

Результаты научных исследований

УДК 550.34

ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ В 2003 Г.

© 2004 г. В. А. Салтыков<sup>1,2</sup>, Н. М. Кравченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Камчатская опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйна, 9; e-mail: salt@emsd.ru;

<sup>2</sup>Камчатский государственный педагогический университет, 683032, Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4. Адрес для переписки: 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пуйна, 9; КОМСП ГС РАН; тел. (415-22)5-86-84; факс. (415-22)5-88-98; e-mail: salt@emsd.ru

В статье дана характеристика сейсмичности Камчатки в 2003 г. На основе региональных каталогов камчатских землетрясений построены площадные распределения параметров фоновой сейсмичности. В комплекс рассматриваемых характеристик входят активность  $A_{10}$ , наклон графика повторяемости  $\gamma$ , параметры методик RTL и Z-теста. Отмечены особенности сейсмичности 2003 г. в Камчатском заливе и на юге Камчатки.

ВВЕДЕНИЕ

Условно единый сейсмический процесс можно разделить на сильные землетрясения и фоновую сейсмичность. Естественно, что первым уделяется большее внимание, но следует иметь ввиду, что динамика фоновой (или слабой) сейсмичности является отражением тех же тектонических процессов, которые, в частности, ведут и к сильным землетрясениям. Поэтому представление данных о слабых землетрясениях также представляет интерес.

Обзоры наблюдаемой фоновой сейсмичности обычно ограничиваются демонстрацией каталогов произошедших землетрясений в виде карт эпицентров, проекций эпицентров на выбранные плоскости различной ориентации, гистограмм распределения землетрясений по магнитуде (энергетическому классу) (например, ежегодные сборники «Землетрясения в СССР в ... году», «Землетрясения Северной Евразии в ... году»). Такой подход безусловно полезен, когда читатель использует статью как источник фактического материала, но отметить какие-либо пространственно-временные особенности сейсмичности выбранного объекта зачастую затруднительно без дополнительной работы. Однако эта проблема упрощается, если представлять не исходный материал (то есть каталоги), а результаты расчета определенных параметров сейсмичности.

В данной работе представлен комплекс параметров сейсмичности Камчатки 2003 г. Некоторые из них являются каноническими (активность и наклон графика повторяемости), другие появились при разработке различных прогностических методик (RTL, Z-

тест). При расчетах использованы каталоги Камчатской опытно-методической сейсмологической партии Геофизической службы РАН (<http://www.emsd.ru>).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Энергия землетрясений Камчатки.** Оценки сейсмичности делались для района, ограниченного широтой  $\varphi=51.0^{\circ}N$  и  $57.0^{\circ}N$ , долготой  $\lambda=156.0^{\circ}E$  и  $167.0^{\circ}E$ , глубиной от 0 до 200 км, в который попадает наиболее сейсмоактивная часть Камчатки.

Общая выделившаяся в 2003 г. сейсмическая энергия  $E = \sum_i 10^{K_i}$ , где  $K_i$  – энергетический класс землетрясения, составила  $8.0 \cdot 10^{14}$  Дж. Учитывая, что среднегодовое (за 42 года детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке) значение  $E$  равно  $6.2 \cdot 10^{14}$  Дж, можно отнести 2003 г. к наиболее активным годам (пятое место за 42 года, наибольшее значение за последние шесть лет (рис.1)). Но следует иметь ввиду, что основной вклад в суммарную энергию дали сильные землетрясения 15 марта с магнитудой  $M_w=6.1$ , 16 июня  $M_w=6.9$ , 5 декабря  $M_w=6.7$  (рис.2) (Моментные магнитуды  $M_w$  определены Геологической службой США (U.S. Geological Survey, <http://earthquake.usgs.gov/>)). Их вклад вместе с афтершоками составил  $4.2 \cdot 10^{14}$  Дж,  $5.0 \cdot 10^{14}$  Дж,  $2.0 \cdot 10^{14}$  Дж соответственно.

**Вариации сейсмической активности  $A_{10}$  и наклона графика повторяемости  $\gamma$ .** Определение сейсмической активности  $A_{10}$  и наклона графика повторяемости  $\gamma$  основано на повторяемости землетрясений как фундаментальном свойстве сейсмического процес-

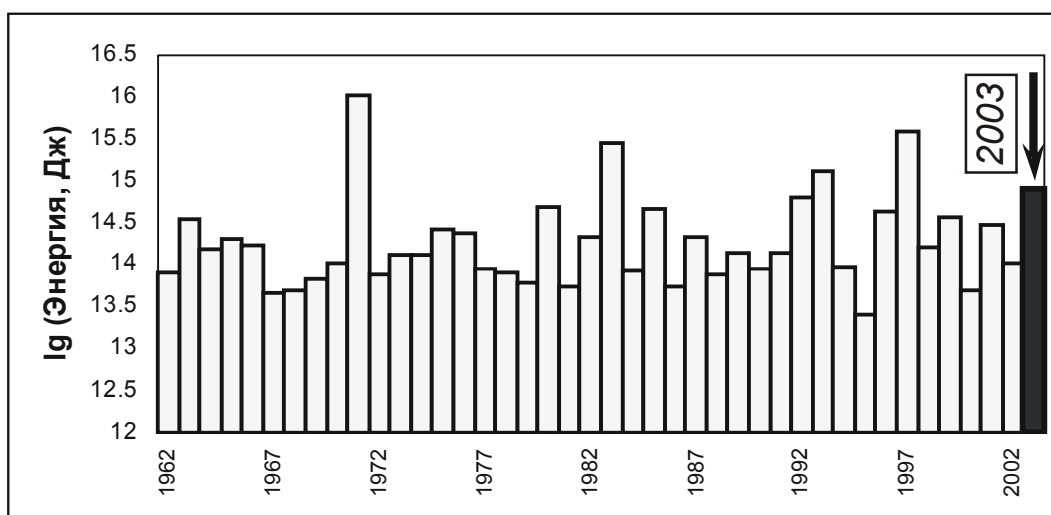


Рис.1. Сейсмическая энергия, выделившаяся при камчатских землетрясениях в 1962-2003 гг.

са. Их использование связано, в частности, с наблюдаемым иногда уменьшением наклона графика повторяемости перед сильными событиями (Завьялов, 1984, Моги, 1988).

