



# Аппаратурное обеспечение сейсмических измерений

Вулкан, Обнинск  
Любовь Захарченко

Проблемы комплексного геофизического мониторинга  
Дальнего Востока России  
29 сентября – 5 октября 2013 г.  
г. Петропавловск-Камчатский

# Что измеряет сейсмическая аппаратура?



Сейсмическая аппаратура

не измеряют землетрясения!!!

Сейсмическая аппаратура

регистрируют колебания (земли или структуры)

# Что определяет сейсмический датчик?

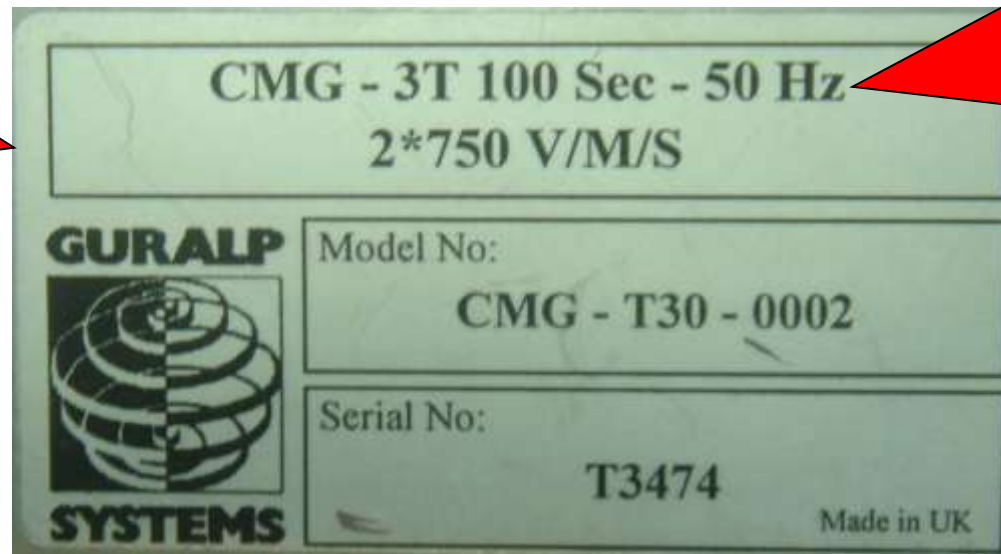


Полоса пропускания/ Bandwidth

Динамический диапазон/Dynamic Range

Чувствительность/Sensitivity

Внутренний уровень шума/Intrinsic Noise Level



# Полоса пропускания/ Bandwidth



Полоса пропускания аппаратуры станции - диапазон частот движений, которые точно отображаются зарегистрированными цифровыми данными.

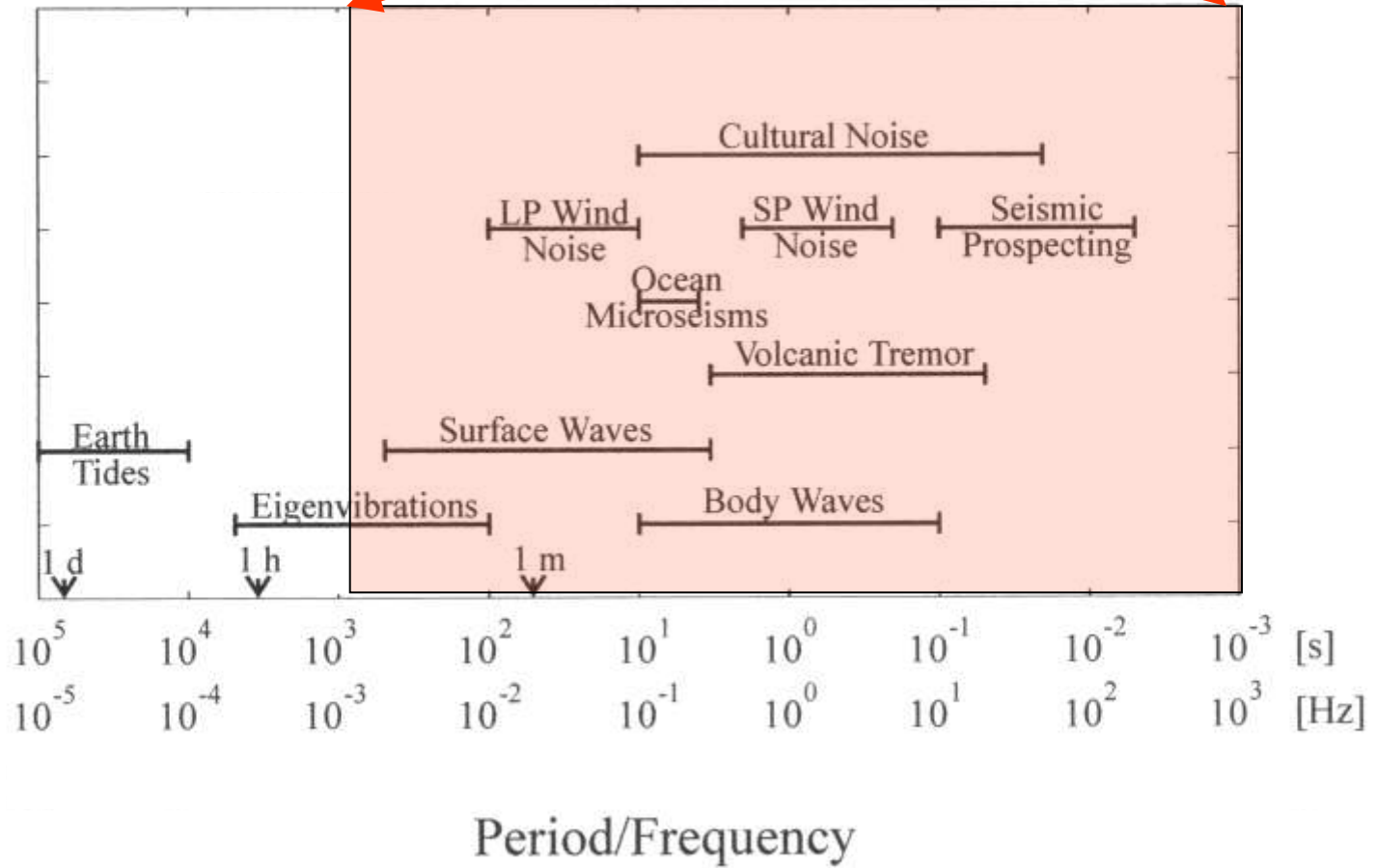
Полная полоса пропускания станции определяется датчиком, кабельным соединением, полосой пропускания цифрового преобразователя при любых изменениях окружающей среды на станции, скорости передачи данных по каналу связи.

