

**МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ДОЛГОВРЕМЕННОЙ РЕГИСТРАЦИИ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ШУМОВ НА СТАНЦИИ «НАЧИКИ» (КАМЧАТКА)***Синицын В.И., Волович О.Г., Кугаенко Ю.А., Салтыков В.А.**Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, salt@emsd.ru***Введение**

Детальные исследования сейсмической эмиссии требуют специально спланированных долговременных наблюдений в районах с низким уровнем индустриальной активности. В 1987 г. были начаты работы по организации регистрации высокочастотных сейсмических шумов (ВСШ) на Камчатке [2, 3]. Первый пункт наблюдений был создан в центральной части Камчатки, на юге Ганальского хребта. Резонансный пьезодинамический сейсмометр помещен на сейсмпостамент на коренных породах в термостатированном обвалованном бункере на склоне крупного интрузивного массива диоритов миоценового возраста. В соответствии с наименованием ближайшего населенного пункта эта станция регистрации ВСШ получила название «Начики». Какое-либо промышленное производство в этом районе отсутствует, инфраструктура не оказывает заметного влияния на регистрируемое поле микросейсмического излучения. Это дает возможность регистрации сейсмических шумов естественного происхождения. С 1992 г. станция «Начики» переведена из опытной эксплуатации в состояние непрерывной режимной регистрации, а в 1995 г. – с аналоговой на цифровую запись огибающей ВСШ. В январе 2007 г. имеющийся ряд непрерывных данных этой станции превысил 15 лет. С мая 2007 г. комплекс регистрации переведен на современные технические средства, позволяющие вести запись оригинальной волновой формы сигнала.

Из истории организации станции «Начики»

Высокочувствительный сейсмометр, использующийся для регистрации огибающей ВСШ на станции «Начики», был разработан в 80-х годах специально для регистрации слабых высокочастотных сейсмических сигналов [1]. Широко использовавшийся в то время стандартный СМ-3 не позволял достичь достаточной чувствительности для надежной регистрации сейсмического шума в диапазоне частот 10-100 Гц. Это привело к созданию высокодобротных сейсмометров резонансного типа с коэффициентом преобразования $(2-7) \times 10^6$ В/м и диапазоном рабочих частот 15-40 Гц, являющихся по сути датчиками интенсивности спектральных компонент шума. В качестве электромеханического преобразователя используется пьезокерамический элемент. Высокая добротность ($Q \sim 100$) позволяет добиться необходимой чувствительности и одновременно обеспечивает частотную фильтрацию сигнала. Это обосновывает возможность регистрации не волновых форм ВСШ, а лишь его огибающей, что было актуально при организации долговременных наблюдений в условиях технических возможностей 80-х годов. Апробация этого датчика проводилась летом 1987 г. на Камчатке, в районе вулкана Ключевская сопка [4]. Была отработана процедура импульсной калибровки датчика. Работа сейсмометра в полевых условиях показала его надежность и удобство использования.

На первом этапе регистрации (1987-1995 гг.) запись огибающей ВСШ имела аналоговый характер и осуществлялась на магнитную ленту. В качестве записывающего устройства использовался регистратор автономной сейсмической станции [7], разработанный в Камчатской опытно-методической сейсмологической партии. Оцифровка и последующая обработка сигнала велись в лабораторных условиях с помощью автоматизированной системы воспроизведения и первичной обработки сейсмических сигналов с аналоговых магнитных лент [6].

В начале 90-х годов был разработан, создан и введен в эксплуатацию цифровой регистратор «Крот» на основе микропроцессора [5], который позволил перевести станцию «Начики» с аналоговой на цифровую регистрацию, что и было осуществлено летом 1995 г. В процессе эксплуатации это устройство показало свою высокую надежность. С 1995 по 2006 г. цифровой регистратор «Крот» использовался на станции «Начики» в качестве основного записывающего устройства. Перевод станции на цифровую запись позволил значительно улучшить качество данных и получаемых результатов. Еженедельно вручную проводилась импульсная калибровка. Привязка ко времени осуществлялась с помощью кварцевого генератора «Сонет», требующего корректировку не чаще 1 раза в год. Подробнее технические детали организации наблюдений ВСШ на Камчатке отражены в работах [2, 3].

