

## ПАУЗЫ МОЛЧАНИЯ ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ КУРИЛО-КАМЧАТСКОЙ ЗОНЫ

*И.Н. Тихонов*

*Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, ул. Науки 1б, г. Южно-Сахалинск, 693022; e-mail: tikhonov@imgg.ru*

Поступила в редакцию 20 октября 2010 г.

Исследованы характеристики распределений разностей времен в очагах последовательных землетрясений Курило-Камчатской зоны, включая район о-ва Хоккайдо, в разных диапазонах магнитуд. Для анализа привлекались данные регионального и мирового каталогов землетрясений за последние 20 лет. В результате найден новый среднесрочный предвестниковый эффект – пауза молчания, наблюдаемая перед наиболее сильными землетрясениями. Данный предвестник проявляется в длительном (2–6 месяцев) отсутствии событий с  $M \geq 5.5$  на этой территории. Для прогнозных целей вместо пауз молчания предлагается использовать более стабильный параметр – сумму трех наибольших значений интервалов времени между землетрясениями с  $M \geq 5.0$  в скользящем временном окне. Оценена прогностическая информативность данного параметра.

**Ключевые слова:** землетрясение, эпицентр землетрясения, время в очаге, разности времен в очагах, вероятностные распределения разностей времен, пауза молчания, повторяемость пауз молчания, информативность предвестника, Курило-Камчатская зона.

### ВВЕДЕНИЕ

В данной работе рассматривается новый предвестник, связанный с возникновением аномального хода сейсмического режима изучаемого региона. Термин “предвестник” является фундаментальным понятием в проблеме прогноза землетрясений. Он означает явление, предшествующее конкретному сейсмическому событию и обусловленное процессом его подготовки. Подавляющая часть предвестников носит вероятностный характер, то есть они проявляются не всегда и физический механизм их возникновения не вполне ясен.

Для предвестников наиболее важны два аспекта: относительная стабильность проявления и заблаговременность. Первый аспект влияет на статистику ложных тревог и пропусков цели. Второй определяет длительность объявления тревожного режима. Нестабильность проявления предвестника может быть установлена двояким образом:

1) когда вариации параметра, отнесенные к предвестниковым, появляются перед одним событием, но отсутствуют перед другим;

2) когда наблюдается разброс вариаций по величине, достигающий порядка и более для землетрясе-

ний сопоставимых магнитуд на сопоставимых расстояниях.

В большинстве методов среднесрочного прогноза используются признаки, характеризующиеся длительным временем срабатывания (~ нескольких лет). Таковы характеристики, используемые, например, в алгоритмах M8 [4, 16], Карта ожидаемых землетрясений [2, 7], RTL [6]. Так, например, зона сейсмического затишья – достаточно эффективный признак подготовки сильного землетрясения. Однако время ее существования может составлять десяток и более лет. Аномалии и тренды временного хода параметров сейсмического режима также имеют заблаговременность порядка нескольких лет. Длительные тревоги снижают ценность прогнозов.

Таким образом, существует насущная потребность в решении проблемы среднесрочного прогноза, заключающейся в нестабильности предвестников и большой заблаговременности их проявления. Актуальна задача отыскания относительно стабильных признаков с более коротким временем проявления. Решение этой задачи улучшит статистику прогнозов и сократит время тревог.

Цель статьи – поиск относительно устойчивых вариаций характеристик сейсмического режима, чувствительных к подготовке сильных землетрясений с коротким (несколько месяцев) интервалом времени их существования.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ, ВЫБОР ИССЛЕДУЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Ранее автором исследовались закономерности динамики сейсмического режима в районах Южных Курильских островов и Японии [9, 10, 11]. Было установлено, что при подготовке достаточно сильного землетрясения район ведет себя в тектоническом плане как единое целое. Эта особенность поведения геофизической среды проявляется в различных характеристиках: вариациях угла наклона графика повторяемости, нелинейном во времени нарастании числа слабых толчков, закономерном изменении значений функции  $D(t)$  – первых разностей времен в очагах последовательных землетрясений. Наличие бухтообразной аномалии угла наклона, сильная нелинейность кумулятивного графика числа событий во времени, аномально большие значения первых разностей – все эти признаки свидетельствуют, как правило, о разбалансировке сейсмического режима в изучаемом районе, выходе его из состояния неустойчивого равновесия.

Перечисленные выше характеристики сейсмичности имеют важное прогностическое значение, однако они ведут себя неустойчиво в случае отсутствия достаточного объема статистического материала. Такая ситуация возникает, в частности, в отношении функции  $D(t)$  при попытке оценки повторяемости отрезков времени между последовательными умеренными и сильными землетрясениями. Речь идет о выборках событий с  $M \geq 5.5, 6.0, 6.5$  и т.д.

