

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В АРКТИКЕ

¹Данилов Алексей Викторович, аспирант

^{1,2}Конечная Яна Викторовна, м.н.с., инженер-исследователь

¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск

²Геофизическая служба РАН, г. Архангельск

e-mail: danilov.aleksey.vikt@gmail.com

научный руководитель: д.ф.-м.н. Капустян Наталия Константиновна

научный консультант: к.т.н. Антоновская Галина Николаевна

С 2002 г. на территории Архангельской области на базе ИЭПС УрО РАН при содействии ГС РАН запущена Архангельская сейсмическая сеть (АСС). В настоящее время в состав АСС входит 9 пунктов сейсмических наблюдений, которые укомплектованы как аппаратурой отечественного производства (датчики СМЗ-ОС и СМЗ-КВ и регистраторы SDAS), так и зарубежного. В сейсмических пунктах, расположенных на арктических территориях, установлена аппаратура фирм Guralp Systems Ltd (датчики и регистраторы) и GeoSIG Ltd (регистраторы), отличающаяся от отечественных аналогов удобством работы с ней [1]. В процессе мониторинга выявились различия в качестве регистрации событий разными типами аппаратуры, что привело к вопросу применимости имеющихся на российском рынке типов импортного оборудования для установки в суровых условиях Арктики.

Используемые типы сейсмической аппаратуры и основные ее технические характеристики приведены в таблице 1. Как видно из таблицы 1, самая высокая чувствительность у СМГ-3ЕСРС, что должно позволять ему регистрировать более слабые события, по сравнению с двумя другими датчиками. По диапазону регистрируемых частот широкополосные датчики СМГ-6ТД и СМГ-3ЕСРС регистрируют события с более низкой частотой, *a priori* используемые для качественной регистрации телесеismicких событий. Согласно таблице 1, датчик СМГ-6ТД имеет наибольший уровень шума. Известно, что чем ниже уровень шума электроники, тем лучше регистрируется «полезный» сигнал. Динамический диапазон встроенного регистратора датчика СМГ-6ТД – 132 дБ при 20 отсч/с, тогда как регистратор GSR-24, с которым используются аналоговые датчики, имеет такой же динамический диапазон при 50 отсч/с [2]. Как известно, с повышением частоты отсчетов значение динамического диапазона снижается.

Таблица 1

Технические характеристики датчиков [3]

Наименование показателя	Модель сейсмического датчика		
	СМГ-6ТД (цифровой)	СМГ-3ЕСРС (аналоговый)	СМГ-40Т (аналоговый)
Чувствительность, В/м/с	2 x 1200	2 x 10000	2 x 1600
Диапазон регистрируемых частот, Гц	0.033–100	0.008–50	1–100
Уровень шума электроники, дБ	-147	-172	-172
Динамический диапазон, дБ	132 при 20 отсч/с	>140	>145

Сравним спектры мощности анализируемых датчиков с использованием программы MicroNoise, разработанной в ГИ УрО РАН, г. Пермь [4]. Замеры микросейсмического фона проводились на заглубленном постаменте пункта сейсмических наблюдений «Андозеро», характеризующемся низким уровнем техногенных помех. Длительность измерений составляла от 12 ч до нескольких суток. Согласно рисунку 1, минимальным уровнем микросейсмического фона обладает датчик СМГ-40Т-1. Спектр мощности микросейсмического фона СМГ-6ТД выше СМГ-40Т-1 почти на порядок, СМГ-3ЕСРС – в 2 раза (преимущественно в области частот 1.5–4 Гц), что, скорее всего, связано с высокой чувствительностью этих датчиков и широким диапазоном регистрации.

