

АНОМАЛИИ ПАРАМЕТРОВ РАЗНОМАСШТАБНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ КАРЫМСКОГО СЕЙСМО-ВУЛКАНИЧЕСКОГО КРИЗИСА 1-2 ЯНВАРЯ 1996 Г.

Н.М. Кравченко, Ю.А. Кугаенко, В.А. Салтыков

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006,
e-mail: ku@emsd.ru*

Введение

Карымский сейсмо-вулканический кризис (КСВК) – комплекс сейсмических и пароксизмальных вулканических явлений, наблюдавшихся в Карымском вулканическом центре (КВЦ) 1-2 января 1996 г.:

- необычайно сильный для материковой части Камчатки рой поверхностных землетрясений;
- начало вершинного извержения Карымского вулкана, которое непрерывно продолжается до настоящего времени;
- субаквальное извержение из нового эруптивного центра в кальдере Академии Наук.

Подробному описанию этого уникального явления посвящен специальный выпуск журнала «Вулканология и сейсмология» (№ 5, 1997 г.). Сейсмические события наиболее детально отражены в работах [3, 10].

Сильнейшее событие корового роя с магнитудой $M_S=7.0$ [10], $M_W=6.8$ [4] получило название Карымского землетрясения (КЗ). Оно является знаковым для камчатской сейсмологии, так как в настоящее время является сильнейшим коровым землетрясением, зафиксированным под материковой частью Камчатки за годы детальных сейсмологических наблюдений, начавшихся в 1962 г. Интенсивность сотрясений в КВЦ составляла не менее 9 баллов по шкале MSK-64. Очаг КЗ по сейсмологическим данным имеет линейные размеры 40×20 км и аппроксимирован эллипсом, большая ось которого хорошо совпадает с направлением основного магмоподводящего разлома Восточно-Камчатского вулканического пояса, имеющего северо-восточное простирание. Инструментально определенный гипоцентр КЗ имеет глубину 0 км, однако, по мнению авторов [10], более реальной представляется глубина 10-20 км. Глубина основной массы афтершоков не превышает 20 км. КСВК предварялся несколькими сериями слабых мелкофокусных землетрясений, в том числе длиннопериодных, эти события рассматриваются как предвестниковая активизация извержения Карымского вулкана [3, 5, 10, 23]. Исследование поверхностных проявлений КЗ позволило обнаружить крупные сейсмодислокации разных типов [11, 12]. Заложение новых трещин произошло вдоль старого активизировавшегося разлома. Раскрытие трещин местами достигает 2-2.5 м, глубина – 7-8 м, амплитуда вертикальных перемещений – 0.5-1.5 м. Анализ разрывных нарушений позволил выявить сложный двухэтапный характер деформаций: сжатие и формирование взбросов на первом этапе и формирование сбросов и открытых трещин на втором [12].

Природа КЗ остается дискуссионной. Ученые все еще не пришли к единому мнению по поводу последовательности, доминирующего значения и взаимодействия магматизма и сейсмичности в ходе активизации КВЦ в начале 1996 г. КЗ рассматривается как тектоническое землетрясение в работах [2, 3, 10] и связывается с тектонической активизацией меридиональной разломной зоны. Авторы [12, 23] доминирующую роль отводят магматизму и интерпретируют это сейсмическое событие как вулканотектоническое землетрясение, связанное с внедрением магматических расплавов в

верхние горизонты земной коры, повышением давления в промежуточном магматическом очаге и взламыванием его кровли.

Разностороннее рассмотрение процессов, связанных с подготовкой КСВК, может внести дополнительные аргументы в эту дискуссию. Интерес к этому вопросу сохраняется, о чем свидетельствуют публикации последних лет, например, [5, 12, 22].

