



# Сейсмические станции и группы

*Асминг В.Э.*

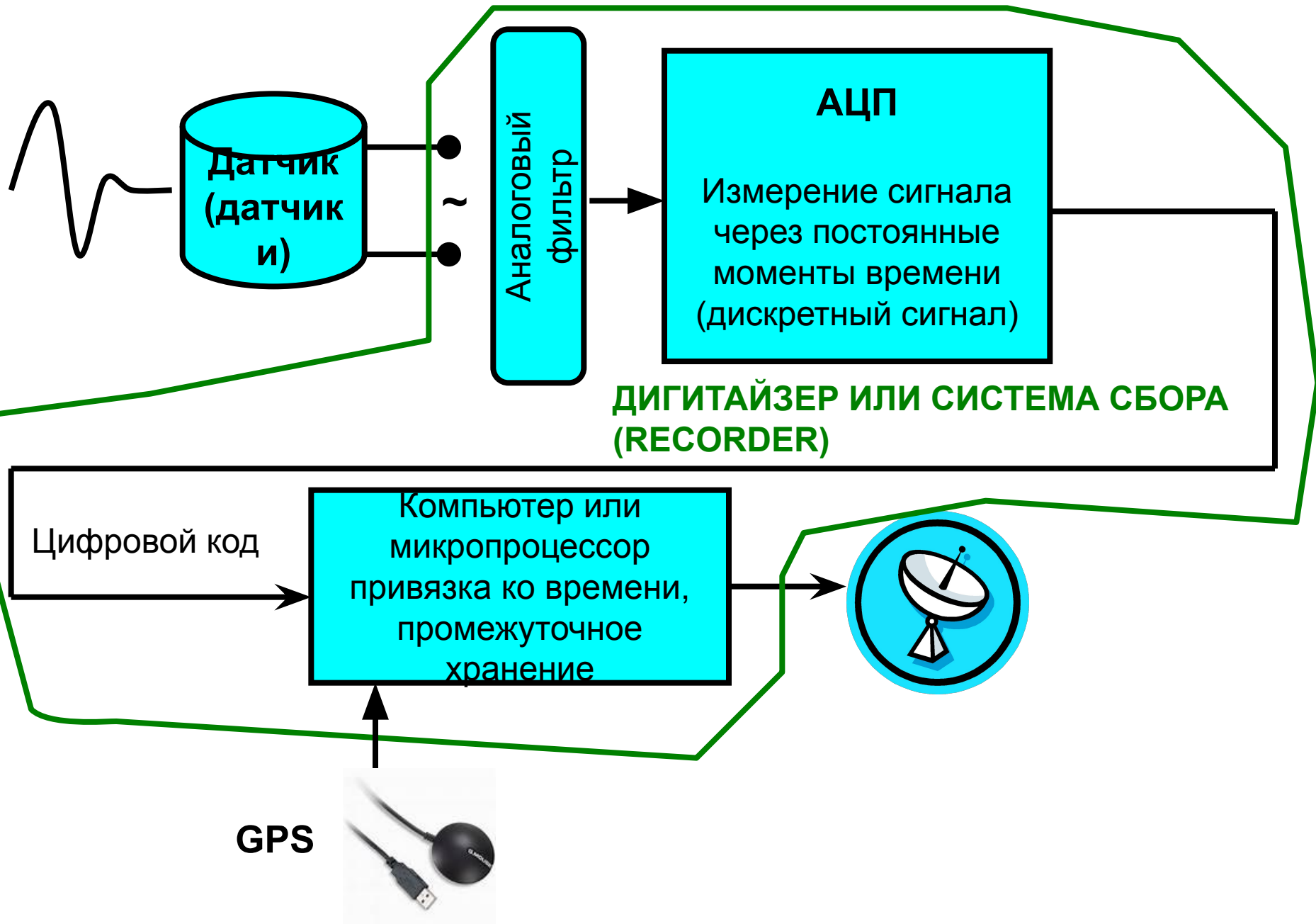
Презентация для семинара в Алматы

август 2014

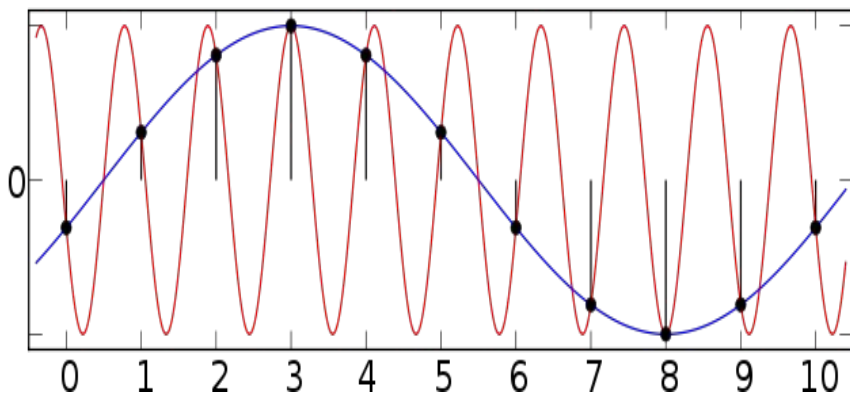
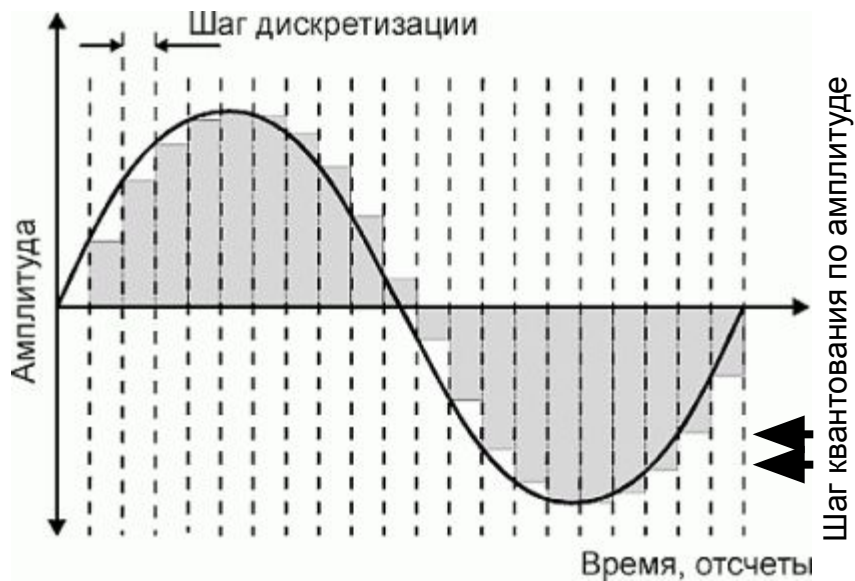
# Содержание

- Регистрация, хранение и передача данных
  - АЦП и дигитайзеры
  - Привязка ко времени
  - Хранение и передача данных
  - Системы сбора КФ ГС РАН
- Однокомпонентные и трехкомпонентные станции, группы
- Выбор места для сейсмических станций
- Установка станций

# Сейсмическая станция



# Что делает АЦП



**Алиасинг.** Сигнал с частотой  $f > f_N$  (красный график) при оцифровке неотличим от низкочастотного с частотой  $f_d - f$  (синий).