С учетом этого, в данной работе ставится задача изучить поведение функции  $D(t)$  в пределах более обширной территории по сравнению с отдельным сейсмоактивным районом. Речь идет о всей Курило-Камчатской сейсмоактивной зоне. Выбор изучаемой зоны такого размера сделан на основе следующих предпосылок. При прогнозе землетрясений этой зоны интерес представляют, в основном, очень сильные события с  $M \geq 7.5$ . Это связано с тем, что очаги сильных землетрясений удалены от Курильских островов на расстояниях около 50–150 км, в результате чего макросейсмический эффект на островах снижается, и события с  $M \sim 7.0$  и менее не представляют серьезной опасности.

Максимальный радиус зоны, затрагиваемой процессом подготовки землетрясения с магнитудой

$M \geq 7.5$ , может составлять, по данным разных авторов, величину порядка 1500 км и более. Так, согласно [1] этот радиус оценивается по формуле

$$R = 10^{0.43M} \approx e^M \text{ км.}$$

При  $M = 7.5$   $R \approx 1680$  км, а при  $M = 8.0$  –  $R \approx 2750$  км.

Можно воспользоваться оценками других авторов. Например, согласно [13], зона проявления предвестников имеет радиус  $R = 30 D$ , где  $D$  – размер очага. В работе [8] даны оценки размера очага для землетрясений Курило-Камчатского региона и Японии:

$$\lg D = (0.50 \pm 0.01) M - (1.77 \pm 0.07).$$

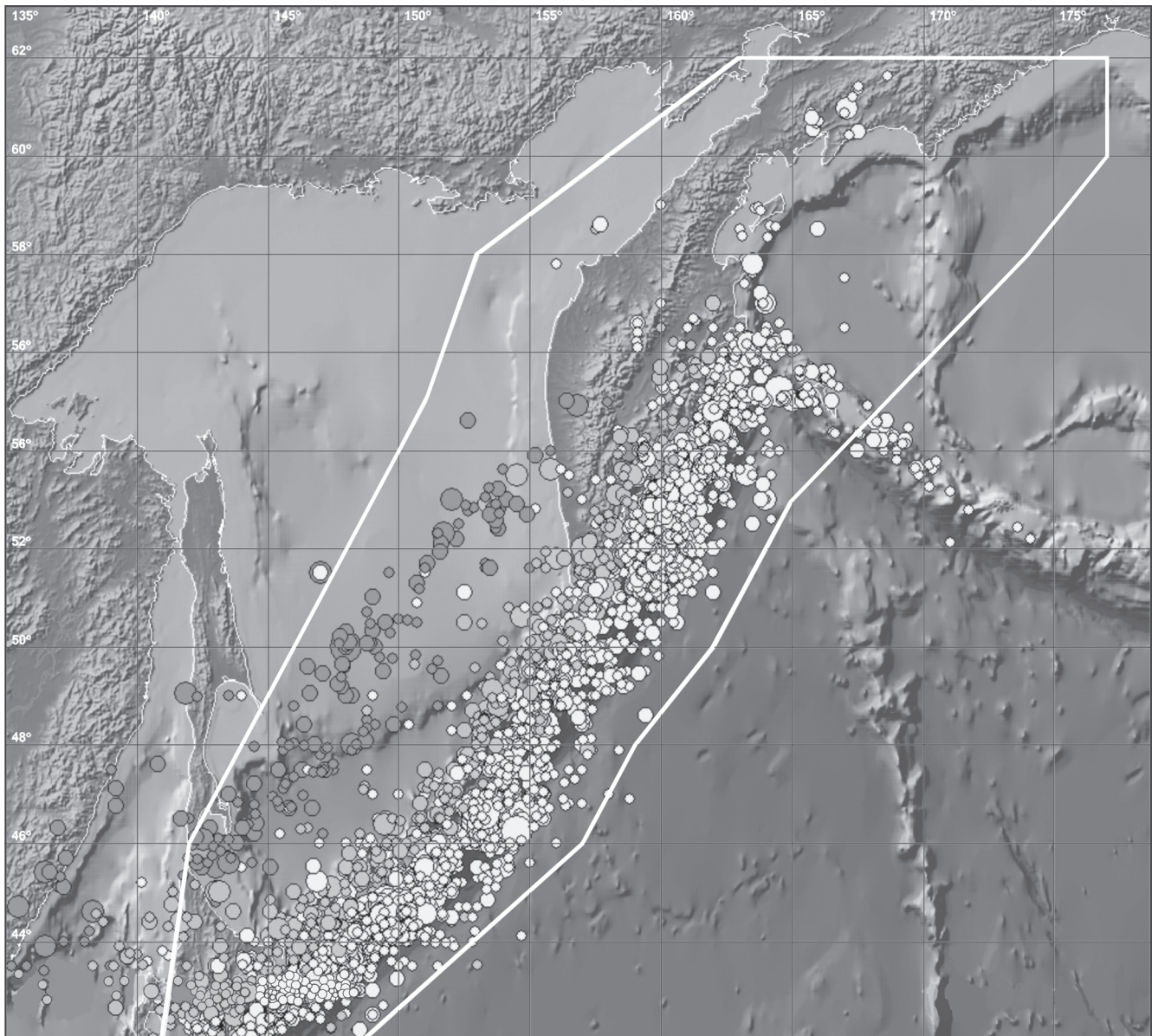
Отсюда получаем, что при  $M = 7.5$   $D = 95.5$  км, а при  $M = 8.0$   $D = 170$  км. Далее следует, что при  $M = 7.5$   $R \approx 2860$  км, а при  $M = 8.0$   $R \approx 5100$  км.