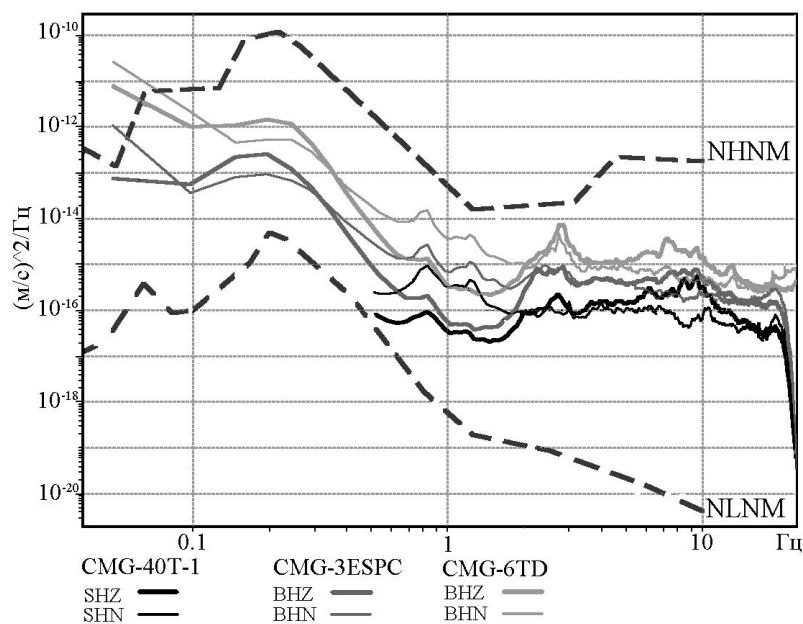


Рис. 1. Спектры мощности микросейсмического фона для трех типов датчиков в сравнение с модельными кривыми Петерсона [5]

Кроме того, немаловажным фактором является устойчивость аппаратуры к перепадам температур и прочим внешним условиям. Структура бункера арктической сейсмической станции не предполагает сильного заглубления постаментов, что связано со сложностью и трудоемкостью работ. Как правило, глубина ямы составляет от 50 до 70 см. В заданных условиях сложно добиться стабилизации чувствительных датчиков. Для сравнения: на постаменте, заглубленном на 2 м, стабилизация компонент CMG-3ESPC проходила более 7 ч, тогда как для стабилизации CMG-40T-1 достаточно не более 1 ч. Все эти факторы определяют преимущество датчиков CMG-40T-1 и CMG-6TD для установки в условиях Крайнего Севера.

Сейсмический пункт «Земля Франца-Иосифа» функционирует с сентября 2011 г. и включает в себя три датчика: два CMG-6TD (ZFI и ZFI3) и датчик CMG-40T-1 (ZFI2). На рис. 2а представлен спектр мощности микросейсмического фона (за сутки), где хорошо видно, что для обоих датчиков CMG-6TD он превышает уровень CMG-40T-1 на порядок (до 2 Гц) и на 2 порядка (выше 2 Гц), что, помимо технических особенностей аппаратуры, вероятно связано и с малым заглублением постаментов (большим влиянием высокочастотных микросейсм). Данный факт негативно отражается на регистрационных возможностях CMG-6TD. В частности, ZFI3 регистрирует лишь 25% региональных землетрясений от количества регистрируемых ZFI2. Представительный уровень магнитуды для датчика CMG-6TD, установленного на ZFI3, составляет 3.2. Для CMG-40T-1 (ZFI2) $M_{L\text{пред}}=2.8$. На рисунке 2б приведен пример записи регионального землетрясения с $M_L=2.8$. Вступления объемных волн на записях ZFI выделяются слабо, амплитуда сигнала практически равна фоновому уровню. При рутинном просмотре волновых форм такое событие, скорее всего, будет пропущено интерпретатором. Причем использование подходящих фильтров (3-6 и 4-8 Гц) не помогает выделить фазы. Обратная ситуация наблюдается на ZFI2 – вступления P- и S-волн региональных землетрясений (рис. 2б) выделяются уверенно, данные можно включить в сводную обработку землетрясения.

Таким образом, высокое значение шума электроники и низкое значение динамического диапазона делают CMG-6TD менее пригодным для получения качественных записей слабых региональных сейсмических событий в сравнении с двумя другими датчиками. Тем не менее, записи сильных телесейсмических землетрясений, полученные этими датчиками, были использованы для построения скоростной модели и регионального годографа NOES. Были выделены не только четкие первые вступления, но и вторичные фазы. На датчике CMG-40T-

1 для телесеismicических землетрясений можно выделить только первое вступление, в силу того, что датчик является короткопериодным.