Наклон графика повторяемости рассчитывается исходя из непрерывного экспоненциального распределения землетрясений по классам. При этом используется следующая формула (Аки, 1965):

$$\gamma = \log_{10} e \cdot \frac{1}{\sum_i K_i / N - K_0}$$

Среднеквадратичная ошибка в определении  $\gamma$  определяется по формуле (Куллдорф, 1966):

$$S_\gamma = \frac{\gamma}{\sqrt{N}}$$

Очевидно, что анализ вариаций  $\gamma$  возможен лишь при достаточно большом количестве землетрясений. Например, при  $\gamma=0.5$  и  $N=100$  среднеквадратичное отклонение  $S_\gamma$  составляет 0.05, то есть 10%.

Активность  $A_{10}$  рассчитывается из числа землетрясений  $N$  и наклона графика повторяемости  $\gamma$  и приводится к площади  $10^3 \text{ км}^2$  и временному интервалу 1 год. Расчет ведется по формуле:

$$A_{10} = \frac{1000 \cdot N \cdot (1 - 10^{-\gamma}) \cdot 10^{-\gamma(9.5 - K_0)}}{S \cdot T}$$

Здесь  $S$  - это площадь поверхности выбранной области ( $[S]=\text{км}^2$ ), а  $T$  - ее длительность ( $[T]=\text{год}$ ). Среднеквадратичное уклонение активности рассчитывается по формуле:

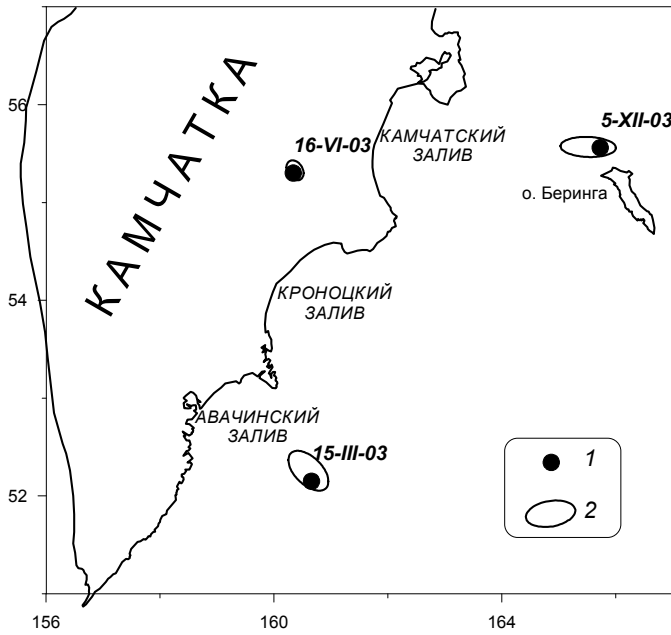
$$S_{A_{10}} = \left| \frac{\partial A_{10}}{\partial \gamma} \right| \cdot S_\gamma = \left| \frac{1000 N 10^{-\gamma(10.5 - K_0)}}{S \cdot T} - (9.5 - K_0) A_{10} \right| \cdot \ln 10 \cdot S_\gamma$$

Важным требованием к используемым для анализа сейсмологическим данным является однородность

каталога землетрясений, то есть отсутствие пропусков при регистрации землетрясений (Предполагается, что методика обработки, т.е. определения энергетического класса и положения гипоцентра не менялась). Поэтому нижний энергетический уровень землетрясений был определен как  $K=8.5$ . Такой уровень надежной регистрации землетрясений соответствует камчатской сейсмоактивной зоне в целом (Гордеев и др., 1998). Помимо этого необходимо также исключить из анализа зависимые, группирующиеся события, в частности афтершоковые последовательности отдельных достаточно сильных землетрясений, которые в силу своего компактного расположения в пространстве-времени могут существенно исказить характеристики фоновой сейсмичности. Для этого была использована программа, реализующая алгоритм, основанный на локальном моделировании интенсивностей фона и афтершоков и их соотношении (Молчан, Дмитриева, 1991).

Средняя по указанному выше району активность  $A_{10}$  в 2003 г. составила  $0.250 \pm 0.006$  (при среднемноголетнем значении  $0.279 \pm 0.001$ ). Однако это различие не является существенным, учитывая разброс годовых значений  $A_{10}$  (среднеквадратичное отклонение по выборке среднегодовых значений составляет 0.03). Наклон графика повторяемости  $\gamma$  в 2003 г. равен  $0.49 \pm 0.02$ , что соответствует в пределах ошибки определения среднемноголетнему значению  $0.499 \pm 0.003$ . Таким образом, по средним для Камчатки значениям параметров  $A_{10}$  и  $\gamma$  2003 г. не является аномальным. Но это не означает отсутствие каких-либо локальных особенностей, поэтому особый интерес представляют карты тех же параметров, а также их вариаций (Рис.3).

При построении этих карт использовались значения  $A_{10}$ , полученные при сканировании исследуемой области цилиндрическими элементарными объемами с радиусом  $R=30$  км,  $H=0 \div 100$  км. Из анализа Рис.3



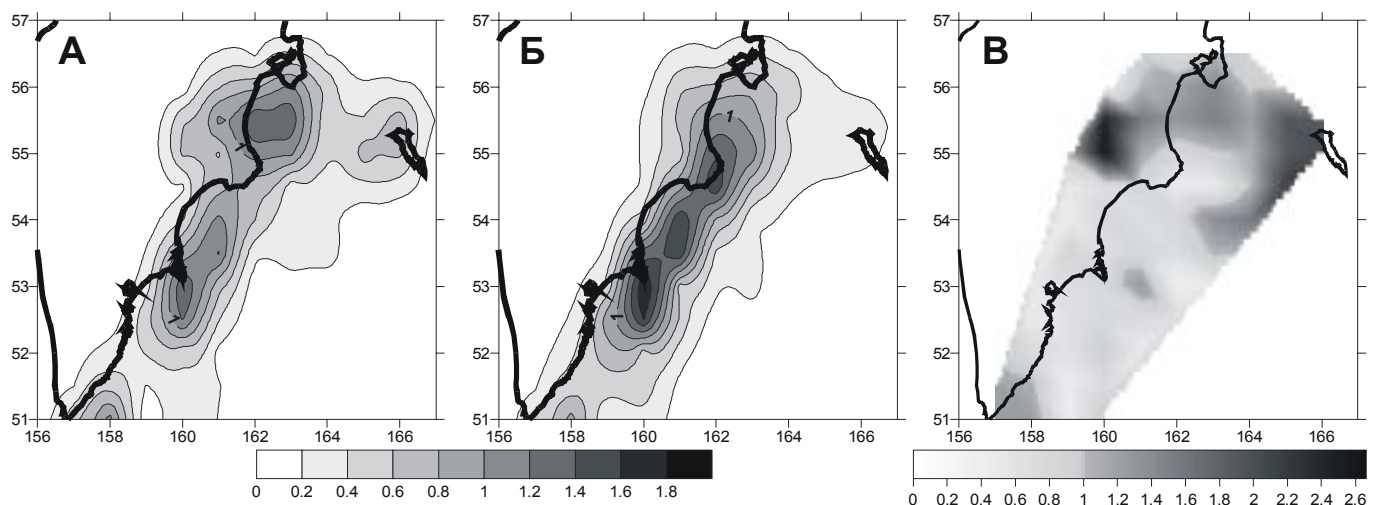
**Рис.2.** Сильнейшие землетрясения Камчатки 2003 г. Отмечены инструментальные эпицентры (1) и очаги (2) этих землетрясений.