Таким образом, при прогнозе событий с  $M \geq 7.5$  изучаемая область может включать всю Курило-Камчатскую сейсмоактивную зону. Такой выбор объекта исследования согласуется с точкой зрения академика С.А. Федотова [14], согласно которой протяженная (~2100 км) Курило-Камчатская зона является в первом приближении однородной структурой, одинаковой на больших (длина 100–200 км) ее участках.

С учетом сказанного исследуемая область выбрана следующим образом (рис. 1). Она включает упомянутую зону и северо-восточную Японию, прилегающую к Курильскому глубоководному желобу.

Данная территория содержит все мелкофокусные и основную часть глубокофокусных землетрясений сейсмофокальных зон, используемых при анализе. При этом коровая сейсмичность районов о. Сахалин и о. Хоккайдо, отличающаяся по своей природе от субдукционной сейсмичности соответствующих сейсмофокальных зон и слабо связанная с последней, исключается из рассмотрения. Для такой обширной территории следует ожидать более устойчивого (по сравнению с районными) поведения статистических характеристик сейсмического режима.

Исходный экспериментальный материал составили данные мирового каталога землетрясений USGS/NEIC [15] за период с 1990 г. по июнь 2009 г. и регионального каталога [3] за период 1990–2005 гг. Последний каталог, содержащий события с  $M \geq 5.0$ , использовался для подтверждения объективности результатов расчетов, выполненных по данным каталога [15]. Как известно, для разных каталогов существуют определенные расхождения в оценке параметров землетрясений и, в первую очередь, магнитуд. Поэтому важно было убедиться, что результаты параллельных расчетов хорошо коррелируют между собой. Тем самым можно убедиться в надежности сделанных выводов.



**Рис. 1.** Карта эпицентров землетрясений с  $M \geq 5.0$  за 1990–2005 гг. по данным регионального каталога [3] и границы изучаемой территории.

Область внутри многоугольника с географическими координатами (северная широта и восточная долгота, в градусах): (62; 163); (60; 158); (58; 153); (55; 151); (46; 142); (42; 141); (41; 141); (41; 147); (46; 157); (48; 159); (50; 162); (53; 165); (58; 174); (60; 177); (62; 177) – изучаемая территория.

Далее использовались выборки землетрясений как из исходного, так и основного каталога (без афтершоков) в различных диапазонах магнитуд ( $M \geq 4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5, 7.0$ ). Для мирового каталога объемы выборок оказались, соответственно, следующими: 6494, 1962, 598, 182, 56 и 19 событий. В региональном каталоге насчитывалось 679 событий с  $M \geq 5.0$  (для сравнения в мировой сводке за тот же период зарегистрировано 1555 событий).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАБОТКИ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

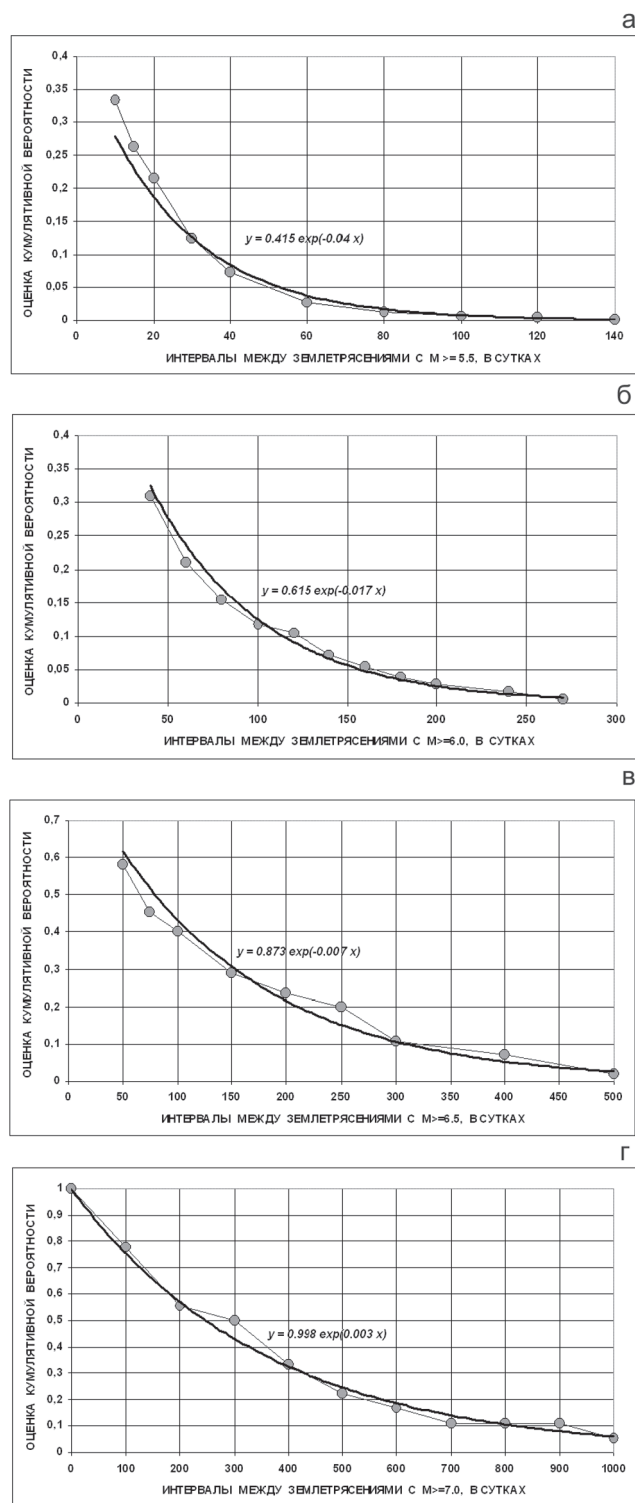
Рассмотрим некоторые статистические характеристики сейсмичности изучаемой территории (рис. 1), связанные с распределениями функции, представляющей собой отрезки времени между последовательными событиями  $\Delta t_i = T_0^i - T_0^{i-1}$ , где  $T_0^i$  – время в очаге  $i$ -го землетрясения выборки из исходного (или основного) каталога с  $M \geq M_0$ .

