

УДК 550.34

## СЕТЬ ПУНКТОВ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ

В. А. Салтыков<sup>1</sup>, В. Н. Чебров<sup>1</sup>, В. И. Синицын<sup>1</sup>,  
М. Касахара<sup>2</sup>, Ю. А. Кугаенко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Камчатская Опытно-методическая сейсмологическая партия Геофизической службы РАН,  
683006, г.Петропавловск-Камчатский, бул. Пийна, 9, e-mail: [salt@emsd.ru](mailto:salt@emsd.ru)*

<sup>2</sup>*Институт сейсмологии и вулканологии, Университет Хоккайдо,  
Япония, Саппоро, 060-0810, e-mail: [mkasa@eos.hokudai.ac.jp](mailto:mkasa@eos.hokudai.ac.jp)*

**Аннотация.** В статье описана существующая в настоящее время сеть регистрации высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ), состоящая из четырех станций: «Начики» и «Карымшина» (обе - на Камчатке), «Эримо» (о-в Хоккайдо) и «Шикотан» (Курильские о-ва). Приведены данные об регистрирующей аппаратуре, о районе работ. Даны примеры отдельных компонент ВСШ: ветровой, антропогенной, приливной. Показана связь ВСШ с вариациями напряженного состояния среды.

## HIGH-FREQUENCY SEISMIC NOISE REGISTRATION NETWORK

V. A. Saltykov<sup>1</sup>, V. N. Chebrov<sup>1</sup>, V. I. Sinitsyn<sup>1</sup>,  
M. Kasahara<sup>2</sup>, Yu. A. Kugaenko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kamchatkan Experimental and Methodical Seismological department, Geophysical Service, RAS,  
683006, Petropavlovsk-Kamchatsky, Piip blvd., 9, e-mail: [salt@emsd.ru](mailto:salt@emsd.ru)*

<sup>2</sup>*Institute of seismology and volcanology, Hokkaido University,  
Japan, Sapporo, 060-0810, e-mail: [mkasa@eos.hokudai.ac.jp](mailto:mkasa@eos.hokudai.ac.jp)*

**Abstract.** In present paper the high-frequency seismic noise (HFSN) registration network is presented. Nowadays it consists of four stations: "Nachiki" and "Karymshina" (in Kamchatka), "Erimo" (in Hokkaido) and "Shikotan" (in Kurile Is.). Information about recording equipment and working areas is submitted. Examples of some HFSN components (wind, antropogenic, tidal) are given. Connection between HFSN and variations of medium stress condition are shown.

### Введение

Высокочастотный сейсмический шум (ВСШ) представляет собой сейсмические осцилляции в частотном диапазоне первых десятков Гц и с амплитудами порядка  $10^{-9}$  -  $10^{-12}$  м. Обычно в сейсмологии при изучении сейсмических волновых полей такие сигналы рассматривались как помеха. Поэтому изучение сейсмических шумов велось односторонне, с целью их подавления. При этом в качестве возможных причин возникновения ВСШ рассматривались поверхностные (в том числе и антропогенные) источники, а само поле ВСШ не включалось в единый процесс сейсмического излучения.

Однако в последние годы развивается другая точка зрения на ВСШ. В ее основе лежит свойство статистического самоподобия сейсмического процесса, то есть ВСШ рассматривается как один из низших (по энергии) уровней сейсмичности [12]. Такой подход может позволить на основе закономерностей излучения ВСШ получить параметры сейсмичности в других энергетических масштабах. Это может быть полезным при решении таких проблем, как определение закономерностей наблюдаемого микромасштабного излучения, включая механизм его формирования и связь его с излучением сейсмической энергии на более высоких масштабных уровнях.

Первые исследования ВСШ в «новом» аспекте были проведены Л.Н. Рыкуновым, О.Б. Хаврошкиным и В.В. Цыплаковым [13,14,16-19], а затем продолжены и другими исследователями [29,30]. Однако, малая продолжительность наблюдений (не более 1.5 месяца), высокий уровень антропогенных шумов существенно затруднили получение надежных и непротиворечивых результатов [1-4,6,28]. Опыт этих работ был учтен при постановке исследований ВСШ на Камчатке. Наблюдения были организованы в пункте «Начики», по возможности удаленном от источников антропогенного шума. Продолжающаяся в течение длительного времени (с 1992 г. данные практически непрерывны) регистрация ВСШ позволила получить достаточно интересные результаты. Были определены факторы, формирующие как экзогенные, так и эндогенные шумы: ветер, прогрев, человеческая активность, земные приливы, тектонические процессы [11,21,23-25,31]. В то же время эти работы подтвердили очень высокую чувствительность излучения к внешним поверхностным воздействиям, что существенно ограничивает возможности изучения эндогенной компоненты ВСШ в условиях современной глобальной индустриальной и транспортной активности.

Можно предположить, что поведение ВСШ в значительной степени определяется локальными условиями в месте регистрации. Также возможны региональные эффекты. Поэтому для более глубокого понимания наблюдаемого процесса необходимо организовать регистрацию шума в различных условиях (то есть в различных пунктах, в различных регионах). В 1993 г. были начаты наблюдения ВСШ в Японии. Они проводятся совместно Институтом сейсмологии и вулканологии Хоккайдского Университета (Япония) и Камчатской опытно-методической сейсмологической партией Геофизической службы РАН на геофизической обсерватории, расположенной вблизи мыса Эrimo (о. Хоккайдо, Япония). В 1999 г. на Камчатке был организован совместный российско-японский пункт комплексных наблюдений (ПКН) «Карымшина», где с 2001 г. регистрируется и ВСШ. Следующий (и на настоящий момент последний) пункт организован в 2003 г. на острове Шикотан (Малые Курильские острова) на базе консервированной сейсмостанции «Шикотан». Можно говорить о создании сети наблюдений ВСШ, состоящей из четырех пунктов (Рис. 1).

В этой статье описываются пункты регистрации ВСШ (геологические условия, особенности постановки, используемая аппаратура, отдельные результаты).

### **Технические средства регистрации сигналов ВСШ**

Как и каждая автоматизированная система наблюдений, станция регистрации сигналов ВСШ состоит из датчика, линии связи, блока аналоговой обработки сигнала, блока оцифровки и накопления данных. Кроме того, система обеспечивает импульсную калибровку сквозного сейсмометрического тракта, а также в отдельных случаях регистрацию скорости ветра. Обязательна также привязка данных к шкале абсолютного времени с необходимой точностью. Необходимым компонентом каждой станции является система резервированного электропитания. Ниже дается описание упомянутых компонент.

#### **1. Датчик**

В качестве датчика сигналов ВСШ применяется резонансный узкополосный вертикальный сейсмоприемник с чувствительным элементом в виде пьезокерамической

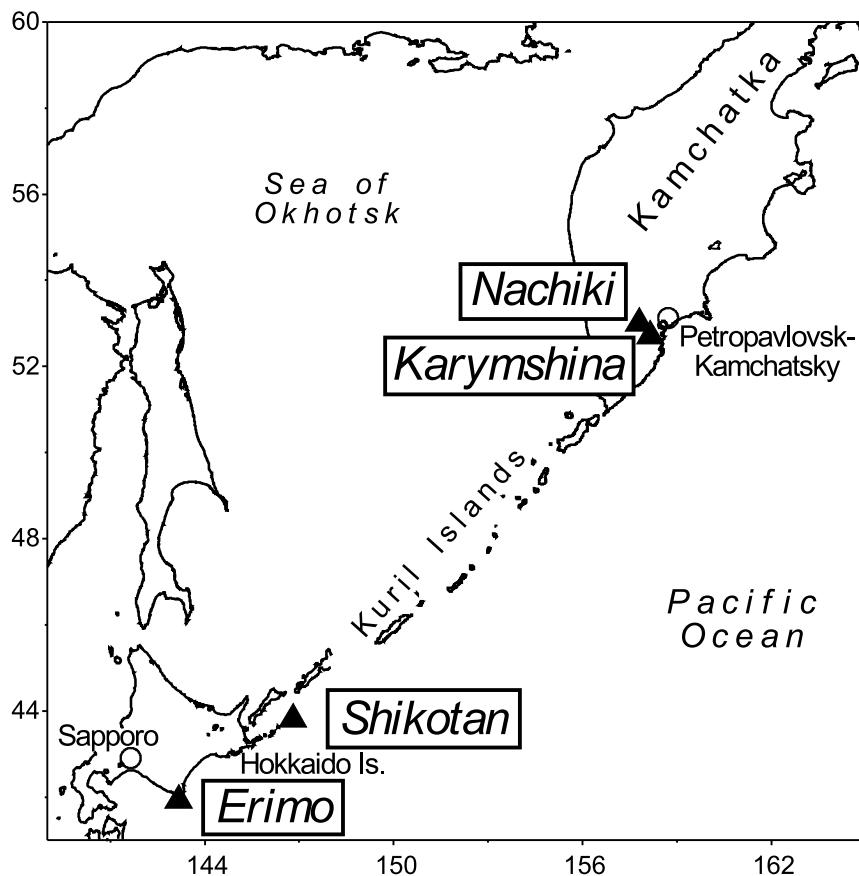


Рис. 1. Положение пунктов регистрации ВСШ.