Ширину полосы пропускания выражают в Гц (или Секундах), неравномерность характеристики в пределах полосы пропускания - в относительных единицах, обычно в дБ.

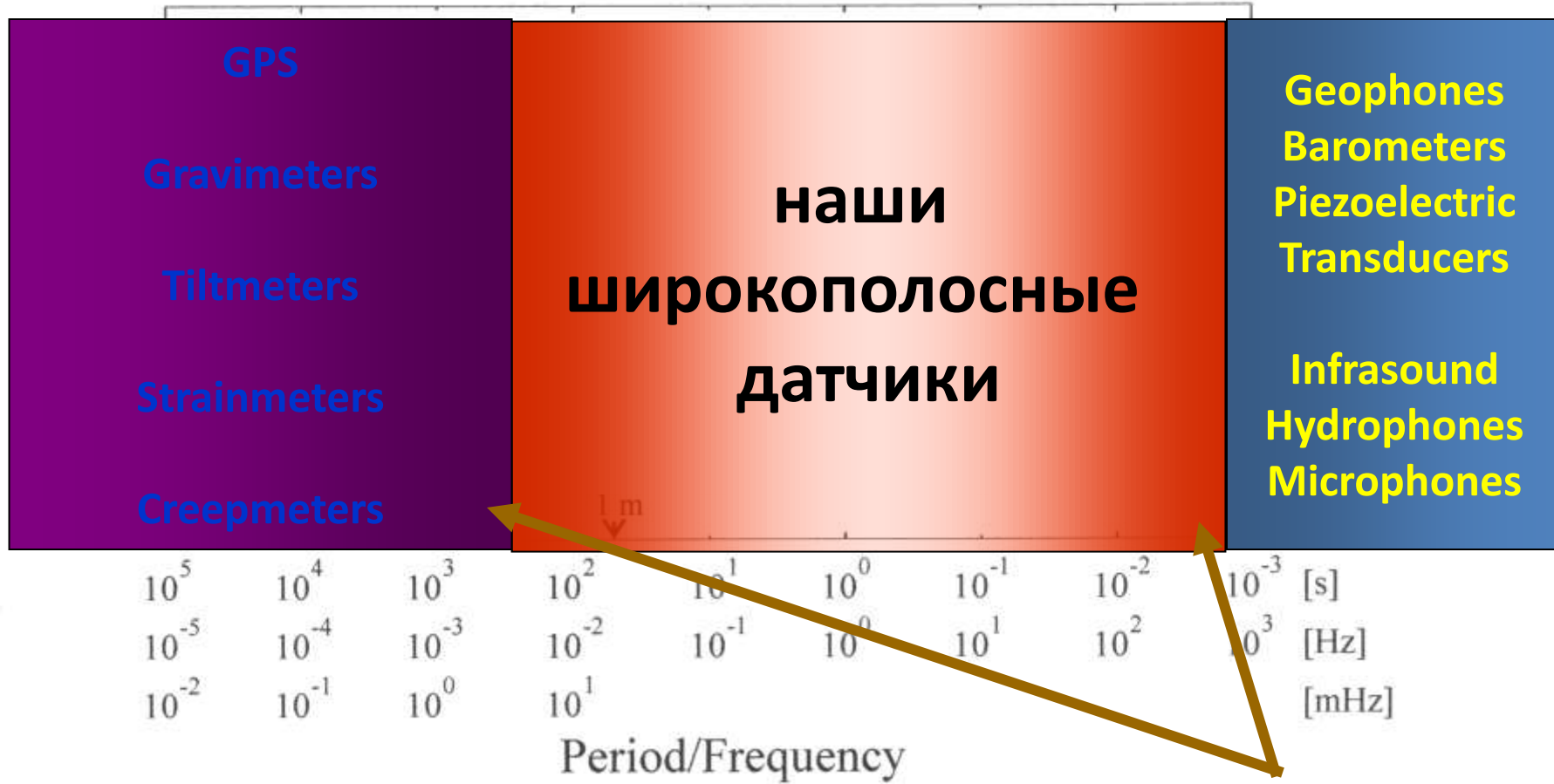
*Пример: 30 сек- 100 Гц*

# Диапазон сейсмических частот: 1000 сек – 1000 Гц

Spectrum of Earth Vibrations



# Полоса пропускания и датчики



Limits are very flexible

## Динамический Диапазон/Dynamic Range



**Динамический диапазон** является диапазоном амплитуд, которые могут и должны быть точно измерены, ограничен снизу шумом канала регистрации, особенностями места установки или разрешением цифрового преобразования, а сверху уровнем ограничения датчика или цифрового преобразователя.

