

## СРАВНЕНИЕ ОТКЛИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА ПРИЛИВЫ ПО ДАННЫМ СТАНЦИЙ «ШИКОТАН», «НАЧИКИ», «КАРЫМШИНА»

*Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.*

*Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, ku@emsd.ru*

### Введение

Высокочастотный сейсмический шум (ВСШ) представляет собой сейсмические осцилляции в частотном диапазоне первых десятков Гц и с амплитудами порядка  $10^{-9}$  -  $10^{-12}$  м. Согласно концепции активной геофизической среды, он рассматривается как высокоинформативное геофизическое поле, несущее информацию о ее структуре, состоянии и поле разрушения. С конца 80-х годов на Камчатке ведутся исследования ВСШ в рамках фундаментальной проблемы сейсмологии, связанной с изучением возможности контроля напряженного состояния среды и подготовки сильных землетрясений по изменению параметров геофизических полей. Основной целью этих работ является изучение характеристик ВСШ, его подверженности внешним воздействиям и установление связи ВСШ с длиннопериодными деформационными процессами. В основе исследований лежат специально организованные долговременные наблюдения [9], которые ведутся в пунктах, достаточно удаленных от районов индустриальной и транспортной активности, что дает возможность реализовать максимальную чувствительность регистрирующей аппаратуры. В течение последних лет на Камчатке получены непрерывные ряды данных ВСШ, не имеющие аналогов в мировой сейсмологической практике. Анализ этих данных выявил ряд особенностей, которые свидетельствуют о модуляции ВСШ приливами и связи ВСШ с различными геофизическими процессами, в том числе с изменением напряженного состояния среды в процессе подготовки землетрясений [5-8]. Эти работы носят не только фундаментальный, но и прикладной характер, что объясняется актуальностью проблемы сейсмического прогноза.

В докладе представлены новые методические аспекты мониторинга параметров ВСШ и приведены первые результаты исследования приливного отклика ВСШ в период подготовки сильных локальных землетрясений по данным новой регистрирующей станции «Шикотан».

### Станции регистрации ВСШ

В настоящее время непрерывная регистрация сейсмических шумов ведется в трех пунктах в пределах Курило-Камчатской островной дуги: «Начики» и «Карымшина» (южная часть п-ва Камчатка) и «Шикотан» (Малая Курильская гряда) (табл. 1). В 2005 г. пункт на о. Шикотан, организованный при поддержке РФФИ, переведен из режима опытной эксплуатации на непрерывную регистрацию. Уникальным для этой станции является возможность изучения связи ВСШ с субдукционными землетрясениями в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний, так как она находится гораздо ближе к сейсмофокальной зоне, чем пункты наблюдения на Камчатке. В качестве датчика сигналов ВСШ применяется резонансный узкополосный вертикальный пьезокерамической сейсмометр (чувствительность с учетом предварительного усиления - не хуже  $10^{12}$  В/м; частота собственных колебаний - 30 Гц; добротность – 100). Все станции обеспечены цифровыми регистраторами. С 1993 г. работы по изучению ВСШ ведутся в Университете Хоккайдо (Япония): наблюдения организованы на мысе Эримо (о. Хоккайдо) с использованием предоставленного камчатскими учеными пьезоэлектрического датчика. Результаты этих исследований в данной работе не рассматриваются.

Таблица 1. Информация о станциях регистрации ВСШ и геолого-тектонические условия в районах наблюдений

Пункт наблюдений	«Начики»	«Карымшина»	«Шикотан»
Координаты, высота над уровнем моря, м	53.12° N, 157.76° E 200	52.83° N, 158.13° E 100	43.87° N, 146.83° E 150
Годы организации станции / начала непрерывной регистрации	1987 / 1992	1999 / 2001	2003 / 2005
Особенности установки датчика	Обвалованный термостатированный бункер	Скважина глубиной 35 м	Термостатиро- ванная горизонтальная штольня (22 м)

Географическое положение	Центральная часть Южной Камчатки, Ганальский хребет	Восточная часть Ю. Камчатки, долина р.Карымшина	О.Шикотан, Малые Курильские острова
Тектонические условия	Начикинская зона складчато-глыбовых дислокаций	Паратунский грабен	Геоантиклиналь Малых Курильских островов
Горные породы в месте регистрации	Интрузивный массив гранодиоритов и кварцевых диоритов миоценового возраста	Осадочные породы четвертичного возраста	Толща алевролитов и аргиллитов верхнемелового возраста
Положение пункта относительно а) тыловой границы мелкофокусной сейсмичности фокальной зоны б) уходящей под дугу части сейсмофокальной зоны	100 км  150 км по глубине	75 км  125 км по глубине	Западная граница мелкофокусной субдукционной сейсмичности