Перевод станции «Начики» на запись волновой формы сигнала

С октября 2006 г. по май 2007 г. одновременно с регистратором "Крот" велась оцифровка и запись исходного сигнала ВСШ с использованием современного 24-разрядного регистратора GSR-24 (GeoSig Ltd., Швейцария) с энергонезависимой Flash-памятью на 2 Гб и привязкой ко времени UTC с помощью антенны GPS. В мае 2007 г. осуществлен переход на регистрацию волновой формы сигнала на основе использования GSR-24. В таблице 1 обобщены данные о регистрации ВСШ на станции «Начики» на различных этапах ее работы.

Таблица 1. Характеристики регистраторов, использовавшихся на станции ВСШ «Начики».

	1987-1995 г.	1996-2007 г.	Новый комплекс 2006 - 2007 г.
Регистратор	Автономная сейсмическая станция АСС [7]	Микропроцессорный комплекс "Крот" [5]	Цифровой регистратор GSR-24
Носитель информации	Магнитная лента	Сменная кассета, электронный диск	Flash-карта
Разрядность АЦП	7+знак	9+знак	23+знак
Динамический диапазон, дБ	40	60	120
Тип данных	Аналоговая запись огибающей сигнала	Цифровая запись. Минутное осреднение огибающей сигнала	Цифровая запись. Исходная волновая форма
Дискретизация данных	1/64 с	0.25 с (1 мин. на выходе микропроцессора)	0.01 с
Срок автономности	1 неделя	1 неделя – кассета 2 месяца – электронный диск	12 недель

Важным элементом модернизации комплекса регистрации является разработка программного обеспечения, позволяющего использовать возможности, появившиеся при регистрации сигнала в волновой форме. Первичная обработка сигнала включает:

- определение и удаление длиннопериодного тренда (расчет медиан в скользящем окне и их интерполяция сплайнами);
- расчет огибающей с помощью преобразования Гильберта;
- расчет набора почасовых значений огибающей с контролем пропущенных значений;
- удаление выбросов.

Сравнение записей на идентичность

По данным одновременной регистрации ВСШ накопителями GSR-24 и КРОТ была проведена проверка материала на идентичность записей. Сравнивались значения огибающей сигнала, получаемые непосредственно на регистраторе КРОТ, и рассчитанные после удаления длиннопериодного тренда значения огибающей оригинального сигнала с GSR-24. Пример одновременной записи приведен на рис. 1.

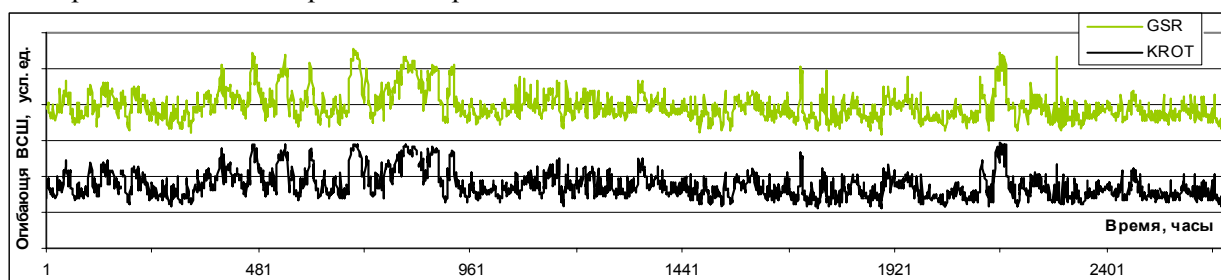


Рис. 1. Пример участка одновременной записи огибающей ВСШ регистраторами GSR-24 и КРОТ с 9 октября 2006 г. по 29 января 2007. Часовые осреднения.

Зависимость между значениями ВСШ по данным регистраторов GSR-24 и КРОТ (рис.2) нелинейна, поэтому оценка корреляции между этими процессами обычным способом невозможна.

Нелинейность обусловлена различием динамических диапазонов регистраторов и, соответственно, вкладом обрезанного сигнала в осредненные значения. В этой ситуации целесообразно перейти к оценке ранговой корреляции. Зависимость между рангами значений ВСШ по данным регистраторов GSR-24 и КРОТ представлена на рис.3. Расчеты показывают, что коэффициент ранговой корреляции составляет 0.87 ± 0.03 , что говорит о хорошей преемственности в получаемых данных при переходе на новые технические средства.