можно сделать вывод, что в 2003 г. наибольшее относительное усиление активности  $A_{10}$  произошло в районе Командорских островов, Камчатского залива (и прилегающих территориях суши), и также на юге Камчатки. Обращает на себя внимание ярко проявившийся в 2003 г. максимум активности  $A_{10}$  в Камчатском заливе, который не выделяется на карте фоновых (среднепогодных) значений.

Среднеквадратичная ошибка в определении наклона графика повторяемости  $\gamma$  обратно пропорциональна квадратному корню из числа используемых для его определения землетрясений, поэтому, исследуя короткие временные интервалы (в данном случае 1 год –

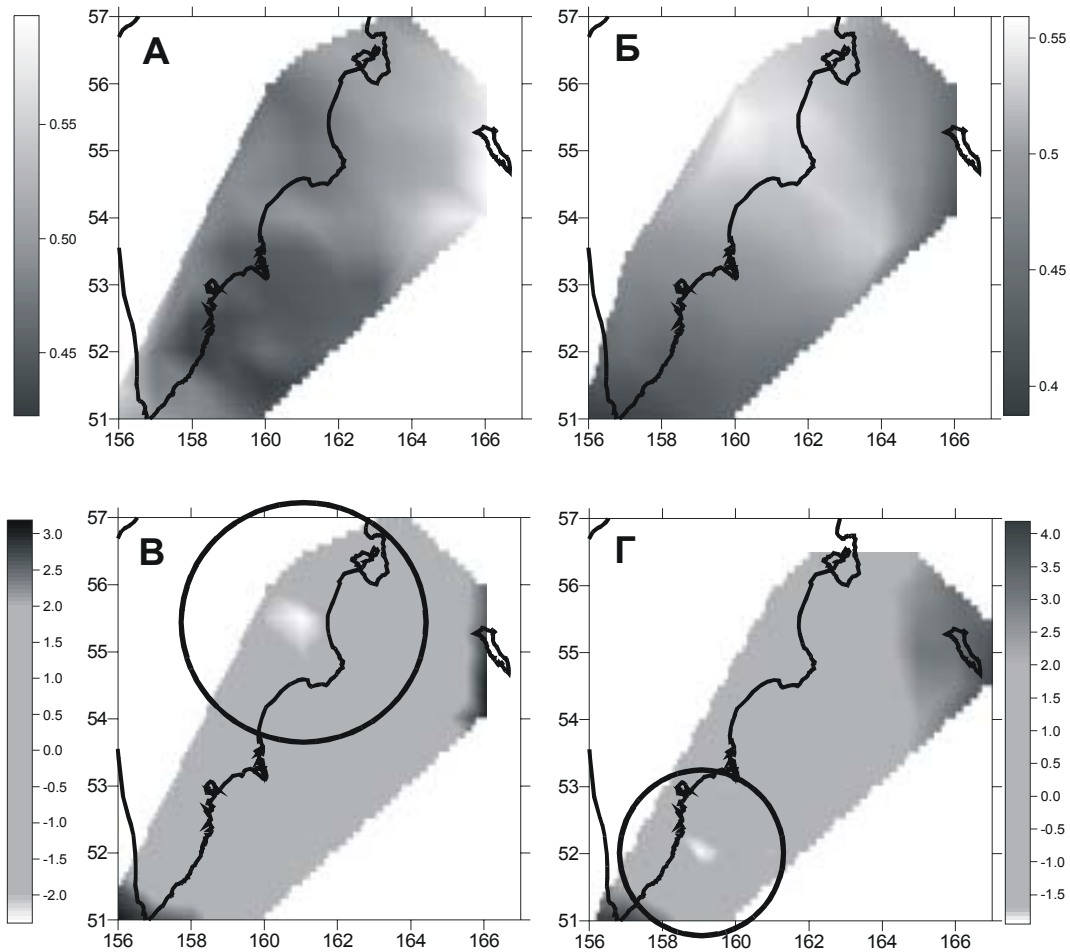
это короткий временной интервал), приходится увеличивать размеры элементарной пространственной ячейки. Здесь за единичную ячейку принят круг с радиусом 200 км. На Рис. 4 представлены карты  $\gamma$ , демонстрирующие пространственные особенности его поведения. На Рис.4В представлена нормированная вариация  $\gamma$ .

где  $\gamma_1(\varphi, \lambda)$  – значение  $\gamma$  для 2003 г. (Рис.4А),  $\gamma_2(\varphi, \lambda)$  – для 1962-2003 гг. (Рис.4Б),  $\sigma_1^2$  и  $\sigma_2^2$  – дисперсии оценок  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ . Такой подход позволяет, не рассматривая абсолютную величину вариации, отметить районы со статистически значимым уменьшением  $\gamma$  относительно фонового значения. При  $Z < -1.9$  можно ожидать статистической значимости уменьшения  $\gamma$  на уровне доверительной вероятности не хуже  $p=0.03$ . Учитывая размеры элементарной ячейки, можно говорить о том, что в Камчатском заливе (с захватом северной части Кроноцкого залива и прилегающих участков суши) наблюдается статистически значимое уменьшение наклона графика повторяемости. Конечно, использование элементарных ячеек с радиусом  $R=200$  км является лишь первым приближением при поиске аномалий  $\gamma$ . При уменьшении радиуса до  $R=140$  км и одновременном увеличении временного интервала до 2 лет (2002-2003 гг.) выявляется значимое уменьшение  $\gamma$  на юге Камчатки (Рис.4Г), при этом аномалия в Камчатском заливе не выявляется. Таким образом, Рис.4В-Г демонстрируют проявление в некотором смысле принципа неопределенности данного подхода: проблематично обнаружение аномалий  $\gamma$  с размерами менее диаметра элементарной области сканирования или с продолжительностью менее анализируемого временного интервала.