### Выделение приливных гармоник

На сейсмические шумы оказывают влияние земные приливы, обусловленные лунно-солнечным гравитационным воздействием. Длительное время вопрос модуляции ВСШ приливами оставался дискуссионным в основном из-за короткой длительности анализируемых рядов наблюдений. Длительные наблюдения ВСШ на Камчатке позволили выявить статистически значимые приливные эффекты в сейсмическом шуме: методом синхронного суммирования [10] получены значимые отклонения в средних значениях ВСШ для различных фаз прилива и выделены периодические составляющие ВСШ с периодами основных приливных волн:  $O_1$  ( $T = 25.82$  ч.),  $K_1$  ( $T=23.93$  ч),  $P_1$  ( $T=24.07$  ч.),  $Q_1$  ( $T=26.87$  ч),  $M_2$  ( $T=12.42$  ч),  $S_2$  ( $T=12.00$  ч),  $N_2$  ( $T=12.66$  ч). Этим подтверждено существование эндогенной компоненты ВСШ. Обнаружено важное свойство отклика ВСШ на приливное воздействие: эффект не является стабильным во времени. Участки существования приливной компоненты сменяются участками ее отсутствия, меняются амплитудно-фазовые соотношения между волнами прилива и компонентами ВСШ. По данным камчатских станций приливные компоненты, соответствующие различным волнам гравитационного потенциала, не всегда выделяются из рядов ВСШ одновременно.

По данным станции «Шикотан» (январь-октябрь 2005 г.) выделены вариации с периодами основных волн приливного потенциала, они представлены на рис. 1.

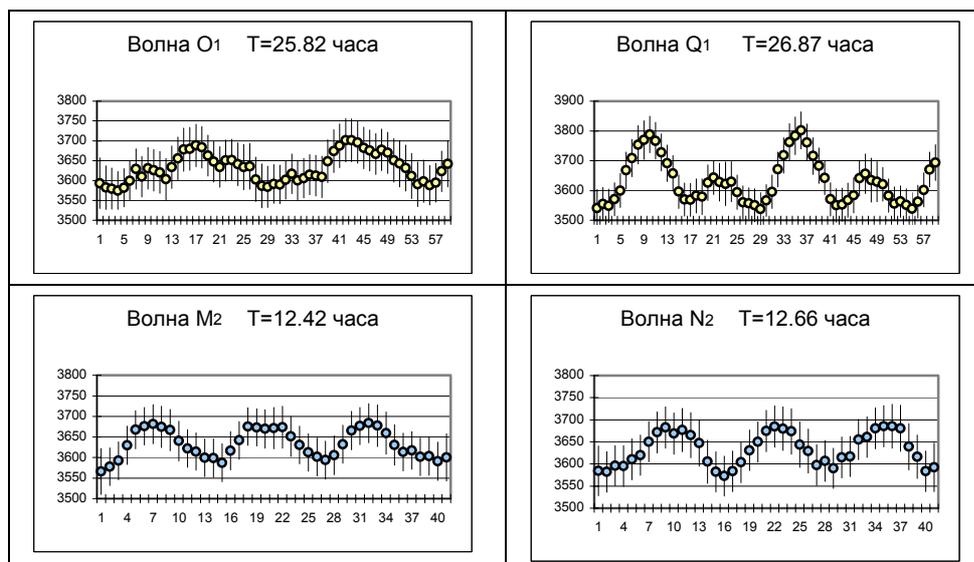


Рис.1. Периодические компоненты с периодами приливных волн, выделенные из огибающей ВСШ по данным станции «Шикотан». По оси ординат – условные единицы.

В едином временном интервале одновременно статистически значимо выявлены 4 основные приливные волны суточной и полусуточной групп:  $O_1$ ,  $Q_1$ ,  $M_2$ ,  $N_2$ . В отличие от Камчатки, где суточная группа волн вызывает отклик большей амплитуды, чем полусуточная, на Шикотане обе группы волн проявляются практически одинаково. В силу меньшей географической широты полусуточная группа волн на о. Шикотан проявляется сильнее, чем на Камчатке, что обусловлено различной широтной зависимостью суточных и полусуточных волн гравитационного

потенциала. Как и на Камчатке, статистически значимые приливные эффекты не являются стабильными во времени. Волна  $O_1$ , которая является более слабой волной приливного потенциала, чем  $O_2$ , выделяется на о.Шикотан наиболее уверенно. Гармоники  $K_1$  и  $P_1$  (периоды 23.93 и 24.07 ч) пока выделить не удалось из-за недостаточной длины имеющегося ряда наблюдений.

