На рис. 3 б показаны зоны 5d-7d.

В зоне 5d продолжительность аномалии составила 26 месяцев, с апреля 1990 г. по май 1992 г., при минимальном значении параметра RTL -40σ . Землетрясение 19 декабря 1990 г. (52.77° с.ш., 160.65° в.д., $H=24$ км, $M=6.3$) произошло на северной границе зоны 5d при значении RTL , равном -32σ . В сентябре 1991 г. величина параметра RTL составляла менее -40σ . 2 марта 1992 г., также на северной границе аномальной области, произошло еще одно, более сильное землетрясение (52.76° с.ш., 160.2° в.д., $H=20$ км, $M=6.8$). Землетрясение произошло на выходе значений параметра RTL из минимума.

В зоне 6d затишье длилось 25 месяцев, с октября 1990 г. по ноябрь 1992 г., минимум параметра RTL достигал значения -32σ .

В зоне 7d затишье выделяется с марта 1991 г. по декабрь 1992 г. Минимальное значение параметра составляло RTL -20σ .

В зоне 8d (рис. 3 в) значения RTL были меньше фоновых в течение 13 месяцев, с сентября 1991 г. по сентябрь 1992 г. Минимальное значение RTL составляло -24σ . На юго-западной границе зоны, через 10 месяцев после минимума RTL , 8 июня 1993 г. произошло землетрясение с $M=7.4$. Еще через 5 месяцев, 13 ноября 1993 г. землетрясение с $M=7.1$ произошло на северо-восточной границе этого сейсмического затишья.

В зоне 9d минимальное значение RTL достигало -16σ в октябре 1994 г. Сейсмическое затишье продолжалось с апреля 1993 г. по июнь 1995 г. 1 января 1996 г. в пределах области затишья произошло землетрясение с $M=6.5$ (53.88° с.ш., 159.44° в.д., $H=0$ км).

В зоне 10d сейсмическое затишье длилось с ноября 1994 г. по ноябрь 1995 г. при минимуме RTL -16σ .

На рис. 3 г показаны зоны 11d – 12d.

В зоне 11d продолжительность сейсмического затишья составляла 19 месяцев, с июня 1994 г. по декабрь 1995 г. Минимальное значение RTL (-16σ) наблюдалось в августе 1995 г. На границе этой зоны произошло землетрясение 21 июня 1996 г. (51.27° с.ш., 159.63° в.д., $H=1$ км, $M=7.3$).

В зоне 12d значение параметра RTL было меньше фонового в течение 19 месяцев, с июня 1995 г. по декабрь 1996 г. В январе 1996 г. значение RTL достигло минимума (-32σ). Землетрясение 16

Рис. 3 а-е. Схемы расположения областей (зон) сейсмического затишья, выделенных по методике RTL для диапазона глубин 30-100 км, и эпицентров землетрясений с $M \geq 6$, соответствующих этим зонам: а – 1980 - 1988 гг., зоны 1d-4d; б – 1990 г. - 1992 г., зоны 5d-7d; в – 1991 - 1995 гг., зоны 8d-10d; г – 1994 - 1996 гг., зоны 11d-12d; д – 1996-2000 гг., зоны 13d-14d; е - 2001-2003 гг., зоны 15d-16d. Условные обозначения такие же, как на рисунке 2.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА RTL