Эта функция исследовалась нами ранее по выборке землетрясений с  $M \geq 4.0$  в районе Южных Курильских островов [10]. Был установлен ряд важных ее свойств. Одно из них – наличие хотя бы одного глубокого сейсмического затишья в период времени между сильнейшими ( $M \geq 7.7$ ) событиями района. Глубокое затишье – это выход функции за пределы  $6\sigma$ , где  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение параметра  $\Delta t$ . Однако построить прогноз времени очередной сейсмической катастрофы на основе данного признака тогда не удалось, поскольку глубокое затишье наступало иногда задолго до возникновения сильнейшего землетрясения.

На рис. 2 представлены графики оценки кумулятивной вероятности того, что значения параметра  $\Delta t$  превысят тот или иной уровень. Эти зависимости построены для четырех выборок землетрясений ( $M \geq 5.5, 6.0, 6.5, 7.0$ ) из мирового каталога по изучаемой территории. Жирной линией на каждом графике показано показательное (или экспоненциальное) распределение, которое наилучшим образом согласуется с эмпирическим. На графиках также приведены аналитические выражения для этих распределений. Для событий с  $M \geq 4.5, 5.0$  упомянутые графики не строились, так как они не информативны и не представляют интереса при решении поставленной задачи. Это связано с тем, что на рассматриваемой территории такие события происходят достаточно часто (через 1–3 суток) (табл. 1).

В данной таблице расчеты долговременного среднего значения ( $\mu$ ) и среднее квадратичное отклонения ( $\sigma$ ) параметра  $\Delta t$  для каждой выборки сделаны в двух вариантах: по исходному каталогу и каталогу основных толчков. В тех случаях, когда значения  $\mu$  и  $\sigma$  близки, последовательность толчков, по-видимому, близка к пуассоновскому потоку событий. Следует отметить интересный факт, что изменение в пяти обрабатываемых выборках ( $M \geq 4.5, \dots, 6.5$ ) нижнего порога по магнитуде на 0.5 приводит к возрастанию оценок долговременного среднего примерно в 3 раза.

На всех графиках, кроме первого (рис. 2а), получено хорошее согласие между соответствующими парами распределений (эмпирическим и показательным). Для первой пары кривых при  $M \geq 5.5$  наблюдается расхождение в начальной части распределений ( $\Delta t_i < 30$  суток). Оно обусловлено тем, что при малых значениях  $\Delta t_i$  в данной выборке присутствуют зависимые события (афтершоки). Для других выборок влияние афтершоков пренебрежимо мало в силу двух причин: во-первых, интересующие нас интервалы  $\Delta t_i > 30$  суток, а, во-вторых, число афтершоков резко сокращается в выборках для  $M \geq 6.0, 6.5, 7.0$ .



**Рис. 2.** Оценки кумулятивной вероятности того, что значения параметра  $\Delta t$  превысят тот или иной уровень для выборки землетрясений с  $M \geq 5.5$  (а), с  $M \geq 6.0$  (б), с  $M \geq 6.5$  (в), с  $M \geq 7.0$  (г) из мирового каталога за период 1990–июнь 2009 гг.

Жирная кривая соответствует экспоненциальному распределению, аналитическое выражение для которого приведено на рисунке.

