

## ОТКЛИК ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА ПОДГОТОВКУ ГЛУБОКИХ КАМЧАТСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2003-2004 гг.

Ю.А. Кугаенко<sup>1</sup>, В.А. Салтыков<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Камчатский филиал Геофизической службы РАН, 683006, Петропавловск-Камчатский, бул. Пийпа, 9, e-mail: salt@emsd.iks.ru

<sup>2</sup> Камчатский государственный педагогический университет, 683032, Петропавловск-Камчатский, ул. Пограничная, 4.

### Введение

Высокочастотный сейсмический шум (ВСШ), под которым понимаются сейсмические осцилляции с амплитудой  $10^{-9}$ - $10^{-12}$  м в частотном диапазоне первых десятков Гц, продолжает оставаться нетрадиционным объектом геофизических исследований, хотя идея о том, что поле сейсмических шумов несет информацию о состоянии среды, привлекает все большее внимание ученых.

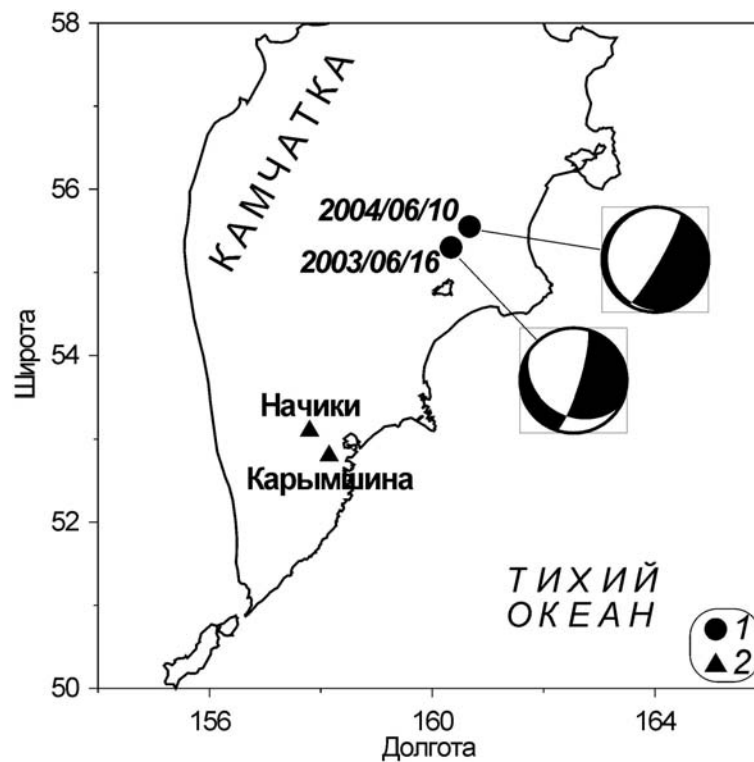


Рис. 1. Положение эпицентров землетрясений 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. (1) и пунктов регистрации ВСШ (2). Также показаны механизмы этих землетрясений.

Исследования высокочастотного сейсмического шума ведутся на Камчатке с конца восьмидесятых годов. За это время организована непрерывная регистрация ВСШ в двух точках [7] (рис. 1), создан аппаратно-методический комплекс регистрации шумов, получены данные о структуре ВСШ [5] и факторах, оказывающих влияние на исследуемое поле. Наиболее интересным и важным из этих факторов является воздействие на ВСШ земных приливов, что подтверждает эндогенное происхождение сейсмических шумов и возможность их модуляции длиннопериодными деформационными процессами.

В 90-х годах был получен ряд данных [3,4], свидетельствующих о том, что поведение отдельных параметров приливной компоненты ВСШ коррелирует с подготовкой сильных

( $M > 6.0$ ) землетрясений, происходящих на расстоянии до 250 км от пункта регистрации. На качественном уровне предвестник выглядит как стабилизация приливного параметра ВСШ на некотором уровне в течение нескольких недель. Полученные результаты позволили предположить, что *существует определенная связь величины уровня стабилизации приливного параметра с параметрами очага готовящегося землетрясения* (в частности, с его географическим положением) [6]. Для подтверждения этой гипотезы требуется большой статистический материал, которого в настоящее время недостаточно. Однако мы можем рассмотреть поведение ВСШ перед землетрясениями, имеющими сходные параметры. Идентичное поведение предвестников перед такими событиями можно рассматривать как подтверждение выдвинутой гипотезы. Пара землетрясений, произошедших 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. и являющихся дуплетом, дает нам возможность проверить вышеизложенное предположение.