**Антиалиасинг** – предварительное удаление высоких частот (фильтрация). Может быть аналоговая, может – цифровая (оцифровка с увеличенной частотой)

- **Частота дискретизации**  $f_d$  – число измерений в секунду. Измеряется в Гц.
- **Частота Найквиста**  $f_N = f_d/2$ . Частоты выше  $f_N$  не могут быть обнаружены в записи (теорема Котельникова, алиасинг)
- **Диапазон входных значений**  $V_0 - V_1$  (вольты)
- **Разрядность АЦП**  $R$  характеризует количество дискретных значений, которые АЦП может выдать на выходе. Двоичное может выдать  $2^R$  значений.
- **Эффективная разрядность**  $R_{эфф}$  всегда меньше  $R$  из-за шумов на входе АЦП
- **Разрешение АЦП** – минимальное значение аналогового сигнала, которое может быть измерено. Равно  $(V_1 - V_0) / 2^R$
- **Динамический диапазон** определяется эффективной разрядностью. В дБ выражается как  $20 \cdot \text{Log}(2^{R_{эфф}})$

Максимальные диапазоны для АЦП:

- 12 разрядов – 72 дБ
- 16 разрядов – 96 дБ
- 24 разряда – 144 дБ

# Привязка данных ко времени (тайминг)

**Accurate timing of seismic data is one of the real headaches in all recording systems and has caused endless frustrations for seismologists...**

**Jens Havskov**

**Аккуратная привязка сейсмических данных ко времени – реальная головная боль во всех регистрирующих системах, которая вызывает бесконечные расстройств у сейсмологов...**

**Йенс Хавсков**

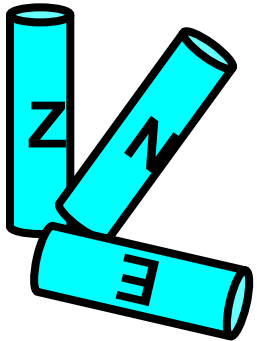


# Типы сейсмических станций



## Однокомпонентная

Способна зафиксировать факт прихода сейсмической волны

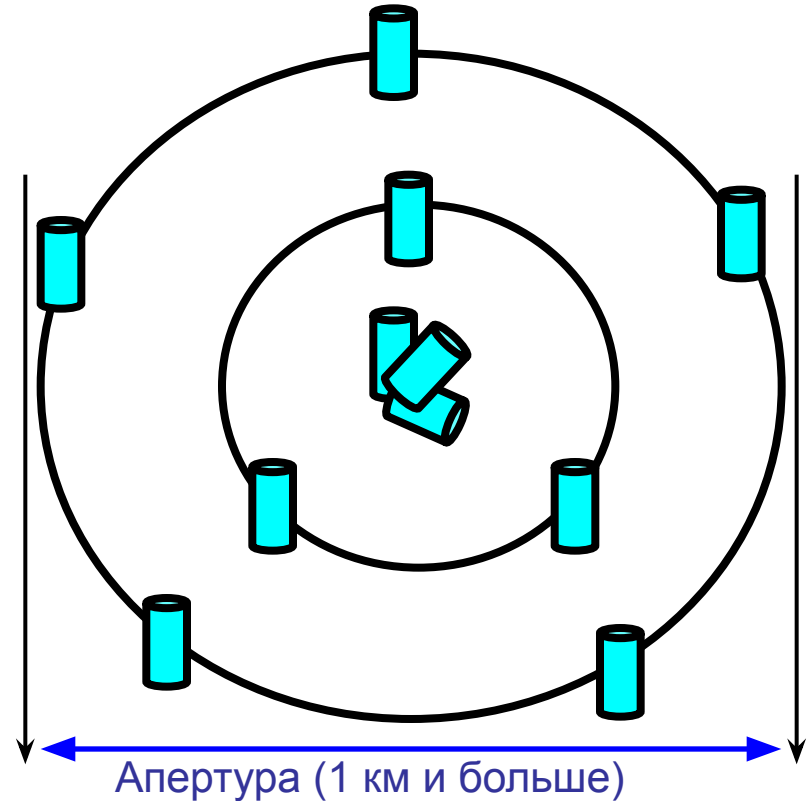


## Трехкомпонентная

Три взаимно перпендикулярных одинаковых датчика. Способна зафиксировать приход волны, определить азимут на событие по Р-волне (не очень точно)

## Сейсмическая группа

Набор пространственно разнесенных однотипных датчиков (вертикальных и/или трехкомпонентных)



Способна обнаруживать более слабые сейсмические события, чем трехкомпонентная станция. По задержкам времен приходов волны на разные датчики можно рассчитать азимут прихода волны (в целом точнее, чем по трехкомпонентной станции) и ее кажущуюся скорость (относительно поверхности).

## Тайминг. Какая точность привязки ко времени нам нужна?

**Абсолютная точность**, то есть, точность привязки к истинному времени (часы, минуты секунды). Компромисс между ценой и качеством. Для региональных и глобальных сетей достаточно точности 0.1. сек (погрешности измерения времен приходов волн и неточности скоростных моделей не меньше).

**Относительная точность**. Синхронизация отдельных каналов многоканальной системы (трехкомпонентная сейсмическая станция или сейсмическая группа). Для того, чтобы по трехкомпонентной станции вычислить поляризацию волны или по группе рассчитать азимут необходима точность порядка одного шага дискретизации (0.01 сек для частоты дискретизации 100 Гц)

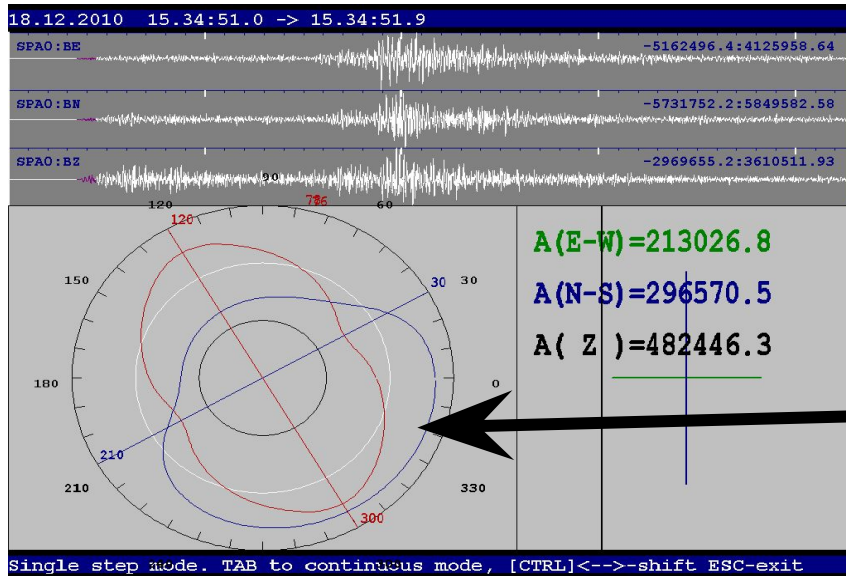
**Ошибки тайминга очень сложно заметить !**

Ошибка в относительной точности может не отразиться на локациях по первым вступлениям волн P, S, но поляризационный анализ и анализ данных групп даст неверные результаты