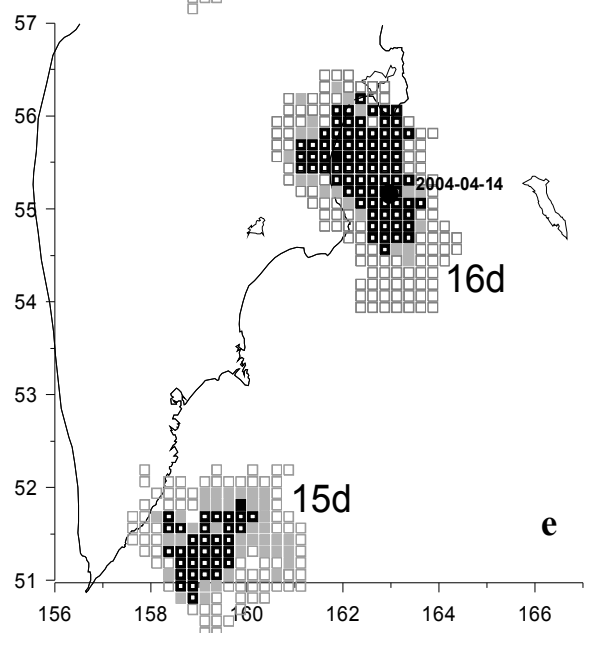
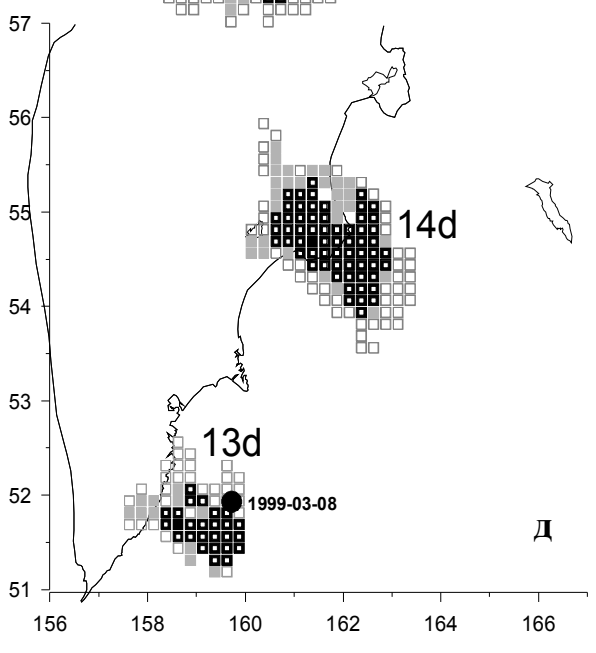
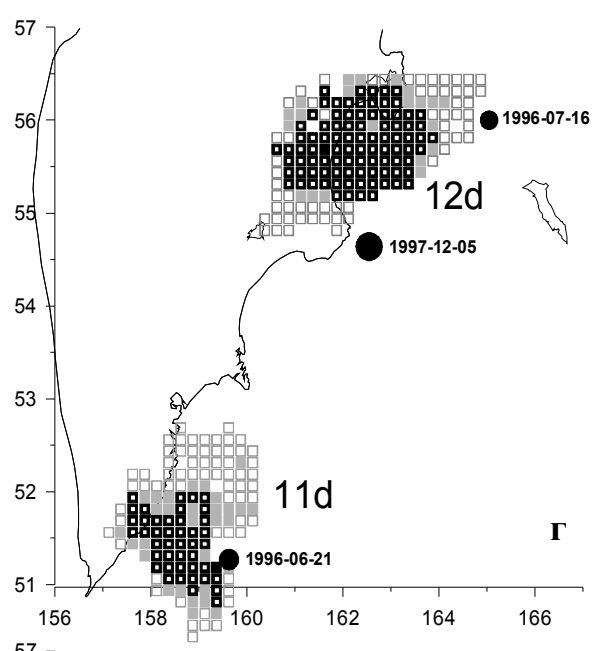
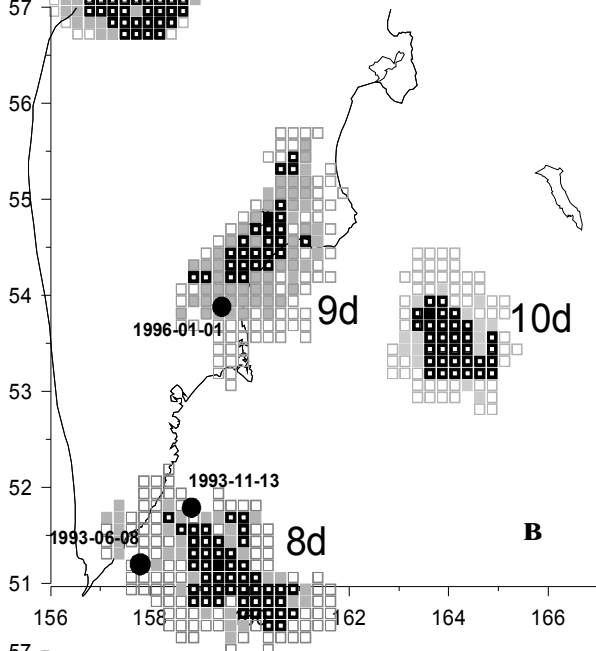
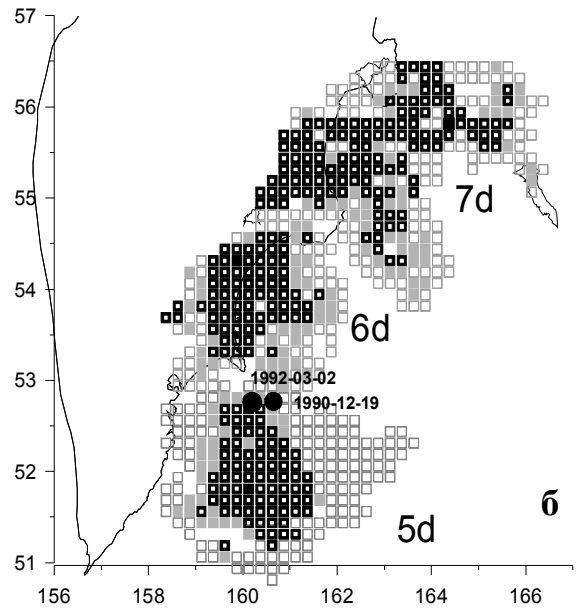
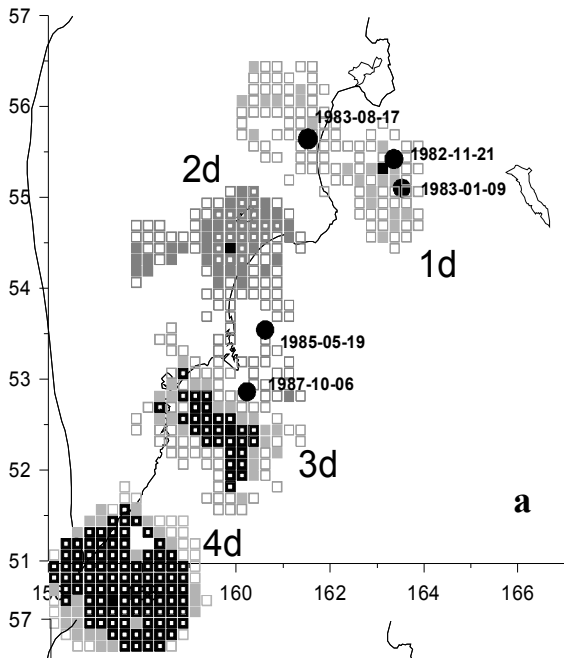