#### **Особенности условий регистрации ВСШ**

Станция регистрации сигналов ВСШ состоит из датчика, линии связи, блока аналоговой обработки сигнала, блока оцифровки и накопления данных. Обязательна также привязка данных к шкале абсолютного времени с необходимой точностью. В качестве датчика сигналов ВСШ применяется резонансный узкополосный вертикальный сейсмоприемник с чувствительным элементом в виде пьезокерамической пластины. Чувствительность датчика не хуже  $10^{12}$  В/м, частота собственных колебаний 30 Гц, добротность 100.

Регистрация ВСШ на Камчатке организована в двух пунктах наблюдений, характеризующихся принципиально разными геологическими условиями и способами установки датчика [7]. Станция «Начики» находится на склоне горы Начикинское Зеркальце ( $53.1^{\circ}N$ ,  $157.8^{\circ}E$ ), являющейся крупнейшим интрузивным массивом Петропавловско-Малкинской зоны поперечных дислокаций и глубинных разломов. Датчик ВСШ расположен в обвалованном термостатированном бункере. Станция «Карымшина» ( $52.8^{\circ}N$ ,  $158.15^{\circ}E$ ) расположена в пределах грабена реки Паратунки и верхне-Паратунского участка Паратунской гидротермальной системы. Датчик находится на глубине 30 м в измерительной скважине, пробуренной в отложениях сложной серии конусов выноса. Помехозащищенность датчика на этом пункте значительно выше, чем на станции «Начики».

#### **Глубокие землетрясения 16 июня 2003 г. $M=6.9$ и 10 июня 2004 г. $M=6.8$**

Верхнемантийные землетрясения 16 июня 2003 г.  $M=6.9$  и 10 июня 2004 г.  $M=6.8$  произошли северо-западнее Кроноцкого полуострова (рис.1). Параметры землетрясений представлены в таблице.

#### **Параметры землетрясений**

Дата	16 июня 2003 г.	10 июня 2004 г.
Время	22:08:01.8	15:19:54.9
Широта, $^{\circ}N$	55.30	55.68
Долгота, $^{\circ}E$	160.34	160.25
Глубина, км	190	208
Механизм очага:		
простираание ( <i>strike</i> ), $^{\circ}$	17	30
падение ( <i>dip</i> ), $^{\circ}$	80	82
скольжение ( <i>slip</i> ), $^{\circ}$	-59	-84
Моментная магнитуда $M_w$	6.9	6.8

Координаты гипоцентра и время в очаге взяты из каталога Камчатского филиала Геофизической службы РАН ([www.emsd.iks.ru](http://www.emsd.iks.ru)), механизм очага и магнитуда - из каталога Гарвардского университета (США) (<http://www.seismology.harvard.edu/CMTsearch.html>).

Схожесть этих землетрясений не ограничивается близкими значениями их параметров. Корреляция волновых форм этих землетрясений очень высока. Например, для участка сейсмограмм широкополосного канала ориентации «запад-восток» станции IRIS «Петропавловск» (рис. 2) длительностью 60 с максимальное значение коэффициента взаимной корреляции равно  $0.78 \pm 0.01$ . Предлагается рассматривать пару этих землетрясений как дуплет. В этом случае мы можем рассмотреть и сравнить между собой поведение предвестников.