**Таблица 1.** Значения долговременного среднего значения ( $\mu$ ) и среднеквадратичного отклонения ( $\sigma$ ) параметра  $\Delta t$  для шести выборок землетрясений исследуемой территории по данным мирового каталога [15].

Выборка землетрясений	Исходный каталог		Каталог основных толчков	
	Значения $\mu$ , сутки	Значения $\sigma$ , сутки	Значения $\mu$ , сутки	Значения $\sigma$ , сутки
События с $M \geq 4.5$	1.1	1.7	2.4	2.6
События с $M \geq 5.0$	3.6	5.7	8.1	8.3
События с $M \geq 5.5$	11.8	19.0	22.3	24.1
События с $M \geq 6.0$	37.7	55.3	66.6	70.5
События с $M \geq 6.5$	120.1	135.2	188.7	182.7
События с $M \geq 7.0$	346.7	348.7	445.3	352.2

При анализе данных каталога сейсмических событий с  $M \geq 5.5$  было установлено, что все сильнейшие землетрясения Курило-Камчатской сейсмоактивной зоны и северо-восточной Японии предварялись аномально большими интервалами  $\Delta t$ . Далее они названы паузами молчания (табл. 2). Подобный эффект, возможно, будет наблюдаться и перед сильнейшими глубокофокусными событиями. По крайней мере, один такой случай зафиксирован перед землетрясением 05 июля 2008 г. в Охотском море ( $M_w = 7.6$ ,  $h = 635$  км).

На основе имеющихся данных можно дать более строгое определение этого термина. Пауза молчания – это аномально длительное отсутствие сейсмических событий с  $M \geq M_0$  в области, размер которой

на порядок превышает характерный размер очага прогнозируемого землетрясения. Длительность паузы молчания должна превышать пороговый уровень  $U = \mu + 2\sigma$ , где  $\mu$  и  $\sigma$  – соответственно, оценки долговременного среднего значения и среднеквадратичного отклонения в распределении интервалов между последовательными толчками с  $M \geq M_0$  в данной области.

Доказать причинно-следственную связь между паузами и сильнейшими сейсмическими событиями трудно. Косвенным доказательством существования связи служат два факта: небольшая по меркам среднесрочного прогноза заблаговременность начала формирования данного предвестника (от двух до шести месяцев) и завершение формирования непосредственно перед разрушительным землетрясением.

Если есть несколько пауз, то соседние паузы, как правило, близко примыкают друг к другу. Так, две паузы, предварявшие Итурупское землетрясение 1995 г., разделены только двумя сейсмическими событиями. Все 3 паузы, наблюдавшиеся перед Кроноцким землетрясением 1997 г., начали формироваться за 9 месяцев до этого события. Предвестником глубокофокусного Охотского землетрясения 2008 г. явились 2 паузы, разделенные пятью сейсмическими толчками.

Есть, однако, и противоположные случаи – ложные тревоги. Например, пауза длительностью 126.5 суток, наблюдавшаяся с 28 января по 03 июня 2000 г., не сопровождалась каким-либо сильным землетрясением в пределах выбранной сейсмоактивной территории. Для объяснения этого случая можно было бы привлечь Углегорское землетрясение 04 августа 2000 г. (о. Сахалин,  $M = 7.0$ ). По времени данные пауза и землетрясение хорошо согласуются между собой, однако такое сопоставление некорректно, потому что процессы в Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне генетически слабо связаны с зоной раз-

**Таблица 2.** Наблюденная длительность сейсмических пауз перед сильнейшими землетрясениями изучаемой территории, по данным каталога землетрясений ( $M \geq 5.5$ ) USGS/NEIC за 1990 г. – июнь 2009 г.

Землетрясение	Дата	Глубина, км	Магнитуда, $M_w$	Длительность пауз (ы), сутки
Шикотанское	04.10.1994 г.	14	8.3	69
Итурупское	03.12.1995 г.	33	7.9	50; 55
Кроноцкое	05.12.1997 г.	33	7.8	55; 58; 52
Токачи-оки	25.09.2003 г.	27	8.3	84
Олюторское и Симуширское	20.04.2006 г., 15.11.2006 г.	22 10	7.6 8.3	174
Охотское	05.07.2008 г.	635	7.7	128; 72
Симуширское	15.01.2009 г.	36	7.4	66; 52

*Примечание.* Согласно определению, данному выше, длительность пауз в этой выборке должна превышать 49.9 суток. Из графика на рис. 2 видно, что вероятность того, что значение интервала между землетрясениями выборки превысит 49.9 суток, составляет 0.05 или 5 %.

ломов, простирающихся вдоль западного побережья о-ва Сахалин.

Несмотря на наличие отдельных ложных тревог, сам факт длительного отсутствия сейсмических событий с  $M \geq 5.5$  в Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне, включая район о-ва Хоккайдо, говорит о том, что геофизическая среда в пределах этой обширной территории ведет себя как одно целое перед очередной разгрузкой упругих напряжений в виде сильнейших землетрясений. При этом наиболее вероятное местоположение будущего очага следует ожидать только в сравнительно небольших областях сейсмических брешей (seismic gaps) первого или второго рода [5]. Опыт картирования их в регионе Японии [11, 12] показал, что число брешей невелико и именно там позднее происходили сильные землетрясения.