В данной работе приведены результаты выявления обширных аномалий параметров сейсмичности различных энергетических уровней, которые имели место в ходе подготовки КСВК. В качестве разномасштабной сейсмичности рассматриваются землетрясения камчатского регионального каталога и микросейсмичность (сейсмические шумы: амплитуда 10^{-9} - 10^{-12} м, частотный диапазон – первые десятки Гц), являющаяся проявлением сейсмического процесса в низшем диапазоне энергий. Для анализа микросейсмичности перед КЗ применяется оригинальная методика, основанная на слежении за откликом высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ) на приливное воздействие [14, 16]. Для ретроспективного выявления аномалий в параметрах фоновой сейсмичности используются методики *RTL* [18-21] и *Z*-функция [25-27], разработанные для анализа динамики сейсмического процесса.

Используемые материалы

Информационной основой при применении алгоритмов анализа фоновой сейсмичности являются землетрясения камчатского регионального каталога, полученного за годы детальных сейсмологических наблюдений, организованных на Камчатке с 1962 г. Это один из наиболее полных региональных массивов сейсмологической информации, имеющих в мире на сегодняшний день. В целом по камчатскому каталогу уровень представительной регистрации для полуострова Камчатка соответствует классу $K=8.5$ по энергетической классификации для Курило-Камчатских землетрясений [24]. Расчеты проводятся для каталога, предварительно очищенного от афтершоковых последовательностей по алгоритму [13]. Характер используемых землетрясений определяется особенностями региональной сейсмичности Камчатки: в целом доминирующая роль в камчатском региональном каталоге принадлежит субдукционным землетрясениям.

Исследования вариаций ВСШ базируются на рядах данных долговременных непрерывных наблюдений, проводящихся в районе низкой антропогенной активности, вблизи поселка Начики (центральная часть Южной Камчатки). Используется специализированный комплекс регистрации слабых сейсмических сигналов, основными элементами которого являются высокочастотный пьезодинамический сейсмометр резонансного типа и 24-разрядный цифровой регистратор. В настоящее время имеющиеся на Камчатке ряды непрерывных данных ВСШ по длительности не имеют аналогов в мировой практике сейсмологических наблюдений. Подробнее с этим направлением исследований можно ознакомиться в [15, 16] и публикациях, приведенных в библиографиях к указанным работам.

Применяемые методики

RTL. Методика разработана под руководством Г.А. Соболева в ИФЗ РАН [19-21] в целях среднесрочного прогноза сильных землетрясений. В основу прогнозного признака заложена идея о взаимосвязи и взаимовлиянии землетрясений. Предпосылкой к разработке параметра *RTL* послужили результаты лабораторного моделирования очага разрушения, в соответствии с которыми в очаге будущего землетрясения последовательно сменяются две стадии: затишье и активизация сейсмичности [18]. При этом явление затишья наблюдается почти перед всеми сильными землетрясениями, что, исходя из модели лавинно-неустойчивого трещинообразования, свидетельствует о наличии стадии накопления энергии в процессе подготовки землетрясения. В 1999 г. алгоритм *RTL* был передан для оперативного использования в Камчатский филиал Геофизической службы РАН, где была разработана программа для работы с каталогами «*RTL*-

анализатор» [6], адаптированная к авторской методике. Приведенные ниже результаты получены на базе этого программного пакета.

Для выделения области сейсмического затишья по методу *RTL* исследуемый район покрывается сеткой с заданным шагом по широте и долготе. Для каждого узла сетки с координатами x , y и z в указанный момент времени t вычисляется значение параметра *RTL*, который представляет собой произведение трех функций R , T и L , характеризующих сейсмический режим: эпицентральной R , временной T и учитывающей размер очага землетрясения L [19-21]. Полученные значения R , T и L нормируются на соответствующее среднее квадратичное отклонение.

«*RTL*- анализатор» позволяет получить визуальное изображение значений параметра *RTL* в заданный момент времени во всех узлах сетки. В расчете параметра *RTL* участвуют сейсмические события, удаленные во времени не более чем на 2 года от расчетной даты, для которых расстояние от эпицентра до расчетной точки не превышает 100 км, глубины гипоцентров соответствуют диапазону 30-100 км. Расчеты ведутся с шагом по времени 15 суток. Узлы сетки, в которых значения $RTL < -3$ объединяются по принципу соседства и определяют область сейсмического затишья.

