

## РЕГИСТРАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА О. ШИКОТАН (МАЛАЯ КУРИЛЬСКАЯ ГРЯДА): ВЫЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТОВ ПОДГОТОВКИ ЛОКАЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

*Салтыков В.А.<sup>1</sup>, Сеницын В.И.<sup>1</sup>, Кугаенко Ю.А.<sup>1</sup>, Шишкин А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru

<sup>2</sup> Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск

### **Введение**

Работы по созданию на о. Шикотан станции регистрации высокочастотных сейсмических (ВСШ) шумов были начаты в 2003 г. Непрерывная регистрация ведется с января 2005 г. ВСШ представляет собой сейсмические осцилляции в частотном диапазоне первых десятков Гц и с амплитудами порядка  $10^{-9}$  -  $10^{-12}$  м. Одна из основных целей исследований - выявление аномального отклика параметров ВСШ на процессы подготовки сильных землетрясений. Для обнаружения предвестника используется методика, разработанная на Камчатке в ходе многолетнего изучения вариаций компонент ВСШ, имеющих периоды основных волн гравитационного потенциала [5]. Оригинальным элементом методики является использование земных приливов в качестве эталонного воздействия, имеющего постоянные во времени характеристики. Предполагается, что в новой точке наблюдений выявленный ранее на Камчатке эффект будет иметь ряд особенностей, требующих дополнительного рассмотрения и учета.

В докладе приведены примеры выявления предвестника перед рядом наиболее сильных локальных землетрясений, которые произошли в районе о. Шикотан с января 2005 г. по март 2007 г. Обнаружены сходные тенденции синхронизации приливной компоненты ВСШ и приливного потенциала в процессе подготовки землетрясений для Камчатки и о. Шикотан.

### **Станция регистрации ВСШ «Шикотан»**

Выбор о. Шикотан для организации долговременных наблюдений определялся следующими факторами:

- близостью к сейсмофокальной зоне;
- наличием готовой специализированной сейсмометрической штольни;
- отсутствием на острове промышленной инфраструктуры.

Регистрация ВСШ организована на базе законсервированной региональной сейсмической станции «Шикотан», в северо-западной части острова, на окраине поселка Малокурильское. В 2003 г. был создан и подготовлен к автономной работе автоматизированный комплекс долговременной регистрации, состоящий из датчика ВСШ, линии связи, блока аналоговой обработки сигнала, блока оцифровки и накопления данных. В состав комплекса для измерения скорости ветра также входит анемометр. Привязка данных к шкале абсолютного времени осуществляется с помощью GPS. Датчик с блоком автономного батарейного питания размещен на бетонном постаменте в сейсмометрической штольне. В качестве датчика сигналов ВСШ применяется резонансный узкополосный вертикальный сейсмоприемник с чувствительным элементом в виде пьезокерамической пластины [6]. Датчик помещен в герметичный корпус, внутри которого имеется усилитель сигналов ВСШ, необходимый для формирования динамического диапазона регистрации и работы с длинной линией связи, а также электронный калибратор, предназначенный для выработки импульса стабильного тока необходимой длительности. Чувствительность датчика с учетом предварительного усиления - не хуже  $10^{12}$  В/м. Частота собственных колебаний 30 Гц. Добротность - не менее 100. Регистрация огибающей ВСШ и аналогового сигнала скорости ветра производится с помощью цифрового регистратора японского производства DataMark LS8000SH. Подробнее аппаратура регистрации станции ВСШ «Шикотан» описана в работе [9].

Исследования зависимости ВСШ от скорости ветра показали, что на этой станции в среднем только 10% данных искажены ветровым воздействием. График для суточного хода ВСШ имеет минимум в ночные часы и повышение уровня в дневное время. Нельзя утверждать, что суточный ход определяется только антропогенным фактором: суточную компоненту с близкой

фазой имеет также ветер. Основные черты суточного хода совпадают с тем, что наблюдается на Камчатке. Суточная вариация, отнесенная к среднему фоновому уровню ВСШ, составляет 55 %. На о. Шикотан не выделяется недельный ход уровня ВСШ. Эта гармоника не связана с естественными факторами, она отражает антропогенное воздействие на регистрируемое геофизическое поле. Ее отсутствие объясняется слабо развитой инфраструктурой острова и практическим отсутствием промышленности. Такая ситуация благоприятна для регистрации слабых сигналов природного происхождения, в том числе сейсмических шумов.