Определенный интерес представляют, на наш взгляд, оценки длительности сейсмических пауз редкой повторяемости. На рис. 3 изображены своеобразные кумулятивные графики повторяемости длительности сейсмической паузы с частотой повторения 1 раз в течение года, пяти, десяти и 20-ти лет в зависимости от нижнего порога магнитуды в выборке землетрясений.

Большой разброс аномальных значений параметра  $\Delta t$  в табл. 2 указывает на неустойчивость данного предвестника и затрудняет использование его в практике среднесрочных прогнозов. Поэтому нами был осуществлен поиск более стабильной прогнозной характеристики состояния сейсмического режима изучаемого района. В качестве таковой ( $\Sigma_{max}$ ) была выбрана сумма трех наибольших значений параметра  $\Delta t_i$ , рассчитываемая в скользящем временном окне по исходному каталогу землетрясений USGS/NEIC [15] с  $M \geq 5.0$  (рис. 4). Экстремумы на графике данного рисунка хорошо коррелируют с положением на оси времени моментов наиболее сильных землетрясений.

Это обнадеживающий факт, который может иметь прогностическое значение. К примеру, если в качестве порогового уровня для параметра  $\Sigma_{max}$  выбрать 55 суток, то все сильнейшие землетрясения, за исключением одного (22.12.1991 г.,  $M_w = 7.6$ ), будут предсказаны. За начало тревожного режима целесообразно принимать момент времени, соответствующий концу временного окна, в котором достигается значимый локальный максимум на графике  $\Sigma_{max} = f(t)$ . После его наступления может возникнуть либо одно, либо два сильнейших события.

Длительность тревоги от момента наступления аномального максимума до первого прогнозируемого

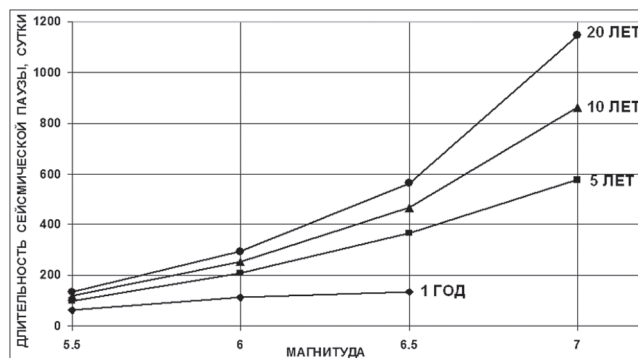


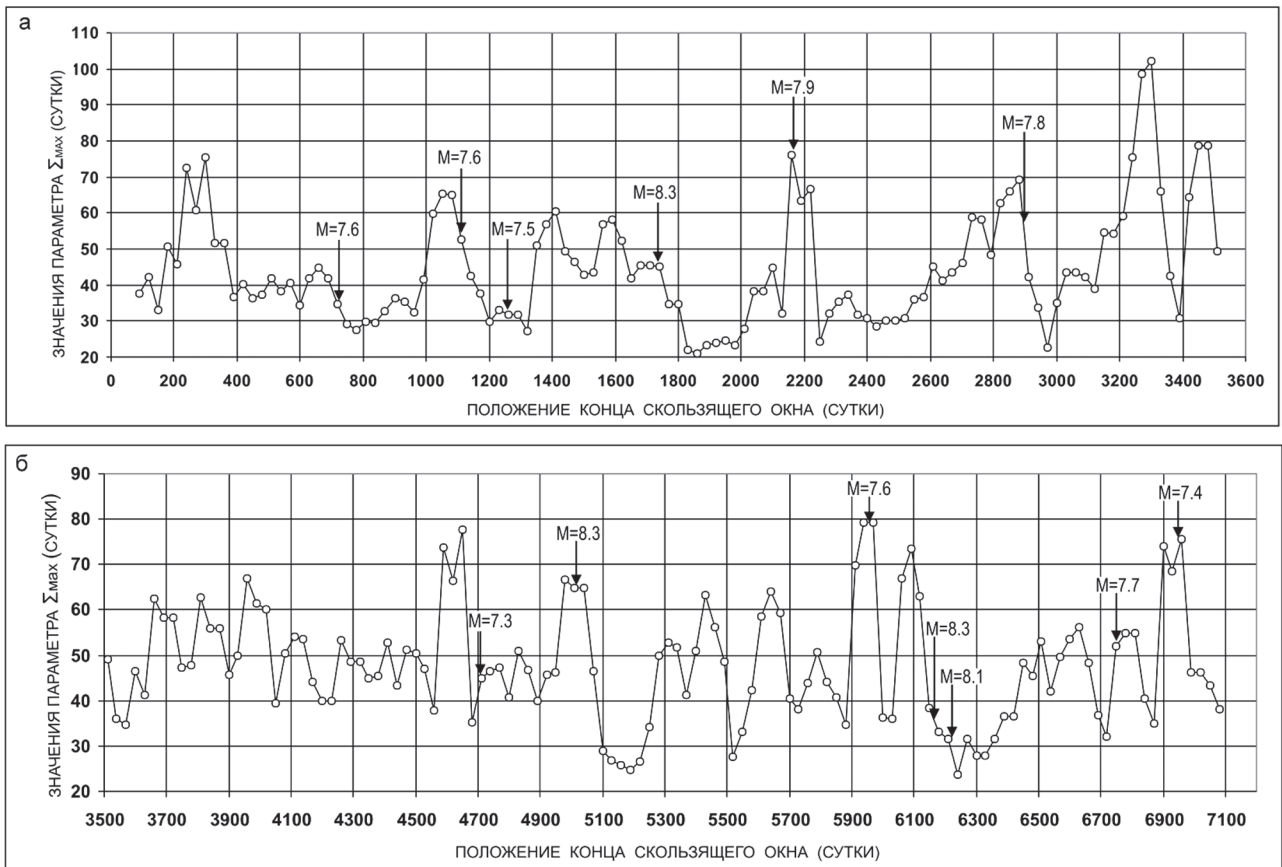
Рис. 3. Оценки длительности сейсмической паузы с частотой повторения 1 раз в течение одного года, пяти, десяти и 20-ти лет в зависимости от нижнего порога магнитуды в выборке землетрясений.