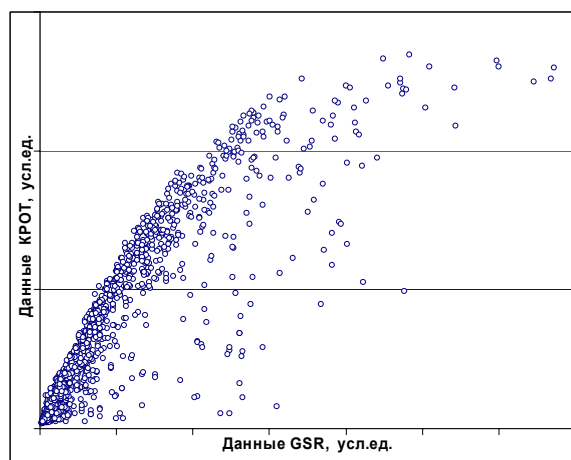


Рис. 2. Зависимость между значениями ВСШ по данным регистраторов GSR-24 и КРОТ.

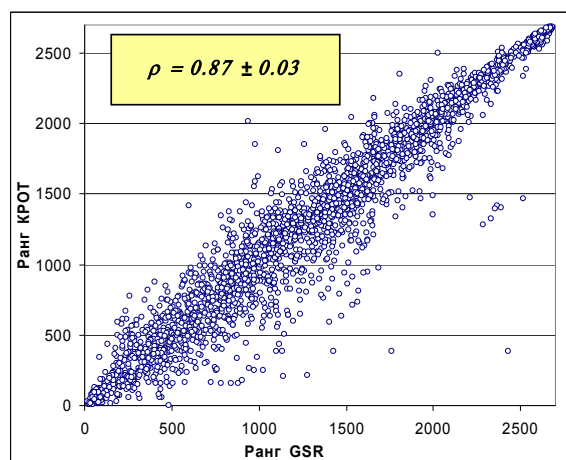


Рис. 3. Зависимость между рангами значений ВСШ по данным регистраторов GSR-24 и КРОТ.

Идентичность в получаемых результатах проиллюстрирована на примере выявления предвестниковых ситуаций перед сильными локальными землетрясениями, которые произошли во время одновременной регистрации (рис. 4, 5). Прогностический параметр $\Delta\varphi$ – сдвиг фаз между волной O_1 ($T=25.82$ час.) приливного гравитационного потенциала и ВСШ-компонентой с соответствующим периодом [2]. Синхронизация ВСШ с внешним приливным воздействием, проявляющаяся в виде стабилизации $\Delta\varphi$, рассматривается как прогностический признак.

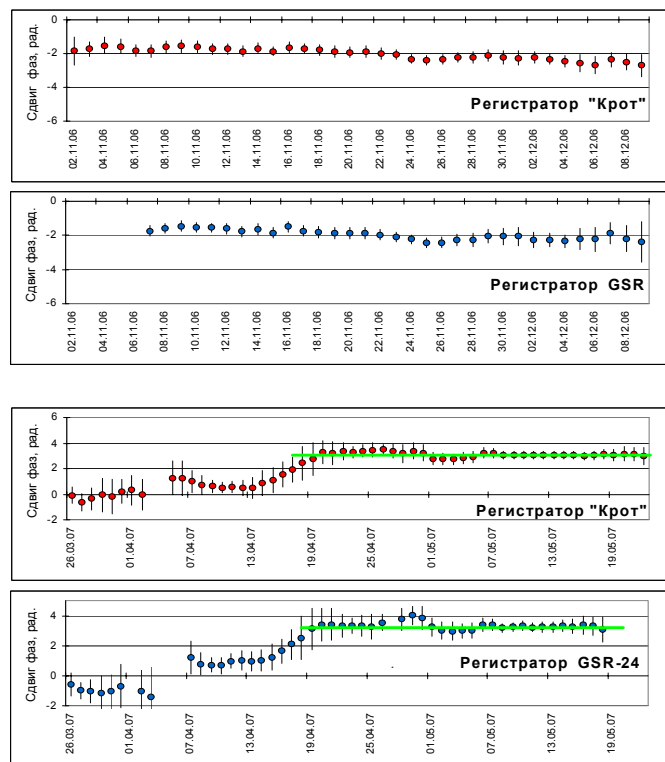


Рис. 4. Временной ход фазового сдвига $\Delta\varphi$ приливных компонент для волны O_1 перед землетрясениям 09 декабря 2006 г. ($M_s=5.6$) по данным станции «Начики». Представлены результаты, выявленные на регистраторах GSR-24 и КРОТ. Стабилизации $\Delta\varphi$ наблюдается на значении -2.