Если рассмотреть положение острова относительно уходящей под дугу части сейсмофокальной зоны, то он принадлежит западной границе мелкофокусной субдукционной сейсмичности. Уникальным для данной точки наблюдений является возможность изучения связи ВСШ с землетрясениями в широком диапазоне энергий и эпицентральных расстояний: станция находится гораздо ближе к сейсмофокальной зоне, чем пункты наблюдения на Камчатке.

### **Общие геолого-геофизические сведения о районе работ [1-3]**

При исследованиях сейсмического излучения возникает вопрос о размерах области сбора информации, примыкающей к месту регистрации, для того или другого частотного диапазона. В работе [4] показано, что для сейсмического сигнала на частоте 30 Гц эффективный радиус влияния источников эндогенного микросейсмического шума составляет около 8 км. Таким образом, можно говорить о том, что станция ВСШ «Шикотан» регистрирует микросейсмическое поле, генерируемое геофизической средой в радиусе первых километров от станции. Что представляет собой эта область?

Сейсмометрическая штольня пройдена горизонтально в отложениях верхнемеловой малокурильской свиты, представленных толщей тонко переслаивающихся алевролитов и аргиллитов с линзами песчаников. Мощность песчано-глинистых отложений малокурильской свиты не превышает на о. Шикотан 300 м. В зону регистрации попадает расположенный восточнее поселка Малокурильское крупный массив габброидов шикотанского интрузивного комплекса площадью около 25 км<sup>2</sup>. В районе Малой Курильской гряды и, в частности, у острова Шикотан по данным сейсмоакустических исследований мощность донных осадков составляет не более 100-150 м, а местами на морское дно выходит кристаллический фундамент преимущественно верхнемелового возраста.

В северо-западной части острова Шикотан установлена система активных субвертикальных разломов взаимно-перпендикулярного простирания. Установлено, что наиболее интенсивные современные вертикальные движения и аномальные короткопериодные горизонтальные деформации на о. Шикотан происходят в период повышения сейсмической активности. При этом отдельные блоки наклоняются как вдоль простирания дуги, так и перпендикулярно к ней. Предполагается, что земная поверхность в районе станции, в северо-западной части острова, представляет собой упругую систему мелких блоков, деформирующихся, в частности, в период подготовки землетрясений.

По существующим представлениям область с такими геолого-геофизическими характеристиками является источником повышенной сейсмоэмиссионной активности.

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

Земные приливы, обусловленные лунно-солнечным гравитационным воздействием, воздействуют на сейсмические шумы. На станции ВСШ «Шикотан» выделены гармоники с периодами основных волн приливного потенциала Q<sub>1</sub>, O<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>. Исследование приливной компоненты ВСШ носит не только фундаментальный, но и прикладной характер, что объясняется актуальностью проблемы прогноза сильных землетрясений. Для выявления связи приливных параметров ВСШ с процессами подготовки землетрясений использовались разработанные ранее на Камчатке подходы [5, 7-9].

В 2005-2006 гг. сильных землетрясений в районе о. Шикотан не происходило.

Сильнейшими землетрясениями, которые были зарегистрированы в радиусе 160 км от станции регистрации, являются следующие (рис. 1):

**21.09.2005.** Широта:  $\phi=44.32$  град. с. ш., долгота:  $\lambda=146.35$  град. в.д., глубина:  $H=99$  км. Эпицентральное расстояние  $\Delta=61$  км. Магнитуда:  $M_w=6.0$