### Методические аспекты мониторинга параметров ВСШ

В 90-ых годах по результатам исследований ВСШ на Камчатке выдвинута гипотеза о связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с геодинамическими процессами в регионе. В частности, выявлена синхронизация выделенной из ВСШ приливной компоненты с волной гравитационного приливного потенциала. По данным за 1992-1995 гг. этот эффект наблюдался от нескольких недель до 2 месяцев перед сейсмическими событиями с магнитудой  $M \geq 6.0$ , происходившими на эпицентральной расстоянии  $D$  до 250 км от пункта регистрации, и проявлялся как стабилизация фазового сдвига  $\Delta\phi$  между приливной компонентой ВСШ и приливной волной на определенном уровне. Обнаруженный эффект синхронизации процессов лег в основу метода контроля напряженного состояния земной коры для прогноза сильных землетрясений по изменению характера отклика ВСШ на приливное воздействие [4]. Оригинальным в данной методике является использование земных приливов, обусловленных лунно-солнечным гравитационным воздействием, в качестве калибровочного (эталонного) сигнала с известными характеристиками при изучении закономерностей микросейсмического излучения. В качестве опорной выбрана волна  $O_1$ , так как на Камчатке она имеет наибольшую помехозащищенность и относительно большую амплитуду. Методика используется для комплексной оценки сейсмической опасности для Камчатки и дает устойчивые положительные результаты по выявлению предвестников. Дополнительно в период синхронизации может наблюдаться увеличение амплитуды выделенной приливной компоненты и уменьшение ошибок определения фазового сдвига.

*Уточнение диапазона магнитуд и эпицентральных расстояний для прогнозируемого события.* До настоящего времени при выявлении предвестникового эффекта для определения места и магнитуды возможного сейсмического события использовалась формулировка, фигурирующая в официальном описании методики [4] ( $M \geq 6.0$ ,  $D \leq 250$  км), которая была разработана на материалах достаточно короткого времени регистрации: 1992-1995 гг. Получение новых данных и выявление несоответствия прогнозных оценок с наблюдаемыми параметрами землетрясений потребовали уточнения формулировки метода прогноза. В настоящее время по данным камчатских станций «Начики» и «Карымшина» зафиксированы предвестниковые ситуации для 22 землетрясений, произошедших в Камчатском регионе, в диапазоне магнитуд от 5.0 до 7.9 и эпицентральных расстояний до 400 км (табл. 2). Для семи из них предвестник наблюдался по данным обеих станций одновременно. На рис. 2 представлена зависимость магнитуды от расстояния для этих землетрясений. Предложено рассматривать нижнюю границу облака точек как множество критических значений, связывающих минимальное значение магнитуды возможного землетрясения с его эпицентральной расстоянием от точки наблюдения. Выявленная зависимость вынесена на вставке рис. 2.

Таблица 2. Камчатские землетрясения 1992-2005 гг., перед которыми был выявлен предвестник по рассматриваемой методике

	Дата, дд.мм.гг	Время, ч. мин. с			Широта, град. с.ш.	Долгота, град. в.д.	Глубина, км	Класс	Магнитуда		Эпицентральное расстояние, км	
		Mc	Mw	$D_{\text{Начики}}$					$D_{\text{Карым}}$			
1	02.03.1992	12	29	38.5	52.76	160.2	20	14.6	6.6		168	
2	13.07.1992	15	34	3.3	50.76	158.05	39	13.7	6.1		250	
3	19.12.1992	12	14	21.7	51.63	158.9	40	13.4	6.0		182	
4	08.06.1993	13	3	37	51.2	157.8	40	15	7.3	7.1	213	
5	13.11.1993	1	18	6.8	51.79	158.83	40	14.6	7.0	7.0	164	
6	14.02.1994	11	14	27	51.82	159.06	37	13.2	5.8	5.9	169	
7	02.08.1994	14	17	53.4	52.32	158.27	145	12.4	5.4	5.9	95	
8	01.01.1996	9	57	45.8	53.88	159.44	0	14.3	6.9	6.6	141	
9	21.06.1996	13	57	5.6	51.27	159.63	2	13.9	7.1	7.0	241	
10	05.12.1997	11	26	51	54.64	162.55	10	15.5	7.7	7.9	363	

11	01.06.1998	5	34	2.9	52.81	160.37	31	13.8	6.3	6.9	178	
12	31.10.1998	14	3	32.7	52.93	158.2	167	12.1	5.3	5.5	36	
13	18.09.1999	21	28	34.2	50.99	157.84	40	13.8	6.0	6.0	236	
14	08.10.2001	18	20	37.5	52.63	160.49	24	14.1	6.5	6.5	Не раб.	148
15	16.10.2002	10	12	22.6	51.66	157.68	108	13.2		6.2	162	137
16	15.03.2003	19	41	24.3	52.15	160.66	4	13.3	6.4	6.0	222	175
17	16.06.2003	22	8	1.8	55.3	160.34	190	14.7	6.6	6.9	297	306
18	14.04.2004	1	54	8.4	55.16	162.97	47	13.5	6.1		-	391
19	10.06.2004	15	19	54.9	55.68	160.25	208	14.9	6.6	6.8	330	342
20	26.07.2005	12	17	14.1	52.74	160.29	20	13.2	5.8		175	Не раб.
21	08.11.2005	16	31	38.5	52.57	159.29	49	12.5	5.0		119	72
22	26.11.2005	16	2	45.7	52.51	159.65	28	12.8	5.3		144	97