Fig. 1. Location of the HFSN registration points.

пластины [15]. Датчик выполнен в виде металлической горизонтальной пластины (консоли), зажатой с одной стороны в опору (Рис. 2). Вблизи опоры на пластине расположен плоский чувствительный элемент. На консоли имеется закрепляемая масса, перемещение которой вдоль обеспечивает необходимое значение частоты резонанса. На другом, свободном, конце консоли закреплена калибровочная катушка, помещенная в поле постоянного магнита. Датчик находится в герметичном корпусе, внутри которого также 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. Датчик имеет выходной кабель с коммутационными клеммами для присоединения к линии связи.

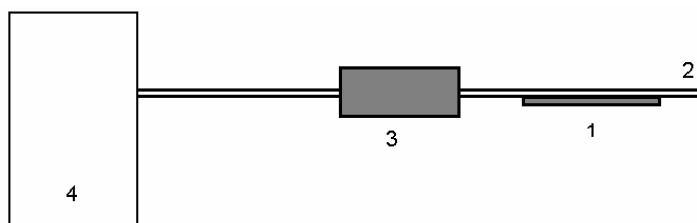
- Чувствительность с учетом предварительного усиления - не хуже  $10^{-12}$  м
- Частота собственных колебаний, Гц 30
- Добротность, не менее 100

Параметры внутреннего предварительного усилителя:

- Коэффициент передачи 1000
- Амплитуда шума, приведенная ко входу, не более, мкВ 1.5
- Входное сопротивление, не менее, МОм 30
- Напряжение питания, В  $12.6 \pm 10\%$
- Ток потребления, мА, не более 4

## 2. Линия связи

В качестве линий связи на разных станциях применяются кабели различной длины в зависимости от удаления сейсмокамеры от регистрирующей части аппаратуры. Максимальная длина линии связи составляет 1000 м.



**Рис. 2.** Схематичное изображение датчика ВСШ:

1 – чувствительный элемент, 2 – консоль, 3 – перемещаемая масса, 4 – опора.

**Fig. 2.** Schematic image of the HFSN sensor:

1 – sensitive element, 2 – console, 3 – moved mass, 4 – support.

### 3. Блок аналоговой обработки

Блок аналоговой обработки предназначен для преобразования сигнала ВСШ с целью выделения его огибающей для последующей регистрации. Для этого в блоке последовательно осуществляется “идеальное” детектирование сигнала, его интегрирование с постоянной времени 2 секунды. Получившийся однополярный сигнал пригоден для оцифровки внешним регистратором. Кроме того, в блоке в определенные моменты времени вырабатывается сигнал управления калибратором, а также имеются возможность проверки работоспособности блока и визуализации регистрируемого сигнала с помощью встроенного стрелочного прибора.

### 4. Система резервированного электропитания

Такая система предназначена для обеспечения непрерывной регистрации сигналов ВСШ вне зависимости от сбоев электрической сети переменного тока и выстраивается для каждой из станций регистрации ВСШ в индивидуальном порядке в зависимости от конкретных условий постановки. Питание датчика чаще всего осуществляется от внешних гальванических батарей номинальным напряжением питания 12 вольт. Малое потребление электронного усилителя датчика позволяет осуществлять его автономное питание от блока батарей “Бакен ВЦ-1” емкостью 250 А/ч в течение не менее 5 лет.

### 5. Регистрирующая часть станции

Для каждой из имеющихся станций применяется разные, исторически сложившиеся приборы для оцифровки и накопления данных. При этом разрядность АЦП варьируется от 9 до 23. Конкретные параметры регистрирующих устройств приведены ниже, в разделах, описывающих непосредственно станции ВСШ.

## **Станция регистрации ВСШ “Начики”**

Станция “Начики” является старейшей в системе регистрации ВСШ: установлена в 1987 г., непрерывная регистрация ВСШ – с 1992 г. На ней отрабатывалась методика и все технические решения производства наблюдений ВСШ. Географически датчик находится на склоне горы Начикинское Зеркальце ( $53.1^{\circ}N$ ,  $157.8^{\circ}E$ ).

Сведения о районе работ. Район регистрации находится на границе двух крупных структурных элементов: Начикинской складчато-глыбовой зоны и Начикинской депрессии [27]. Он принадлежит к долгоживущей глубинной разломной зоне северо-западного простирания, пересекающей южную часть п-ва Камчатка, – так называемой Петропавловско-Малкинской зоне поперечных дислокаций. С ней связано внедрение цепочки крупных интрузивных тел и интенсивная палеогеново-неогеновая гидротермальная деятельность. Наиболее значительное разрывное нарушение на исследуемой территории – разлом долины реки Плотникова. С разрывными нарушениями генетически связано образование разновозрастных интрузий и лавовых излияний. Одно из крупнейших интрузивных тел – гора Начикинское Зеркальце (936 м). Это интрузия миоценового возраста, интрузивные породы представлены гранодиоритами и кварцевыми диоритами и имеют сильно трещиноватую структуру. В непосредственной близости от склона интрузии г. Начикинское Зеркальце в долине реки Плотникова расположено Начикинское месторождение термальных вод. Месторождение относится к низкотемпературным ( $T < 100^{\circ}C$ ). Отличительная черта гидротермальных систем этого типа –

медленное нарастание температуры с глубиной и низкие температуры в недрах (значительно ниже температуры кипения при нормальном гидростатическом давлении). Зона разгрузки Начикинского месторождения представляет собой термальную площадку размером 200 м × 75 м с 2 крупными и 56 мелкими выходами термальных вод. Водовмещающими являются непроницаемые породы, которые пересечены относительно изолированными трещинами и зонами дробления, по ним и происходит циркуляция теплоносителя. Гидротермальную деятельность, вероятно, вызывают тепловые аномалии, приуроченные к активизированным разломным зонам, что является следствием самостоятельного глубинного процесса.

Территория близ пункта регистрации малонаселена. Через нее проходит основная автомобильная дорога полуострова – Петропавловск-Ключи. В ночное время движение по ней практически замирает. В 2 км расположены поселок сельского типа Начики (в настоящее время - несколько домов) и метеостанция ГМС. На базе термоминеральных источников (1.5 км к северу) построен бальнеологический санаторий, ныне не действующий. Эта инфраструктура не оказывает существенного антропогенного влияния на регистрируемое микросейсмическое поле.

Особенности аппаратуры регистрации ВСШ. Датчик с автономным батарейным питанием расположен в обвалованном термостатированном бункере и соединен кабельной линией связи с находящимся в здании регистратором. Длина линии не менее 500 метров. В качестве регистратора используется микропроцессорный комплекс “Крот”, имеющий в своем составе АЦП разрядностью 9+знак. Обработанный с помощью аналогового блока сигнал оцифровывается с частотой 4 Гц, далее программным образом вычисляется средний за минуту уровень сигнала. Такой ежеминутный отсчет записывается в сменную кассету для хранения и последующей обработки в лабораторных условиях. Станция имеет резервированное электропитание, основанное на ИБП с аккумуляторами большой емкости. Система точного времени выполнена на высокостабильном генераторе “Сонет”. Корректировка производится вручную, не чаще 1 раза в год. Обслуживание станции производится еженедельно. Калибровка осуществляется также еженедельно в момент запуска очередного сеанса. В настоящее время параллельно с регистратором “Крот” ведется опытная эксплуатация более современного комплекса цифровой регистрации RealLab! [32]: осуществляется оцифровка и запись исходного сигнала с совместным использованием внешнего 12-разрядного АЦП RL-88AC и портативного компьютера.