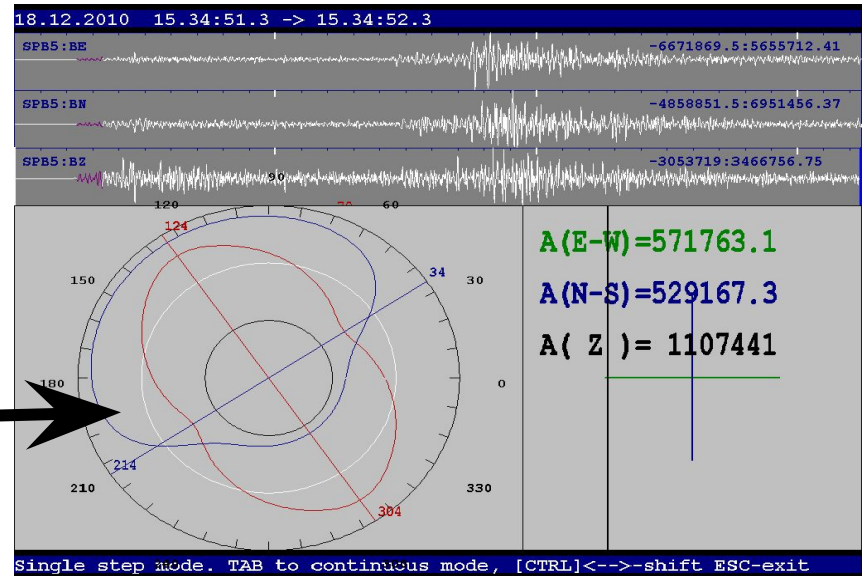
**Ошибки тайминга встречаются даже в продукции авторитетных фирм (GeoSig, Guralp)**

# Пример ошибки тайминга (относительная точность)

Сейсмическая группа SPI (Шпицберген), содержит несколько однотипных трехкомпонентных датчиков. В 2010 году мы заметили, что наша автоматическая система иногда пропускает даже очень сильные события ( $M > 4$ ). Мы заметили, что поляризационный анализ на двух одинаковых трехкомпонентных датчиках дал прямо противоположные результаты:

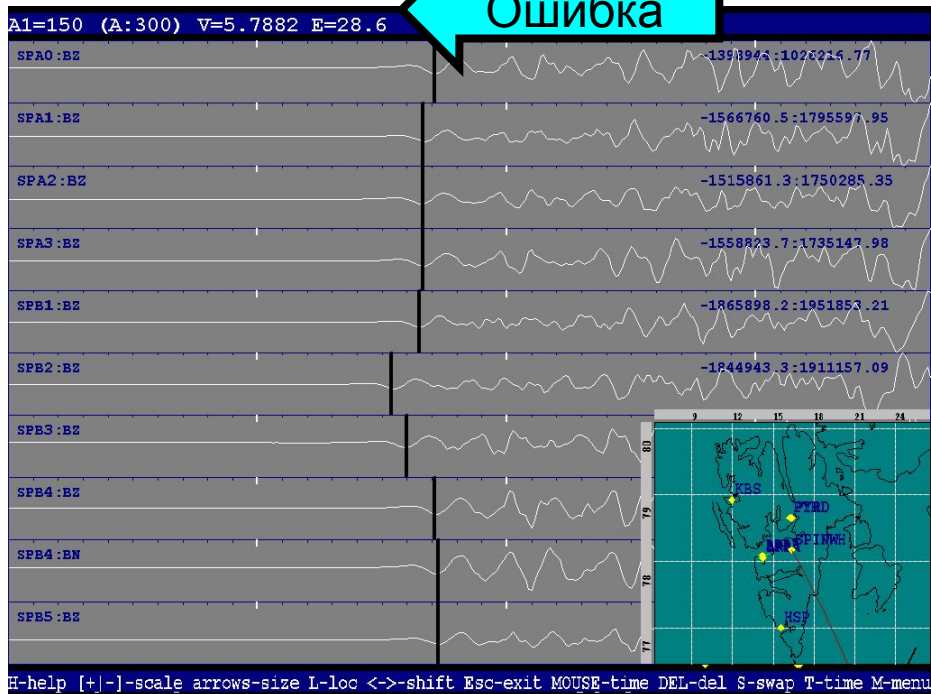


Неправильная поляризация, датчик SPA0



Правильная поляризация, датчик SPB5

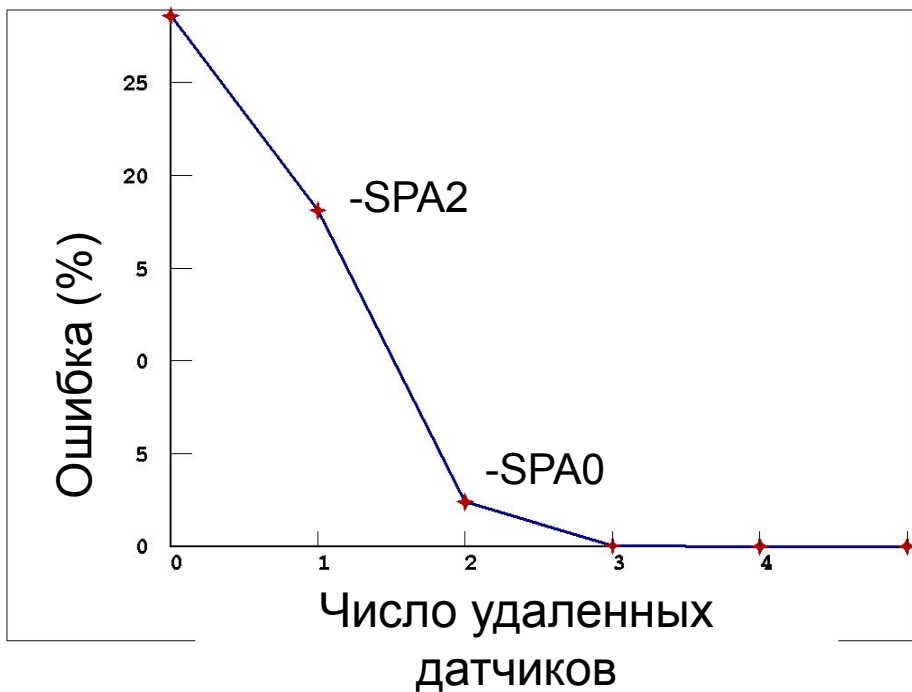




Вертикальные датчики группы Шпицберген. Помечено начало Р-волны. По сдвигам времен приходов рассчитан азимут и ошибка оценки (рассогласованность данных), которая в данном случае = 28.6%

Выбрасывание из обработки отдельных датчиков резко снизило ошибку (см.график). Так мы выяснили, что ошибки тайминга имеют место в датчиках SPA2 и SPA0.

Тщательный анализ показал, что **их данные смещены на 5 отсчетов**, то есть всего на 0.0625 сек.