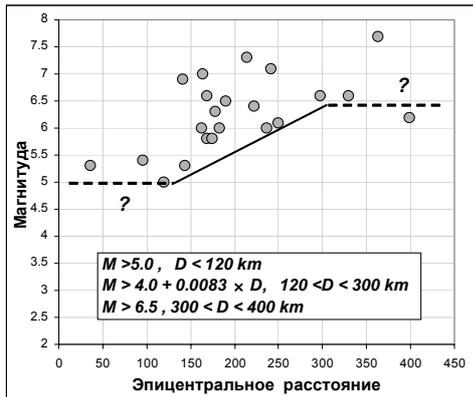
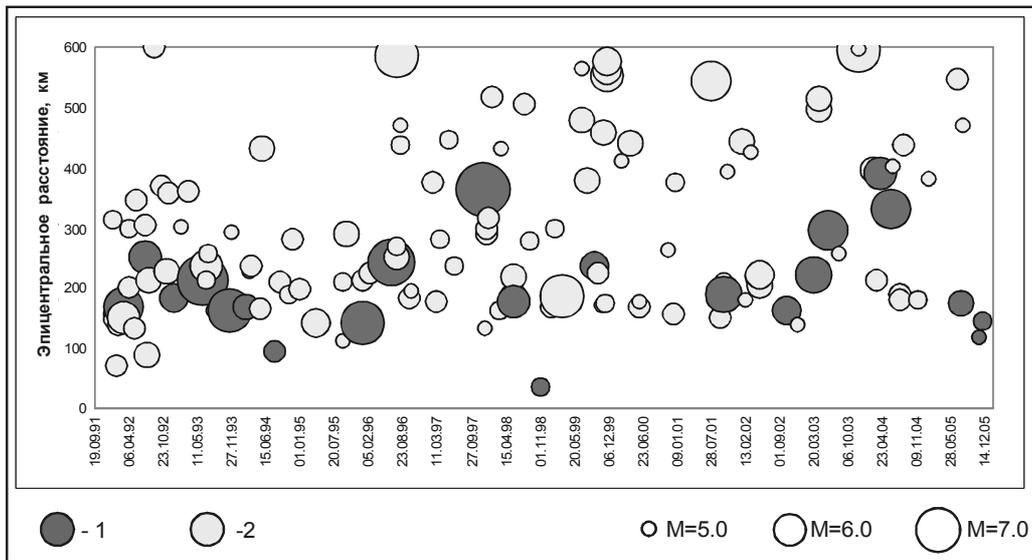


Рис. 2. Эмпирическая зависимость магнитуды от расстояния для камчатских землетрясений 1992-2005 гг., перед которыми был выявлен эффект синхронизации выделенной из ВСШ приливной компоненты с волной O1 гравитационного приливного потенциала.

Рис. 3. Зависимость эпицентрального расстояния от времени для камчатских землетрясений 1992-2005 гг. с  $M \geq 5.0$ . Землетрясения, перед которыми: 1 - наблюдался предвестник; 2 – предвестник выявлен не был.



Диаграмма, связывающая время наблюдений, эпицентральные расстояния и магнитуды событий из камчатского каталога за 1992-2005 гг., имеющих  $M \geq 5$ , представлена на рис. 3. Землетрясения, перед которыми наблюдался предвестник, выделены темным цветом. При обобщении данных отмечено, что максимальное эпицентральное расстояние, на котором процесс подготовки землетрясения сопровождался характерным предвестниковым поведением ВСШ, составляет около 400 км. Более далекие сильные землетрясения не вызвали синхронизации выделенной из ВСШ приливной компоненты с волной гравитационного приливного потенциала. В 2005 году выявлена синхронизация перед некоторыми слабыми близкими событиями. Сделано предположение, что меняются характеристики среды, что приводит к увеличению тензочувствительности метода. Это позволяет вносить в число прогнозируемых событий землетрясения с  $M \geq 5$  на малых (до 100-120 км) эпицентральных расстояниях от пункта регистрации.

Событие 14.04.2005 г.,  $M=6.1$ , для которого предвестниковый эффект наблюдался на максимальном эпицентральной расстоянии (табл. 1, № 18), вызвало отклик только на станции «Карымшина»; на станции «Начики» эффект не выявлен. Пока этот случай - единственный. Возможно, это связано с большей тензочувствительностью среды в районе «Карымшина» к процессам подготовки далеких землетрясений. Не исключено, что в данном случае стабилизация никак не связана с этим удаленным и достаточно слабым событием, и выявленное совпадение носит случайный характер.