### **Станция регистрации ВСШ “Карымшина”**

Станция действует в составе пункта комплексных наблюдений (ПКН) “Карымшина” ( $52.8^{\circ}N$ ,  $158.15^{\circ}E$ ), организованного в рамках Российско-японского проекта МНТЦ №1121, основными целями которого являются комплексный мониторинг различных геофизических полей, выявление предвестников землетрясений, оценка сейсмической опасности.

Обсерватория расположена на значительном удалении от возможных источников антропогенных помех: населенных пунктов, автомобильных дорог и линий электропередач, что обеспечивает уникальные благоприятные условия для изучения геофизических полей, в частности, эндогенных сейсмических шумов. Низкий уровень индустриальных помех позволяет реализовать максимальную чувствительность регистрирующей аппаратуры. Высокая сейсмическая и вулканическая активность полуострова Камчатка дает возможность исследовать взаимосвязь различных геофизических полей с этими процессами.

Сведения о районе работ. Рассматриваемый район, согласно схеме структурного районирования Камчатки, относится к юго-восточной окраине внутренней вулканической дуги полуострова, представляющей собой сложно построенный Южно-Камчатский антиклиниорий. ПКН «Карымшина» расположен на высоте около 100 м, в нижнем

течении реки Карымшина, в пределах грабена реки Паратунки. Долина реки представляет собой сложно построенный грабен, образованный вертикальными блоковыми перемещениями пород кристаллического фундамента в раннечетвертичное время. Ложе долины заполнено толщей четвертичных отложений, их мощность в районе ПКН – около 90 м (по данным буровых работ). Дно и борта долины сложены в различной степени дислоцированными вулканогенно-осадочными, эфузивными и интрузивными породами неогенового и четвертичного возраста [27]. Породы, слагающие опущенный блок Паратунского грабена, на участках трещинных зон являются коллекторами напорных термальных вод Верхнепаратунского участка Паратунского гидротермального месторождения, для которого характерен трещинно-жильный тип циркуляции. Термальные воды здесь сульфатно-натриевые с минерализацией 0,9-2,2 г/л и максимальной температурой 104°C. Роль относительного водоупора выполняют сами породы паратунской свиты, более монолитные в верхней части разреза. К толще рыхлых четвертичных отложений приурочен близповерхностный безнапорный водоносный горизонт холодных (+3+5°C) грунтовых вод, его мощность в среднем достигает нескольких десятков метров [9]. Территорию ПКН в нескольких десятках метров от наблюдательной скважины пересекает разлом северо-западного простирания. Он обнаружен при обработке аэрофотоснимков района Паратунской гидротермальной системы, которая выполнялась программой LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis), предназначеннай для автоматического поиска и анализа организации линейных элементов на аэро- и космоснимках [7]. Работа с аэрофотоснимками выполнена сотрудником Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН Д.В. Мельниковым.

Геофизическая обсерватория находится в 300 м от реки Карымшина, у западного склона горного массива, максимальная высота которого 1052 м (г. Бабий Камень). Ручьи, стекающие со склона, участвуют в формировании и развитии сложной серии конусов выноса, в которой и пробурена наблюдательная скважина. Мощность рыхлых осадочных отложений, снесенных сюда ручьями из цирка, расположенного значительно выше, достигает нескольких десятков метров.

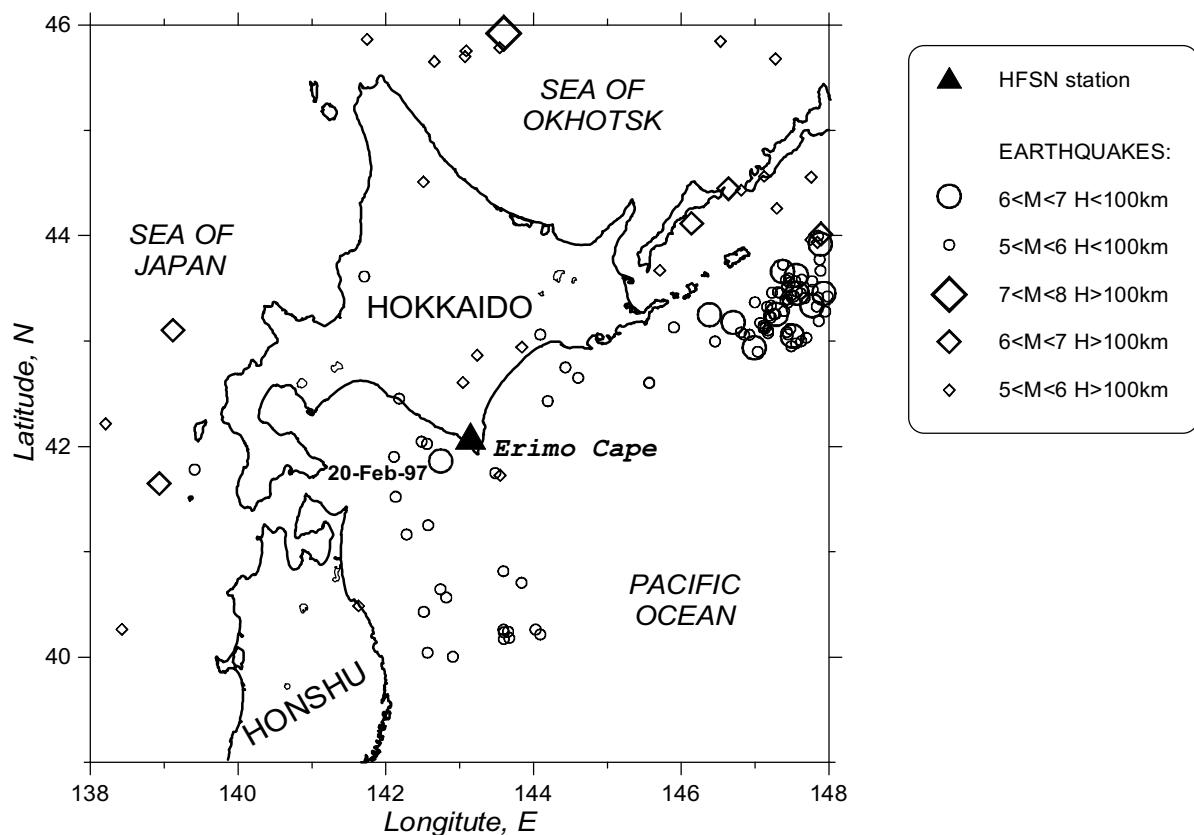
По данным ПКН температура грунта, измеряемая на глубине 5 см, даже в зимние месяцы не опускается ниже +5+7°C, а на дне термоизолированной сухой четырехметровой скважины колеблется в районе 14°C, в то время как температура воздуха зимой достигает здесь -30-25°C. Это говорит о повышенном тепловом потоке в зоне гидротермальной системы, находящейся на глубине всего нескольких сотен метров под геофизическим полигоном.

Участок обсерватории попадает в область надежной регистрации Камчатской региональной сети сейсмических станций для землетрясений с энергетическим классом  $K_{\phi 68} \geq 6.5$  ( $M_L \geq 2.5$ ) [5]. Локальная сейсмичность в районе ПКН «Карымшина» по имеющимся сейсмологическим данным не выявлена.

Особенности аппаратуры регистрации ВСШ. Двуканальный датчик ВСШ, имеющий собственные частоты 30 и 45 Гц помещен в измерительную скважину глубиной 30 метров. Непосредственно вблизи скважины расположен блок аналоговой обработки и оцифровки с частотой 10 Гц (разрядность АЦП – 23+знак). Оцифрованные данные поступают на центральный компьютер пункта, который формирует ежесуточные файлы, пригодные для обработки в лабораторных условиях. Точность временных параметров и резервирование электропитания осуществляется в рамках всей аппаратуры пункта. Калибровка тракта производится ежесуточно в определенный момент времени в автоматическом режиме.