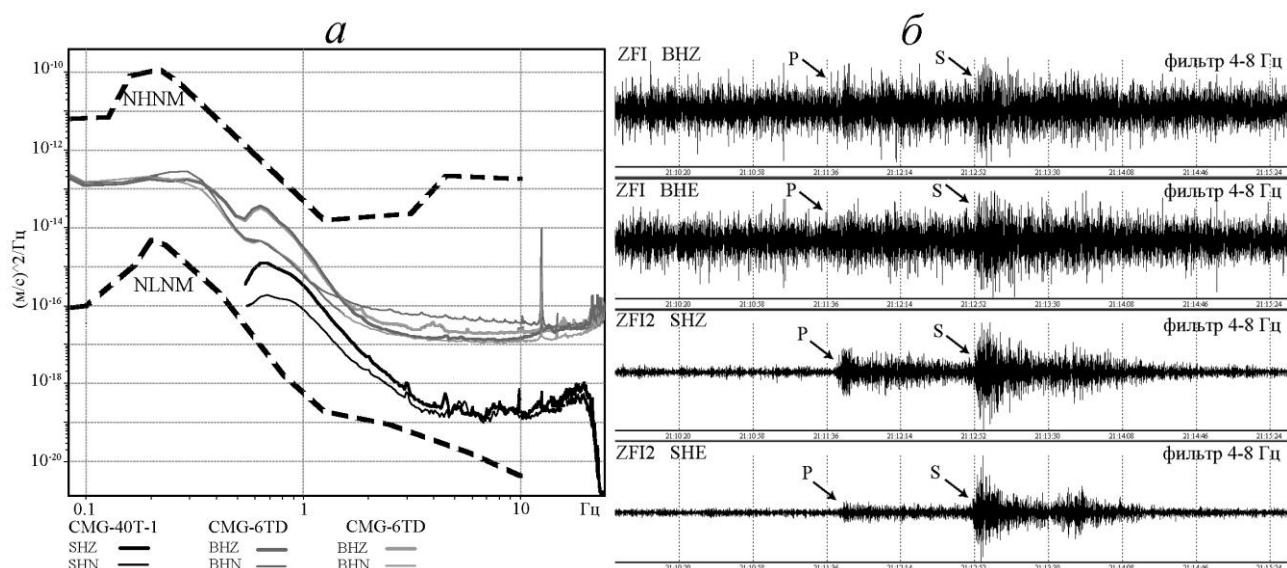


Рис. 2. Спектры мощности микросейсмического фона и пример записи землетрясения на с/с «Земля Франца-Иосифа»

а – спектр мощности микросейсмического фона для датчиков CMG-40T-1 и CMG-6TD, *б* – волновые формы регионального землетрясения, зарегистрированного с/с ZFI и ZFI2 06.05.2015 г. с $ML=2.8$

В сентябре 2015 г. на о. Земля Александры в 3.2 км от пункта сейсмических наблюдений «Земля Франца-Иосифа» был установлен еще один комплект оборудования с датчиком CMG-3T модификации «Polar», предназначенный для работы при температурах до $-55^{\circ}C$. В настоящее время идет накопление данных, выводы о качестве регистрации сейсмических событий этим датчиком можно будет сделать позже.

Опыт использования представленных выше датчиков показывает, что в арктических условиях в принципе может использоваться всё вышеупомянутое оборудование. Однако, в первую очередь необходимо исходить из поставленных задач. Датчик CMG-40T-1 с регистратором GSR-24 представляется надежным инструментом для регистрации региональных сейсмических событий, а значит и для проведения регионального сейсмического мониторинга. Датчик CMG-6TD больше подходит для телесеismicического мониторинга, нежели регионального. Кроме того, он является незаменимым инструментом для полевых исследований и проведения рекогносцировочных работ, в силу своего малого веса, удобства настройки встроенного регистратора и оперативности подключения.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ 14-05-98801.

Литература

1. Данилов А.В., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В. Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России // Сейсмические приборы. 2013. Т.49, № 3. С. 5–24.
2. ВУЛКАН URL: <http://www.vulcan-seismicsystems.com/> (дата обращения 12.02.2016)
3. Guralp Systems URL: <http://www.guralp.com/> (дата обращения 12.02.2016)
4. Дягилев Р.А. Пакет прикладных программ для узких задач сейсмического мониторинга. Спектральный анализ сейсмических шумов [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mi-perm.ru/solution/nr?show_id=29. Пермь: ГИ УрО РАН, 2012.
5. Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Geological Survey. Open-File report 93-322. – 1993. – 95 p.