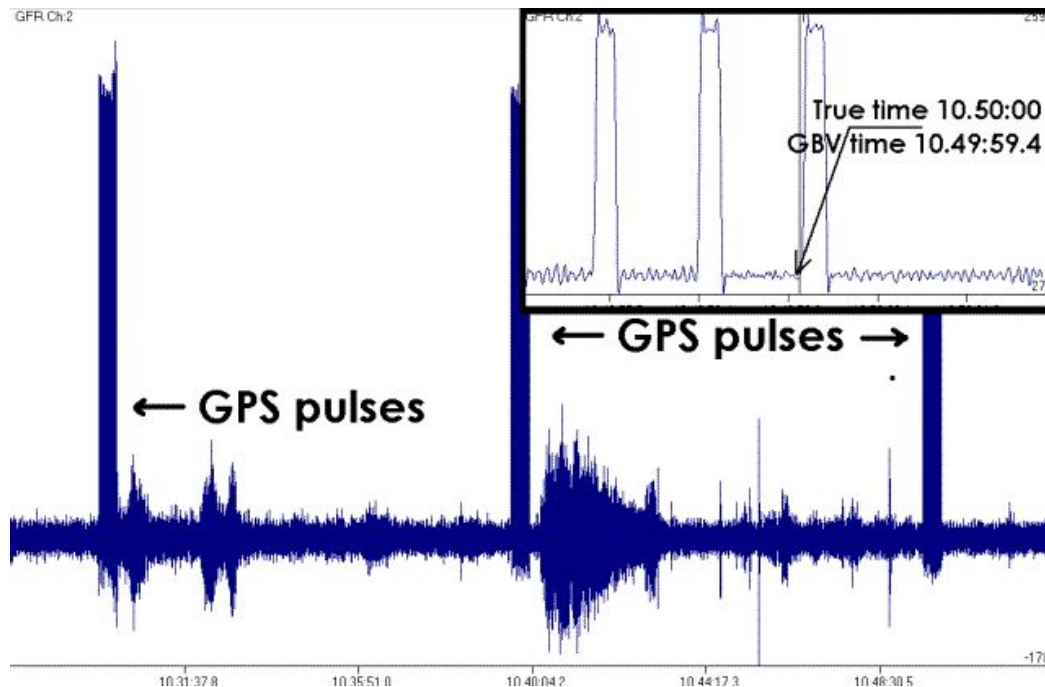
**Причина** – случайное отключение антиалиасинговых фильтров в отдельных каналах

Широкополосные датчики Güralp CMG-3TB и дигитайзеры CMG DM24

В 2000 году NOR SAR передал нам несколько 3-компонентных короткопериодных сейсмостанций GBV 316 фирмы GeoSIG (Швейцария)



Станция GBV 316

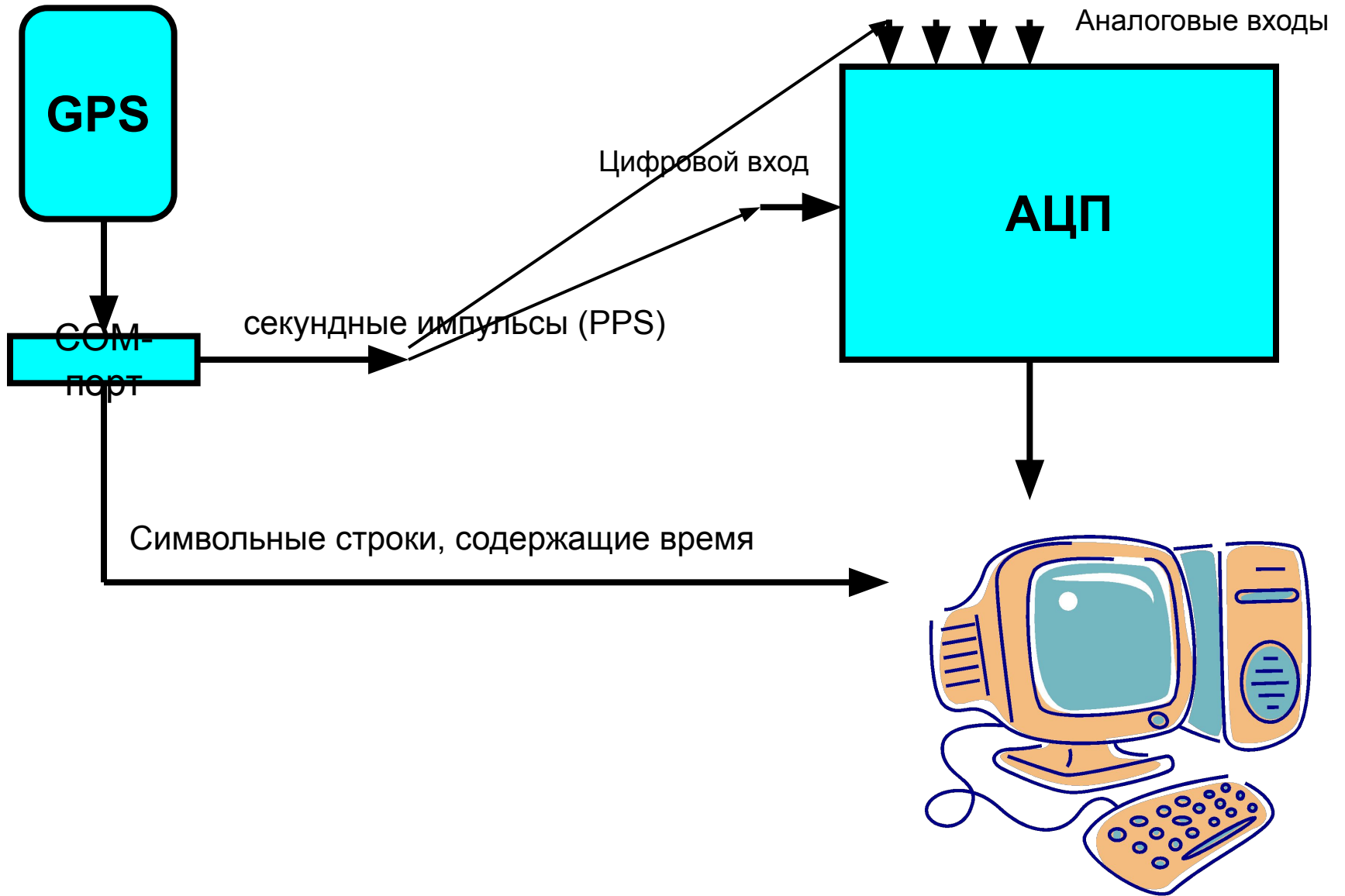


**Обнаружилось, что у этих станций отсутствует привязка ко времени !**

Пришлось делать собственную систему сбора данных и привязки ко времени, PPS GPS-приемника передавались на один канал станции и привязывались программно.