события, как правило, невелика – от первых суток до двух месяцев. В случае выбора порогового уровня, равного 55 суткам, за время наблюдений (19.35 лет) было бы допущено 9 ложных тревог, общая длительность которых составила бы 7.6 % от периода наблюдения. Можно предположить, что часть ложных тревог обусловлена возникновением сильных событий в соседних сейсмоактивных зонах.

В заключение коснемся двух вопросов: сохраняются ли экстремумы параметра  $\Sigma_{max}$  при использовании данных другого каталога и насколько устойчиво их положение на временной оси. Графики могут претерпеть изменения, поскольку существуют расхождения данных разных каталогов в оценке параметров землетрясений и, в первую очередь, магнитуд. Для выяснения степени влияния таких расхождений привлекался унифицированный по магнитуде каталог землетрясений Курило-Камчатского региона [3]. Сопоставление результатов расчетов, выполненных по выборкам землетрясений ( $M \geq 5.0$ ) изучаемой территории на основе мирового и регионального каталогов, показало хорошую коррелированность графиков для двух независимых выборок (рис. 5). Положение экстремумов во времени оказалось устойчивым, также в большинстве случаев относительно стабильными были и их значения за исключением двух случаев.

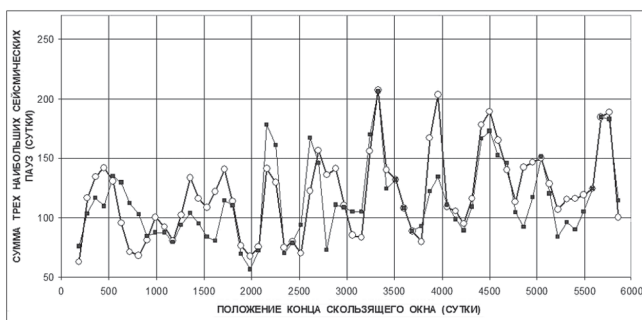
## ВЫВОДЫ

Исследованы характеристики распределений разностей времен в очагах последовательных землетрясений Курило-Камчатской зоны, включая район о-ва Хоккайдо, в разных диапазонах магнитуд. В результате найден новый среднесрочный предвестник – пауза молчания – наблюдаемый перед наиболее силь-



**Рис. 4.** График зависимости параметра  $\Sigma_{\max}$ , рассчитанного в скользящем временном окне по выборке землетрясений с  $M \geq 5.0$  из мирового каталога в пределах исследуемой территории за период 1990 – июнь 2009 гг., от положения конца этого окна.

Длительность временного окна – 90 суток. Шаг сдвига окна – 30 суток. Вертикальными стрелками с указанием магнитуды отмечены моменты возникновения наиболее сильных землетрясений.



**Рис. 5.** Сопоставление хода графиков зависимости параметра  $\Sigma_{\max}$ , рассчитанного в скользящем временном окне по выборке землетрясений с  $M \geq 5.0$  из мирового (кружки) и регионального (квадраты) каталогов в пределах исследуемой территории за период 1990–2005 гг., от положения конца этого окна.

Длительность временного окна – 180 суток. Шаг сдвига окна – 90 суток.

ными землетрясениями в пределах этой территории. Данный предвестник проявляется в длительном отсутствии событий с  $M \geq 5.5$ , когда интервал между последовательными толчками в 4 и более раз превышает долговременное среднее значение.