Применение параметра *RTL* для ретроспективного поиска аномалий в сейсмическом режиме на Камчатке (1980-2004 гг.) показало его высокую чувствительность к вариациям фоновой сейсмичности и надежность в качестве предвестника сильного землетрясения [8, 9]. В 10 случаях из 13 перед землетрясением с магнитудой $M \geq 6.8$ были выделены области сейсмического затишья по параметру *RTL* длительностью не менее года и минимумом *RTL* не более -10. Сейсмическое событие происходило, как правило, на границе зоны аномально низких значений параметра *RTL* при выходе параметра *RTL* на фоновый уровень.

Z-функция. Вторая используемая методика также ориентирована на выделение областей сейсмического затишья в пространстве и времени [25-27]. Она состоит в идентификации значимых изменений интенсивности потока сейсмических событий выбранного энергетического диапазона. В основу анализа заложена функция *Z*-тест, относящаяся к статистическим средствам проверки гипотез. Проверяется гипотеза о равенстве (или неравенстве) математического ожидания выборки заданному значению при условии, что известна величина дисперсии.

В случае исследования вариаций сейсмического режима применяется *Z*-тест для средних с известными дисперсиями для проверки гипотезы о различии между средними двух генеральных совокупностей. При этом рассматриваются скорости потока землетрясений в ограниченном объеме для двух последовательных интервалов времени и выявляется их значимое различие.

Расчеты ведутся в узлах сетки с фиксированным шагом, аналогично методу *RTL*. Для каждого узла сетки рассматриваются землетрясения с глубиной до 70 км в объеме цилиндра переменного радиуса r . Радиус определяется плотностью эпицентров и варьирует от 30 до 55 км. Для каждого цилиндра вычисляется количество землетрясений R_i (скорость потока землетрясений) на двух последовательных временных участках, сумма которых равна длительности каталога. К полученному ряду значений скорости потока землетрясений применяется функция $LTA(t)$ (собственно статистическая функция *Z*-тест):

$$LTA(t) = Z = (R_1 - R_2) / (\sigma_1^2/n_1 - \sigma_2^2/n_2)^{1/2},$$

здесь R_1 , R_2 - средние величины скорости потока землетрясений в первом (от T_0 до t) и во втором (от t до T_e) временных интервалах, t - текущее время ($T_0 < t < T_e$), T_0 и T_e - время начала и конца каталога, σ_1 и σ_2 - стандартные отклонения, а n_1 и n_2 - количество отсчетов значений в первом и втором временных интервалах. Максимумы функции $LTA(t)$ указывают на точку, которая делит временной ряд на два интервала с различными скоростями потока землетрясений с наибольшей вероятностью. Положительное значение $LTA(t)$ указывает на уменьшение скорости потока землетрясений, т. е. на

формирование сейсмического затишья. Величина $LTA(t) > 3$ соответствует не менее 99% надежности выделения сейсмического затишья в пределах «элементарного» цилиндра.

Дополнительно для выявленных на основе процедуры Z -test точек статистически значимого уменьшения уровня сейсмичности вычисляется величина уменьшения скорости сейсмического потока

$$SRD(t) = I - R_2/R_1$$

Определяется наибольшее значение $SRD = \max(SRD(t))$ и соответствующее ему время T . Абсолютному сейсмическому затишью соответствует $SRD=1$, уменьшению уровня сейсмичности в 8 раз - $SRD=0.875$, уменьшению в 4 раза - $SRD=0.75$, уменьшению в 2 раза - $SRD=0.5$.

Ретроспективный анализ вариаций сейсмичности сейсмоактивной зоны Камчатки за последние 30 лет показал [7], что в 6 случаях из 10 в окрестности зоны уменьшения сейсмической скорости в 8 и более раз происходит землетрясение с магнитудой не менее 6.0 в интервале времени до двух с половиной лет после стадии затишья.