### Станция регистрации ВСШ “Эримо”

Исследования ВСШ на этом пункте проводятся совместно КОМСП ГС РАН и Университетом Хоккайдо с 1993 г. Аппаратура установлена в Геофизической обсерватории



**Рис. 3.** Карта о-ва Хоккайдо и прилежащих территорий. Отмечены пункт регистрации ВСШ и землетрясения, произошедшие во время регистрации ВСШ в феврале 1995 г. - сентябре 1997 г. Параметры землетрясений соответствуют каталогу NEIC (Геологическая служба США).

**Fig. 3.** Map of Hokkaido Island and neighbouring areas. The HFSN recording station and earthquakes that occurred from Feb.1995 to Sep.1997 are shown. Parameters of earthquakes are corresponding to the NEIC (USGS) catalogue.

Университета Хоккайдо ( $42.02^{\circ}\text{N}$ ,  $143.17^{\circ}\text{E}$ ), расположенной на юго-восточной оконечности о. Хоккайдо (Япония), в районе мыса Эримо (Рис. 3). Расстояние от океана – около 2 км.

Сведения о районе работ [8]. Остров Хоккайдо является местом сочленения двух вулканических дуг – Японской и Курильской. Восточная и центральная части Хоккайдо являются собой пример изменения северо-восточного простирания как всей вулканической дуги в целом, так и составляющих ее элементов (вулканических массивов и самих вулканов) на субширотное и северо-западное простиранье. Центральная часть острова принадлежит к зоне Хоккайдо-Сахалинского антиклиниория. Он вытянут в направлении север-северо-запад, сложен палеозойскими и мезозойскими отложениями и вытянутыми по их простиранию интрузиями основных пород. Срединная зона возвышеностей протягивается от южной оконечности острова (мыс Эримо) до его северной оконечности. Этот непрерывный хребет носит название гор Хидака, они имеют высоту до 2000 м и характеризуются резким рельефом и древними эрозивными поверхностями выравнивания вдоль гребня хребта на высоте 1000-2000 м. Системы структур Центрального Хоккайдо, продолжающиеся на о. Сахалин, обособлены как от Курило-Камчатской, так и от главной Японской островной дуги.

Штолня пройдена горизонтально в обширном интрузивном массиве мезозойского возраста, берущем начало на мысе Эримо и вытянутом вдоль антиклиниория о. Хоккайдо примерно на 150 км. Датчик расположен на постаменте в 30 м от входа в штолню. Удаление от поверхности обеспечивает стабильные условия регистрации. В частности,

сезонные колебания температуры в штоле составляют  $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ , а суточные – практически отсутствуют.

Особенности аппаратуры регистрации ВСШ. Датчик установлен в заглубленной под землю длинной штоле Геофизической обсерватории. Питание осуществляется от резервированного сетевого 12-вольтового источника. Аналоговая обработка сигнала не делается. Все преобразования выполняются программным образом с помощью центрального компьютера. Временная привязка осуществляется с помощью внутренних часов компьютера, корректируемых системой GPS.

### **Станция регистрации ВСШ “Шикотан”**

Пункт регистрации на о. Шикотан (Малая Курильская гряда, Сахалинская обл.) установлен в уже имеющейся сейсмометрической штоле ( $43.9^{\circ}\text{N}$ ,  $146.8^{\circ}\text{E}$ ). Выбор этой точки определялся наличием местной сейсмичности, то есть регистрация ВСШ проводится в непосредственной близости от сейсмофокальной зоны. В октябре 2003 г. были проведены работы по организации пункта, включая пробную регистрацию ВСШ. С мая 2004 г. начата непрерывная регистрация.

Сведения о районе работ. Курильские острова, являющиеся областью с активной вулканической деятельностью, в орографическом отношении представляют собой два параллельных подводных хребта, которые выше уровня океана выражены цепью островов Большой и Малой Курильских гряд. О. Шикотан – крупнейший из островов Малой Курильской гряды. Площадь острова  $182 \text{ км}^2$ , максимальная высота над уровнем моря 412 м (г. Шикотан). Рельеф низкогорный, образовавшийся в результате разрушения древних вулканов. Проявления современного вулканизма отсутствуют. Остров сложен вулканическими породами и песчаниками верхнемелового и кайнозойского возраста.

Сейсмометрическая штолня пройдена горизонтально в отложениях верхнемеловой малокурильской свиты, представленных толщей тонко переслаивающихся алевролитов и аргиллитов с линзами песчаников. Длина штолни 22 м. Она надежно изолирована от внешнего шума и тепловых климатических воздействий. Удаление от закрытой Малокурильской бухты – 500 м. Расстояние от штолни до здания сейсмостанции «Шикотан», около 300 м. Сейсмостанция находится на окраине поселка Малокурильское.

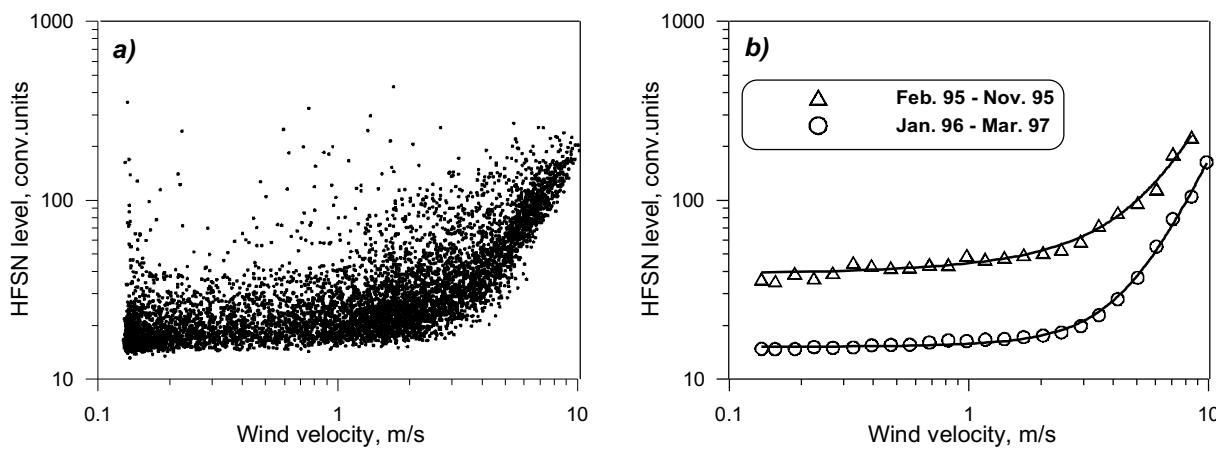
Особенности аппаратуры регистрации ВСШ. Датчик установлен в штоле на бетонном постаменте. Питание датчика – батарейное автономное. Кабельная линия связи длиной около 300 метров соединяет датчик и систему регистрации. В составе комплекса имеется измеритель скорости ветра. Производится аналоговая обработка сигнала. Регистрация огибающей ВСШ и аналогового сигнала скорости ветра производится с помощью цифрового регистратора японского производства DataMark LS8000SH. Регистратор имеет в своем составе систему коррекции внутренней шкалы времени на основе GPS. Используются два канала оцифровки из имеющихся четырех.

Регистратор применяется со следующими параметрами:

- |   |     |
|---|-----|
| - емкость внутренней энергонезависимой памяти, МБ | 20; |
| - частота оцифровки, Гц                           | 5;  |
| - разрядность цифрового преобразования            | 15; |
| - время непрерывной регистрации, не менее, сут.   | 10; |

Запись сигналов огибающей ВСШ и скорости ветра продолжается непрерывно в течение нескольких (до 10) суток. Данные из регистратора переписываются на сменную Flash-карту. После этого осуществляется очередной запуск регистрации, одновременно с которым блок аналоговой обработки формирует калибровочный сигнал. Объем памяти Flash-карты составляет 256 МБ и может накапливать информацию 2.5-3 месяца. Данные также сохраняются в компьютере и удаляются только после подтверждения получения карты.

Электропитание всей аппаратуры регистрации (кроме датчика ВСШ) осуществляется от 12-вольтового аккумуляторного питания постоянного тока. Зарядка аккуму-



**Рис. 4.** Воздействие ветра на ВСШ (по данным пункта «Эrimo»):

а) - соотношение между значением огибающей ВСШ и скоростью ветра по данным длительностью 10 месяцев (июнь 96 - март 97); б) - зависимость уровня ветрового шума от скорости ветра для двух различных участков регистрации. Значки соответствуют квантилю  $p=0.05$  в распределении ВСШ для данного значения скорости ветра.