Из всех землетрясений с  $M \geq 6$  и  $D \leq 400$  км за 1992-2005 гг. для единственного события 08.03.1999 г.,  $M=7$  предвестник по данной методике выделен не был.

*Подтверждение связи величины параметра  $\Delta\phi$  с характеристиками очага готовящегося землетрясения* [3]. Результаты многолетних исследований ВСШ на Камчатке позволили предположить, что существует определенная связь величины уровня стабилизации приливного параметра с параметрами очага готовящегося землетрясения и его географическим положением [6]. Для подтверждения этой гипотезы требуется большой статистический материал, которого в настоящее время недостаточно. Однако появилась возможность рассмотреть поведение ВСШ перед землетрясениями, имеющими сходные параметры. Идентичное поведение предвестников перед такими событиями можно рассматривать как подтверждение выдвинутой гипотезы.

Пара глубоких землетрясений, произошедших 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. (табл. 1, № 17 и № 19) и являющихся дуплетом, дала возможность подтвердить вышеизложенное предположение. Эти верхнемантийные землетрясения произошли северо-западнее Кроноцкого полуострова (рис. 4 А). Уникальность этих двух событий состоит в том, что это единственные сильные глубокие (глубина около 200 км) землетрясения Камчатки, для которых зафиксированы афтершоки (рис. 4 Б). Схожесть этих сейсмических событий не ограничивается близкими значениями их параметров. Корреляция волновых форм этих землетрясений очень высока и на некоторых участках сейсмограмм широкополосных каналов станции IRIS «Петропавловск» достигает 0.8 (рис. 4 В).