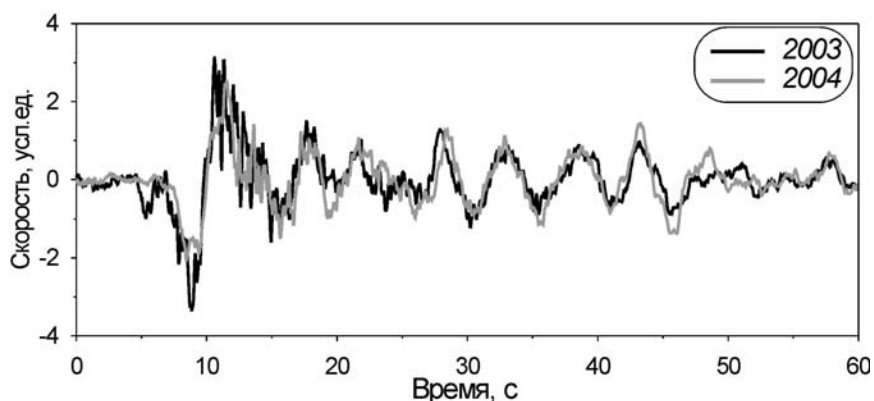


Рис. 2. Участки максимальных амплитуд сейсмограмм станции IRIS «Петропавловск» с записью землетрясений 16.06.2003 г.  $M=6.9$  и 10.06.2004 г.  $M=6.8$ .

Следует остановиться на некоторых особенностях области, где произошли рассматриваемые землетрясения – северной части Камчатского звена Тихоокеанского сейсмического пояса. Эта зона является стыком Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг. Именно в районе северной части Кроноцкого полуострова наблюдается изгиб сейсмофокальной зоны и глубоководного желоба к западу, а также смещение цепи вулканов в том же направлении [9,10]. Здесь наблюдается аномально высокое количество землетрясений с глубинами 150-200 км. В этом районе проходит Кроноцко-Крутогоровская зона глубинных субширотных разломов, картируемая по геофизическим данным и новейшим разломным нарушениям [8]. По данным сейсмической томографии [2] на широте Кроноцкого п-ва на глубине, где произошли рассматриваемые землетрясения, скорость сейсмических волн повышена. Именно в этом районе у глубоких ( $H > 75$  км) землетрясений с магнитудами  $M \geq 6.0$  возникают последовательности афтершоков (рис. 3А). В то же время из всех камчатских землетрясений, имеющих афтершоки, эти землетрясения - самые глубокие. Возможно, наличие афтершоков у глубоких землетрясений - еще одна особенность северной части камчатской сейсмофокальной зоны.

#### **Вариации параметров приливной компоненты ВСШ**

Любой приливный процесс представляет собой набор гармонических функции с известными периодами [1]. В ходе исследования предвестникового характера параметров ВСШ в качестве информативного параметра нами был выбран фазовый сдвиг между волной приливного гравитационного потенциала  $O_1$  (период 25.82 часа) и гармонической компонентой огибающей ВСШ с тем же периодом [2]. Выбор типа волны обусловлен наибольшей помехозащищенностью при отклике на нее параметров ВСШ.

Расчет фазового сдвига  $\Delta\phi$  производится по следующей методике: в скользящем временном окне методом наименьших квадратов из огибающей ВСШ выделяется компонента с периодом 25.82 часа. Предполагается, что эта компонента является откликом ВСШ на действие приливной волны  $O_1$ . Фаза волны  $O_1$  рассчитывается по известным формулам [1]. Таким образом для каждого положения скользящего временного окна мы получаем одну точку, обычно привязываемую к окончанию окна. Скольжение временного окна дает нам временной ряд значений фазового сдвига  $\Delta\phi$ .

