

**ОТРАЖЕНИЕ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ КРОНОЦКОГО
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 05.12.97 ВО ВРЕМЕННЫХ ВАРИАЦИЯХ
СКОРОСТИ СПАДА ОГИБАЮЩИХ КОДА-ВОЛН СЛАБЫХ
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

И.Р.Абубакиров¹, А.А. Гусев², Е.М. Гусева¹

¹ Камчатская Опытно-Методическая Сейсмологическая Партия
Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский

² Институт Вулканической Геологии и Геохимии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский

**MANIFESTATION OF PREPARATION PROCESS OF THE 1997
KRONOTSKOYE EARTHQUAKE IN TEMPORAL VARIATIONS
OF CODA DECAY RATE OF SMALL EARTHQUAKES**

Abubakirov I.R.¹, Gusev A.A.² and Guseva E.M.¹

¹ Kamchatka Experimental and Methodical Seismological Department of
Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-
Kamchatsky, Russia

² Institute of Volcanic Geology & Geochemistry of the Far Eastern
Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

Аннотация. Для двух сейсмических станций, расположенных вблизи эпицентральной области Кроноцкого ($M=7.9$) землетрясения 1997г., изучались временные вариации скорости спада огибающей коды слабых землетрясений. Реальность типичной предвестниковой аномалии крутизны спада огибающей коды в виде отрицательной бухты с длительностью около 1 года на примере события 05.12.1997 полностью подтверждается. Бухта была успешно выявлена в процессе мониторинга в текущем времени. Однако, оперативный прогноз события 05.12.1997 осуществлен не был, т.к. временное окно тревоги было закрыто слишком рано. Этот факт указывает на необходимость дальнейшего накопления опыта реального прогноза в текущем времени. В дальнейшей работе по оперативному прогнозу время тревоги следует увеличить с 1,5 лет до 2,5-3,5 лет.

Abstract. Temporal variations of the coda decay rate of small local earthquakes before the $M=7.9$ Kronotskoye earthquake of 1997 has been

studied for two Kamchatka seismic stations located in the vicinity of the source zone of a major earthquake. This study confirmed the reality of typical precursory anomaly of specific “negative bay” type, with the duration about 1 year. This bay was successfully detected during real-time monitoring. However, the operative real-time forecast of 05.12.97 event has not been done, because the time window of the forecast was closed too early. This fact demonstrates the need for future accumulation of experience of real-time forecasting. In future forecasting work, the time span of alarm should be increased from 1.5 to 2.5-3.5 years.

Начиная с 1982 г. на Камчатке ведется непрерывное слежение за вариациями скорости спада огибающих коды (хвостовой части записи) слабых местных землетрясений. Цель этой работы - оперативное выявление возможных предвестниковых аномалий и выдача, в обоснованных случаях, среднесрочных прогнозов сильных землетрясений.

В качестве количественной характеристики скорости спада огибающей коды при оперативном слежении используется специальный параметр, представляющий собой отклонение крутизны спада логарифма текущей амплитуды огибающей во времени вдоль записи от средней функции такого спада. Этот параметр обозначен через α . Положительные значения α указывают на относительно пологий, а отрицательные - на относительно крутой спад амплитуд огибающей коды. Оценка параметра α для отдельного землетрясения производится по методике, изложенной в [1 - 4]. Значения α , определяемые для отдельных землетрясений, наносятся на график в функции календарного времени. Составление таких графиков, их анализ и своевременное выявление аномалий предвестникового типа и составляют основную задачу оперативного слежения.

Характерный облик и длительность предвестниковой аномалии были определены в 1978-1982 гг. в [1 - 3]. Было обнаружено, что в 1963, 1971 и 1978 гг. выраженные бухтообразные отрицательные аномалии параметра α предвещали три сильнейших ($M \sim 8$) землетрясения Камчатки и Курил, опережая их на 0,8 - 1,6 года (считая от начала аномалии). Удаление станций от эпицентральных зон сильных землетрясений составляло 50 - 150 км. Обнаружилось также [3], что для интерпретации отрицательной аномалии α в качестве предвестника готовящегося сильного землетрясения необходимо, чтобы такая аномалия проявлялась синхронно на паре соседних станций.

В 1985 - 1990 гг. подобного рода аномалии были выявлены рядом авторов в более чем 10 других случаях (см. обзор [6]) в основном при событиях $M=6-7$. Отметим, что в одном случае аномалия спада коды опережала Тангшанское ($M=7,6$) землетрясение на 3 года [5].