**Fig. 4.** The HFSN response to the wind (by “Erimo” data):

а) HFSN envelope values versus wind velocity from data recorded during 10 months (from June 1996 to March 1997); б) wind noise level versus wind velocity from two different record segments. The symbols correspond to the  $p=0.05$  quantile in the HFSN distribution for a given wind velocity.

лятора производится с помощью автоматического зарядного устройства, постоянно включенного в сеть. При отсутствии сетевого питания 220 В, аккумулятор позволяет сохранять работоспособность аппаратуры на время не менее 300 часов. При восстановлении сетевого питания в течение 10 – 15 часов происходит полная зарядка аккумулятора.

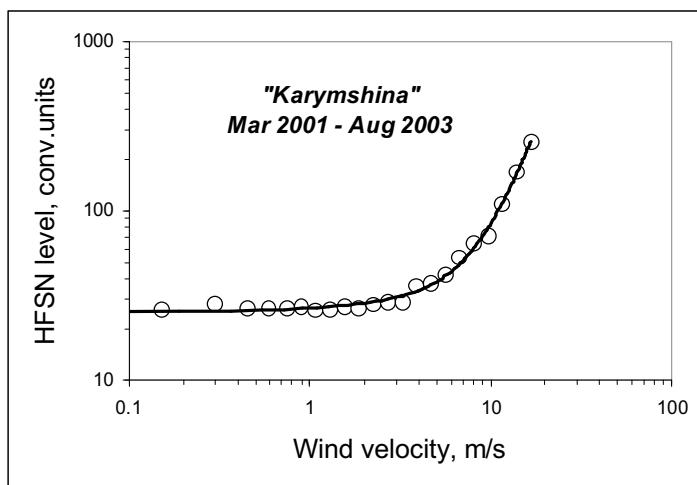
### Отдельные результаты исследования ВСШ

Ниже в кратком виде приводятся отдельные результаты, полученные при исследовании высокочастотных сейсмических шумов в описанных выше точках.

1. Воздействие поверхностных факторов. При обработке данных в структуре ВСШ отмечались компоненты, связанные с ветровым воздействием и человеческой активностью, которые являются помехами при рассмотрении эндогенных шумов [22,24]. Степень их влияния демонстрируется Рис. 4-6.

Ветровое воздействие. На Рис. 4а) в виде точечной диаграммы представлено соотношение между значением огибающей ВСШ и скоростью ветра в течение 10 месяцев (июнь 96 - март 97) на пункте «Эrimo» [22]. Обращает на себя внимание четкая нижняя и размытая верхняя граница облака точек. Можно предположить, что нижняя граница облака обусловлена ветровым воздействием и, соответственно, отражает степень этого воздействия. Предлагается построить систему кривых, которые характеризуют ветровое воздействие. Для этого в скользящем диапазоне скоростей ветра рассчитывается квантиль распределения значений огибающей ВСШ в этом ветровом диапазоне, отвечающий уровню вероятности  $p=0.05$ . Через полученные точки проводится слаженная кривая (Рис. 4б). Из графиков следует, что резкое изменение начинается при скоростях ветра более 2 м/с. Считая, что при скоростях ветра до 1-2 м/с ветровое воздействие не выявляется, можно оценить, какой объем данных искажен в той или иной степени. Из метеонаблюдений в течение 2 лет следует, что 2/3 времени ветер не превышает 2 м/с, то есть 2/3 данных ВСШ не искажены ветровым воздействием.

Расчеты по аналогичной методике для станции «Карымшина» (Рис. 5) выявили воздействие ветра при скоростях более 4 м/с, соответственно более 80% данных ВСШ не включают в себя ветровую компоненту. Для пункта «Начики» зависимость от ветра



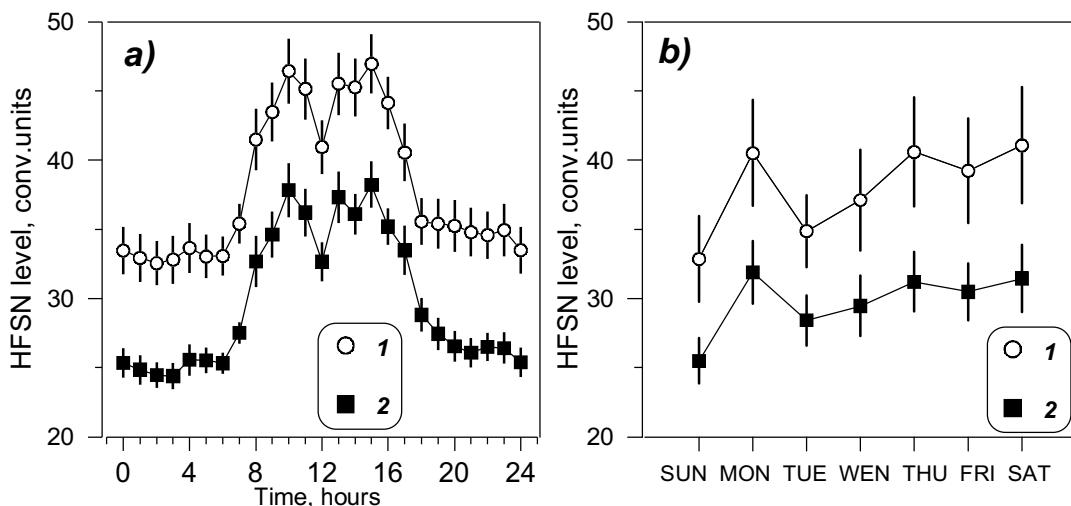
**Рис. 5.** Зависимость уровня ветрового шума от скорости ветра по данным пункта «Карымшина». Значки соответствуют квантилю  $p=0.05$  в распределении ВСШ для данного значения скорости ветра.

**Fig. 5.** Wind noise level versus wind velocity by “Karymshina” data. Circles correspond to quantile ( $p=0.05$ ) in HFSN distribution for given value of wind velocity.

рассчитывалась по другой методике, показавшей существование зависимости во всем диапазоне скоростей ветра [24], что объясняется как практически поверхностным характером регистрации ВСШ, так и особенностями рельефа. Для пункта «Шикотан» данных о ветровом воздействии в настоящее время недостаточно.

**Антропогенный фактор.** Обычно, антропогенное воздействие имеет ярко выраженный суточный ход, а также иногда и недельный. На Рис. 6 представлены средний суточный и средний недельный ход ВСШ, рассчитанный для пункта «Эримо». Форма суточного и недельного хода в общих чертах соответствует ритму человеческой активности: минимум значений ВСШ наблюдается в воскресенье и в ночное время. Такая форма суточного хода совпадает со специально исследованным антропогенным воздействием на пунктах Камчатки, где наблюдения проводятся также в достаточно тихом месте. Исходя из среднего суточного и недельного хода ВСШ, антропогенная компонента ВСШ на пункте «Эримо» оценена как 50%-ая добавка к среднему фоновому уровню ВСШ [22].

**2. Выявление приливной компоненты ВСШ.** Земные приливы, обусловленные лунно-солнечным гравитационным воздействиям, также воздействуют на сейсмические