**Рис.3.** Карты сейсмической активности  $A_{10}$ , рассчитанные для 2003 г. (А) и для сравнения – для 1962-2003 г. (Б). Справа (В): активность  $A_{10}$  для 2003 г., нормированная на многолетнюю активность.

ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ В 2003 Г.



**Рис.4.** Вверху: Карты наклона графика повторяемости  $\gamma$ , рассчитанные для 2003 г. (А) и для сравнения – для 1962-2003 г. (Б). Внизу: нормированные вариации  $\gamma$  для 2003 г. (В) и 2002-2003 гг. (Г). Окружностями отмечены размеры элементарной области сканирования  $R=200$  км (В) и  $R=140$  км (Г).

**Мониторинг параметров  $RTL$  и  $\Delta S$ .** Параметры  $RTL$  и  $\Delta S$  и алгоритм их определения описаны в работах (Соболев, Тюпкин, 1996, 1998, Соболев, 1999). Там же опубликованы результаты применения этой методики при поиске областей подготовки сильных землетрясений.

Параметр  $RTL$  сформирован на основе трёх функций: эпицентральной  $R$ , временной  $T$  и учитывающей размер очага землетрясения  $L$ . Значения  $RTL$  рассчитываются при сканировании сейсмоактивной зоны как в пространстве, так и во времени.

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  $T_{\max}$ , и радиусом круговой области  $R_{\max}$ );  $r_0$  - коэффициент, характери-

зующий степень убывания влияния более удалённых от рассматриваемой точки сейсмических событий.  $R_s$  - поправка на линейный тренд.

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

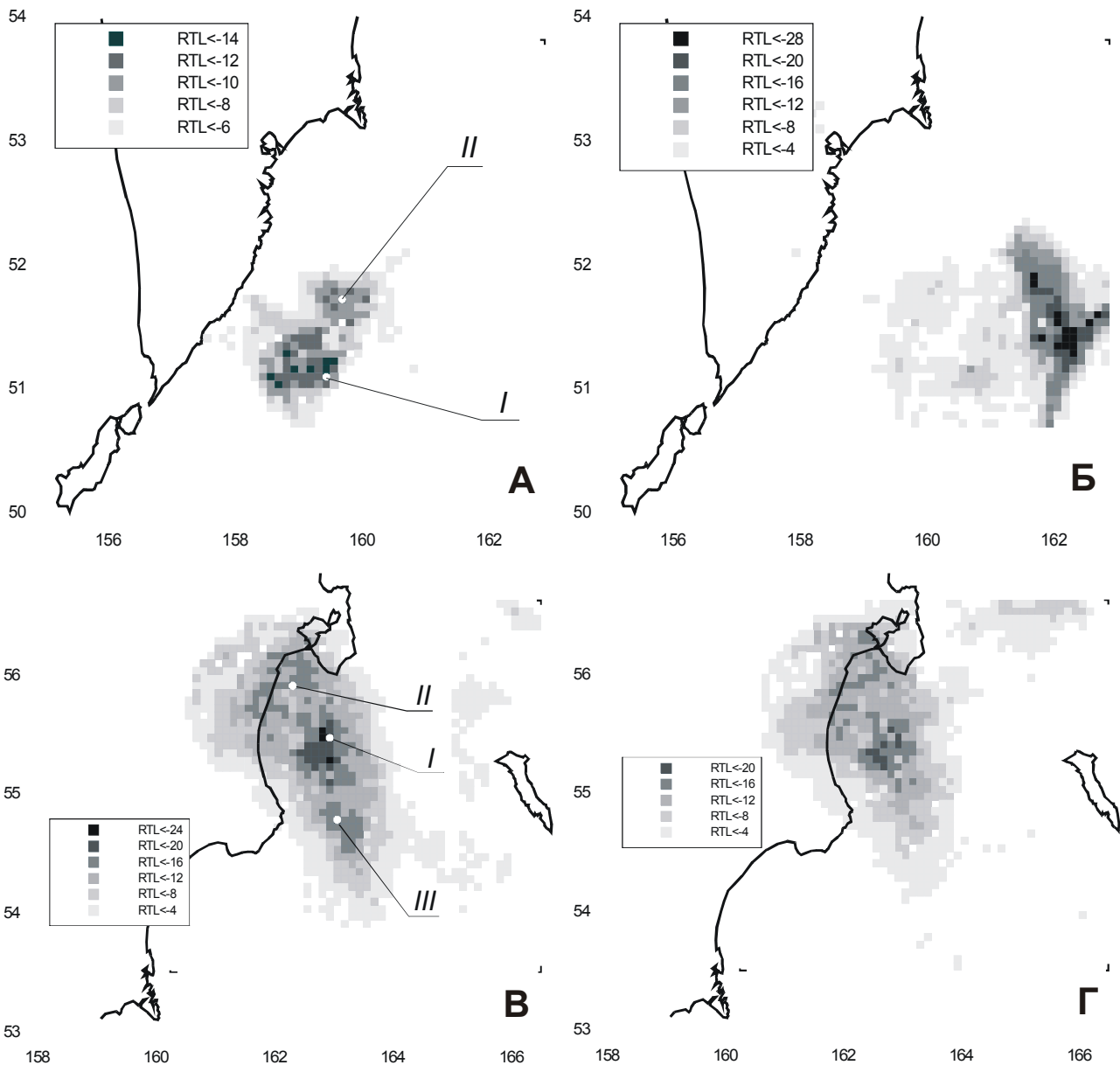
$$T(x, y, z, t) = \left[ \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{t-t_i}{t_0}\right) \right] - T_s$$

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  $t$  сейсмических событий, вычисляемый по эмпирическому соотношению между размером очага и энерги-



**Рис.5.** Карта минимальных значений  $RTL$  в 2001-2002 гг. (А, В) и в 2003 г. (Б, Г) в южной (А, Б) и северной (В, Г) частях сейсмоактивной области Камчатки. Римскими цифрами отмечены точки наиболее глубоких аномалий.

ческим классом  $K_i$  (Ризниченко, 1976):

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

Функции  $R$ ,  $T$  и  $L$  безразмерные и нормируются на среднеквадратичное отклонение для удобства их использования в различных комбинациях. Для анализа сейсмической обстановки используется рассмотренные выше функции в виде их произведения -  $RTL$ . Сейсмическому затишью соответствует уменьшение параметра  $RTL$ , а форшоковой активизации - повышение его значения.