Основываясь на опыте работ [1 - 3], в конце 1982 года было начато непрерывное слежение за временным ходом параметра α на восточном побережье Камчатки в целях накопления опыта оперативного прогнозирования сильных ($M>7,5$) землетрясений.

5 декабря 1997г. на Камчатке в районе “залив Камчатский - полуостров Кроноцкий” произошло сильное ($M=7,9$) землетрясение. Его инструментальный эпицентр находился в 150 км от сейсмостанции Крутоберегово (КВГ) и в 135 км от станции Кроноки (КРИ) (см. Рис.1).

В настоящей работе описан ход параметра α перед этим землетрясением, действия и решения в процессе оперативного прогнозирования в 1995 - 1997 гг.

Район исследования - восточное тихоокеанское побережье полуострова Камчатка - показан на Рис.1. Слева приведено положение двух станций КРИ и КВГ, анализ данных которых описывается ниже. Справа - эпицентры слабых ($M=3-5$) землетрясений 1988-1997гг., записанных на станциях КВГ (звездочки) и КРИ (кружки), участок коды, на записи которых был использован для расчета значений параметра α . Эти значения рассматривались в оперативном прогнозе.

Станции оборудованы обычными трехкомпонентными электромагнитными сейсмографами с 1,2-секундными маятниками и системой гальванометрической регистрации с 0,07-секундными гальванометрами типа ГБ-IV. Скорость развертки фотобумаги- 120 мм/мин. Амплитудно-частотная характеристика регистрирующей аппаратуры по смещению практически плоская в диапазоне частот 1-10 Гц.

На Рис.2 для КВГ и КРИ приведены графики значений α в функции календарного времени за десятилетний период 1988-1997 гг. Графики за 1967-1990 гг. см. в [4]. Данные для вертикальной компоненты (Z) и усредненные по двум горизонтальным компонентам (H) значения α представлены отдельными графиками для каждой из станций. Сплошными

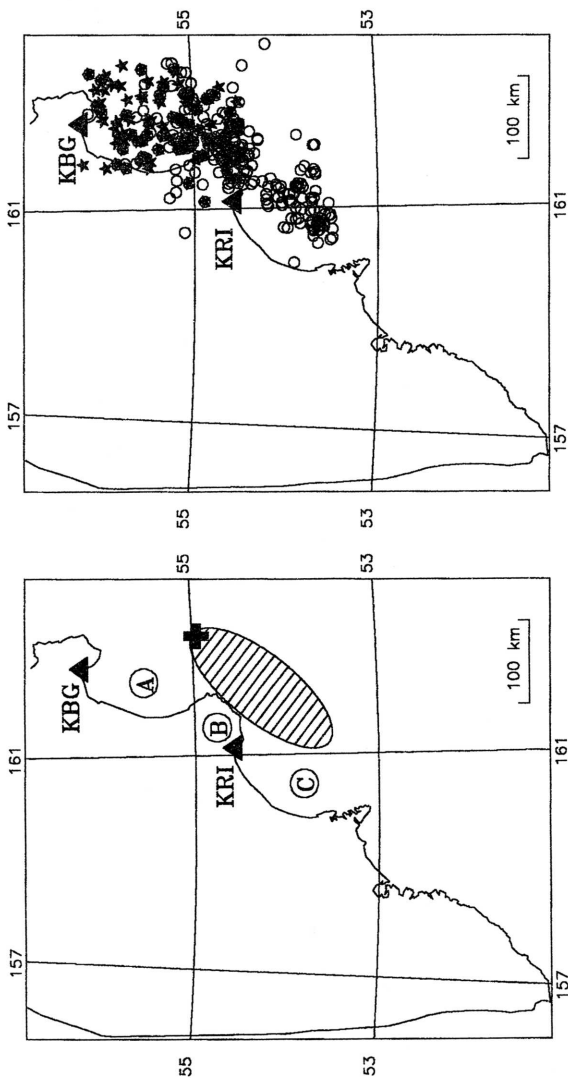


Рис. 1. Регион исследования. Слева: эпицентральная область Кроноцкого ($M=7,9$) землетрясения 05.12.97 (заштрихованная область), его инструментальный эпицентр (затянутый крест) и сейсмические станции (затянутые треугольники), данные которых были использованы; буквами в кружках обозначены географические объекты: А- залив Камчатский; В- полуостров Кроноцкий; С- зал. Кроноцкий. Справа: две группы эпицентров показывают землетрясения 1988-1997 г.г., использованные на станциях KBG (затянутые звездочки) и KRI (незатянутые кружки).