ВСШ. Для исследования вариаций микросейсмичности применяется оригинальная методика, разработанная на Камчатке в ходе многолетних исследований ВСШ, их отклика на приливы и подготовку сильных локальных землетрясений. Приливы глобально воздействуют на все геоболочки Земли, вызывая их деформацию и влияя на характеристики горных пород (электропроводность, скорость распространения сейсмических волн, интенсивность сейсмоакустоэмиссионных процессов и пр.). По результатам исследований ВСШ на Камчатке была выдвинута гипотеза о связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с геодинамическими процессами в регионе [17]. В частности, была выявлена синхронизация выделенной из ВСШ приливной компоненты с гравитационным приливным потенциалом (далее – синхронизация). Этот эффект наблюдается от нескольких недель до 2 месяцев перед сильными региональными сейсмическими событиями, происходившими на эпицентральной дистанции Δ до 400 км от пункта регистрации, и проявлялся как стабилизация фазового сдвига $\Delta\varphi$ между приливной компонентой ВСШ и приливной волной на определенном уровне. На этих интервалах времени отклик ВСШ на приливное воздействие может рассматриваться как устойчивый процесс.

Физический механизм модуляции ВСШ приливным воздействием связан с двумя независимыми свойствами геофизической среды: приливные эффекты, обусловленные нелинейностью свойств гетерогенных сред в процессе распространения через них микросейсмического излучения; проявление синхронизации сейсмического излучения, генерируемого ансамблем микротрещин в некоторой ограниченной области, с внешним периодическим воздействием – гравитационным потенциалом.

Дальнейшее действие очагов землетрясений на область сбора микросейсмической информации мы связываем с предложенной в [1] математической моделью развития протяженных приповерхностных дилатансионных зон в процессе подготовки землетрясения. В пределах этих зон, разуплотненных под действием скальвающих и растягивающих тектонических напряжений вблизи свободной от напряжений дневной поверхности, наиболее универсальным механизмом развития изменений в среде на стадии подготовки сильного землетрясения может стать активизация трещин. А причиной более стабильного эмиссионного отклика среды на приливное воздействие является переход горных пород в зонах дилатансии в метастабильное состояние. Этот эффект уверенно проявляется при физическом моделировании в лабораторных условиях, например [25]. Таким образом, появление синхронизации сейсмических шумов с приливами означает изменение напряженно-деформированного состояния среды, что может быть инициировано, в частности, развитием очага землетрясения.

В ходе исследований ВСШ на Камчатке в 1992-2007 гг. синхронизация сейсмических шумов с приливами была выявлена для 27 региональных землетрясений в диапа-

зоне магнитуд M_W до 7.8 на эпицентральных расстояниях до 400 км и глубине до 200 км [16]. При этом для 19 наиболее сильных землетрясений с $M \geq 6.0$ стабилизацией фазы не сопровождалось лишь единственное событие. Обнаружение аналогичных эффектов в вариациях ВСШ перед землетрясениями в других регионах (о. Шикотан, о. Хоккайдо) подтверждает универсальный характер связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с изменениями напряженно-деформированного состояния среды.

Результаты

На рис. 1-а совмещены *RTL*- и *Z*-аномалии. Представлена карта минимальных значений *RTL* за все время развития аномалии и оконтурены площади, в пределах которых *Z*-функцией выделено абсолютное сейсмическое затишье и уменьшение уровня сейсмичности в 8 раз. Длительность и степень проявления аномалий можно оценить по диаграммам на рис. 1-б. Здесь представлены временной ход параметра *RTL* в реперной точке аномалии (отмечена стрелкой на рис. 1-а) и кривые $LTA(t)$ и $SRD(t)$, рассчитанные для временного окна 16 месяцев для области уменьшения сейсмического потока в 8 раз. Длительность аномалии по обоим параметрам составляет примерно 4 года. Сопоставление аномалий, соответствующих сейсмическому затишью, иллюстрирует хорошее пространственно-временное согласование. Очаг КЗ располагается на границе аномальной зоны. Длительность и время проявления аномального поведения параметров совпадают. Необходимо отметить и сложный нестационарный характер временного хода всех трех функций на аномальном участке.

Ранее попытка комплексирования применяемых в данной работе методик анализа фоновой сейсмичности была предпринята в [28] для анализа сейсмических затиший перед Нефтегорским (1995, $M_W = 7.6$) и Углегорским (2000, $M_W = 7.6$) землетрясениями на Сахалине. Независимые методики также показали идентичные результаты, что позволяет оптимистично оценивать перспективы применения такого подхода.