Для выявления форшоковой активизации применён алгоритм, построенный на основе анализа площадей сейсмогенных разрывов. Вычисляется разница  $\Delta S$  между накопленной площадью сейсмогенных разры-

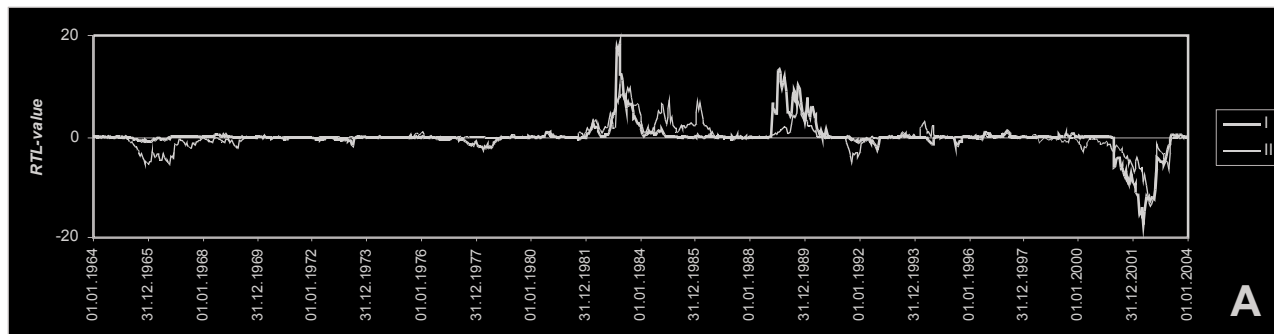
вов в пределах круговой области радиусом  $R_{\max}$  за последний перед анализируемым моментом промежуток времени  $T_{\max}$  и средним многолетним значением. Площади разрывов оцениваются с использованием соотношения:

$$S = \frac{1}{T_{\max}} \cdot \frac{1}{S_{R_{\max}}} \cdot \sum_{i=1}^n 10^{\frac{2}{3}(K_i - K_0)}$$

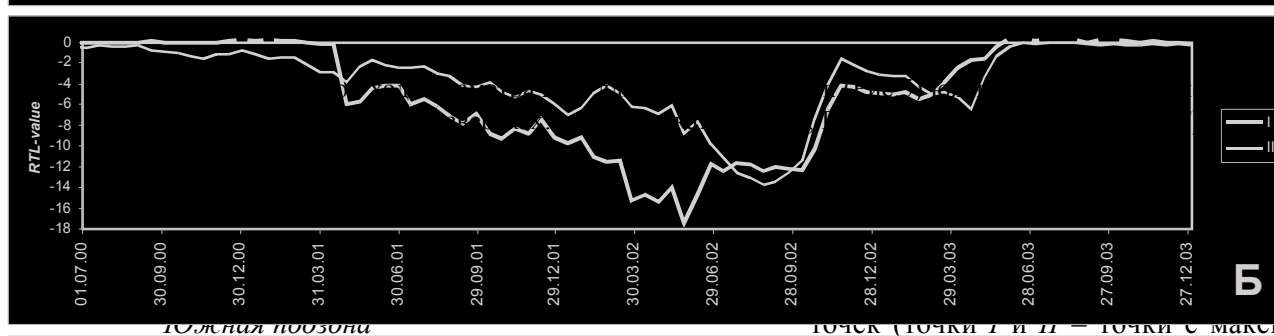
где  $K_i$  - энергетический класс текущих событий,  $K_0 = 8.5$ ;  $S_{R_{\max}} = \pi \cdot R_{\max}^2$  - площадь рассматриваемой круговой области,  $T_{\max} = 1$  год. Затем результаты также нормируются на среднеквадратичное отклонение.

При анализе использованы каталоги КОМСП 1962-2003 гг., очищенные от афтершоков сильных

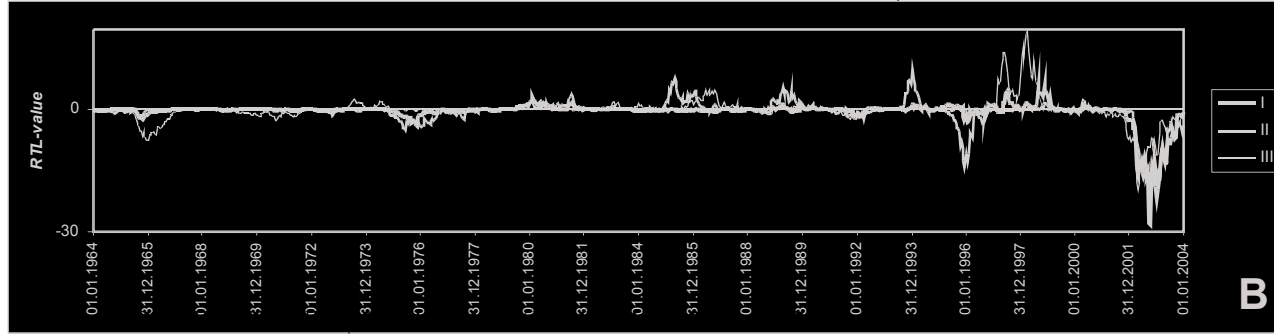
ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ В 2002 Г.



**A**



**B**



**B**



**B**

Камчатки в  
 Однако она нахо-  
 юка землетрясе-  
 кой, не является  
 для характерных  
 максимальными (по  
 002 гг.) постро-  
 А,Б), позволя-  
 магии. Следует  
 для точек I и II  
 доположить, что  
 ии, несмотря на  
 м RTL (рис.5А).