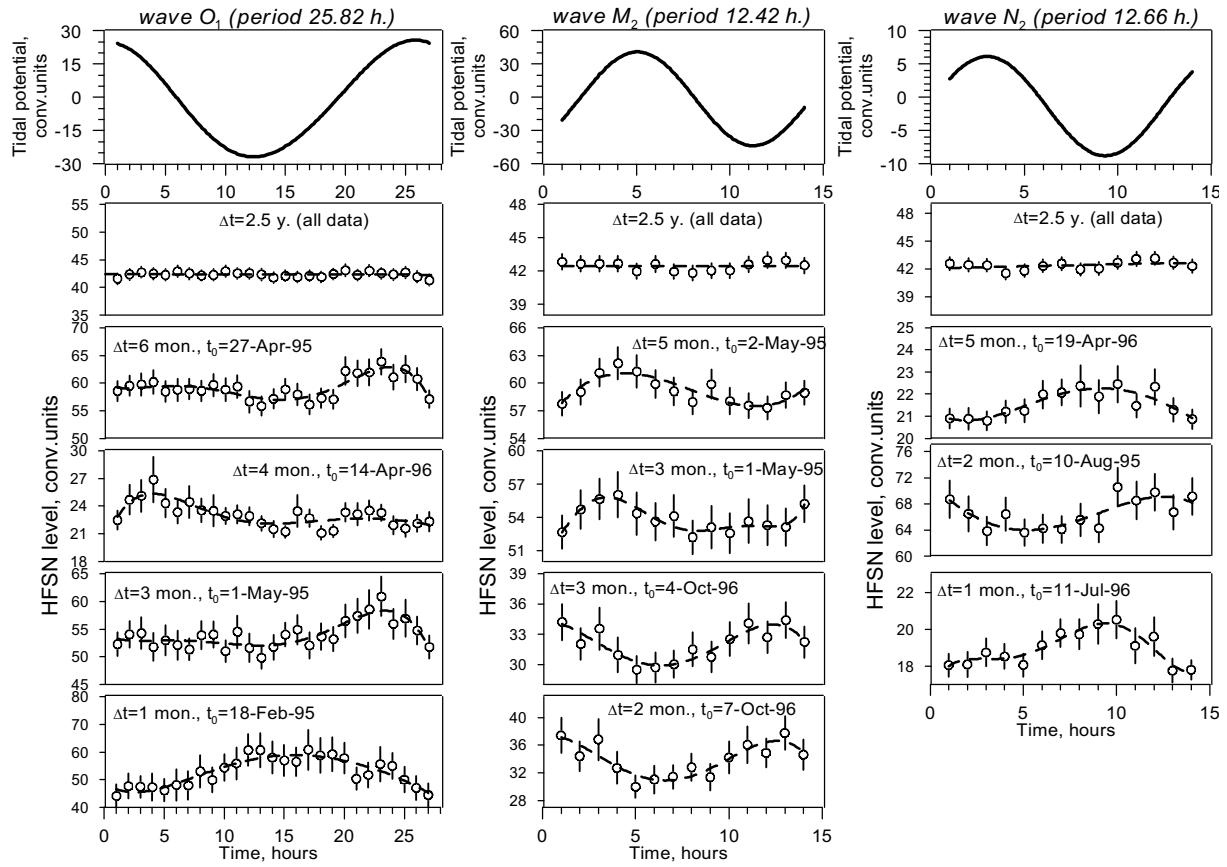


**Рис. 6.** Антропогенное воздействие на ВСШ:

средний суточный (а) (местное время) и недельный (б) ход ВСШ. Представлены два варианта результатов расчета - для оригинальных данных (1) и для очищенных от ветрового воздействия (2) [22].

**Fig 6. Antropogenic effect on the HFSN:**

(a) daily (local time) and (b) weekly average variations in the HFSN. The calculations were performed using initial data with (1) unremoved and (2) removed wind effect [22].

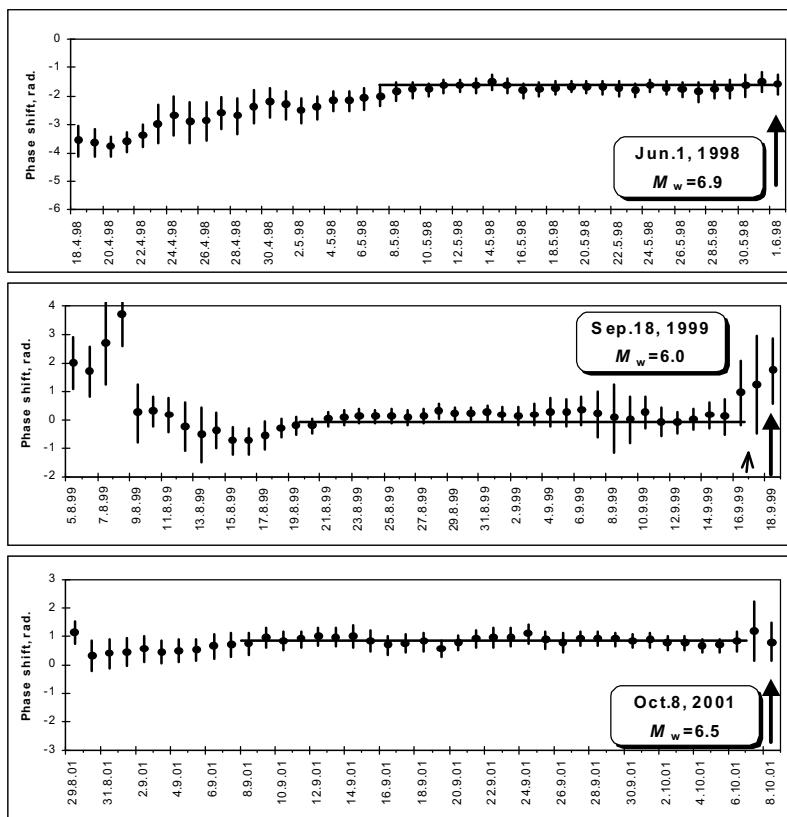


**Рис. 7.** Результаты выделения из огибающей ВСШ периодических компонент с периодами приливных волн  $O_1$  (слева),  $M_2$  (в центре),  $N_2$  (справа). На каждой эпюре указаны длительность и начало используемого временного интервала. Вверху: соответствующая волна приливного потенциала, привязанная по времени, что позволяет судить об изменениях фазового сдвига между приливом и ВСШ.

**Fig. 7.** Periodical components with periods of the tidal waves  $O_1$  (left),  $M_2$  (middle), and  $N_2$  (right) extracted from the HFSN envelope. The beginning and length of the time interval used is shown for each plot. The uppermost plots are the respective waves of the tidal potential synchronized in the onset time to illustrate the HFSN versus tide phase relations.

шумы. Длительное время вопрос о воздействии приливов на ВСШ оставался дискуссионным в основном из-за короткой длительности рядов наблюдений, анализируемых различными авторами. Длительные наблюдения ВСШ на Камчатке позволили выявить статистически значимые приливные эффекты в сейсмическом шуме [24]: были получены значимые отклонения в средних значения ВСШ для различных фаз прилива и были выделены периодические составляющие ВСШ с периодами основных приливных волн. При этом было обнаружено, что отклик на приливное воздействие не носит стабильный во времени характер [20, 23]: участки существования приливной компоненты сменяются участками ее отсутствия, меняются амплитудно-фазовые соотношения «прилив-ВСШ», в то время как сами земные приливы имеют постоянные во времени параметры (амплитуды, периоды и фазы набора приливных волн).

В качестве примера изменчивости приливного отклика ВСШ (Рис. 7) показаны выделенные методом синхронного суммирования (схема Буй-Балло [26]) компоненты ВСШ, соответствующие различным времененным интервалам, по данным пункта «Эримо» [22]. Анализ всего временного ряда позволяет утверждать, что в среднем приливное воздействие отсутствует, так как при синхронном суммировании всего ряда ВСШ с периодом волн  $O_1$ ,  $M_2$  и  $N_2$  периодическая компонента не выявляется. Однако, при меньших временных интервалах (1-6 месяцев) периодические компоненты выявляются статистически значимо. На Рис. 7 приведены наиболее яркие примеры



**Рис. 8.** Вариации фазы компоненты ВСШ, связанной с воздействием приливной волны  $O_1$ , перед сильными камчатскими землетрясениями ( $M \geq 6.0$ ,  $\Delta < 250$  км). Графики построены по данным пункта “Начики” (01.06.1998 и 18.09.1999) и “Карымшина” (8.10.2001). Стрелками отмечены моменты землетрясения.

**Fig. 8.** Time variations of the phase shift between tidal HFSN component and the wave  $O_1$  before large kamchatkan earthquakes ( $M \geq 6.0$ ,  $\Delta < 250$  km). The vertical arrows mark the time of earthquakes. Horizontal line marks segment of the phase stabilization. Plots 01.06.1998 and 18.09.1999 use “Nachiki” data, and 8.10.2001 – “Karymshina” data.