**22.11.2006.**  $\phi=44.27$ ,  $\lambda=146.56$ ,  $H=33$  км,  $\Delta=50$  км,  $M_w=5.6$

**11.03.2007.**  $\phi=44.13$ ,  $\lambda=148.08$ ,  $H=33$  км,  $\Delta=95$  км,  $M_w=5.7$

**01.07.2007**  $\phi=43.83$ ,  $\lambda=144.82$ ,  $H=130$  км,  $\Delta=160$  км,  $M_w=5.8$

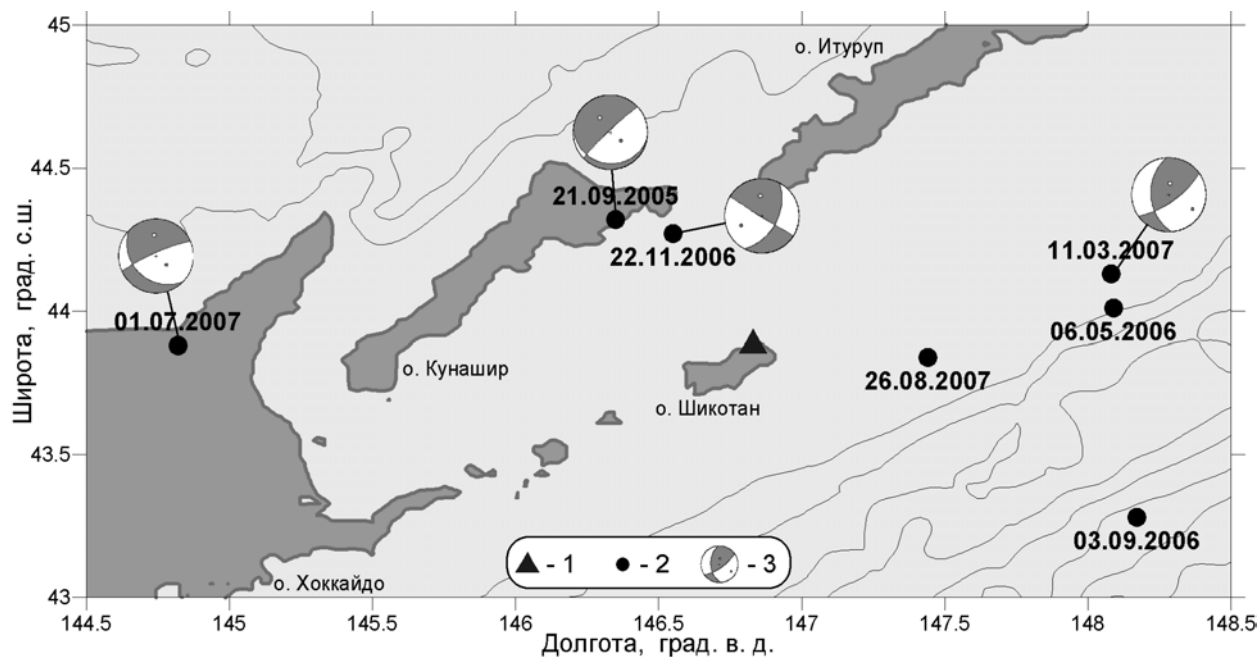


Рис.1. Эпицентры наиболее сильных землетрясений, которые произошли в районе о. Шикотан в период с января 2005 г. по август 2007 г. 1 – станция «Шикотан», 2 – эпицентры землетрясений по данным ГС РАН, г. Онинск; 3 - решения механизма очага землетрясения, рассчитанные по методу тензора момента центраида в Гарвардском центре США (<http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>) в стереографической проекции нижней полусферы.