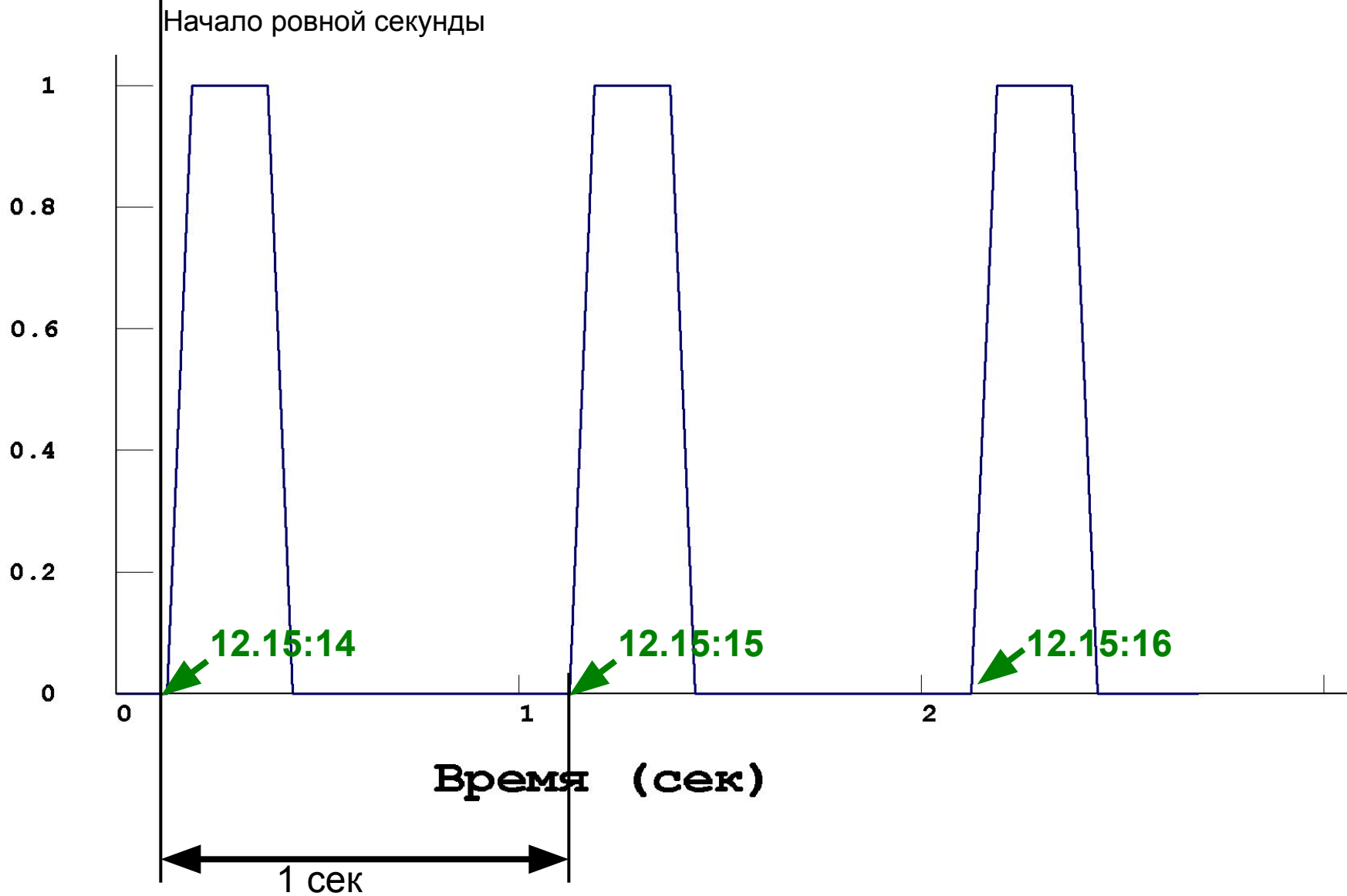
В 2000-2007 гг станции использовались как переносные для полевых экспериментов

# Как производится привязка ко времени ?



# Временная диаграмма (последовательность приходов PPS и строк)

Амплитуда (V)

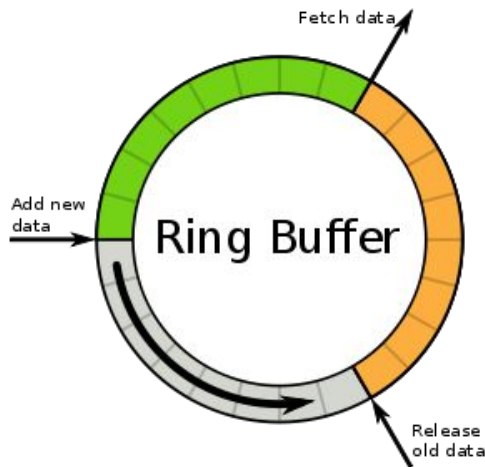


## Источники ошибок привязки ко времени

- Отключение PPS (GPS «потерял» спутники)
- Задержка при передаче символьной строки из GPS в компьютер
- Сбой GPS (неверная или пропущенная строка)
- Неточность частоты дискретизации АЦП (со временем «набегают» лишние отсчеты)
- Включения/выключения антиалиасинговых фильтров
- Возможны и другие варианты!

# Что умеют специализированные сейсмические рекордеры ?

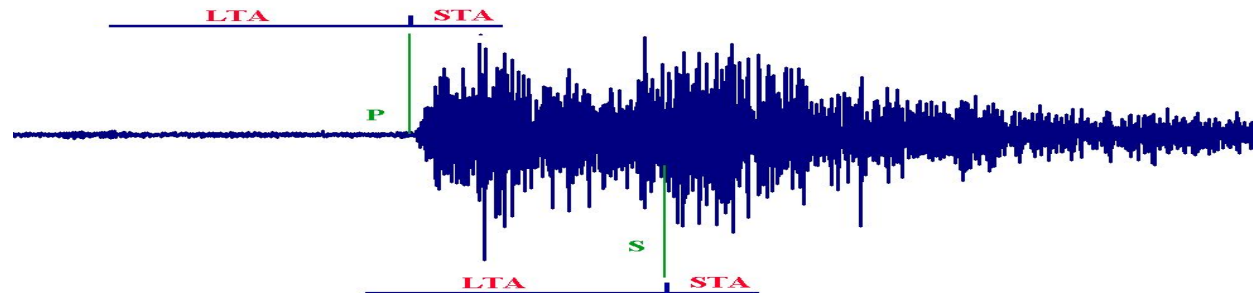
- Делают антиалиасинговую фильтрацию, оцифровку сигнала и привязку его ко времени
- Сохраняют данные сначала в кольцевые буферы, затем записывают в файлы в стандартных сейсмологических форматах (непрерывные или по срабатыванию детектора (триггера))
- Способны передавать данные по TCP/IP (протоколы SeedLink, FTP и т.д.)
- Сохраняют файлы «состояния здоровья», State-Of-Health, SOH с информацией о привязке ко времени, состоянии окружающей среды, питания и датчиков



Кольцевой буфер

## Триггеры

- **Амплитудный триггер**. Срабатывает, когда сигнал превысил некоторую амплитуду. Применяется для низкочувствительных датчиков сильных движений
- **Триггер STA/LTA**. Отношение короткого среднего к длинному. Наиболее распространенный триггер



# Какой recorder или систему сбора выбрать ? (по Й.Хавскову)

- Тип датчиков зависит от того, что мы собираемся измерять
- Динамический диапазон системы сбора должен соответствовать диапазону датчиков. Для короткопериодных датчиков (период 4.5 сек) – 16 бит, для периода 1 сек – 20 бит, для широкополосных – минимум 22 бита
- Аккуратная привязка ко времени
- Возможность извлечения данных (коммуникации через USB, TCP/IP или съемный носитель)
- Энергопотребление и питание. Улучшение характеристик соответствует резкому увеличению цены
- Условия установки. Если условия хорошие, нет смысла покупать дорогой рекордер, можно обойтись компьютером с АЦП