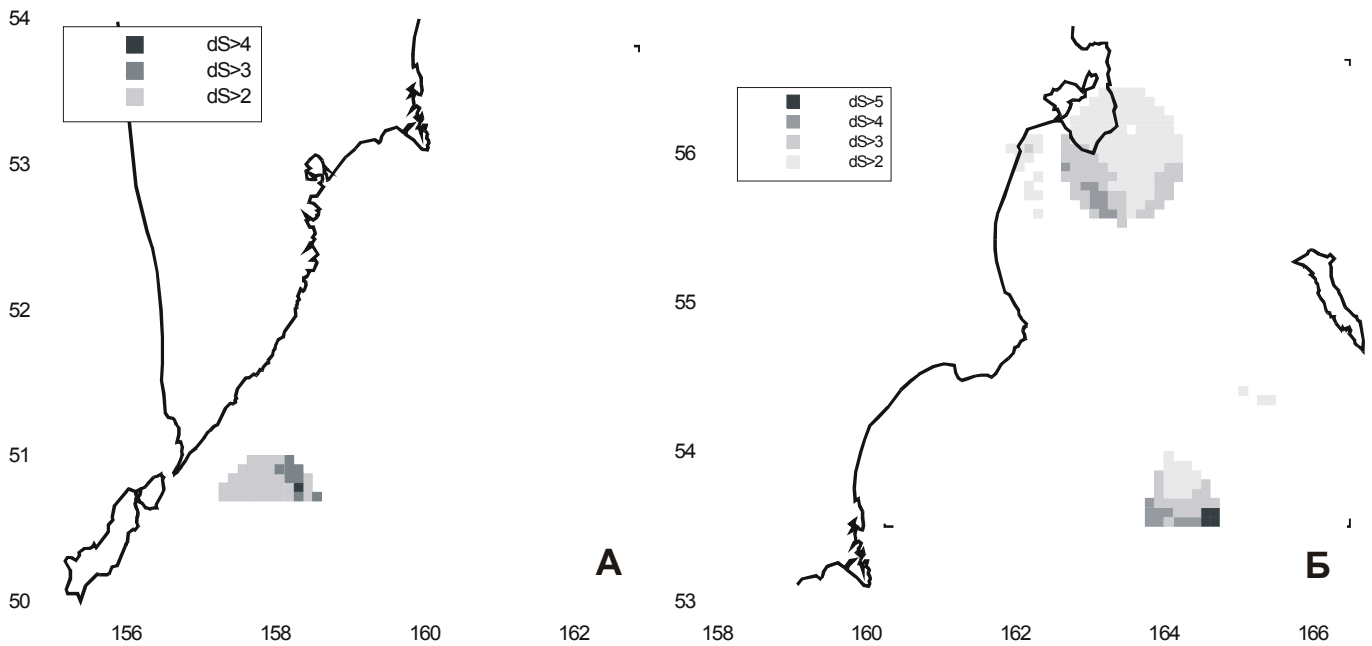


Рис.7. Карта  $\Delta S$  на 31 декабря 2003 г. для южной (А) и северной (Б) частей сейсмоактивной области Камчатки.

Продолжительность аномалии по уровню  $RTL=-2$  составила около 2.2 года, что соответствует средним для камчатских землетрясений с магнитудой более  $M>7.0$  величинам (Соболев, Пономарев, 2003). Вероятность случайного возникновения такой аномалии составляет около 1% (Соболев, Пономарев, 2003).

На следующем за  $RTL$ -аномалией этапе подготовки сильного землетрясения, в окрестности  $RTL$ -аномалии должна проявиться зона повышенных значений площади сейсмогенных разрывов. На Рис.7А представлены значения вариации площади сейсмогенных разрывов  $\Delta S$  на конец 2003 г., нормированные на среднеквадратичное отклонение. Из сравнения Рис.7А и Рис.5А видно, что аномалия  $\Delta S$  примыкает к юго-западной части аномалии  $RTL$ .

Таким образом, на юге Камчатки в течение двух лет (по уровню  $RTL = -3$ ) - с апреля 2001 г. по апрель 2003 г. наблюдалась аномалия  $RTL$ , соответствующая сейсмическому затишью. С юго-запада к этой аномалии, примыкает зона повышенных значений  $\Delta S$ , что может свидетельствовать о переходе подготовки сильного землетрясения из этапа сейсмического затишья в этап форшоковой активизации.

#### Северная подзона

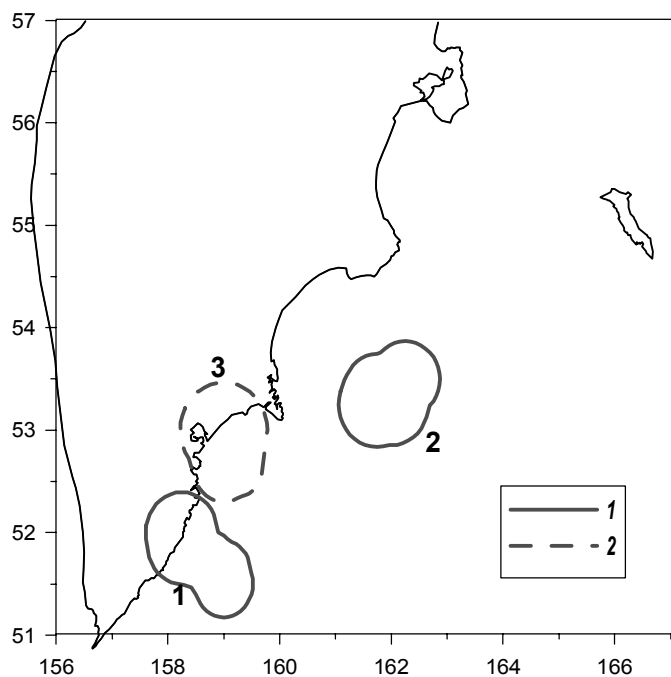
Представление материала в этом подпункте аналогично предыдущему, поэтому комментарии сведены к минимуму. На Рис. 5 В,Г представлены карты минимальных значений  $RTL$ -параметра, наблюдавшиеся в 2003 г. и в 2001-2002 гг. Наблюдавшаяся в 2001-2002 гг. аномалия (Рис.5В) начала уменьшаться (Рис.5Г) и к концу 2003 г. прекратила свое существование. Для характерных точек (точки I, II и III – точки с макси-

мальными (по модулю) значениями аномалии) построены временные  $RTL$ -графики (Рис. 6 В,Г). Следует отметить, что ярко выраженных различий в поведении  $RTL$ -кривой для точек I, II и III не наблюдается, то есть здесь мы также наблюдаем единую аномалию. Продолжительность аномалии по уровню  $RTL=-2$  составила около 2 лет, что близко к продолжительности аномалии на юге Камчатки, но во времени северная аномалия задерживается относительно южной на  $\approx 0.5$  года и достигает большей глубины:  $RTL=-28$  против  $RTL=-18$  на юге.

На Рис.7Б представлены значения вариации площади сейсмогенных разрывов  $\Delta S$  на конец 2003 г., нормированные на среднеквадратичное отклонение. Из сравнения Рис.7Б и Рис.5Б видно, что две аномалии  $\Delta S$  примыкают с севера и с юга к аномалии  $RTL$ .