Единицы измерения: дБ (dB)



## Definition:

The *Dynamic Range*  $R_D$  of a digitization process is the ratio between the highest and the lowest resolvable amplitudes  $A_{max}$  and  $A_{min}$ ,

$$R_D = A_{max} / A_{min}$$

$R_D$  is usually given in *decibel* (dB), such that if

$$\log_{10} (A_{max} / A_{min}) = 1, \text{ then } R_D = 20 \text{ dB.}$$

Examples: -  $A_{max} = 100 A_{min}$   
 $\implies \log_{10} R_D = 2, \text{ or } R_D = 40 \text{ dB}$

-  $A_{max} = 5000 A_{min}$   
 $\implies \log_{10} R_D = 3.7, \text{ or } R_D = 74 \text{ dB}$

or in bits: for 8 bits  $A_{max} / A_{min} = 256 \implies 48 \text{ dB}$   
for 12 bits  $A_{max} / A_{min} = 4096 \implies 72 \text{ dB}$   
for 16 bits  $A_{max} / A_{min} = 65536 \implies 96 \text{ dB}$   
for 24 bits .....  $\implies 144 \text{ dB}$

## Динамический Диапазон/ Dynamic Range





## Чувствительность/Sensitivity



**Чувствительность** определяет выходное напряжение датчика в ответ на сотрясение известной скорости/ускорения.

*Единицы измерения: V/(M/C), G*

Примеры:

STS-2: 1500 V/(m/s)

CMG-3T: variable 400 – 10,000 V/(m/s)

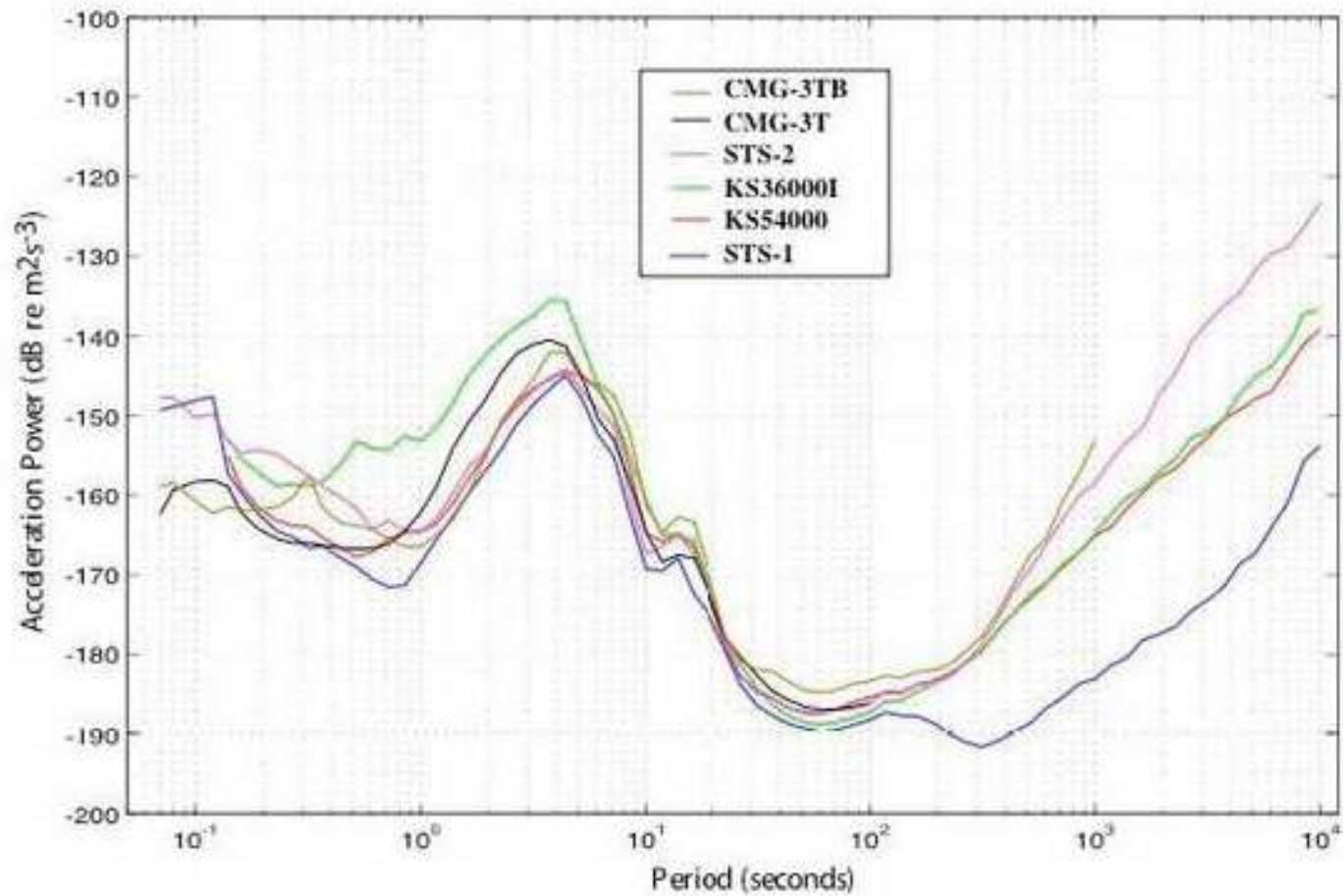
CMG-5T. Полная шкала 2G

Наибольшее значение чувствительности может зафиксировать наименьшее землетрясение, но приводит к насыщению датчика.