Таблица 2. Зоны сейсмического затишья, выделенные по методу RTL, за период времени с 1980 г. по 2004 г. для диапазона глубин 30-100 км и соответствующие им землетрясения с $M \geq 6$

N	Время аномалии	RTL _{min} , σ	Длительность затишья мес	Координаты точки RTL _{min} °сш, °вд	n	Дата землетрясения	M	α	Время ожидания, мес
1d	12.1981-09.1982	-10	10	55.31 163.13	900	21.11.1982 09.01.1983 17.08.1983	6.8 6.2 6.9	0.6 1.9 2.9	6 8 15
2d	03.1985-08.1986	-25	18	54.43 159.88	750	19.05.1985	6.2	6.2	0
3d	12.1986-11.1987	-20	12	52.61 159.13	1700	06.10.1987	6.4	3.6	5
4d	01.1987-12.1988	-12	24	50.56 157.38	100 0	-			
5d	04.1990-05.1992	-40	26	51.81 160.13	140 0	19.12.1990 02.03.1992	6.3 6.8	5.7 3.2	0 6
6d	10.1990-11.1992	-32	25	54.31 159.88	130 0	-			
7d	03.1991-12.1992	-20	19	55.81 163.38	900	-			
8d	09.1991-09.1992	-24	13	51.19 159.38	800	08.06.1993 13.11.1983	7.4 7.1	1.8 1.7	10 15
9d	04.1993-06.1995	-16	15	54.31 160.38	200 0	01.01.1996	6.5	3.2	14
10d	11.1994-11.1995	-16	13	53.81 163.63	600	-			
11d	06.1994-12.1995	-16	19	51.19 159.37	1100	21.06.1996	7.3	0.4	11
12d	06.1995-12.1996	-32	19	55.69 161.63	1400	16.07.1996 05.12.1997	7.0 7.9	3.7 1.5	6 24
13d	03.1996-03.1997	-12	13	51.69 158.63	1200	08.03.1999	7.1	1.8	27
14d	10.1998-04.2000	-30	19	54.69 161.38	2400	-			
15d	03.2001-05.2003	-20	26	51.81 159.88	1300				
16d	03.2002-12.2003	-20	22	55.56 161.88	2100	14.04.2004	6.0	5.7	14

июля 1996 г. ($M=7.0$) и землетрясение 5 декабря 1997 г. ($M=7.9$) произошли на северо-восточной и южной границах зоны 12d.