Fig. 1. The region of the study. Left: dashed area- the epicentral zone of the 05.12.97 Kronotski ($M=7.9$) earthquake; solid cross- the instrumental epicenter; solid triangles- seismic stations used in this study; circled capitals denote geographical objects: A- Kamchatski bay; B- Kronotski peninsula; C- Kronotski bay. Right: epicenters of small earthquakes of 1988-1997 used to determine α values at stations KBG (solid stars) and KRI (open circles).

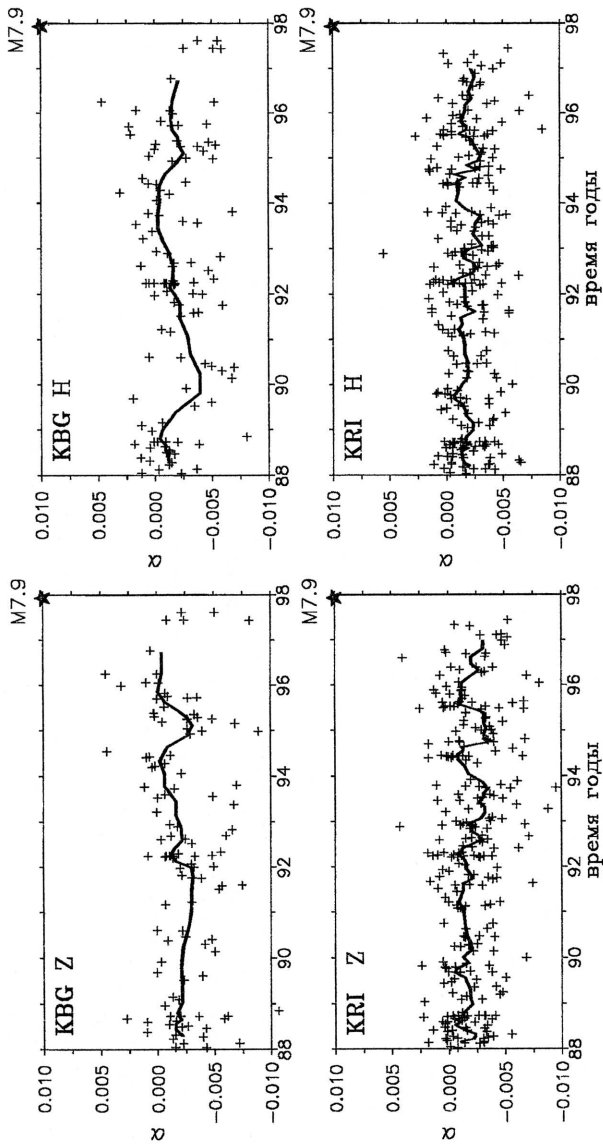


Рис. 2. Индивидуальные значения α периода 1988-1997 гг. в функции календарного времени. Слева: для Z-компоненты на 2 станциях. Справа: то же самое для H-компоненты. Звездочкой показан момент Кроноцкого землетрясения 05.12.97.

Fig. 2. Individual α values of 1988-1997 versus small event time. Left: two stations, Z component data. Right: same, H component data. The lines connect running medians of successive 12-point groups with 33% overlapping (jumping by 4 points). Stars denote the moment of Kronotski earthquake of December 1997.

линиями на графиках показаны медианные значения α , построенные по группам из 12 точек с 33-процентным перекрытием (шаг в 4 точки).

Как видно из Рис.2, со второй половины 1994 года на станциях KBG и KRI начинает прослеживаться приблизительно синхронное понижение уровня значений α . К концу 1995 г. отрицательная бухтообразная аномалия параметра α становится вполне отчетливой на обеих станциях.