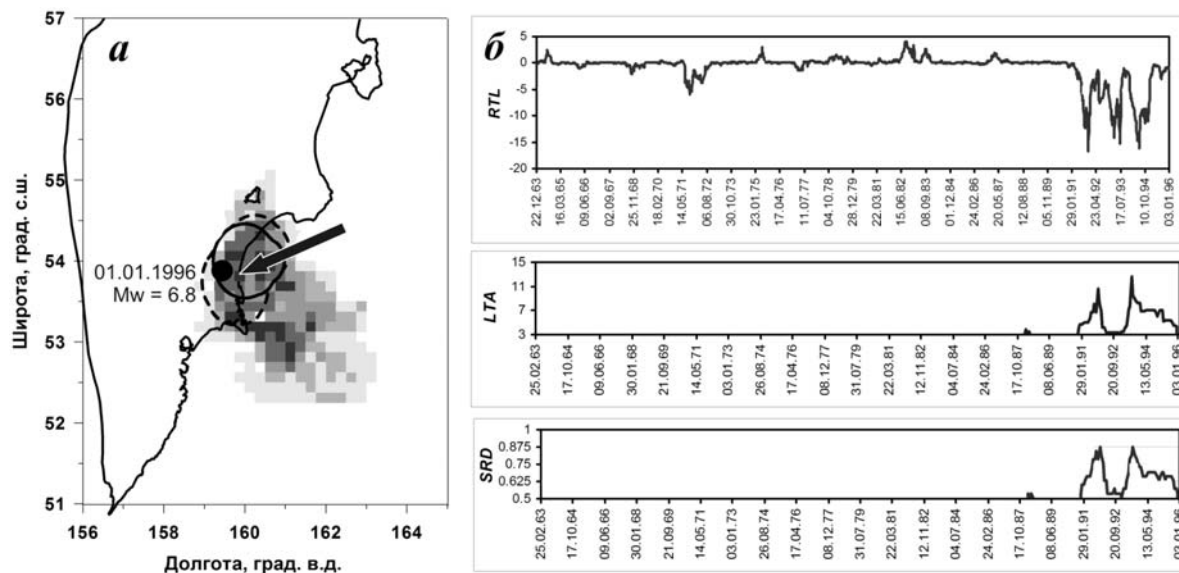


Рис. 1. Комплексирование *RTL*- и *Z*-методик.

а - совмещение *RTL*- и *Z*-аномалий. Представлена карта минимальных значений *RTL* за все время развития аномалии. Цветовая гамма: наиболее темный цвет соответствует $RTL < -12$, наиболее светлый - $RTL < -3$. Оконтурены площади, в пределах которых *Z*-функцией выделены абсолютное сейсмическое затишье (непрерывная линия) и область уменьшения сейсмического потока в 8 раз (курсив);

б - временной ход параметра *RTL* в реперной точке аномалии (отмечена стрелкой на рис. 1-а) и кривые $LTA(t)$ и $SRD(t)$, рассчитанные для временного окна 16 месяцев для области уменьшения сейсмического потока в 8 раз.

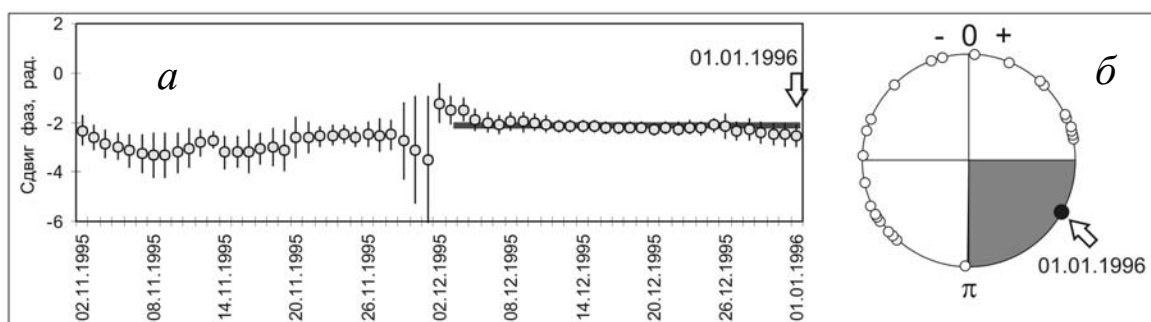


Рис. 2. Аномальный эффект в приливном отклике ВСШ, предварявший КСВК.