# Специализированный дигитайзер или система сбора ?

## Дигитайзер:

- Компактность
- Меньшее энергопотребление
- Неприхотливость в установке

## **НО**

- Существенно дороже
- Закрытость (невозможность модернизации)

## Система сбора

(компьютер, АЦП, GPS)

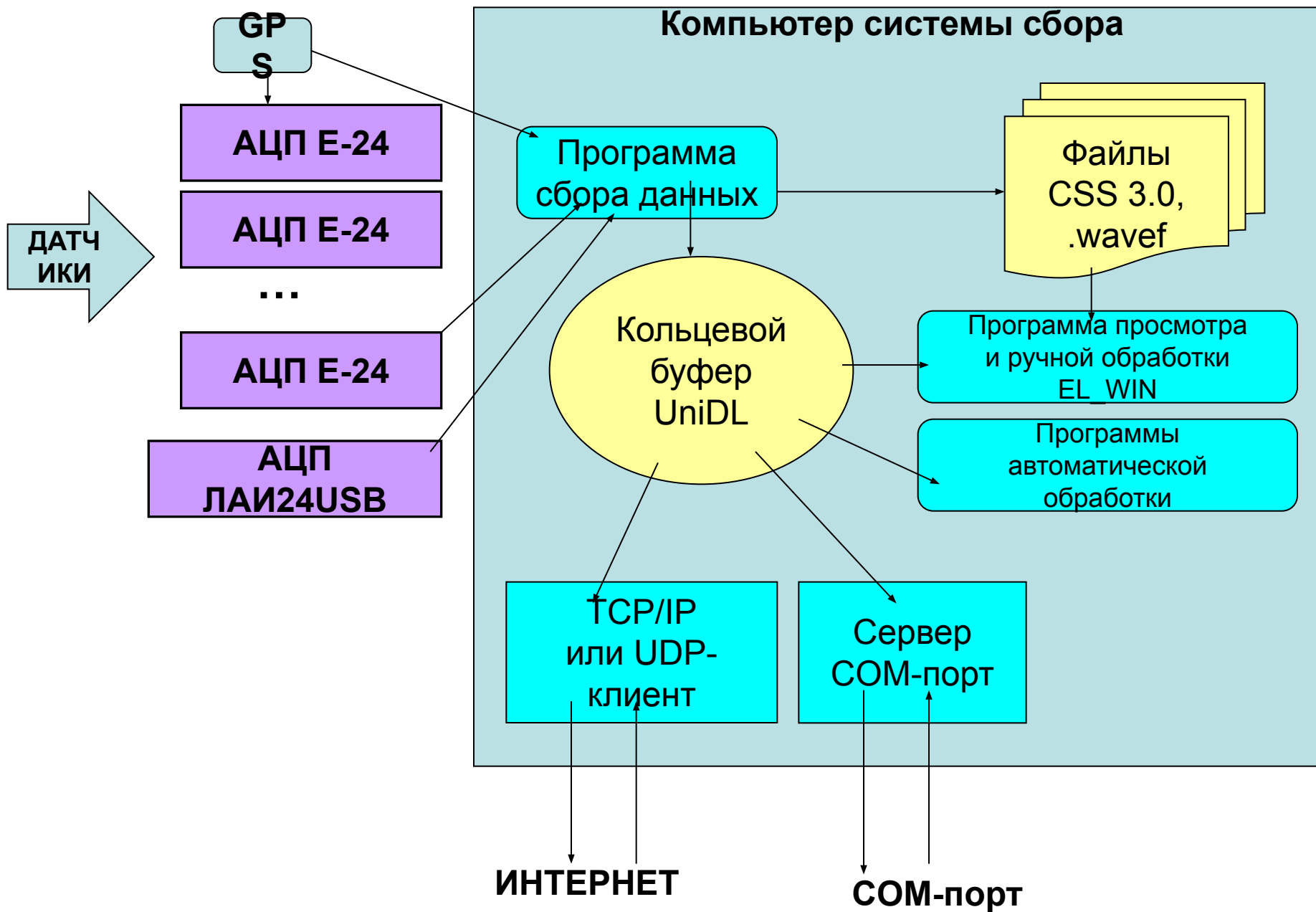
- Дешевизна
- Легкость замены отдельных частей
- Легкость настройки ПО
- Возможность гибкой обработки данных на месте

## **НО**

Сложность установки (подключение датчиков и GPS, гальваническая развязка, подавление помех и т.д.)



# Системы сбора данных на базе АЦП E-24, ЛАИ-24USB



# АЦП ЛАИ-24 USB фирмы «Руднев-Шиляев»



4 синхронных дифференциальных АЦП 24 разряда, до 800 Гц каждый  
Цена – 15200 российских рубля (около \$500)