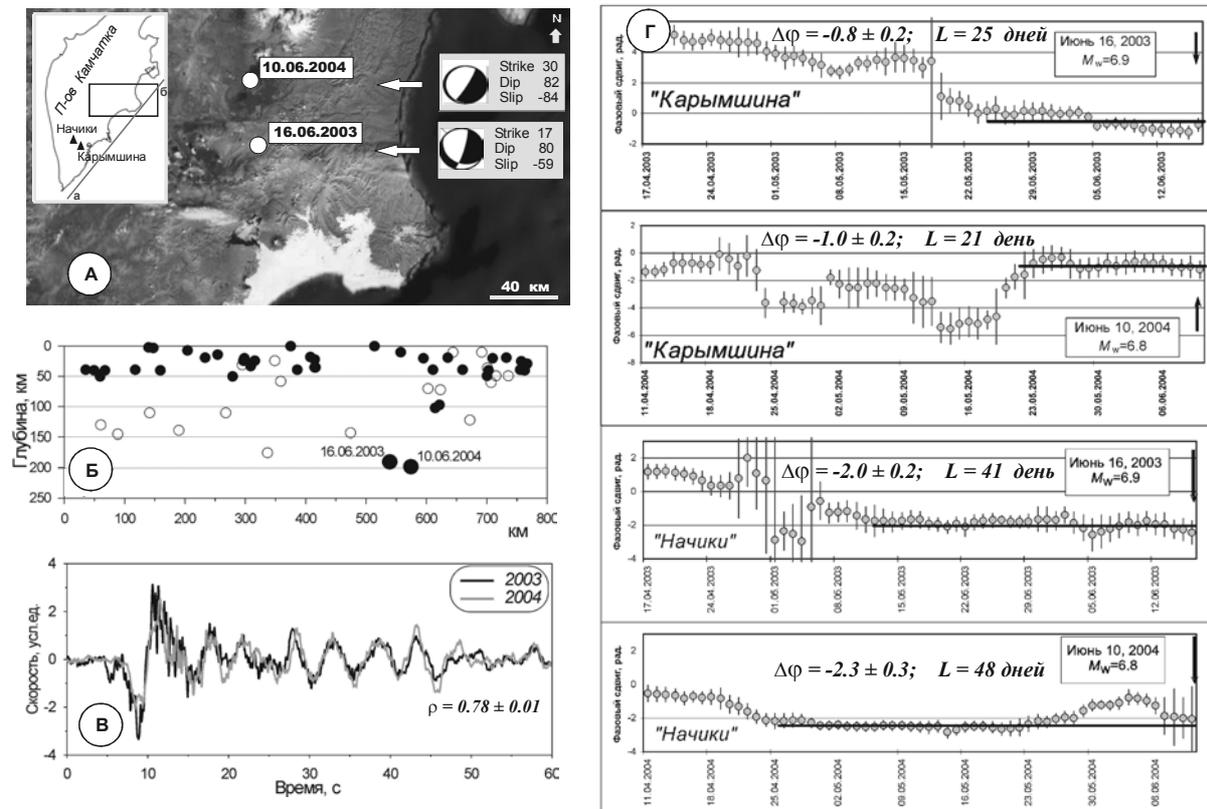


Рис. 4. А – эпицентры землетрясений 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г., механизмы их очагов и положение пунктов регистрации ВСШ (врезка); Б - проекция гипоцентров сильных ( $M > 6.0$ ) камчатских землетрясений 1962-2004 гг. на вертикальную плоскость, проходящую через линию а-б (врезка на рис. 4 А); В - участки максимальных амплитуд сейсмограмм станции IRIS «Петропавловск» с записью землетрясений 16.06.2003 г.,  $M=6.9$  и 10.06.2004 г.,  $M=6.8$ ; Г - временной ход сдвига фаз  $\Delta\phi$  перед землетрясениями 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. на станциях «Карымшина» и «Начики». Стрелкой отмечен момент землетрясения, горизонтальной линией – участок стабилизации.

Перед этими событиями на обеих камчатских станциях была зафиксирована стабилизация фазового сдвига между приливной компонентой ВСШ и приливной волной  $O_1$  приливного потенциала (рис.4 Г). Отметим следующее:

1. Длительность стабилизации фазы перед землетрясениями дуплета для двух пунктов наблюдений различна, однако в пределах каждого пункта она имеет близкие значения перед обоими землетрясениями. Причем, хотя эпицентральные расстояния сравнимы между собой, длительность стабилизации фазы на станции «Начики» в обоих случаях продолжалась примерно в два раза дольше, чем на станции «Карымшина». Вероятно, для анализируемого параметра длительность предвестниковой ситуации связана с условиями регистрации и особенностями района установки датчика.

2. Уровень стабилизации  $\Delta\phi$  перед сильными камчатскими землетрясениями 1992-2005 гг. принимал различные значения. В рассматриваемом случае для идентичных землетрясений дуплета этот параметр одинаков на каждом из двух пунктов наблюдений. Можно предположить, что значение, на котором стабилизируется контролируемый параметр, связано с механизмом очага и характеристиками среды очаговой зоны.

Появление двух или более идентичных землетрясений в одном месте с разрывом во времени, достаточным для формирования предвестника, – явление редкое и уникальное. Оно дает возможность проверить и принципиально подтвердить воспроизводимость наблюдаемых эффектов в естественных условиях сейсмоопасного региона. Полученные в данной части работы результаты подтверждают: 1) выдвинутую ранее гипотезу об обусловленности уровня стабилизации фазы параметрами очага; 2) информативность анализируемого параметра.

Развитие методики в направлении выявления связи значений уровня стабилизации  $\Delta\phi$  с параметрами и расположением очагов представляется перспективным и ведет к уменьшению пространственной неопределенности при сейсмическом прогнозе.

#### Сопоставление приливных параметров ВСШ на о. Шикотан с сейсмичностью

В 2005 г. в районе о. Шикотан сильных землетрясений не зафиксировано. Наиболее значительные близкие события представлены в табл. 3 и на рис. 5. Данные взяты из Каталога Геофизической службы РАН, г. Обнинск. На рис. 5 представлены ряды значений сдвига фаз между приливными гармониками  $O_1$  и  $M_2$ , выделенными из ряда ВСШ, и одноименными волнами гравитационного потенциала. Перед первым из этих землетрясений зафиксирована короткая стабилизация фазы, сопровождавшаяся уменьшением ошибки определения рассматриваемого параметра и значительным увеличением амплитуд выделенных гармоник. Такая картина сходна с эффектами, наблюдаемыми в период подготовки сильных землетрясений на Камчатке, однако в рассматриваемом случае синхронизация очень краткая. Эффект одновременно проявился как для волны  $O_1$ , так и для волны  $M_2$ . Перед вторым землетрясением эффект не выявлен. Наоборот, примерно в течение месяца перед событием резко возрастает ошибка определения фазового сдвига по обоим рассматриваемым волнам, делая этот параметр незначимым, т. е. приливная гармоника в этот период времени вообще не выделяется из ряда данных. Возможно, такие различия отклика ВСШ на процесс подготовки близких землетрясений связаны: 1) с различной глубиной землетрясений; 2) с различным взаиморасположением очагов и станции относительно фокальной зоны; 3) со сложным процессом развития поля сейсмоструктурных напряжений. Вероятно, накопление данных и дальнейшие исследования ВСШ на о. Шикотан позволят выявить новые закономерности отклика приливных параметров ВСШ на изменение напряженного состояния среды в процессе подготовки землетрясений.