# Внутренний уровень шума/ Intrinsic Noise Level



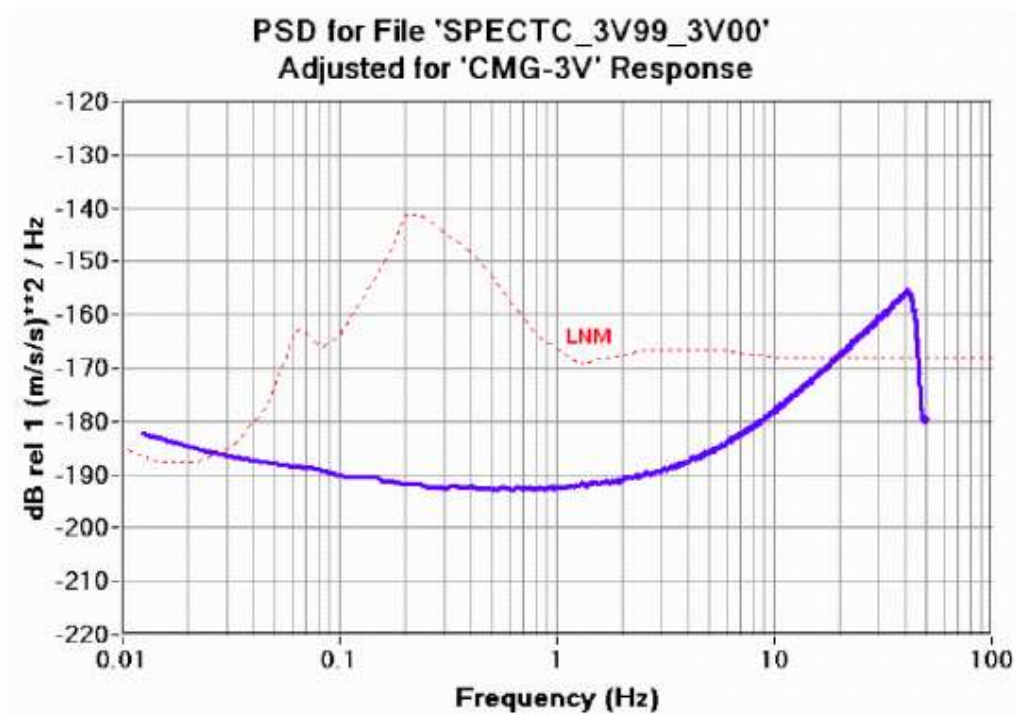
В мире не существует сейсмических датчиков абсолютно бесшумных



# Почему Внутренний шум так важен?



**Внутренний шум прибора должен быть ниже уровня шума места установки**





**Сейсмометр:** датчик, который измеряет перемещение.

**Велосиметр :** датчик, который измеряет скорость

**Акселерометр:** датчик, который измеряет ускорение. Обычно используется как датчик сильных движений в системах мониторинга для умеренных и сильных близких землетрясений в телесеismicческой и региональных сетях, а также в сетях сильных движений и сейсмического контроля промышленных объектов. Чувствительные акселерометры с пределами измерения  $0,01-0,1g$  могут использоваться на многих станциях вместо короткопериодных сейсмометров, обеспечивая запись слабых близких событий в широкой полосе частот.



## **Широкополосный канал регистрации:**

Широкополосный датчик и регистратор данных сейсмических движений в широкой полосе частот и в пределах амплитуд ниже шума места станции. Частотная характеристика включает длинные периоды / низкие частоты.

## Температура и ее стабильность



От  $-20$  до  $+50$   $^{\circ}\text{C}$  (возможно от  $-55$  до  $+75$   $^{\circ}\text{C}$  )

Температурные изменения со временем, особенно **суточные изменения**, намного более **ВАЖНЫ**, чем высокая или низкая средняя температура. Широкополосные сейсмометры требуют регулировки положения массы, если температура изменяется на несколько градусов Цельсия. Даже небольшие температурные изменения могут приводить к механическим и электронным дрейфам, которые серьезно ухудшают качество сейсмических данных на очень низких частотах. Сверхширокополосные сейсмометры требуют чрезвычайно устойчивых температурных условий, которые иногда очень трудно или невозможно обеспечить в поверхностных сооружениях. Менее чувствительны к температурным изменениям короткопериодные сейсмометры и акселерометры. Для нормальной работы 30-секундного сейсмометра (ВВ) температура должна сохраняться постоянной в пределах меньше  $10$   $^{\circ}\text{C}$ . Для нормальной эксплуатации датчиков с периодом  $100$  и более секунд рекомендуется допускать изменения температуры только в несколько десятков миллиградусов  $^{\circ}\text{C}$  в месяц. Тепловой дрейф должен быть снижен до приемлемого уровня тепловой изоляцией сооружения.

# Температура и ее стабильность



Регистраторы и цифровые преобразователи могут работать при менее устойчивых температурах – в среднем, температурные изменения могут быть в десять раз больше чем для широкополосного сейсмометра при том же самом эффекте изменений в выходных сигналах. Лучшие аналого-цифровые преобразователи допускают суточные температурные изменения в пределах 1 градуса С. Самый эффективный способ обеспечить стабильные температурные условия - подземное сооружение, которое хорошо изолировано.

Подземные сооружения является лучшими и по множеству других причин. Тепловая изоляция активных сейсмических датчиков производится в двух местах. Сначала само подземное сооружение изолирует от внешних температур, а во-вторых датчики изолируются от остаточных температурных изменений в сооружении. В неглубоких сооружениях сейсмический постамент изолируется наряду с датчиками. Подземные сооружения обычно изолируются с водостойким тепловым покрытием из пенополистирола. Для соединения деталей используется монтажная полиуретановая пена. Рекомендуется толщина изоляции 20-30 см.