В зоне 13d (рис. 3 д) минимальное значение RTL составило -12σ . Затишье продолжалось около 13 месяцев, с марта 1996 г. по март 1997 г. Минимум графика RTL приходится на декабрь 1996 г. 8 марта 1999 г. на восточной границе области сейсмического затишья произошло землетрясение с $M=7.1$ (51.93° с.ш., 159.72° в.д., $H=7$ км)

В зоне 14d выделено затишье длительностью 19 месяцев (октябрь 1998 г. – апрель 2000 г.) с минимальным значением RTL -30σ .

В зоне 15d (рис. 3 е) аномалия сейсмического затишья продолжалась более двух лет, с марта 2001 г. по май 2003 г., минимум RTL достигал значения -20σ в сентябре 2002 г.

В зоне 16d сейсмическое затишье существовало с марта 2002 г. по декабрь 2003 г. В феврале 2003 г. значение RTL было минимальным (-22σ). 14 апре-

ля 2004 г. в пределах этой аномальной зоны произошло землетрясение с $M=6.0$.

Аномалии сейсмического затишья, выделенные при анализе сейсмичности на глубинах 30-100 км, представлены в табл. 2. Как видно из приведенных данных, аномалии параметра RTL, приуроченные к глубинам 30-100 км, более значительны. Минимальные значения параметра RTL варьируют от -10σ до -40σ , длительности затиший изменяются от 8 до 26 месяцев. Длительность стадии активизации, определенная как интервал времени от минимума графика RTL до землетрясения, варьировала от 0 до 27 месяцев. В 10 случаях из 16 проявления сейсмического затишья в интервале до двух лет после его окончания на границе аномальной области происходили землетрясения с $M \geq 6$.

Таким образом, эффективность прогностического параметра RTL может быть оценена как 0.8 (7/9) при анализе сейсмичности на глубинах 0-70 км и 0.6 (10/16) – для диапазона глубин 30-100 км.

Закономерности, связывающие длительность сейсмического затишья, минимальное достигнутое значение RTL, время ожидания и магнитуду последующего землетрясения, не выявлены. Также не прослеживается зависимость характеристик предваряющего сейсмического затишья от его пространственного положения в исследуемой сейсмоактивной области.

Список литературы

Иванов В.В., Салтыков В.А. Система оценки сейсмической опасности «RTL-анализатор» // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. Камчатский печатный двор, 2004. С. 335-353.
Копылова Г.Н., Жалыева Ю.К., Латыпов Е.Р. Вариации слабой сейсмичности в эпицентральных зонах сильных ($M \geq 6,8$) камчатских землетрясений (по результатам расчета параметра RTL, Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. и др., 1996) // Кро-

нокое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997г. Предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский. Издательство КГАРФ, 1998. С.158-169.

Кравченко Н.М. Оценка надежности прогностического параметра RTL // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский. Камчатский печатный двор, 2004. С. 228-242.

Молчан Г.М., Дмитриева О.Е. Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Вычислительная сейсмология. 1991. Вып. 24. С. 19-50.

Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 64-74.

Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Стадии подготовки, сейсмологические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1998. № 6. С.17-26.

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF PREDICTIVE PARAMETER RTL

N. M. Kravchenko

Kamchatkan Branch of Geophysical Service, RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006

A technique for calculating a predictive parameter RTL proposed by Sobolev G.A. and Tyupkin Yu.S. (1996) was used for investigating variations of weak seismicity in Kamchatka for the period of time from 1980 to 2004. The analysis has been done for two depth ranges: 0-70 km and 30-100 km. It was found that in 7 cases from 9 for the depth range 0-70 km and in 10 cases from 16 for the depth range 30-100 km within the limits of area of abnormal reduction of values RTL or in its nearest vicinities in an interval till 2 years after achievement of a minimum RTL occurred earthquake of $M \geq 6$.