Таким образом, в Камчатском заливе в течение полутора лет (по уровню  $RTL = -3$ ) - с начала 2002 г. по осень 2003 г. наблюдалась аномалия  $RTL$ , то есть к настоящему времени сейсмическое затишье закончилось. С юга и с севера к этой аномалии, примыкает зона повышенных значений  $\Delta S$ , что может свидетельствовать о переходе подготовки сильного землетрясения во второй этап – форшоковую активизацию.

**Выявление сейсмических затиший по методу «Z-тест».** Методика «Z-тест» так же как и методика  $RTL$  ориентирована на выявление сейсмических затиший как временных аномалий в сейсмическом режиме отдельных пространственных областей. Методика опирается на работы М. Виса (M. Wyss) и Р. Хабермана (R. Habermann) (Wyss, Habermann, 1988, Habermann,



**Рис.8.** Карта зон сейсмических аномалий, выделяемых Z-тестом. Отмечены зоны абсолютного сейсмического затишья (1) и уменьшения сейсмического потока в 8 раз (2).

1988, Wiemer, Wyss, 1994). Основными параметрами являются:

1) параметр  $Z$ , определяющий статистическую значимость различий в скоростях сейсмического потока  $R$  (то есть в количестве землетрясений в единицу времени) на двух временных участках (один – длительностью  $\Delta t$  и привязанный ко времени  $t$  окончания этого участка, другой – включает в себя все остальное время. Здесь  $\sigma_i$  – стандартные отклонения  $R$  на этих участках.);

2) параметр, связанный с величиной уменьшения скорости сейсмического потока  $SRD(t, \Delta t) = 1 - R_2 / R_1$  (то есть  $SRD=1$  при полном исчезновении землетрясений,  $SRD=0$  при фоновом режиме сейсмичности).

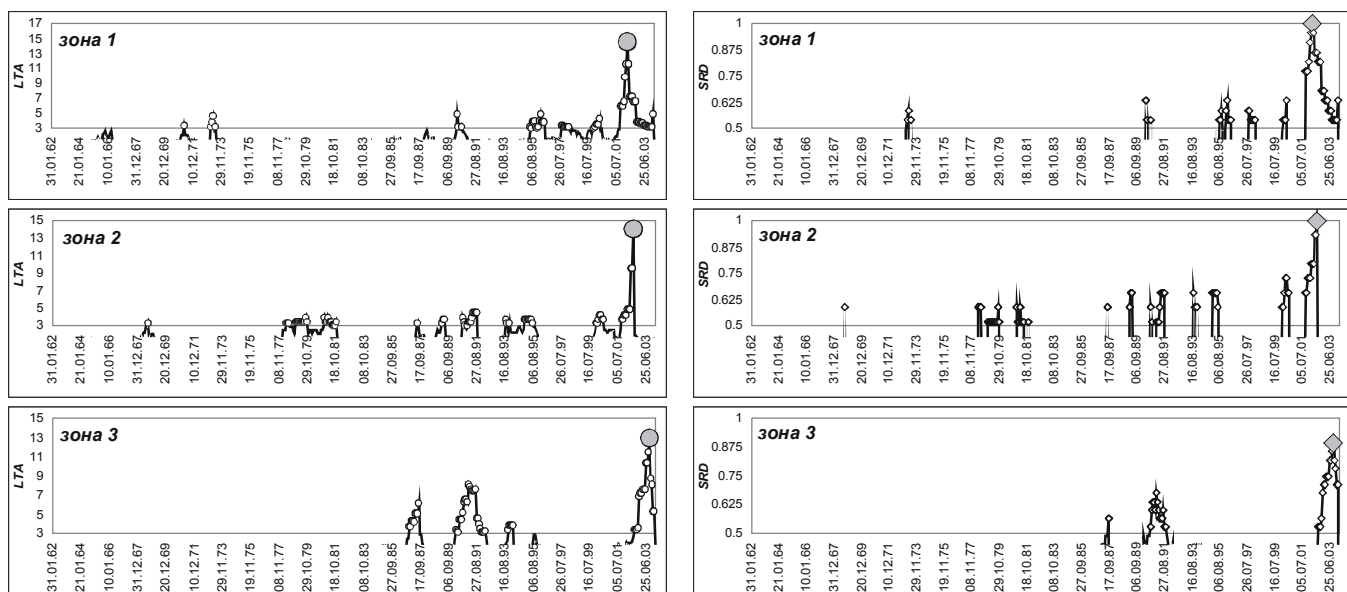
Результаты применения Z-теста к анализу камчатской сейсмичности опубликованы в (Салтыков, Кугаенко, 2000, Салтыков, Кугаенко, Кравченко, 1998). Как показал ретроспективный анализ (Кравченко, 2003), в 60% случаев в окрестности зоны уменьшения сейсмической скорости в 8 и более раз ( $SRD \geq 0.875$ ) происходит землетрясение с магнитудой  $M$  не менее 6.0 в интервале времени до двух с половиной лет после завершения стадии затишья.

К концу 2003 год в сейсмоактивной области Камчатки существовало три пространственные области (рис.8), выделенные с помощью Z-теста, представляющие интерес в качестве возможного предвестника сильного землетрясения, то есть в этих областях наблюдались временные интервалы сейсмического затишья, закончившегося к настоящему времени.

В зоне 1 абсолютное сейсмическое затишье, длившееся 15 месяцев, закончилось в апреле 2002 г. (Рис.9). Здесь и далее каждое затишье характеризуется 1) большими значениями  $Z$ , что обеспечивает высокую статистическую значимость затишья, и 2) повышенными значениями функции  $SRD(t)$ , отражающей уменьшение сейсмического потока.

В зоне 2 абсолютное затишье продолжалось год и закончилось в июне 2002 г.

В зоне 3 (Авачинский залив) наблюдалось уменьшение сейсмической скорости в 8 раз в течение 16 месяцев до сентября 2003 г. Эта зона близка к очагу землетрясения 15 марта 2003 г.  $M_w=6.1$ , однако затишье



**Рис.9.** Временные вариации параметров  $LTA(t)$  (слева) и  $SRD(t)$  (справа), рассчитанные в скользящем временном окне  $\Delta t=15$  месяцев для зоны 1,  $\Delta t=12$  месяцев для зоны 2,  $\Delta t=16$  месяцев для зоны 3.



не завершилось перед этим землетрясением, более того оно продолжалось еще полгода, что не позволяет их связать между собой.