Сейсмическая аппаратура , как транспортное средство,  
различные типы для различных задач

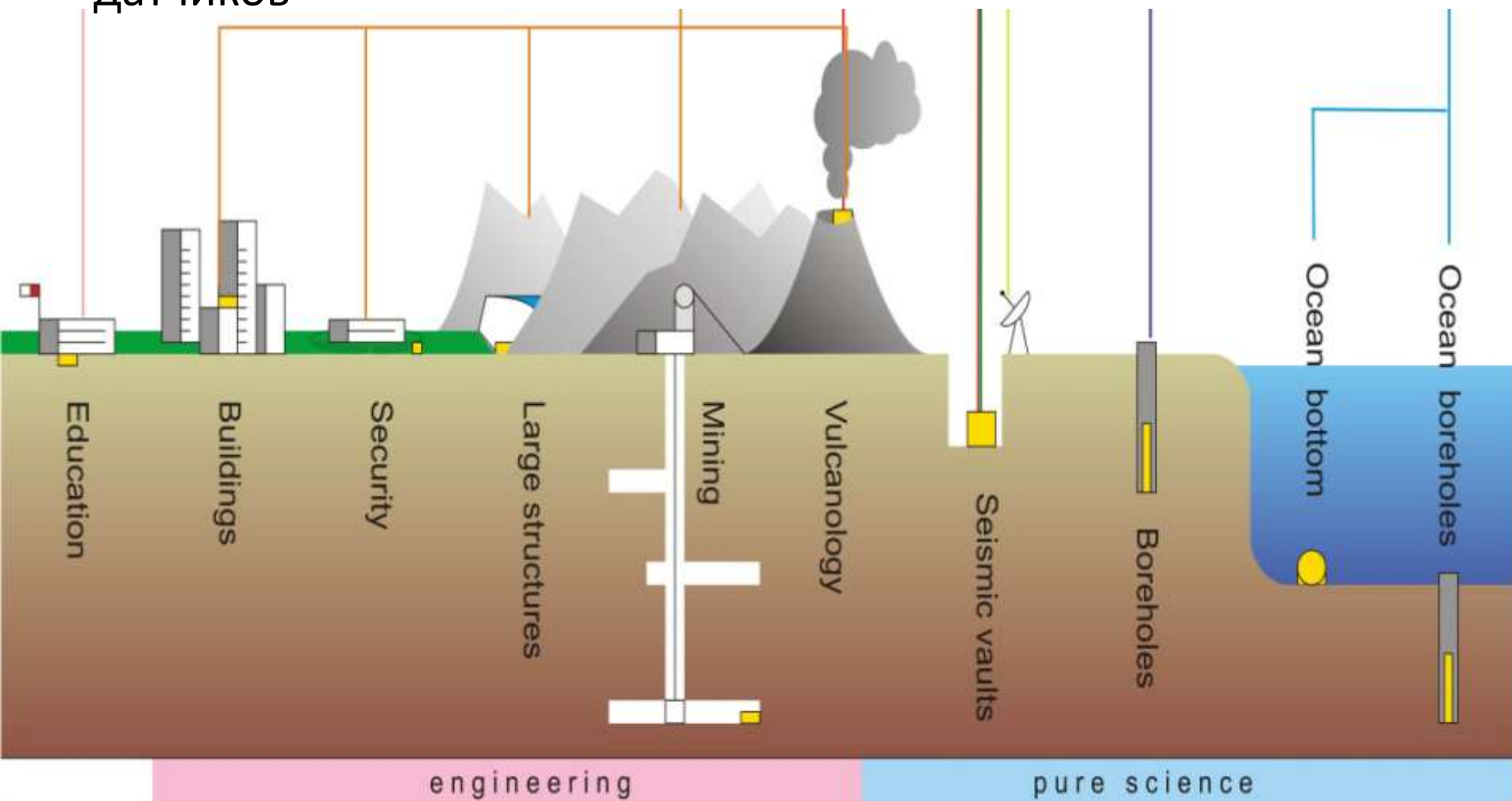




## Области использования



Разные области применения требуют различных датчиков



## Датчики для мест с низким уровнем шума



Для мест с низким уровнем шума. Шум ниже, чем в Новой Модели Низкого Шума (USGS NLNM) в диапазоне частот от 30 сек до 10 Гц (минимум)

Серия 3T (3ESP, 3ESPCS, 3TB), Guralp Systems

Национальные сети и локальные, СТВТО, GNS

Особенности: блокировка центра масс, высокие требования к стабильности температур



## Датчики для мест с средним уровнем шума



Для мест со средним уровнем шума. Уровень шума ниже, чем в Новой Модели Низкого Шума (USGS NLNM) в диапазоне частот от 10 сек до 50 Гц.

Серия 6T/40T, Guralp Systems

Для региональных и локальных сетей, временных установок, мониторинга зданий и сооружений, вулканов, инженерной сейсмологии.



## Датчики сильных движений, акселерометры



Для мониторинга сильных движений.

Серия 5T/5U, Guralp Systems , Великобритания,

Серия AC-23/43/63/73, GeoSig, Швейцария

Для локальных сетей, временных установок, мониторинга зданий и сооружений, вулканов, инженерной сейсмологии.



## Boreholes (B)



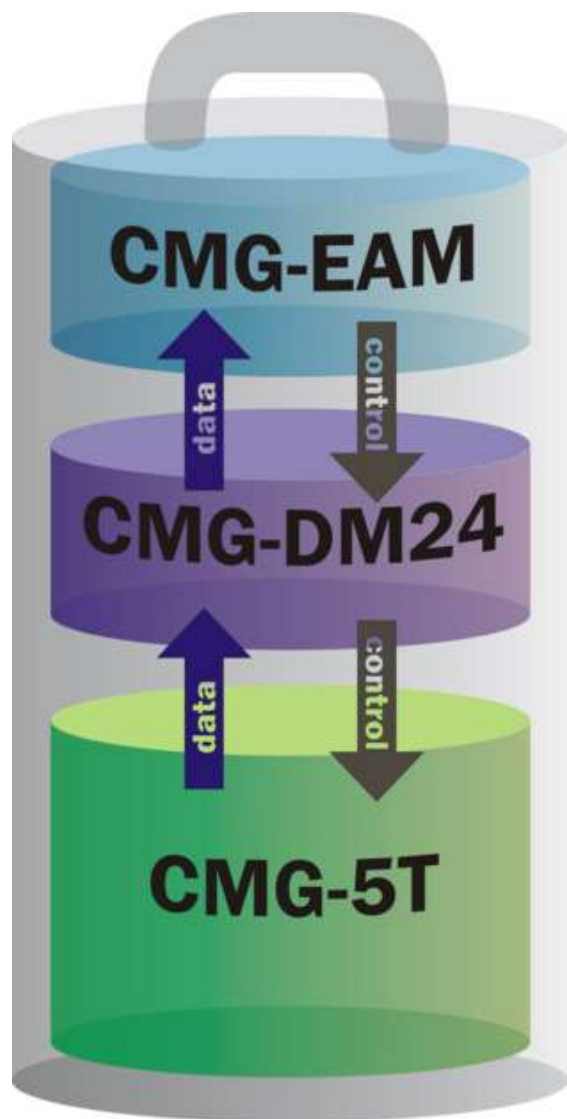
Установка в песок или  
с замком.