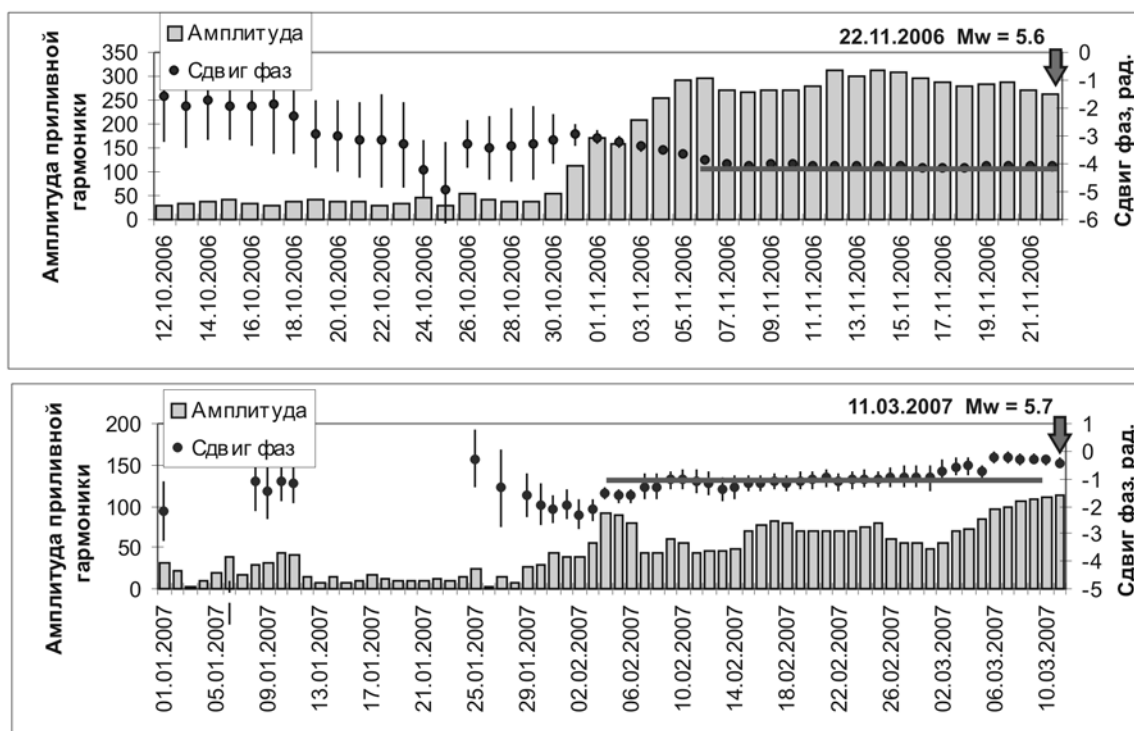


Рис.2. Примеры синхронизации выделенной из ВСШ приливной компоненты с волной O1 гравитационного потенциала перед землетрясениями 22.11.2006 и 11.03.2007.

Для двух из четырех наиболее сильных землетрясений, которые произошли в 2005-2006 гг. в р-не о. Шикотан на расстояниях до 100 км от станции (22.11.2006, 11.03.2007), отмечалась стабилизация приливной компоненты ВСШ с приливным потенциалом (рис.2). Перед землетрясениями 21.09.2005 и 01.07.2007 эффект не выявлен. Такое различие отклика может быть связано с большей глубиной этих событий по сравнению с двумя другими землетрясениями. Возможно, оказало влияние и различие механизмов очагов. Если для всех этих землетрясений

принять в качестве основной плоскость разрыва, простираение которой совпадает с простираением Курильской островной дуги, то характер движения по этой плоскости для указанных землетрясений существенно различается: для событий 22.11.2006, 11.03.2007 по этой плоскости преобладает сдвиг, для 21.09.2005, 01.07.2007 – практически чистый сброс. Пока недостаточно данных для обобщений и выводов, необходимы дальнейшие наблюдения и исследования этих закономерностей.

Дополнительно анализ временного хода показал еще три участка стабилизации фазы (рис.3), которые закончились достаточно слабыми землетрясениями:

**06.05.2006.**  $\phi=44.01$ ,  $\lambda=148.09$ ,  $H=37$  км,  $\Delta=92$  км,  $mb=4.8$

**03.09.2006.**  $\phi=43.28$ ,  $\lambda=148.17$ ,  $H=21$  км,  $\Delta=115$  км,  $mb=4.9$

**26.08.2007**  $\phi=43.84$ ,  $\lambda=147.44$ ,  $H=60$  км,  $\Delta=50$  км,  $mb=5.4$

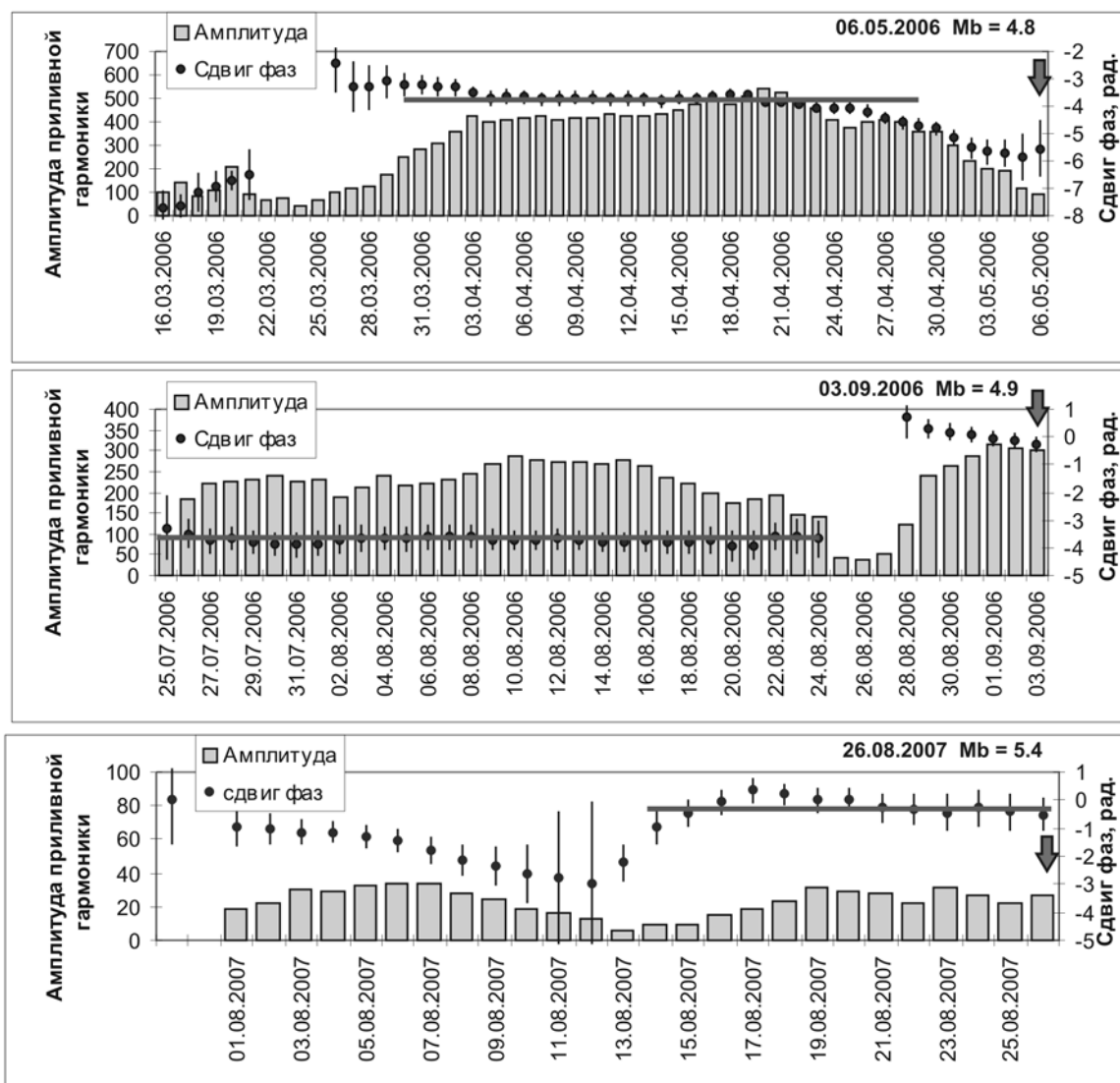


Рис.3. Примеры синхронизации выделенной из ВСШ приливной компоненты с волной O1 гравитационного потенциала перед землетрясениями 06.05.2006, 03.09.2006 и 26.08.2007.

На катастрофические землетрясения, которые произошли в центральной части Курильской островной дуги 15.11.2006 ( $M_w=8.3$ ) и 13.01.2007 ( $M_w=8.1$ ), предвестниковой реакции ни по станции «Шикотан» (расстояние до эпицентров около 600 км), ни по камчатским станциям (расстояние до эпицентров около 800 км) выявлено не было. Мы связываем это с ограниченной пространственной чувствительностью регистрируемого поля к процессам, сопровождающим подготовку землетрясений. По оценкам, полученным для Камчатки, это расстояние не превышает 400 км.