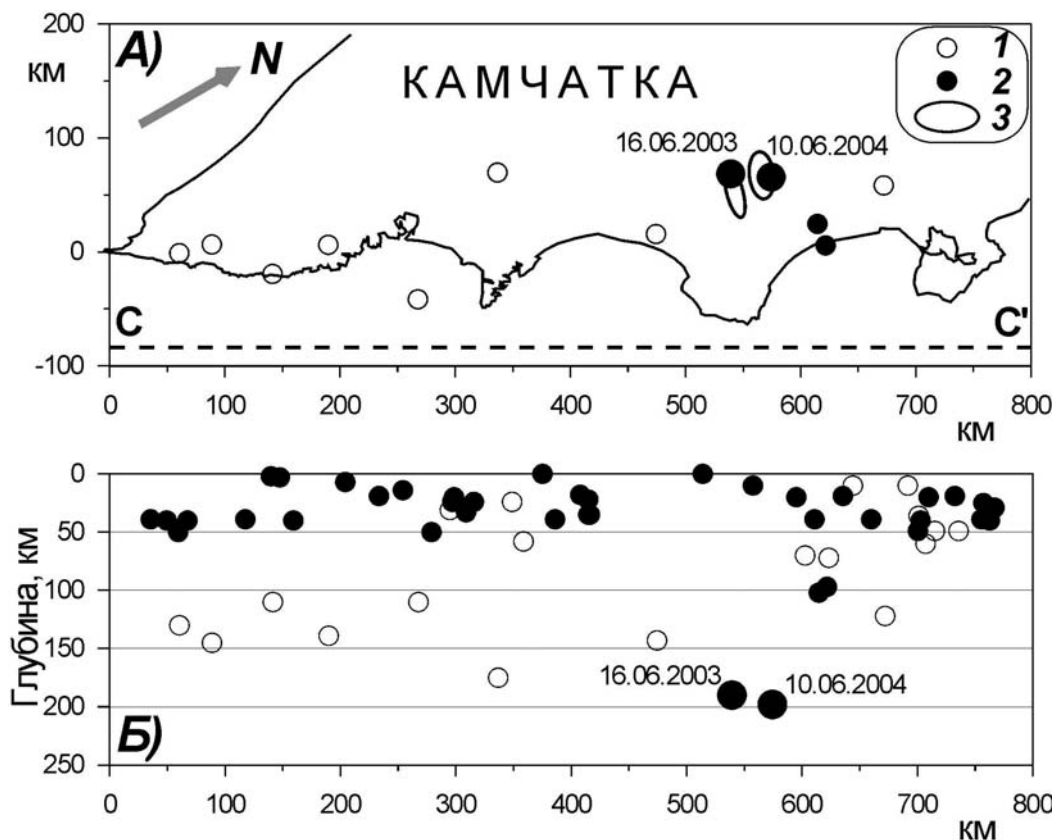


Рис. 3. А) Эпицентры глубоких ( $H > 75$  км) землетрясений с  $M > 6.0$ , произошедших в 1962-2004 гг., имеющих афтершоков (1) или сопровождавшихся афтершоковыми последовательностями (2). Отмечены очаговые области землетрясений 16 июня 2003 и 10 июня 2004 гг. (3) Б) Проекция гипоцентров сильных ( $M > 6.0$ ) землетрясений 1962-2004 гг. на вертикальную плоскость, проходящую через линию  $CC'$  (рис. 3А).

Интересно отметить, что более чем за 10 лет наблюдений ВСШ и анализа параметра  $\Delta\phi$  только для двух рассматриваемых в данной статье землетрясений предвестник был обнаружен на эпицентральной дистанции более 250 км. Такая аномальная тензочувствительность ВСШ при подготовке этих землетрясений пока не объяснена и в данной статье не рассматривается.

На рис.4. представлен временной ход фазового сдвига  $\Delta\phi$  перед землетрясениями 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. по данным двух станций – «Карымшина» и «Начики».

Сначала рассмотрим предвестниковые ситуации (участки стабилизации параметра  $\Delta\phi$ ) перед землетрясениями дуплета по данным пункта «Карымшина». Во-первых, стабилизация фазового сдвига в обоих случаях имеет длительность около трех недель. Во-вторых, значения фазового сдвига с учетом доверительного интервала совпадают. Таким образом, по данным станции «Карымшина» можно констатировать одинаковое поведение контролируемой величины и идентичность предвестника перед двумя землетрясениями, характеризующимися близкими параметрами.