В апреле 1996 г. в наличии имелись данные по декабрь 1995 г. для ст. KBG и по ноябрь 1995 г. для ст. KRI. На основе этих данных был выдан среднесрочный прогноз события с $M > 7,5$ в районе ст. KBG на период до декабря 1996 г. Это временное окно для предполагаемого сильного землетрясения основывалось на опыте изучения событий с $M \sim 8$ в 1963, 1971, 1978 гг., описанном во введении, а также события 1969 г. ($M = 7,7$) в заливе Озерной. Поскольку очаговая зона события 1971 г. находилась в Камчатском заливе, непосредственно к северу от очага 1997 г., представляет интерес рассмотрение долговременного хода вариаций α за 1967 - 1997 гг. На Рис.3 показан временной ход медианных значений α на ст. KBG и KRI за период 1967 - 1997 гг. Здесь же указаны моменты времени двух упомянутых сильных ($M > 7.5$) землетрясений периода 1967-1997 гг., произошедших вблизи станций. Видно, что графики α по отдельным станциям обладают сильной изменчивостью. Однако, иногда происходят почти синхронные отрицательные бухтообразные аномалии α на паре станций. Такие одновременные аномалии отчетливо выделяются в трех случаях: в 1971, 1985 и 1995 гг. Первая из этих аномалий является предвестником Усть-Камчатского землетрясения 15.12.71 г. с $M = 7,7$, описанным в [1 - 3]. Аномалия 1985 г. имеет характер ложной тревоги. Она была оперативно выявлена, и по ней был сделан среднесрочный прогноз на период апрель 1985г. - февраль 1986 г. Этот прогноз не оправдался. Третья аномалия (в 1995 г.) - это та же аномалия, что видна на Рис.2 в более крупном масштабе. Таким образом, формирование синхронной отрицательной бухты по двум сейсмостанциям KBG и KRI - явление достаточно редкое, и аномалию 1995 г. едва ли следует считать случайным совпадением.

Исходя из имевшегося опыта ретроспективного анализа с учетом фактического времени начала аномалии 1995 г., возможное сильное

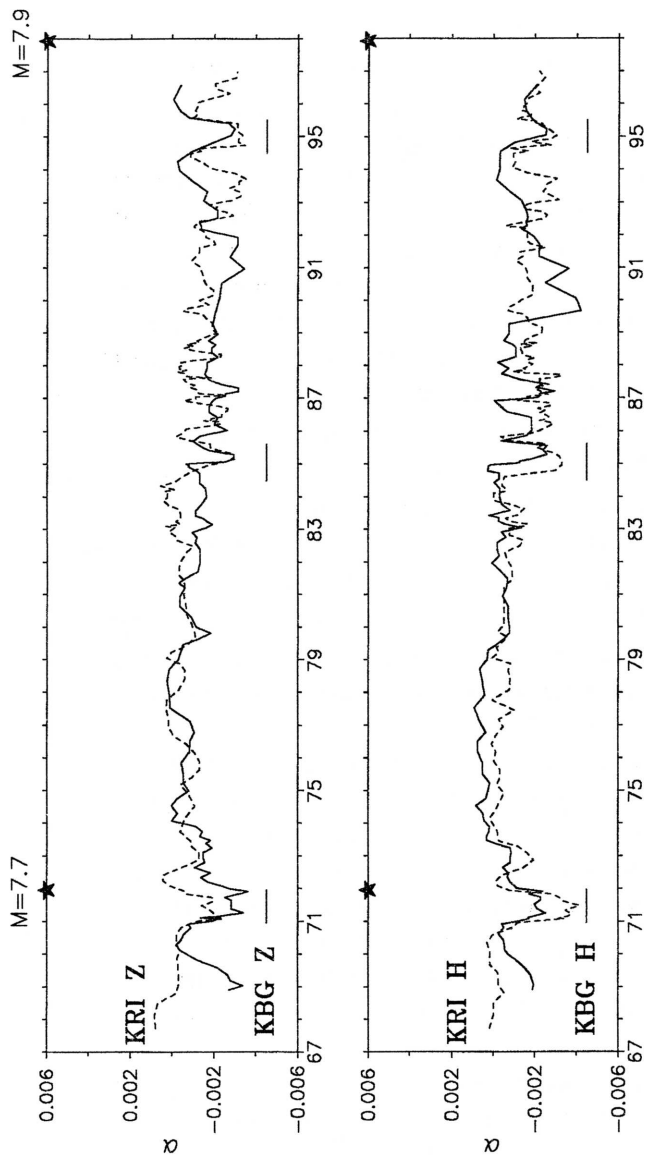


Рис. 3. Сглаженные значения α периода 1967-1997 гг. в функции календарного времени. Вверху: для Z-компоненты на 2 станциях. Внизу: то же самое для H-компоненты. Звездочками показаны моменты сильных землетрясений, произошедших вблизи станций.