Регистратор в скважине  
или на поверхности

Велосиметр (СМГ-3ТВ)  
+ Акселерометр (СМГ-  
5ТВ)



# Конфигурация



acquisition module

Блок сбора и передачи данных (E)(MiniSEED, ASCII, CSS 3.0 и др.)

digitiser module

Регистратор (D)



sensor module

Датчик

CMG-5T6TDE

# Общие требования аппаратурного обеспечения



Потребности в данных естественно определяют технические требования к станциям и их аппаратурному оснащению. Часть из них общая, не зависящая от типа станции. В общем случае аппаратура станции в системе мониторинга должна обеспечивать следующее:

- Точную регистрацию волновых форм от первого вступления Р-волны до поверхностных волн;
- Пределы измерения должны позволять регистрировать без искажений волновые формы для всех потенциально возможных землетрясений;
- Точную привязку к абсолютному времени каждого отсчета;
- Минимальные потери данных из-за сбоев аппаратуры и канала передачи данных;
- Минимальная задержку передачи непрерывных или выделенных данных, требуемую условиями анализа или реализацией определенных функций (например, ранее предупреждение)
- Минимальные собственные шумы аппаратуры и шумы, определяемые местом установки станции.

# Сейсмическая подсистема службы предупреждения о цунами (СП СПЦ)



*Сейсмические приборы. 2011. Т. 47, № 1, с.26-51*

**Технические средства сейсмической подсистемы  
службы предупреждения о цунами**