<http://www.rudshel.ru/show.php?dev=3&pos=0>

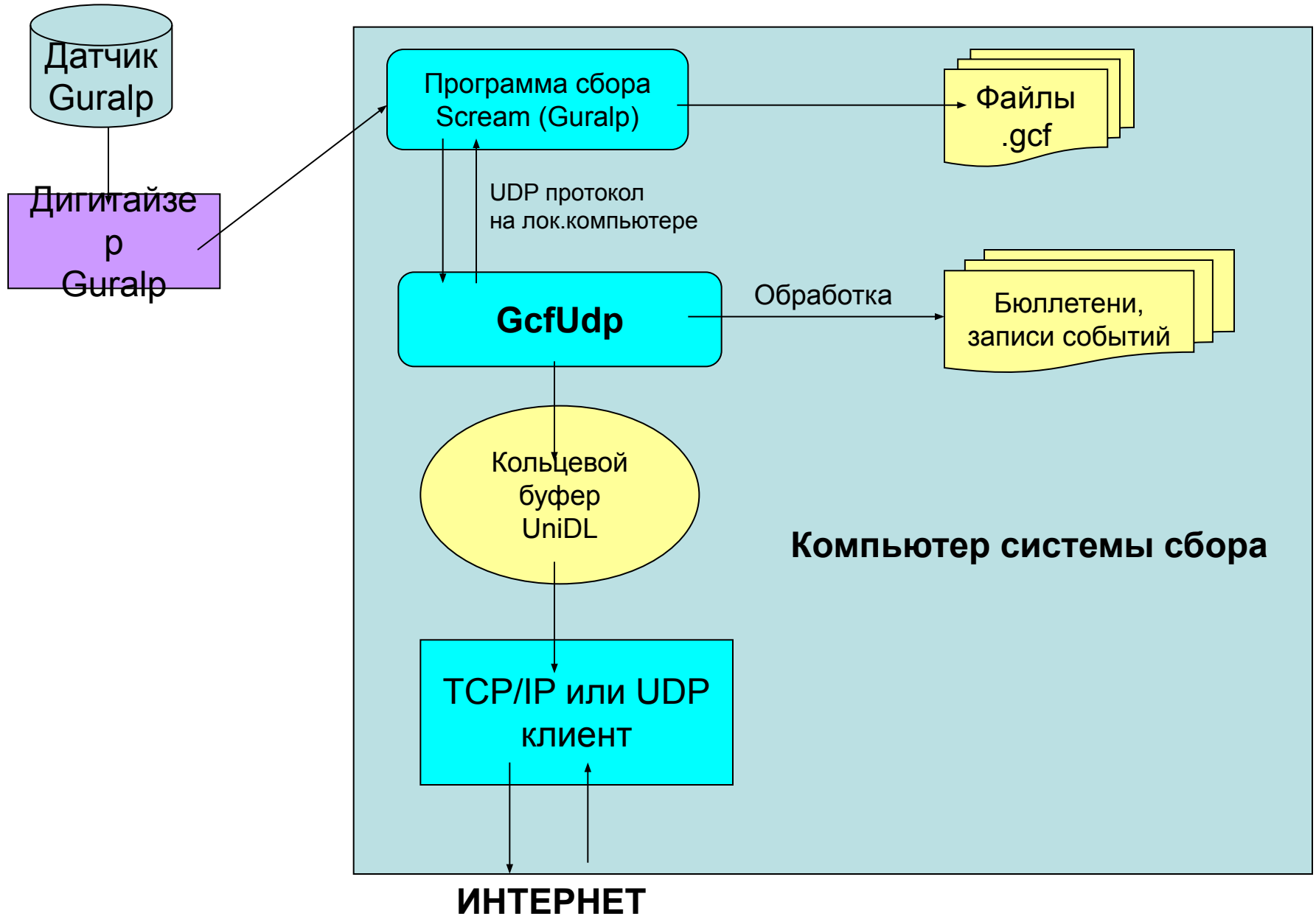


К нему понадобится:

- GPS типа GARMIN с RS-232 выходом (около \$100)
- нетбук (около \$400)
- программное обеспечение, разработанное в КФ ГС РАН

Т.е., готовая система сбора за \$1000

# Система обработки и передачи данных с дигитайзеров Guralp (эксплуатируется также в Кыргызстане)



## Претендент на роль дигитайзера для новых сейсмоакустических групп

Крейтовая система из одноместного крейта LTR-U-1-4 и АЦП LTR114 (24 разряда, 16 дифференциальных каналов)



Фирма L-card : <http://www.lcard.ru/products/ltr/ltr>

- Сделана система сбора данных
- Обнаружено, что заявленная фирмой синхронизация по внешнему импульсу запаздывает. Обещают исправить в будущих версиях...
- Для привязки ко времени пришлось задействовать 1 канал (импульсы PPS GPS)

# Выбор места под сейсмостанцию и установка сейсмостанции

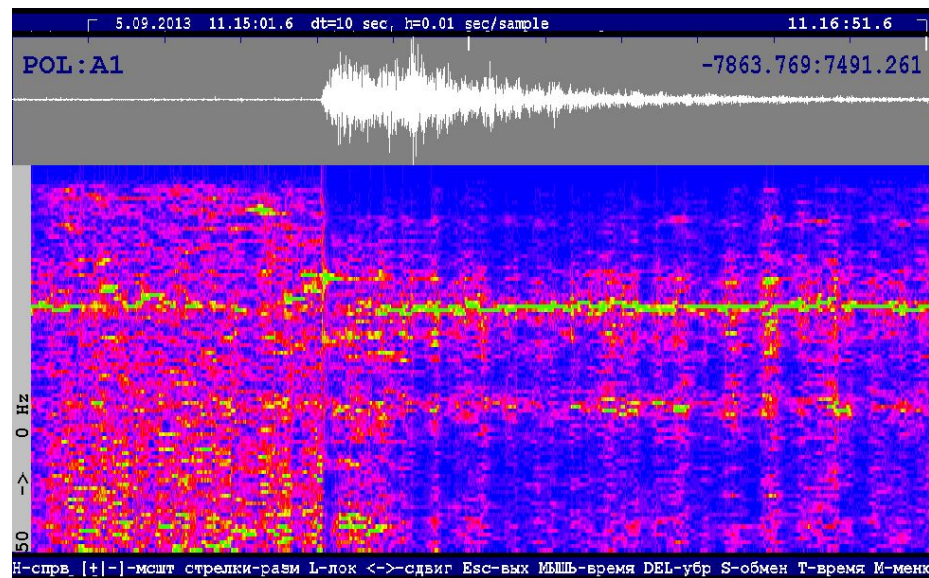
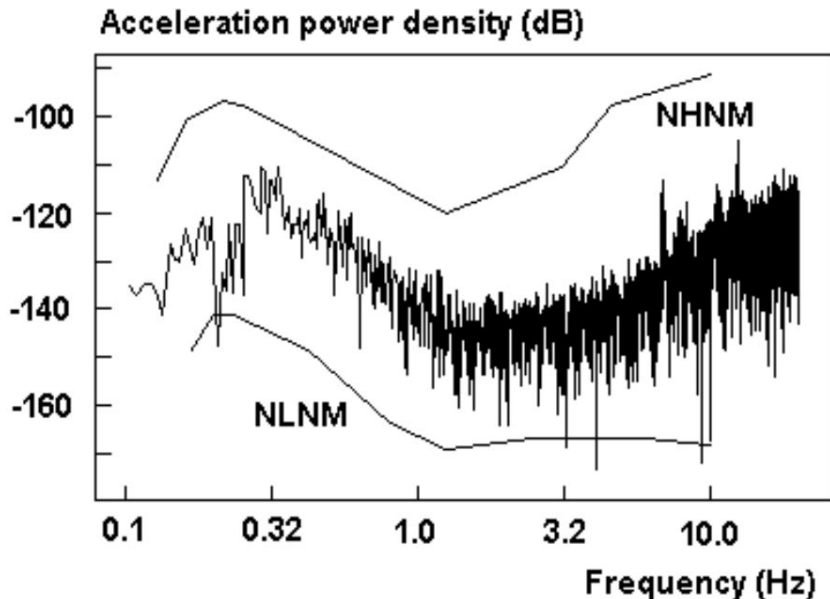
Сейсмостанция – часть региональной или глобальной сети, или отдельная. По карте мы находим идеализированное положение. Практические ограничения:

- Наличие питания
- Наличие коммуникаций
- Минимизация шума (подальше от источников шума, в основном, антропогенного)
- Безопасность
- Погода (избегать мест с высокой влажностью, очень жарких или холодных, где много гроз)
- Топография. Рекомендуется избегать перепадов высот, что может модифицировать сейсмические волновые формы;
- Геология. Твердый грунт менее шумен, чем мягкий. Мягкий нужно избегать. Нужно избегать морены и установки на отдельные валуны

- **Оценка уровня шума.** То, что кажется коренной породой, может оказаться большим камнем

Высокочастотный шум (>1 Гц) генерируется ближними источниками. Низкочастотный – удаленными. Это значит, что широкополосная станция, предназначенная для низкочастотной регистрации, может быть расположена у большого города

Идеально измерять шум тем же датчиком, что будет установлен. Хотя можно и короткопериодным. По шумам строится спектр мощности по ускорению и сравнивается с кривыми Петерсона