а - стабилизация разности фаз между приливной компонентой с периодом волны O_1 ($T=25.8$ часа) и соответствующей гармоникой гравитационного потенциала перед КЗ (выделена горизонтальной линией). Момент землетрясения отмечен стрелкой;

б - круговая диаграмма значений фазового сдвига, на которых наблюдалась стабилизация перед землетрясениями 1992-2007 гг. Значение, соответствующее подготовке КЗ, отмечено стрелкой.

Анализ приливных эффектов в микросейсмичности перед КЗ позволяет выделить стабилизацию разности фаз между приливной компонентой с периодом волны O_1 ($T=25.8$ часа) и соответствующей гармоникой гравитационного потенциала (рис.2-а). Этот эффект был зафиксирован по данным станции регистрации сейсмических шумов «Начики» на расстоянии около 140 км от КВЦ. Анализ значений фазового сдвига, на которых наблюдалась стабилизация перед землетрясениями 1992-2007 гг., показал неравномерность его распределения (круговая диаграмма на рис. 2-б). Из 27 указанных землетрясений КЗ является единственным коровым событием, остальные землетрясения относятся к субдукционным. Значение $\Delta\varphi$, на котором наблюдалась стабилизация перед КЗ, попадает в заштрихованный сектор круговой диаграммы, в котором это землетрясение – единственное. Оценка вероятности появления менее 2 точек в заштрихованном секторе при гипотезе о равномерном распределении $\Delta\varphi$ на окружности дает величину менее $3 \cdot 10^{-3}$. Выявленная неравномерность распределения, связанная с разделением землетрясений на субдукционные и коровые, иллюстрирует информативность уровня стабилизации $\Delta\varphi$.

Обсуждение результатов

Обобщение информации по выделенным аномалиям представлено в таблице. Приведенные данные показывают, что выявленные пространственные и временные рамки подготовки КСВК были значительны. Пространственная протяженность представленных в данной работе аномалий впервые иллюстрирует нам существенные масштабы подготовки тектоно-магматической активизации, имевшей место в КВЦ в начале 1996 г. Проявился региональный характер подготовки КСВК, охватившей значительный сегмент сейсмофокальной зоны до глубин порядка 100 км. Субдукционная сейсмичность, преобладающая в камчатском региональном каталоге, проявила достаточную чувствительность к процессу подготовки тектоно-магматической активизации. Возможный физический механизм такой взаимосвязи еще предстоит осмыслить.

По опыту исследования предвестниковых вариаций в параметрах сейсмичности и микросейсмичности на Камчатке и в других регионах мира аналогичные выделенным аномалии были связаны исключительно с тектоническими землетрясениями. Примеров обнаружения таких эффектов перед тектоно-магматическими активизациями не отмечалось. В соответствии с существующими представлениями о причинах, обуславливающих вулcano-тектонические и тектонические сейсмические события,

Таблица. Характеристики аномалий разномасштабной сейсмичности, выявленных перед тектоно-магматической активизацией Карымского вулканического центра 1996 г.

Методика	Параметры аномалии		Информационная основа	Предвестниковый характер	
	Длительность	Объем			
<i>RTL</i>	Объемная	4 года	$3 \cdot 10^6 \text{ км}^3$	Камчатский региональный каталог землетрясений $K \geq 8.5$	Среднесрочный (несколько лет до землетрясения)
<i>Z</i>		4 года	$1 \cdot 10^6 \text{ км}^3$		
ВСШ	Поверхностная	Длительность 1 месяц	Удаленность 140 км	Записи огибающей ВСШ по данным специализированной станции регистрации сейсмических шумов «Начики» [15]	Краткосрочный (1-2 месяца до землетрясения)

такие параметры аномалий фоновой сейсмичности и дальное действие формирующегося очага соответствуют тектоническому землетрясению. Для окончательного решения вопроса о природе КЗ необходимо совместное всестороннее осмысление комплекса событий, связанных с активизацией, на основе обобщения всех имеющихся данных.