Из графиков временных вариаций параметров сейсмического затишья в выделенных зонах (Рис.9) следует, что для данных пространственных областей полученные аномалии являются уникальными.

5 декабря 2003 года вблизи о. Беринга произошло землетрясение с энергетическим классом  $K=14.3$ , магнитуда  $M_w=6.7$  (Рис.2). Статистически значимых сейсмических аномалий, предшествовавших этому событию, выявлено не было.

При сравнении Рис.3 - 5, 7, 8 обнаруживается пространственное взаимное соответствие аномалий рассматриваемых параметров  $A_{10}$ ,  $\gamma$ ,  $RTL$ ,  $\Delta S$ ,  $Z$ . В задачи данной работы не входит анализ значимости этого соответствия, поэтому авторы ограничиваются лишь констатацией факта. В перспективе допускается использование упомянутых параметров в комплексе при оценке региональной сейсмической обстановки.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе региональных каталогов камчатских землетрясений построены площадные распределения параметров фоновой сейсмичности в 2003 г. В комплекс рассматриваемых характеристик входят активность  $A_{10}$ , наклон графика повторяемости  $\gamma$ , параметры методик  $RTL$  и  $Z$ -теста. Проведено сравнение значений параметров  $A_{10}$  и  $\gamma$ , полученных для 2003 г. с их средними за весь период детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке (1962-2003 гг.).

Несмотря на различие методик мониторинга, получены следующие результаты, не противоречащие друг другу и которые могут быть рассмотрены в совокупности по «территориальному» признаку:

Камчатский залив:

- 1) Завершилась аномалия  $RTL$ ;
- 2) Наблюдается аномалия  $\Delta S$ ;
- 3) Наблюдаются повышенные значения активности  $A_{10}$  как в абсолютной, так и в относительной шкале;
- 4) Наблюдается статистически значимое уменьшение  $\gamma$ .

Юг Камчатки:

- 1) Завершилась аномалия  $RTL$ ;
- 2) Наблюдается аномалия  $\Delta S$ ;
- 3) Завершилась  $Z$ -аномалия;
- 4) Некоторое повышение активности  $A_{10}$ .

Такое поведение  $RTL$ ,  $\Delta S$ ,  $Z$ , согласно соответствующим методикам, может рассматриваться как предвестник сильного землетрясения. Учитывая среднесрочный характер прогноза по методикам  $RTL$  и  $Z$ -тест, предлагается рассматривать выше указанные

зоны как места подготовки сильных землетрясений с магнитудой более 7.0 с их возможным возникновением в 2004 г. Использование для прогностических целей результатов по вариациям  $A_{10}$  и  $\gamma$  в 2003 г. представляется в настоящий момент преждевременным.

Наблюдающаяся пространственная корреляция поведения  $A_{10}$  и  $\gamma$  с результатами  $RTL$ ,  $\Delta S$  и  $Z$  представляет интерес при разработке комплексной оценки сейсмической обстановки.

Авторы благодарны члену-корреспонденту РАН Г.А. Соболеву и д.ф.-м.н. Ю.С. Тюпкину за содействие при внедрении методик мониторинга сейсмичности в КОМСП ГС РАН, к.ф.-м.н. В.Б. Смирнову за предоставление программы выделения афтершоков сильных землетрясений. Особая признательность выражается нашим коллегам О.Г. Волович и В.В. Иванову за создание программ, использованных в данной работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Викулин А.В. и др.* Система сейсмологических наблюдений на Камчатке (состояние, развитие, перспективы) // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский, КГАРФ, 1998, с.12-24.

*Завьялов А.Д.* Наклоны графика повторяемости как предвестник сильных землетрясений на Камчатке // Прогноз землетрясений. №5. Душанбе-Москва: Дониш. 1984. С.173-184.

*Кравченко Н.М.* Контроль сейсмической обстановки методом «Z-тест» // Отчет КОМСП ГС РАН «Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки и Командорских островов, 2002». Часть 4. Петропавловск-Камчатский. 2003. С.384-389.

*Кулльдорф Г.* Вопросы теории оценивания. М.: Наука, 1966.

*Мози К.* Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.

*Молчан Г.М., Дмитриева О.Е.* Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // Современные методы обработки сейсмологических данных (Вычислительная сейсмология. Вып.24), М.: Наука, 1991, с.19-50.

*Ризниченко Ю.В.* Проблемы сейсмологии. М.: Наука. 1985. 408 с.

*Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А.* Сейсмические затишья перед двумя сильными землетрясениями 1996 г. на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2000. №1. С.57-65.

## ПАРАМЕТРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАМЧАТКИ В 2003 Г.

*Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Кравченко Н.М.* Сейсмические затишья и активизации, предшествовавшие Кроноцкому землетрясению // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский, КГАРФ, 1998. С.55-67.

*Соболев Г.А.* Стадии подготовки сильных Камчатских землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1999. №4/5. С.63-72.

*Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.

*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.

*Aki K.* Maximum Likelihood Estimate of  $b$  in the Formula  $\log N = a - bM$  and its Confidence Limits // Bull. Earthquake Res. Ins. 1965. Vol.43. Pp.237-239.

*Habermann R.E.* Precursory seismic quiescence: past, present and future // Pageoph. 1988. Vol.126. Pp. 279-318.

*Wiemer S., Wyss M.* Seismic quiescence before the Landers ( $M=7.5$ ) and Big Bear ( $M=6.5$ ) 1992 // Earthquakes. Bull.Seism.Soc.Am. 1994. Vol.84. No.3. Pp. 900-916.

*Wyss M., Habermann R.E.* Precursory quiescence // Pageoph. 1988. Vol.126. P.319-332.

### Parameters of Kamchatkan Seismicity in 2003

**V. A. Saltykov<sup>1,2</sup>, N. M. Kravchenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Kamchatkan Seismological Department, Geophysical Service, RAS, 683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9;  
e-mail: salt@emsd.ru;*

<sup>2</sup>*Kamchatkan State Pedagogical University, 683032, Petropavlovsk-Kamchatsky, Pogranchnaya street, 4.*

The characteristic of Kamchatkan seismicity in 2003 is presented in this paper. Based on the regional catalogue of Kamchatkan earthquakes 2D-distribution of background seismicity parameters was calculated. The set of considered parameters consists of seismic activity  $A_{10}$ , slope in recurrence graph  $\gamma$ , and parameters of the RTL-method and Z-test. The features of seismicity-2003 in Kamchatkan Gulf and Southern Kamchatka are shown.