Fig. 3. Running 12-point sample medians of α values of 1967-1997 versus time. Top: two stations, Z component data. Bottom: same, H component data. Stars denote the moments of major earthquakes occurred in the vicinity of the stations.

землетрясение следовало ожидать в течение 0,8 - 1,6 года, считая от начала аномалии, то есть в период по август 1996 г. включительно. С некоторым запасом, опасным был принят период апрель - декабрь 1996 г. Соответствующая прогнозная записка 10 апреля 1996 года была передана в Камчатский центр мониторинга сейсмической и вулканической активности, координировавший исследования по прогнозу землетрясений на Камчатке в 1995 - 1997 гг.

6 июля 1996 г. в районе Камчатского пролива произошло землетрясение с $M=7$. Его инструментальный эпицентр ($\varphi=55,8^\circ$ с.ш., $\lambda=164,7^\circ$ в.д.) находился в 140 км от сейсмостанции KBG и в 265 км от станции KRI. Это землетрясение укладывалось в прогнозную схему от 10 апреля 1996 г., но имело магнитуду на 0,5 ниже минимальной ожидаемой. По этой причине после толчка 6 июля объявленную тревогу было решено не снимать.

Тревога была снята, как тогда казалось, обоснованно, в начале 1997 г. Это решение было принято на основе типичного временного хода предвестника, упомянутого выше.

5 декабря 1997 г., через 11 месяцев после конца периода тревоги, в районе “залив Камчатский - полуостров Кроноцкий” произошло сильное землетрясение с $M=7,9$. Теперь, по результатам ретроспективного анализа, становится ясно, что обсуждавшаяся аномалия параметра α 1995 г. на станциях KBG и KRI скорее всего имела характер предвестника события 05.12.97. Если это предположение верно, то время T опережения предвестника (считая от начала аномалии) составило около 3 лет, что существенно превышает известные значения T для землетрясений зон субдукции с $M=7,5 - 7,8$ [1 - 3]. Оно, однако, вполне сопоставимо со временем опережения ($T=3$ года) для Тангшанского ($M=7,6$) землетрясения 1978 г. в Китае [5]. Таким образом, в 1995 - 1997 гг. мы встретились с ситуацией, не имевшей аналогов в ранее изученных случаях для зон субдукции. Это привело к пропуску события 5 декабря 1997 г., несмотря на фактическое возникновение и затем своевременное оперативное обнаружение предвестниковой аномалии.

В целом, не вполне удачный по своим практическим результатам опыт оперативного слежения 1995 - 1997 гг., полностью подтверждает сам факт существования предвестниковых аномалий крутизны спада

оггибающих коды, он также позволяет сделать важный для дальнейших работ методический вывод о необходимости увеличения времени тревоги с 1,5 лет до 2,5 - 3,5 лет.

Выводы

1. Реальность предвестниковых аномалий крутизны спада оггибающей кода-волн в виде отрицательной бухты на примере события 05.12.1997 полностью подтверждается. Бухта была успешно выявлена в процессе мониторинга.
2. Оперативный прогноз события 05.12.1997 не был осуществлен по объективной причине - недостатку опыта реального прогноза в текущем времени. Временное окно тревоги по выделенному предвестнику было закрыто слишком рано.
3. В дальнейшей работе по оперативному среднесрочному прогнозу время тревоги для аномалий крутизны спада оггибающей коды следует увеличить с 1,5 лет до 2,5-3,5 лет.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований и Администрации Камчатской области (код проекта: 97-05-96604).

Литература

1. Гусев А.А., Лемзиков В.К., 1980, Вулк. и сейсм., №6, с. 82-93.
2. Гусев А.А., Лемзиков В.К., 1984, Вулк. и сейсм., №4, с. 76-90.
3. Лемзиков В.К., 1987, Кандидатская диссертация, г. Петропавловск-Камчатский.
4. Gusev A.A., 1997, *Geophys. Res.*, 1997, v.102, pp.8381-8396.
5. Jin A., Gao T., Aki K., 1986., *J. Geophys. Res.*, v.91, pp.665-673.
6. Jin A., Aki K., 1991, In: *Evaluation of Proposed Earthquake Precursors*, edited by M.Wyss, AGU, Washington D.C., pp.33-46.