Продемонстрированы применимость и достаточная представительность камчатского каталога для обнаружения аномалий в динамике регионального сейсмического процесса перед комплексом поверхностных пароксизмальных сейсмо-вулканических явлений на основе методик *RTL* и *Z*-функции.

Заключение

В настоящее время все рассмотренные в представленной публикации методики внедрены в деятельность КФ ГС РАН по оперативной оценке сейсмической обстановки. Текущие экспертные заключения регулярно представляются в Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска. Выявление синхронных вариаций в параметрах сейсмичности в интервале нескольких лет могут иметь практическую значимость для проведения упреждающих мероприятий. Представленные результаты иллюстрируют принципиальную возможность выявления предвестниковой ситуации перед аналогичным комплексом опасных природных явлений, которые могут произойти, в частности, в наиболее населенном районе Камчатки – в окрестностях г. Петропавловска-Камчатского (Авачинско-Корякская группа вулканов). В качестве аналога возможной катастрофы можно рассматривать землетрясение 9-10 августа 1827 г. с $M_w > 7.0$ по [4], сопровождавшее эксплозивное извержение Авачинского вулкана и вызвавшее сотрясения 8-9 баллов в районе г. Елизово.

Авторы благодарны В.Б. Смирнову за предоставление программы удаления из каталога афтершоковых последовательностей. Исследование ВСШ ведется при финансовой поддержке РФФИ – грант 07-05-00225.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А.С., Белоносов А.С., Петренко В.Е. О концепции многодисциплинарного прогноза землетрясений с использованием интегрального предвестника // Проблемы динамики литосферы и сейсмичности. Вычислительная сейсмология. Вып. 32. М.: ГЕОС, 2001. С. 81-97.

2. *Гордеев Е.И., Гусев А.А., Левина В.И. и др.* Мелкофокусные землетрясения полуострова Камчатка // *Вулканология и сейсмология*. 2006. № 3. С. 28-38.
3. *Гордеев Е.И., Дроздин Д.В., Касахара М. и др.* Сейсмические явления, связанные с извержениям. № 2. С. 28-48.
4. *Гусев А.А., Шумилина Л.С.* Повторяемость сильных землетрясений Камчатки в шкале моментных магнитуд // *Физика Земли*. 2004. № 3. С. 34-42.
5. *Иванов В.В.* Повторяемость извержений Карымского вулкана и сейсмологические предвестники пароксизмальных событий 1-2 января 1996 г. в Карымском районе // *Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога*. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 50-60.
6. *Иванов В.В. (мл.), Салтыков В.А.* Система оценки сейсмической опасности «RTL-анализатор» // *Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки*. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 335-353.
7. *Кравченко Н.М.* Оценка достоверности сейсмического затишья, выделенного с помощью Z-теста, как предвестника сильного землетрясения // *Вулканология и сейсмология*. 2005. № 1. С. 59-66.
8. *Кравченко Н.М.* Оценка надежности прогностического параметра RTL // *Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки*. Петропавловск-Камчатский: Камчатский печатный двор, 2004. С. 228-242.
9. *Кравченко Н.М.* Оценка эффективности прогностического параметра RTL // *Вестник КРАУНЦ. Серия наук о Земле*. 2005. № 6. С. 99-107.
10. *Левина В.И., Иванова Е.И., Гордеев Е.И. и др.* Карымское землетрясение 1 января 1996 года ($M_S=7.0$) // *Землетрясения Северной Евразии в 1996 году*. М.: ГС РАН 2002. С. 129-137.
11. *Леонов В.Л.* Поверхностные разрывы, связанные с землетрясением и извержениями, произошедшими в Карымском вулканическом центре 1-2 января 1996 года. // *Вулканология и сейсмология*. 1997. № 5. С. 113-129
12. *Леонов В.Л.* Теоретические схемы и реальность: условия разрываобразования в Восточно-Камчатском вулканическом поясе // *Геофизический мониторинг Камчатки. Материалы научно-технической конференции 17-18 января 2006 г.*, г. Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2006. С. 194-201.
13. *Молчан Г.Н., Дмитриева О.Е.* Идентификация афтершоков: обзор и новые подходы // *Вычислительная сейсмология*. 1991. Вып. 24. С. 19-50.
14. Пат. 2105332 Российская Федерация. Способ контроля напряженного состояния земной коры для прогноза сильных землетрясений / Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. № 94042027/25 Заявл. 23.11.94. Оpubл. 20.02.98. Бюл. № 5.
15. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* 20 лет исследованию сейсмических шумов на Камчатке: от экспериментальных наблюдений к прогнозу землетрясений и моделированию // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2007. № 1 (9). С. 10-22.
16. *Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Предвестники сильных землетрясений на Камчатке по данным мониторинга сейсмических шумов // *Вулканология и сейсмология*. 2008. № 2. С.
17. *Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н.* Вариации приливной компоненты высокочастотного сейсмического шума в результате изменений напряженного состояния среды // *Вулканология и сейсмология*. 1997. № 4. С. 73-83.
18. *Соболев Г.А., Пономарев А.В.* Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. С. 270.
19. *Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С.* Аномалии в режиме слабой сейсмичности перед сильными землетрясениями Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 1996. № 4. С. 64-74.
20. *Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С.* Стадии подготовки, сейсмологические предвестники и прогноз землетрясений Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 1998. № 6. С. 17-26.
21. *Соболев Г.А., Тюпкин Ю.С., Смирнов В.Б., Завьялов А.Д.* Способ среднесрочного прогноза землетрясений // *Доклады РАН*. 1996. Т. 347. № 3. С. 405-407.
22. *Сторчеус А.В.* Рой длиннопериодных вулканических землетрясений, предвалявших извержение Карымского вулкана в 1996 г. // *Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога*. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 75-82.