© 2011 г. В.Н. Мишаткин, Н.З. Захарченко, В.Н. Чебров

**Сейсмологические и геофизические исследования на  
Камчатке. К 50-летию детальных сейсмологических  
наблюдений**

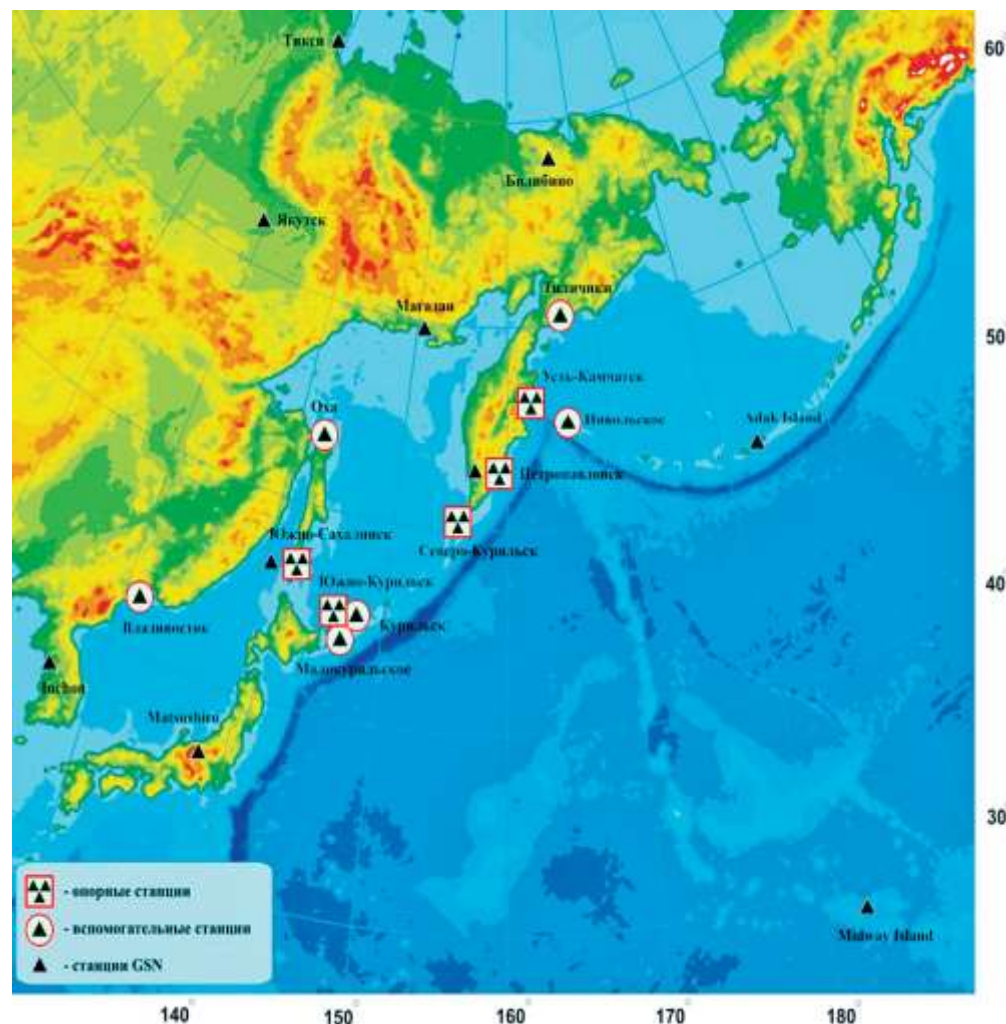
Петропавловск-Камчатский, 2012



# Сейсмическая подсистема службы предупреждения о цунами (СП СПЦ)



Сейсмические станции для СПЦ  
опорные (ОЦС) – 5 шт и  
вспомогательные (ВЦС) – 6 шт  
CMG-3ESPВ (0.0083–50 Гц, 2 x 200  
В/м/с, 120 дБ) + DM24EAM (GSR-  
24) – центральный пункт ОЦС и  
вспомогательные  
CMG-5T/5TDE (0-100Гц, 2G) +  
GSM 24/DM24 - центральный и  
выносной пункт ОЦС,  
пункты регистрации сильных движений  
(ПР СД) – 16 штук  
CMG-6TD (0.033–100 Гц, 2 x 2000  
В/м/с, 90 дБ) - ПР СД



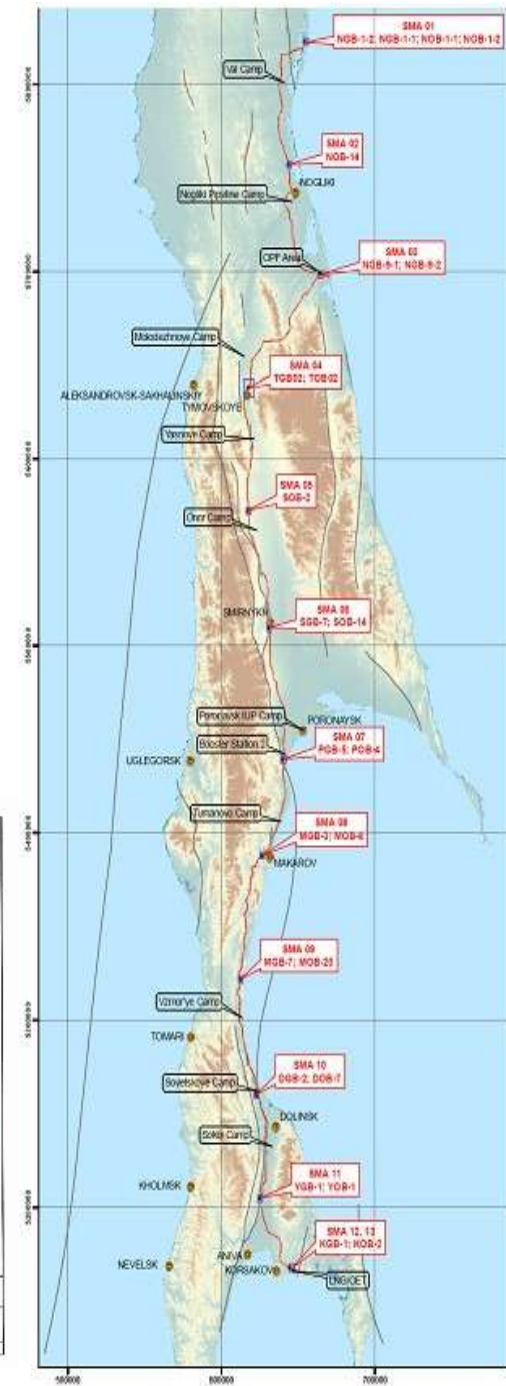
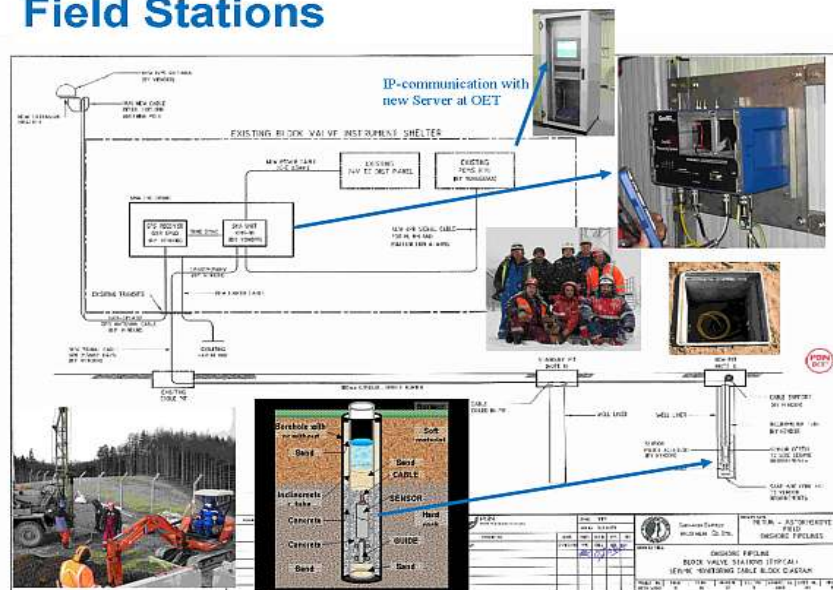
# Сахалин2 . Сейсмический мониторинг и Rapid Response System

АС- 43 -DH (скважинный акселерометр, 0-100 Гц, 95 дБ ) + GMS-18 (регистратор)

– 13 комплектов, GeoSig

<http://www.geosig.com/Sakhalin-Oil-and-Gas-pg54.html>

## Field Stations



# Кашаган, Микросейсмический мониторинг



CMG-3ТВ (0,033-50Гц, 2х1000 В/м/с  
скважинные велосиметры с замком  
глубина более 100 метров

6 станций установлено на материке  
близко по побережью

5 станций на искусственных островах

CMG-DM24S3EAM, Guralp Systems

Кашаган -  
нефтегазовое  
месторождение в  
северной части  
Каспийского моря,  
Казахстан