## Обсуждение результатов и заключение

Исследования и поиск новых предвестниковых явлений в вариациях геофизических полей перед сильными землетрясениями является актуальной задачей для ученых Дальнего Востока России, где сейсмическая активность и опасность возникновения волн цунами достигает наиболее высокого уровня на нашей планете. Курильские острова, в отличие от Камчатки, где наряду с достаточно плотной сетью региональных сейсмических станций развиваются разноплановые исследования геофизических полей, в настоящее время охвачены наблюдательными сетями значительно слабее. В значительной степени это связано с удаленностью и труднодоступностью островных районов. Сказывается и отсутствие квалифицированных кадров для обслуживания систем регистрации. В этой ситуации организация в 2003-2004 гг. непрерывных долговременных наблюдений за сейсмическим шумом на о. Шикотан, где до катастрофического Шикотанского землетрясения 1994 г. функционировала одна из лучших обсерваторий региона, представляется заметным событием.

По результатам регистрации ВСШ на о. Шикотан в 01.2005-08.2007 г. по методике, разработанной ранее для Камчатки [5, 7-9], ретроспективно выявлены характерные эффекты подготовки некоторых наиболее сильных локальных (эпицентральное расстояние до 160 км) землетрясений. Как и ожидалось при планировании установки станции ВСШ «Шикотан», здесь отмечена реакция анализируемого параметра на значительно более близкие к станции землетрясения, чем на Камчатке. Ведется адаптация разработанной ранее методики к особенностям новых материалов регистрации.

В настоящий момент основной технической проблемой является отсутствие возможности оперативной передачи данных со станции на Камчатку, где осуществляется основная обработка и проводится интерпретация результатов. Организовать оперативное получение информации с использованием современных средств связи не удастся из-за отсутствия сети Интернет. Перспективы решения этой проблемы видятся в планируемой установке на о. Шикотан станции системы предупреждения о цунами [10], оснащенной современными техническими средствами, и включении ее в единое информационно-телекоммуникационное пространство Дальнего Востока.

**Благодарности.** Авторы благодарны Б.В. Левину и В.М. Кайстренко за интерес к рассматриваемой проблематике и конструктивную поддержку на этапе создания станции ВСШ «Шикотан», без которой эти работы могли бы не состояться. Организации регистрации и исследования ВСШ на о. Шикотан были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, гранты 03-05-79030, 04-05-65210, 07-07-00225.

## Список литературы

1. Геология СССР. Том XXXI. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Часть I. Геологическое описание. М.: Недра, 1964. 733 с.
2. Геолого-геофизический атлас Курило-Камчатской островной системы // Под ред. К.С. Сергеева, М.Л. Красного. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. 36 листов.
3. Захаров В.К., Василенко Н.Ф., Наумов Н.В. Горизонтальные деформации земной поверхности на островах Сахалин и Шикотан // Тихоокеанская геология. 1982. №1. С. 119-122.
4. Лутиков А.И. Оценка эффективного радиуса влияния источников эндогенного микросейсмического шума // Вулканология и сейсмология. 1992. № 4. С.111-115.
5. 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.
6. Рыкунов Л.Н., Хаврошкин О.Б., Цыплаков В.В. Аппаратура и методы для исследования слабых сейсмических эффектов // Деп. В ВИНТИ 28.08.78, №2919-78. Москва. 1978. 31 с.
7. 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. 2007. №1. Вып. 9. С. 37-50.
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., Кугаенко Ю.А., Касахара М. Организация наблюдений сейсмических шумов вблизи сейсмофокальной зоны Курило-Камчатской островной дуги // Вулканология и сейсмология. 2006. №3. С. 43-53.
10. Чебров В.Н. Развитие системы сейсмологических наблюдений для целей предупреждения о цунами на Дальнем Востоке России // Вестник КРАУНЦ. 2007. №1. Вып. 9. С. 27-36.