23. Федотов С.А. Об извержении в кальдере Академии Наук и Карымского вулкана на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 3-37.
24. Федотов С.А. Энергетическая классификация Курило-Камчатских землетрясений и проблема магнитуд. М.: Наука, 1972. 117 с.
25. Habermann R.E. Precursory seismic quiescence: past, present, and future // Pure Appl. Geophys. 1988. V. 126. № 2/4. P. 279-318.
26. Wiemer S., Wyss M. Seismic quiescence before the Landers (M = 7.5) and Big Bear (M = 6.5) 1992 earthquakes // Bulletin of the Seismological Society of America. 1994. V. 84. № 3. P. 900-916.
27. Wyss M., Habermann R.E. Precursory seismic quiescence // Pure Appl. Geophys. 1988. V. 126. № 2/4. P. 319-332.
28. Wyss M., Sobolev G., Clippard J.D. Seismic quiescence precursors to two M7 earthquakes on Sakhalin Island, measured by two methods // Earth Planets Space. 2004. V. 56. № 3. P. 725-740.

ANOMALIES IN PARAMETERS OF MULTI-SCALE SEISMICITY BEFORE KARYMSKY SEISMO-VOLCANIC CRISIS

N.M. Kravchenko, Yu.A. Kugaenko, V.A. Saltykov

*Kamchatkan Branch of Geophysical Survey of RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006,
e-mail: ku@emsd.ru*

Large anomalies in parameters of seismicity in different levels of energy before Karymsky seismo-volcanic crisis on January 1-2, 1996 were detected. As a multi-scale seismicity we use earthquakes of Kamchatkan regional seismic catalog and microseismicity (seismic noise with amplitude about 10^{-9} - 10^{-12} m, frequency band – first decades of Hz). Retrospectively we calculated the areal distribution of *RTL* parameter and *Z*-function for detection of dynamics of seismic process. For microseismicity analysis the original methodic, based on seismic noise response upon tidal influence was used. Calculated results may be considered as the additional information for problem-solving of Karymsky earthquake nature (tectonic or volcano-tectonic). The possibility in principle of seismic quiescence detection by two independent methods before crustal earthquake, connected with long-term volcanic activization is shown.