Рис. 5. Временной ход фазового сдвига $\Delta\varphi$ приливных компонент для волны O_1 перед землетрясениям 30 мая 2007 г. ($M_w=6.4$) по данным станции «Начики». Представлены результаты, выявленные на регистраторах GSR-24 и КРОТ. Участок стабилизации выделен горизонтальной линией. Значения стабилизации $\Delta\varphi$ совпадают между собой.

Новые возможности – новые задачи

Перевод станции на регистрацию оригинальных сигналов (волновых форм) с высокой дискретизацией значительно расширяет возможности исследования ВСШ. Улучшается

метрологический контроль за работой аппаратуры. Становится возможным расчет параметров ВСШ различными способами, например, при рассмотрении импульсов ВСШ.

Начато решение ряда новых задач:

- роль локальных землетрясений как помехи при исследовании ВСШ;
- определение глубины приливной модуляции;
- рассмотрение не только осредненных параметров огибающей, но и конкретных микрособытий в потоке ВСШ;
- поиск новых предвестниковых параметров перед сильными землетрясениями;
- выяснение природы приливной модуляции и связи ВСШ с подготовкой сильных землетрясений.

Учет метеопараметров

Ведутся работы по включению в состав комплекса «Начики» аппаратуры для автоматического измерения метеопараметров. Приобретен и находится в опытной эксплуатации многофункциональный метеорологический комплекс высокой точности Vantage Pro2. Измеряемые величины: температура воздуха, относительная влажность воздуха, температура почвы или воды, атмосферное давление, скорость и направление ветра, температура охлаждения ветром, количество и интенсивность осадков, уровень солнечного и ультрафиолетового излучения, температура точки росы. Расширенные возможности метеоконкомплекса: накопление и передача данных на РС; графическое отображение информации.

В начале 90-х годов было показано, что уровень ВСШ в значительной степени определяется ветровым воздействием. Предполагается использовать детальные цифровые метеоданные для исследования влияния погодных факторов на сейсмический шум на новом качественном уровне.

Заключение

Станция "Начики" является старейшей в системе регистрации ВСШ. На ней в течение долгого времени отработывалась методика и все технические решения производства наблюдений. Проведенная в 2006-2007 гг. модернизация комплекса включает:

- введение в эксплуатацию цифрового 24-разрядного регистратора GSR;
- перевод станции с регистрации огибающей ВСШ на запись волновой формы сигнала;
- разработку программного обеспечения, позволяющего улучшить точность расчетов и реализовать новые возможности.
- ввод в состав комплекса многофункциональной цифровой метеостанции.

Значительно возросли объем и качество получаемой информации за счет увеличения дискретности записи и расширения динамического диапазона регистрации. Продемонстрирована идентичность записей и результатов работы с прогностическим параметром. Переход на регистрацию волновых форм позволяет расширить круг рассматриваемых задач.

На разных этапах исследования ВСШ на Камчатке были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований, в настоящее время – грант 07-05-00225.

Список литературы

1. 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.
2. Салтыков В.А., Кугаенко Ю.А., Сеницын В.И., Чебров В.Н. 20 лет исследованию сейсмических шумов на Камчатке: от экспериментальных наблюдений к прогнозу землетрясений и моделированию // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. №1. Выпуск 9. С.37-50.
3. 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.
4. Смирнов В.Б., Черепанцев А.С., Сергеев В.В. Аппаратурно-методические аспекты регистрации высокочастотного сейсмического шума // Вулканология и сейсмология. 1990. №2. С. 88-100.
5. Чебров В.Н., Воропаева Н.П., Сеницын В.И., Салтыков В.А. Универсальный микроконтроллер для геофизических исследований // Сейсмические приборы. Вып.28. М.: ОИФЗ РАН. 1997. С. 26-30.
6. Чебров В.Н., Попов В.И., Воропаева Н.П., Попов Е.В., Сеницын В.И., Салтыков В.А. Автоматизированная система первичной обработки сигналов с аналоговых магнитных лент // Автоматизация, метрология и новые разработки в сейсмометрии. Сейсмические приборы. Вып. 22. М.: Наука, 1991. С. 15-22.
7. Чебров В.Н., Сеницын В.И., Попов Е.В., Мельников Ю.Ю., Сергеев В.В., Федоров Е.С. Аппаратура для временных локальных сетей сейсмометрических станций // Вулканология и сейсмология. 1987. №1. С. 91-97.