Для пункта «Начики» ситуация схожая, хотя стабилизация  $\Delta\phi$  наблюдалась здесь не так устойчиво, как на пункте «Карымшина», что, вероятно, обусловлено различиями в условиях регистрации: близповерхностный бункер не обеспечивает достаточную защищенность от поверхностных помех. Поэтому в период подготовки сильного землетрясения могут наблюдаться нарушения стабилизации фазы и увеличение дисперсии оценок фазового сдвига, которые вызваны поверхностными эффектами, основной из которых - ветер. Отметим, что на станции «Начики» фазовый сдвиг в обоих случаях стабилизировался на близких значениях, как и на станции «Карымшина», а длительность проявления предвестника значительно (примерно в 2 раза) больше, что также связано с различием этих наблюдательных пунктов.

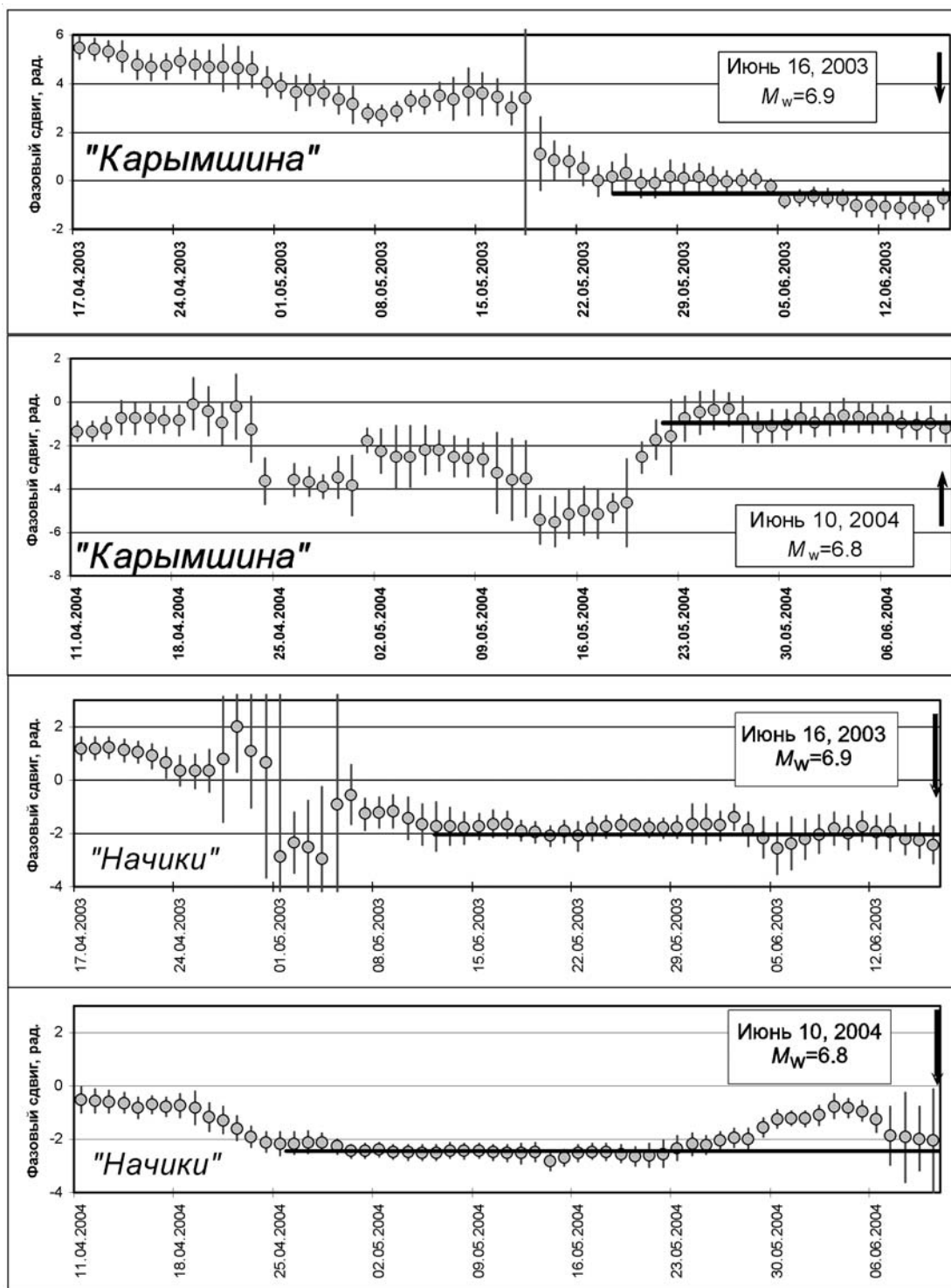


Рис. 4. Временной ход сдвига фаз  $\Delta\phi$  перед землетрясениями 16 июня 2003 г. и 10 июня 2004 г. на станциях «Карымшина» и «Начики». Стрелкой отмечен момент землетрясения, горизонтальной линией – участок стабилизации.

### Выводы и заключение

Появление двух или более идентичных землетрясений в одном месте с разрывом во времени, достаточным для формирования предвестника, – явление редкое. Следовательно, подобный результат вряд ли может быть получен в ближайшее время, поэтому выводы из анализа рассматриваемого случая несут предположительный характер, но их можно принимать во внимание в дальнейших исследованиях ВСШ:

1. Длительность стабилизации фазы перед землетрясениями дуплета для двух пунктов наблюдений различна, однако в пределах каждого пункта она имеет близкие значения перед обоими землетрясениями. Вероятно, длительность предвестниковой ситуации (для

анализируемого параметра) связана с условиями регистрации и особенностями района установки датчика ВСШ.

2. Уровень стабилизации фазового сдвига перед сильными камчатскими землетрясениями 1992-2004 гг. принимал различные значения. Но в случае рассматриваемых идентичных землетрясений дуплета этот параметр одинаков для каждого из пунктов наблюдений. *Можно предположить, что значение, на котором стабилизируется контролируемый параметр, связано, в основном, с очаговыми параметрами (механизмом очага).* В это предположение укладывается и несовпадение фазового сдвига на различных пунктах: различны азимуты на очаг и, следовательно, напряженное состояние среды, определяющее характер приливного отклика ВСШ.