Таблица 3. Параметры наиболее значительных землетрясений января-октября 2005 г. из района Малой Курильской гряды

Дата, дд.мм.гг.	Время, ч. мин. с	Широта, град. с.ш.	Долгота, град. в.д.	Глубина, км	Магнитуда	Примечания
30.04.2005	01-08-36.2	43.99	147.28	55	mb=5.6	I0=4 D=40 км
21.09.2005	02-25-11.6	43.85	146.2	99	mb=6.3	I0=4-5 D=50 км

I0 – балльность в пос. Малокурильское, о. Шикотан; D – эпицентральное расстояние.

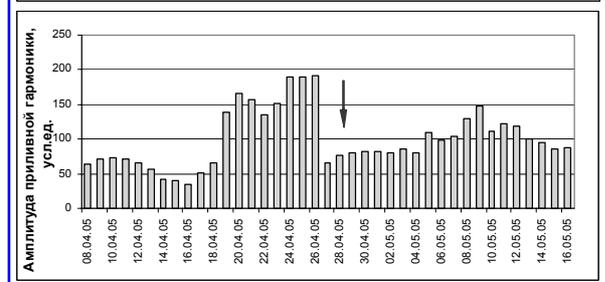
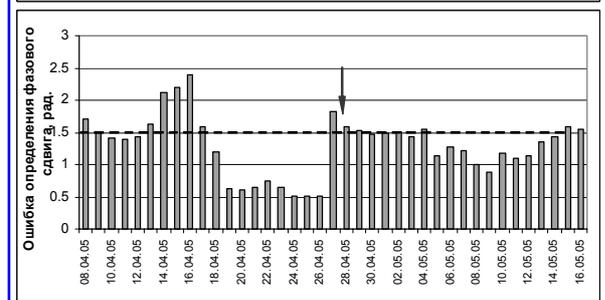
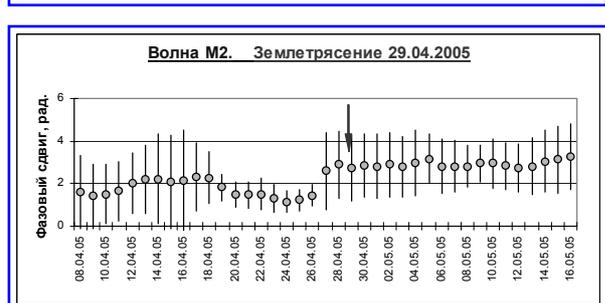
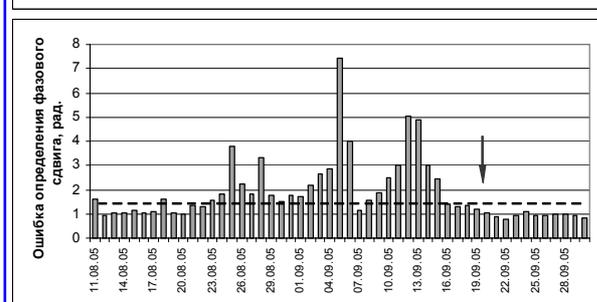
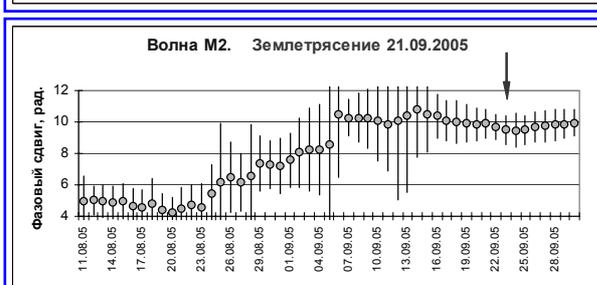
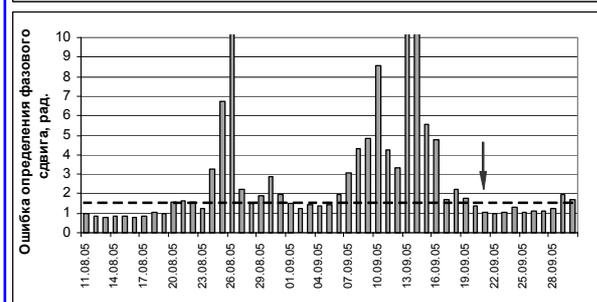
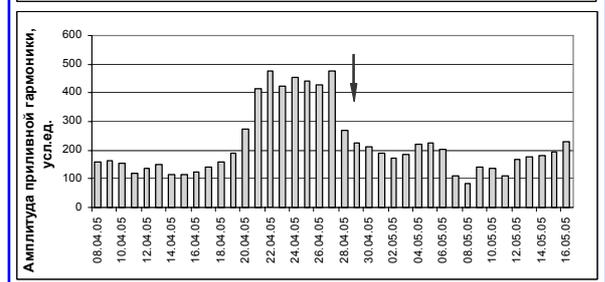
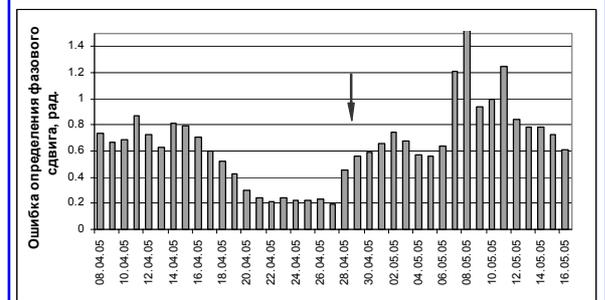
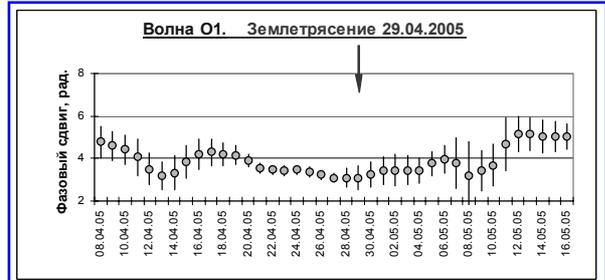