выделенных периодических компонент в различных временных окнах. Следует отметить изменчивость приливного отклика, то есть, во-первых: компоненты с определенными периодами выявляются не всегда; во-вторых: фазовый сдвиг между компонентой ВСШ и компонентой приливного потенциала с тем же периодом меняется для различных участков данных, в-третьих: не удалось обнаружить временной интервал, на котором были бы одновременно выделены все три рассматриваемые приливные компоненты ВСШ. Также следует отметить наибольшую амплитуду отклика на воздействие волны  $O_1$ , хотя в приливном потенциале эта волна слабее полусуточной волны  $M_2$ . Аналогичные результаты были получены и на Камчатке [24] – суточная группа приливных волн вызывала больший отклик ВСШ по сравнению с полусуточными волнами. Но в силу меньшей географической широты на Хоккайдо группа полусуточных волн приливного потенциала проявляется сильнее, чем на Камчатке (из-за различной широтной зависимости полусуточных и суточных волн приливного потенциала [10]), тем не менее, отклик на их воздействие так же слабее отклика на приливную волну  $O_1$ .

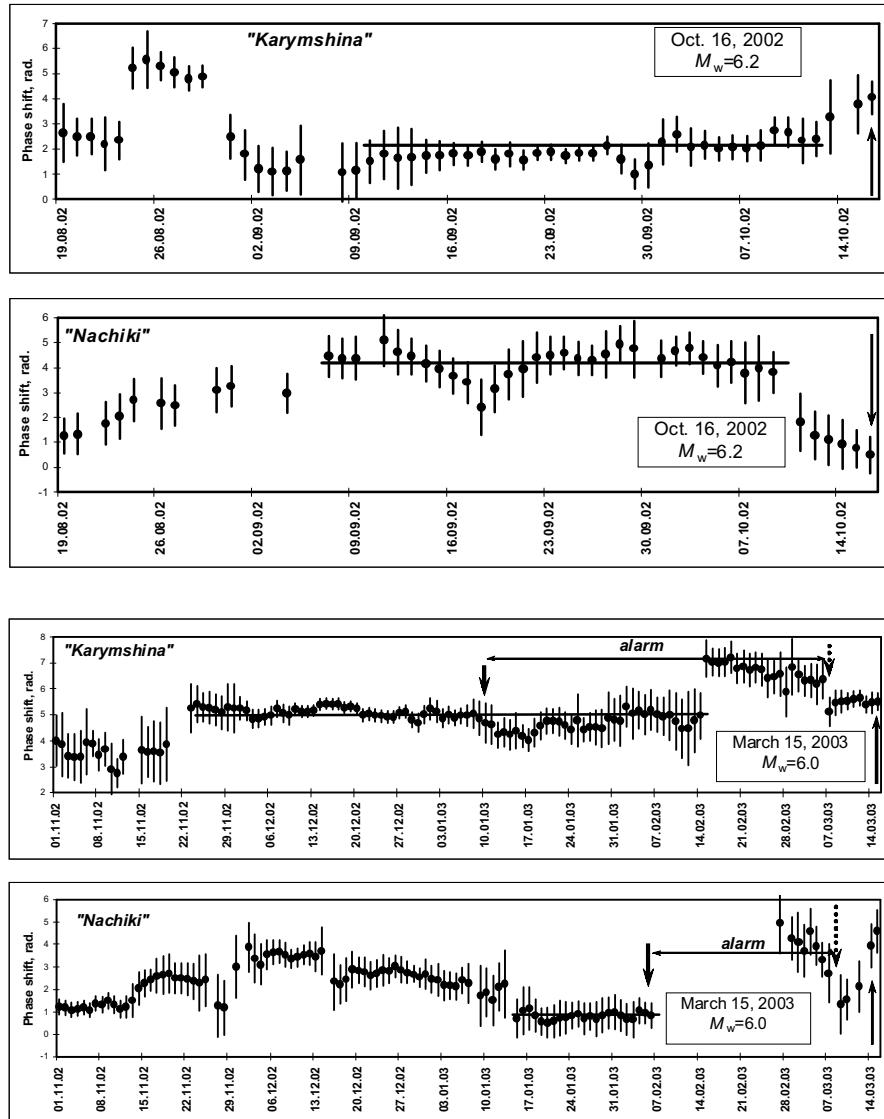
3. Особенности связи ВСШ с приливами перед сильными землетрясениями. В работах [21,23] была выдвинута гипотеза о связи вариаций фазы приливной компоненты ВСШ с тектоническими условиями в регионе. В частности, в течение некоторого времени (обычно один-два месяца) перед сильными (с магнитудой более 6.0) землетрясениями наблюдается стабилизация фазового сдвига между приливной компонентой ВСШ и приливами на определенном уровне, что может использоваться при изучении связи сейсмических шумов с сильными землетрясениями.

А. Примеры стабилизации фазы по данным пункта «Начики» (Рис. 8).

Б. Пример стабилизации фазы перед землетрясениями по данным двух станций ВСШ.

В настоящее время имеются два случая параллельной регистрации ВСШ двумя станциями в период подготовки и реализации сильного землетрясения (Рис. 9). Следует отметить различные значения фазового сдвига на различных точках регистрации.

В. Пример стабилизации фазы компонент ВСШ, связанных с различными приливными волнами. Сильнейшим землетрясением, зарегистрированным в течение 1995-1997 гг.



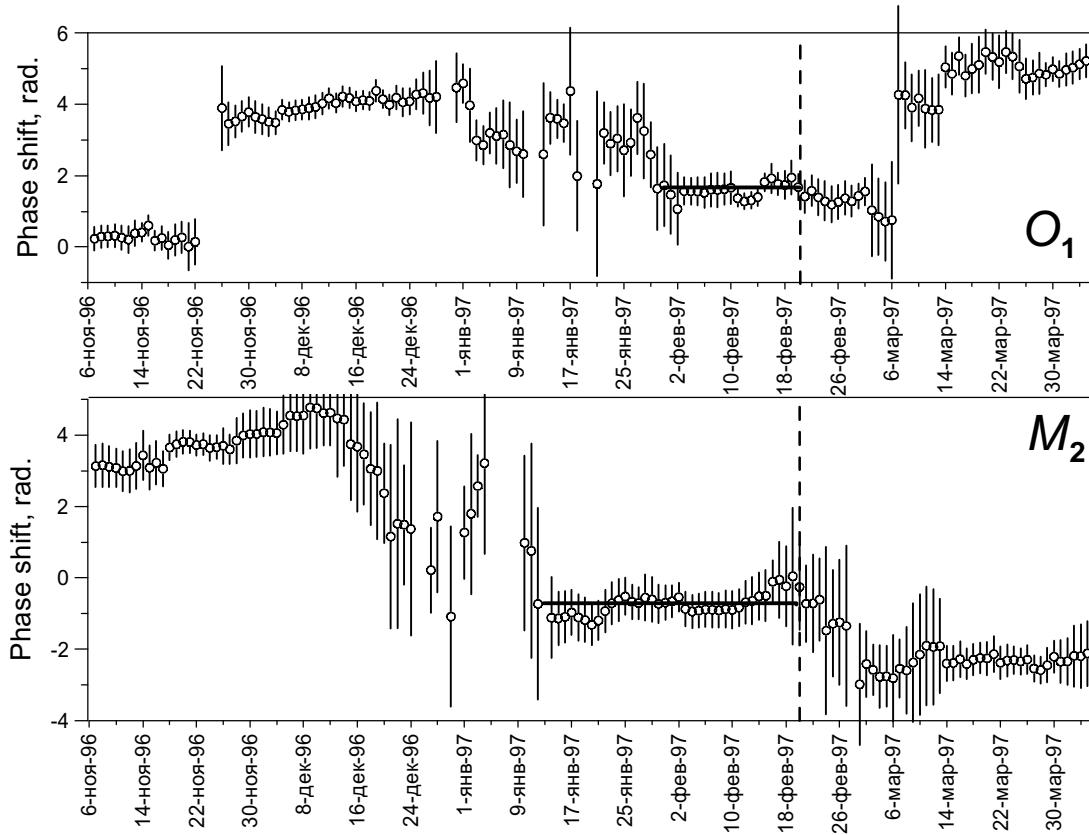
**Рис. 9.** Вариации фазы компоненты ВСШ, связанной с воздействием приливной волны  $O_1$ , перед сильными камчатскими землетрясениями ( $M \geq 6.0$ ,  $\Delta < 250$  км) 16.10.2002 (верхняя пара) и 15.03.2003 (нижняя пара). Графики построены по данным пункта “Начики” и “Карымшина”. Длинными стрелками отмечены моменты землетрясения.