Исследование приливной компоненты ВСШ носит не только фундаментальный, но и прикладной характер, что объясняется актуальностью проблемы прогноза сильных землетрясений. Как известно, прогноз землетрясения должен содержать информацию о месте, времени и силе землетрясения. Полученные в данной работе результаты подтверждают выдвинутую выше гипотезу об обусловленности уровня стабилизации фазы параметрами очага, что подтверждает информативность анализируемого параметра. Поэтому, используя независимую информацию о возможном механизме будущего очага, принципиально можно сузить пространственные рамки при прогнозировании землетрясений по данному методу.

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

### Список литературы

1. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.
2. Низкоус И.В., Санина И.А., Гонтовая Л.И. Пространственная скоростная модель литосферы Камчатки по данным сейсмической томографии // Динамика взаимодействующих геосфер. М.: ИГД РАН, 2004. С. 152-158.
3. 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. Т. 361. № 3. С. 402-404.
4. 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.
5. Салтыков В.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. Изучение высокочастотного сейсмического шума по данным режимных наблюдений на Камчатке // Известия РАН. Физика Земли. 1997. № 3. С. 39-47.
6. 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.
7. Салтыков В.А., Чебров В.Н., Сеницын В.И. и др. Сеть пунктов регистрации высокочастотных сейсмических шумов // Комплексные сейсмологические и геофизические исследования Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2004. С. 136-151.
8. Супруненко О.И., Андиева Т.А., Сафронов П.Н. Кроноцко-Крутогоровская зона субширотных разломов Камчатки // Докл. АН СССР. 1973. Т. 209. № 6. С. 1398-1401.
9. Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Сейсмофокальная зона Камчатки (геометрия, размещение очагов землетрясений и связь с вулканизмом) // Вулканология и сейсмология. 1985. № 4. С. 91-107.
10. Федотов С.А., Шумилина Л.С., Чернышева Г.В. Сейсмичность Камчатки и Командорских островов по данным детальных исследований // Вулканология и сейсмология. 1987. № 6. С. 29-60.