Рис.5. Эпицентры сильнейших землетрясений января-октября 2005 г., зарегистрированных около о. Шикотан. Временной ход фазового сдвига  $\Delta\phi$  приливных компонент для волн  $O_1$  и  $M_2$ , ошибки определения фазового сдвига и амплитуды приливной гармоники перед указанными землетрясениями по данным станции «Шикотан». Стрелкой отмечен момент землетрясения.

## Обсуждение результатов

Изменение тензочувствительности среды в период подготовки сильных землетрясений может быть объяснено на базе кинетической теории разрушения С.Н. Журкова и многодисциплинарного подхода А.С. Алексеева, рассматривающими процессы развития системы микротрещин и формирования протяженных приповерхностных зон дилатансии [1, 2]. Изменение физических и реологических свойств горных пород и аномалии геофизических полей различной природы охватывают области земной коры с линейными размерами десятки и сотни километров, не всегда совпадая с областью готовящегося очага. В результате взаимодействия региональных и локальных тектонических сил в сейсмоактивных зонах могут возникать области высокой концентрации тектонических напряжений. Наиболее универсальным механизмом развития изменений в среде на стадии подготовки сильного землетрясения является раскрытие трещин некоторого масштабного уровня не только в области гипоцентра, но и в пределах протяженных зон верхней части земной коры, разуплотненных под действием касательных и растягивающих тектонических напряжений вблизи свободной от напряжений дневной поверхности. На стадии подготовки землетрясений большие по сравнению с готовящимся очагом объемы среды приходят в метастабильное состояние. По мере приближения к неустойчивости порог эффективного внешнего воздействия, необходимого для синхронизации процессов, снижается [11]. При приближении среды к стадии неустойчивости и дилатансии нагруженные горные породы начинают отдавать накопленную упругую энергию через микросейсмическую эмиссию. Этот релаксационный процесс является откликом системы на внешнее воздействие, выводящее ее из стационарного состояния. Вибрации (приливное воздействие) в данной ситуации можно рассматривать в качестве триггера. Колебания влияют на физико-механические свойства горных пород и способствует переходу от хрупкого разрушения к пластической деформации через релаксационные процессы, в частности, через микросейсмическое излучение. Возможность значительной временной задержки эмиссии по отношению к инициирующему воздействию подтверждена лабораторными экспериментами [11]. В случае рассмотрения связи «приливная компонента ВСШ – волна приливного потенциала» эта схема может служить объяснением стабилизации отклика ВСШ на приливный деформационный процесс.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 04-05-65210).

## 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. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел // Вестник АН СССР. 1968. №3. С. 46-52
3. Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А. Отклик параметров сейсмических шумов на подготовку глубоких камчатских землетрясений 2003-2004 гг. // Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога. 30.03-01.04 2005 года. г. Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 114-119.
4. 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 ; опублик. 20.02.98, Бюл. № 5.
5. Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Характерные параметры высокочастотного сейсмического шума перед сильными камчатскими землетрясениями 1996 г. // Докл. РАН. 1998. Том 361. № 3. С. 402-404.
6. Салтыков В.А. Особенности связи высокочастотного сейсмического шума и лунно-солнечных приливов // Докл. РАН. 1995. Том 340. № 3. С. 386-388.
7. 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.
8. Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Использование высокочастотного сейсмического шума для среднесрочного прогноза сильных камчатских землетрясений // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия. Петропавловск-Камчатский. КГАРФ, 1998. С. 99-105.
9. Салтыков В.А., Чебров В.Н., Сеницын В.И., Касахара М., Кугаенко Ю.А. Сеть пунктов регистрации высокочастотных сейсмических шумов // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 136-151
10. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука, 1965. 244 с.
11. Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука, 2003. 270 с.