<http://www.guralp.com/guralp-delivers-life-of-field-micro-seismic-monitoring-system-to-kashagan/>

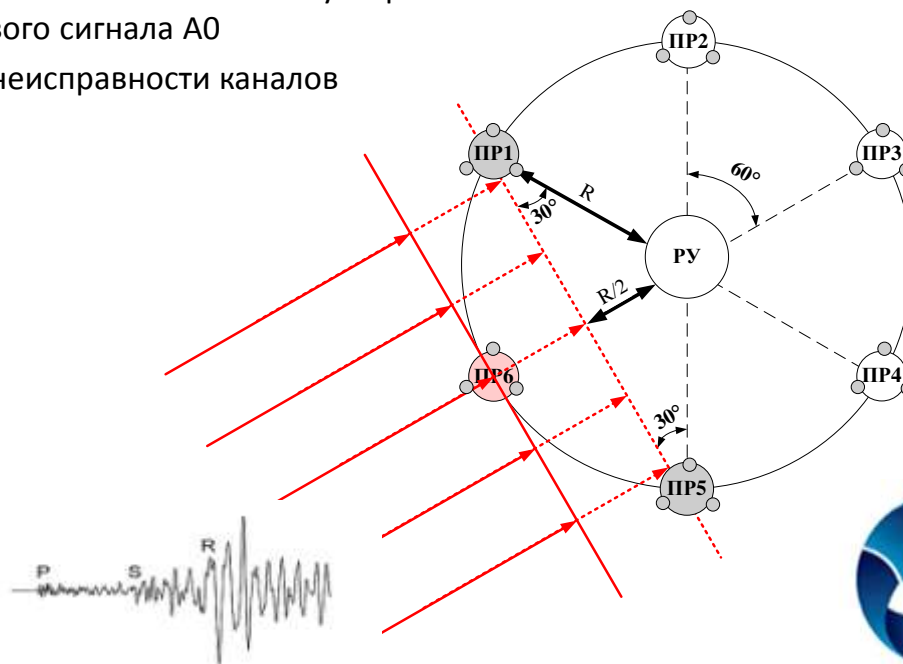


# СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И УДАЛЕННОЙ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК АЭС



- непрерывный приём сейсмических колебаний ускорения грунта в местах установки акселерометров и преобразование их в пропорциональный цифровой код по трём взаимно ортогональным компонентам в заданных частотном и динамическом диапазонах
- формирование и передачу на АЭС сигналов АЗ при превышении установленного аварийного уровня порога сейсмического воздействия (П1)
- формирование и передачу на АЭС сигналов превышения установленного предупредительного уровня сейсмического воздействия (П2)
- формирование и передачу на АЭС цифровых сигналов о значении ускорений по координатам Z, N-S, E-W и общего цифрового сигнала А0
- формирование и передачу на АЭС сигналов неисправности каналов подсистемы

- формирование аварийного сигнала на основе мажоритарной логики "2 из 3"
- формирования сигнала АЗ на выходе устройства выдачи сигналов за 10...15 сек до прихода сейсмических волн на АЭС





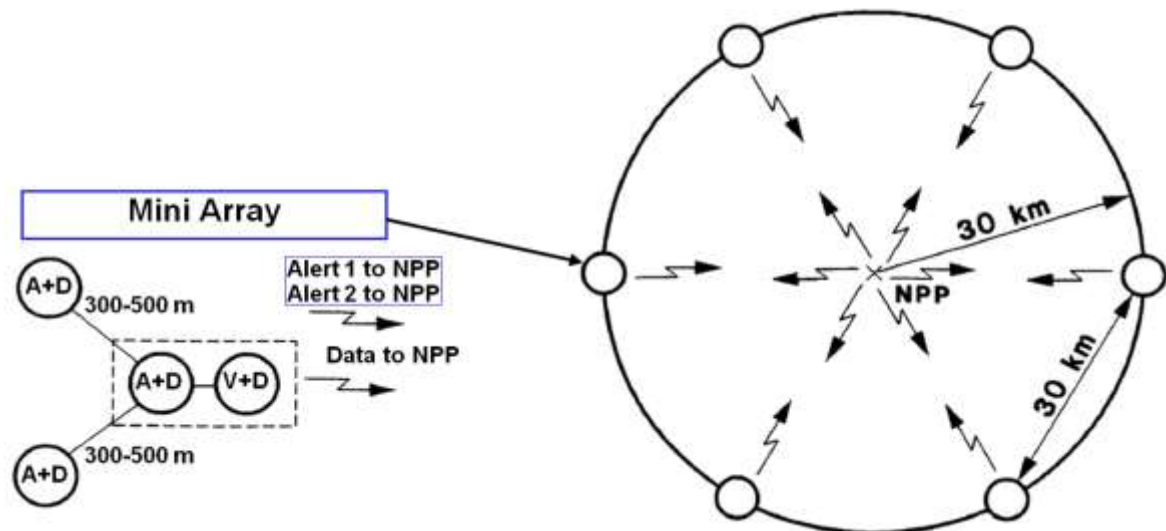
# СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА И УДАЛЕННОЙ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК АЭС



Mini Array (6x2 комплектов на каждый реактор)

CMG-3ТВ (120 с- 50Гц, 2x1000 В/м/с )+CMG-DM24 - 1 комп.

CMG-5ТВ (0-100Гц, 2G) + CMG-DM24 – 3 комп.



## Заключение



**Разная аппаратура может быть применена для решения одной задачи.**

**Какова цель проекта?**

**Какой диапазон частот, амплитуд должен быть измерен?**

**Параметры окружающей среды?**

Спасибо за внимание

[lz@seismicsystem.ru](mailto:lz@seismicsystem.ru);

8 48439 42882