**Fig. 9.** Time variations of the phase shift between tidal HFSN component and the wave  $O_1$  before large kamchatkan earthquakes ( $M \geq 6.0$ ,  $\Delta < 250$  km) 16.10.2002 (top pair) and 15.03.2003 (bottom pair). The vertical arrows mark the time of earthquakes. Horizontal line marks segment of the phase stabilization. Plots use “Nachiki” and – “Karymshina” data.

(рассматриваемый временной интервал в [22]) в районе мыса Эримо, было землетрясение 20 февраля 1997 г. 7:54,  $\phi = 41.86$ ,  $\lambda = 142.74$ ,  $h = 33$  км,  $M_w = 6.0$  (Рис. 3). На Рис. 10 представлены графики фазового сдвига между волной приливного потенциала ( $O_1$  и  $M_2$ ) и соответствующей ей компонентой ВСШ. Из графиков видно, что перед землетрясением в течение нескольких недель наблюдалась стабилизация фазового сдвига. Примечательно, что для двух типов волн наблюдаемые рассогласования фазы имеют противоположные значения.

### Заключение

В течение последних лет были получены данные о ВСШ, не имеющие аналогов в сейсмологической практике. Анализ этих данных выявил ряд особенностей, которые



**Рис. 10.** Временной ход фазового сдвига между приливной компонентой ВСШ и приливной волнами  $O_1$  (вверху) и  $M_2$  (внизу). Вертикальный пунктир отмечает время землетрясения 20 февраля 1997 г. с  $M_w=6.0$ . Горизонтальная сплошная линия отмечает участки стабилизации фазового сдвига.

**Fig. 10.** Time variation in the phase shift between the tidal HFSN component and the waves  $O_1$  and  $M_2$ . The vertical broken line marks the time of the Feb. 20, 1997,  $M_w=6.0$  earthquake. Horizontal line marks segment of the phase stabilization.

свидетельствуют о связи ВСШ с различными геофизическими процессами. Однако исследование шумов по одной станции носит односторонний характер. Развитие наблюдательной сети и последующий комплексный анализ помогут закрыть ряд вопросов, которые появляются при интерпретации данных. В первую очередь это касается предвестникового поведения параметров ВСШ.

На разных этапах работы были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (гранты №№ 93-05-14104, 95-05-15113, 98-05-65443, 01-05-65325, 03-05-79030, в настоящее время - 04-05-65210), Международным научно-техническим центром (проект № 1121), ФЦП «Интеграция» (гос. контракт № Э0334).

#### Список литературы

1. Аксенович Г.И., Нерсесов И.Л., Овсянников А.М., Кветинский С.И. Наблюдения за высокочастотными микросейсмами // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1988. №8. С.106-109.
2. Беляков А.С., Кузнецов В.В., Николаев А.В. Акустическая эмиссия в верхней части земной коры // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1991. №10. С.79-84.
3. Гальперин Е.И., Винник Л.П., Петерсен Н.В. О модуляции высокочастотного сейсмического шума приливными деформациями литосферы // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1987. №12. С.102-109.

4. Гальперин Е.И., Ситников А.В., Кветинский С.И. и др. Опыт и результаты экспериментального изучения высокочастотных сейсмических шумов // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1989. №10. С.99-109.
5. Гордеев Е.И., Чебров В.Н., Викулин А.В., Левина В.И., Синицын В.И., Ящук В.В. Система сейсмологических наблюдений на Камчатке // Кроноцкое землетрясение на Камчатке 5 декабря 1997 года: предвестники, особенности, последствия / Под ред. Гордеева Е.И., Иванова Б.В., Викулина А.В. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. С.12-24.
6. Дьяконов Б.П., Улитин Р.В. Земные приливы и вариации физических характеристик горных пород // Докл. АН СССР. 1982. Том.264. №2. С.322-325.
7. Короновский Н.В., Златопольский А.А., Иванченко Г.Н. Автоматизированное дешифрирование космических снимков с целью структурного анализа // Исследование Земли из космоса. 1986. № 1. С. 111-118.
8. Кропоткин П.Н., Шахварстова К.А. Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса. М.: Наука, 1965. 364 с.
9. Манухин Ю.Ф, Ворожейкина Л.А. Гидрогеология Паратунской системы и условия ее формирования // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Под ред. Сугробова В.М. Владивосток, 1976. С.143-178.
10. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. 482 с.
11. Рыкунов Л.Н., Салтыков В.А., Синицын 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.
12. Рыкунов Л.Н., Смирнов В.Б. Сейсмология микромасштаба // Вулканология и сейсмология. 1992. №3. С. 3-15.
13. Рыкунов Л.Н., Старовойт Ю.О., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Связь штормовых микросейсм с высокочастотными сейсмическими шумами // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1982. №2. С.88-91.
14. Рыкунов Л.Н., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Анализ спектров огибающей высокочастотных микросейсм после Аляскинского и Мексиканского землетрясений в марте 1979 года // Докл. АН СССР . 1980. Том 252. №4. С.836-838.
15. Рыкунов Л.Н., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Аппаратура и методы для исследования слабых сейсмических эффектов // М., 1978. 31 с.- Деп. В ВИНИТИ 28.08.78, №2919-78.
16. Рыкунов Л.Н., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Временные вариации высокочастотных сейсмических шумов // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. 1979. №11. С.72-77.
17. Рыкунов Л.Н., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Лунно-солнечная приливная периодичность в линиях спектров временных вариаций высокочастотных микросейсм // Докл. АН СССР . 1980. Том 252. №3. С.577-579.
18. Рыкунов Л.Н., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Модуляция высокочастотных микросейсм // Докл. АН СССР. 1978. Том.238. №2. С.303-306.
19. Рыкунов Л.Н., Хаврошкін О.Б., Цыплаков В.В. Явление модуляции высокочастотных сейсмических шумов Земли // «Открытия в СССР в 1983 г.» . М. 1984. ВНИИПИ. С.46.
20. Салтыков В.А. Возможные механизмы воздействия земных приливов на высокочастотный сейсмический шум // Вулканология и сейсмология. 1995. №3. С. 81-90.
21. Салтыков В.А. Особенности связи высокочастотного сейсмического шума и лунно-солнечных приливов // Докл. РАН. 1995. Том 340. №3. С.386-388.
22. Салтыков В.А., Касахара М., Гордеев Е.И., Окаяма М., Синицын В.И., Такада М., Чебров В.Н. Составляющие высокочастотного сейсмического шума на мысе Эримо (о. Хоккайдо, Япония) // Физика Земли. 2002. №2. С.83-91.

23. Салтыков В.А., Синицын 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.
24. Салтыков В.А., Синицын В.И., Чебров В.Н. Изучение высокочастотного сейсмического шума по данным режимных наблюдений на Камчатке // Физика Земли. 1997. №3. С.39-47.
25. Салтыков В.А., Синицын 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 / Под ред. Гордеева Е.И., Иванова Б.В., Викулина А.В. Петропавловск-Камчатский: КГАРФ, 1998. С.99-105.
26. Серебренников М.Г., Первозванский А.А. Выявление скрытых периодичностей. М.: Наука, 1965. 244 с.
27. Сережников А.И., Зимин В.М. Геологическое строение Паратунского гидротермального района, влияние отдельных геологических факторов на современную гидротермальную деятельность // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки / Под ред. Сугробова В.М. Владивосток, 1976. С.115-142.
28. Сероглазов Р.Р. Эндогенные свойства короткопериодных микросейсм // Вулканология и сейсмология. 1991. №4. С. 32-43.
29. Diakonov, B.P., Karryev, B.S., Khavroshkin O.B. et al. Manifestation of earth deformation processes by high-frequency seismic noise characteristics. // Phys. Earth and Planet. Inter. 1990. V.63. №3-4. P.151-162.
30. Galperin, E.I., Petersen, N.V., Sitnikov, A.V., Vinnik, L.P. On the properties of short-period seismic noise. // Phys. Earth and Planet. Inter. 1990. V.63. №3-4. P.151-162.
31. Gordeev, Ye.I., Saltykov, V.A., Synitsyn, V.I, Chebrov, V.N. Relationship between heating of the ground surface and high-frequency seismic noise. // Phys. Earth and Planet. Inter. 1992. V.71. №3-4. P.1-5.
32. <http://www.rlda.ru>