Анализ данных о событиях с  $M \geq 5.5$ , содержащихся в мировом [15] и региональном [3] каталогах за 1990–2009 гг., показывает, что все сильнейшие землетрясения зоны предварялись паузами молчания. Их длительность составляет от двух до 6 месяцев. Таким образом, геофизическая среда в пределах Курило-Камчатской сейсмоактивной зоны, включая северо-восточную часть Японии, ведет себя как одно целое на заключительной стадии подготовки катастрофических событий.

Для прогнозных целей вместо пауз молчания предлагается использовать более стабильный параметр – сумму трех наибольших значений интервалов времени между землетрясениями в скользящем вре-

менном окне. Длительность тревог от момента наступления аномального максимума данного параметра до первого прогнозируемого события находится в интервале от первых суток до двух месяцев.

По данным ретроспективного анализа, пропуски цели отсутствуют, но есть ложные тревоги. Так, в случае выбора порогового уровня, равного 55 суткам, за время наблюдений (19.35 лет) было бы допущено 9 ложных тревог, общая длительность которых составила бы 7.6 % от периода наблюдения. Можно предположить, что часть ложных тревог обусловлена возникновением сильных событий в соседних сейсмоактивных зонах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добровольский И.П. Теория подготовки тектонического землетрясения. М.: ИФЗ АН СССР, 1991. 224 с.
2. Завьялов А.Д. Анализ результатов тестирования прогностического алгоритма КОЗ с 1985 по 2000 гг. в различных сейсмоактивных районах // Физика Земли. 2002. № 4. С. 16–30.
3. Ким Ч.У., Андреева М.Ю. Каталог землетрясений Курило-Камчатского региона (1737-2005 гг.). (Препринт). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2009. 126 с.
4. Кособоков В.Г. Прогноз землетрясений: основы, реализация, перспективы // Прогноз землетрясений и геодинамические процессы. М.: ГЕОС, 2005. Ч. I. 179 с. (Вычислительная сейсмология; Вып. 36).
5. Моги К. Предсказание землетрясений. М.: Мир, 1988. 382 с.
6. Соболев Г.А., Челидзе Т.Л., Завьялов А.Д. и др. Карты ожидаемых землетрясений, основанные на комплексе сейсмологических признаков // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1990. № 11. С. 45–56.
7. Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С. Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1996. № 4. С. 64–74.
8. Тараканов Р.З. Размеры очаговых зон сильных землетрясений Курило-Камчатского региона и Японии и проблема максимальных возможных магнитуд // Вулканология и сейсмология. 1995. № 1. С. 76–89.
9. Тихонов И.Н. Закономерности пространственно-временных вариаций повторяемости землетрясений Японии за 1985–1988. (Препринт). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1993. 37 с.
10. Тихонов И.Н. Методика среднесрочного прогноза времени возникновения сильнейших ( $M \geq 7.5$ ) землетрясений (на примере района Южно-Курильских островов). (Препринт). Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1999. 34 с.
11. Тихонов И.Н. Некоторые закономерности сейсмичности восточнее о-вов Хоккайдо, Хонсю перед землетрясениями с  $M \geq 7.5$ . Оценка современной прогнозной ситуации // Динамика очаговых зон и прогнозирование сильных землетрясений Северо-Запада Тихого океана / Сб. статей. Южно-Сахалинск, 2001. Т. 2. С. 21–38.
12. Тихонов И.Н. Обнаружение и картирование сейсмических затихий перед сильными землетрясениями Японии // Вулканология и сейсмология. 2005. № 5. С. 1–17.
13. Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // Докл. АН СССР. 1967. Т. 176, № 2. С. 319–323.
14. Федотов С.А. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги. М.: Наука, 2005. 302 с.
15. NEIC. National Earthquake Informational Center. <http://neic.usgs.gov>.
16. Keilis-Borok V.I., Kossobokov V.G. Premonitory activation of earthquake flow: algorithm M8 // Physics of the Earth and Planet. Inter. 1990. V. 61, N 1–2. P. 73–83.

*Рекомендована к печати Т.К. Злобиным*

#### *I.N. Tikhonov*

#### **Silence pauses before the great earthquakes of the Kuril-Kamchatka zone**

The characteristics of distributions of time origin differences of the successive earthquakes of the Kuril-Kamchatka zone including the area of Hokkaido Island were investigated in different-ranged magnitudes. Data of regional and world catalogues of the earthquakes over the past 20 years were taken for the analysis. As a result, a new medium-term foreshock effect – the silence pause observed before the strongest earthquakes was found. This foreshock is observed in a long-term (over 2-6 months) absence of the events with  $M \geq 5.5$  on this territory. For the prognosis aims the more stable parameter – the sum of three largest values of the time intervals between the earthquakes with  $M \geq 5.0$  in a sliding time window is proposed to use instead of the silence pauses. The prognostic informativity of this parameter was evaluated.

**Key words:** earthquake, seismic center, time in the seismic focus, time differences in seismic foci, probabilistic distributions of time differences, silence pause, frequency of silence pauses, informativity of the foreshock, Kuril-Kamchatka Zone.