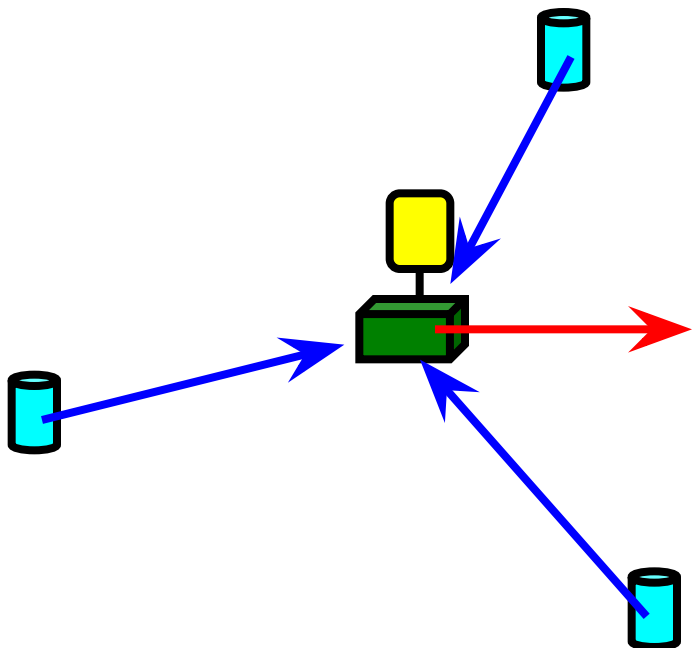
Станция установлена на валуне. Легкий толчок вызвал сигнал, похожий на сейсмическое событие

## Установка станции

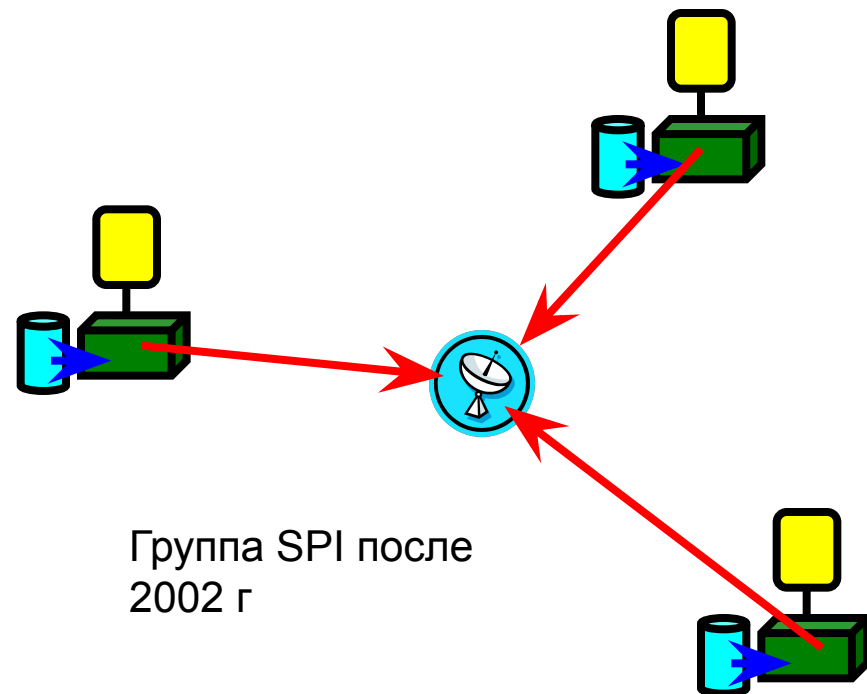
Датчик – на пластине стекла, керамики или твердой пластмассы чтобы избежать блуждающих токов

Длиннопериодные станции требуют хорошей теплоизоляции

Насколько датчик может быть отнесен от дигитайзера? Зависит от типа датчика и типа дигитайзера. Стандартного ответа нет. Тенденция – оцифровывать сигнал непосредственно около датчика. Может привести к ошибкам тайминга.

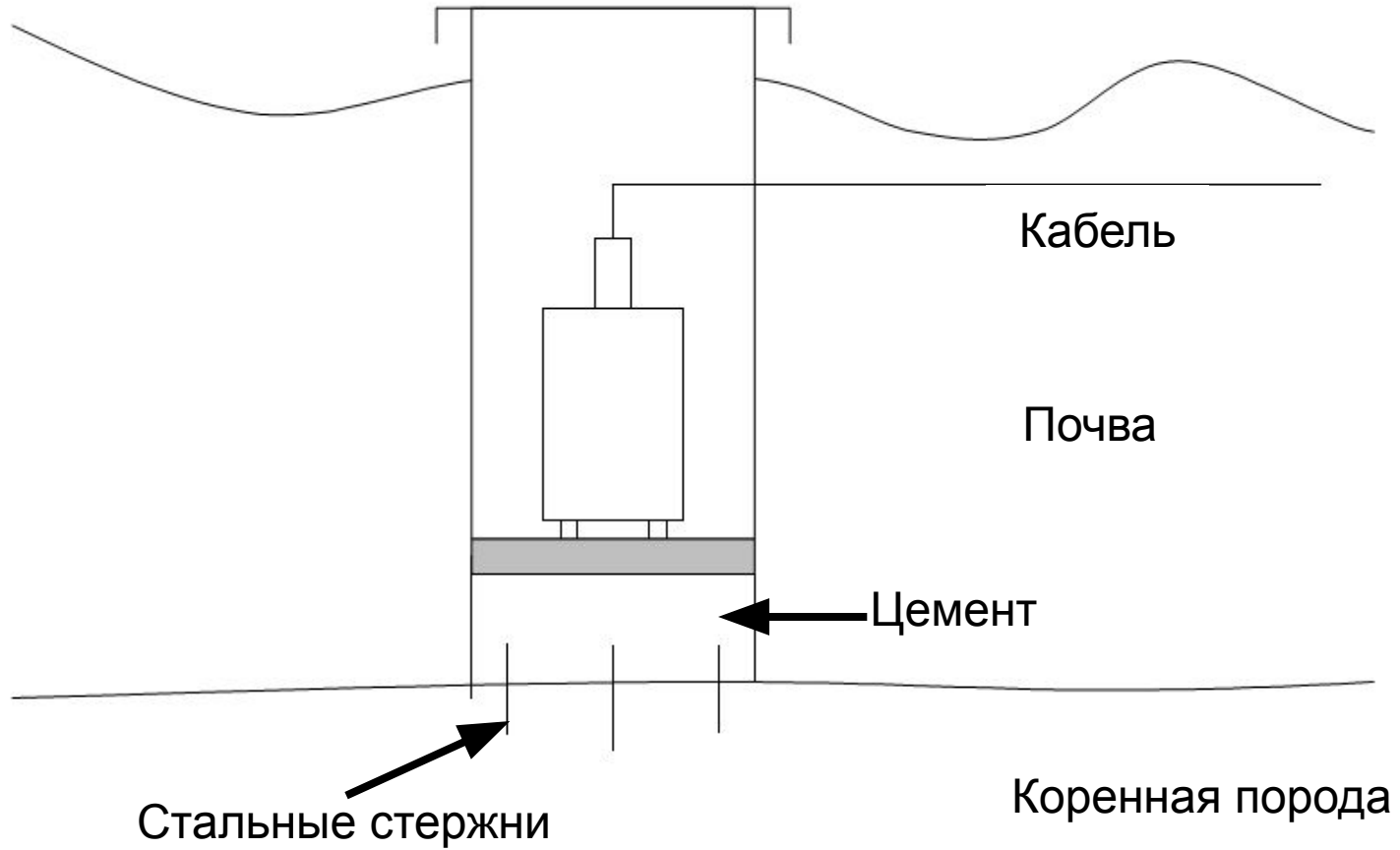


Группа «Апатиты» и SPI до 2002 г



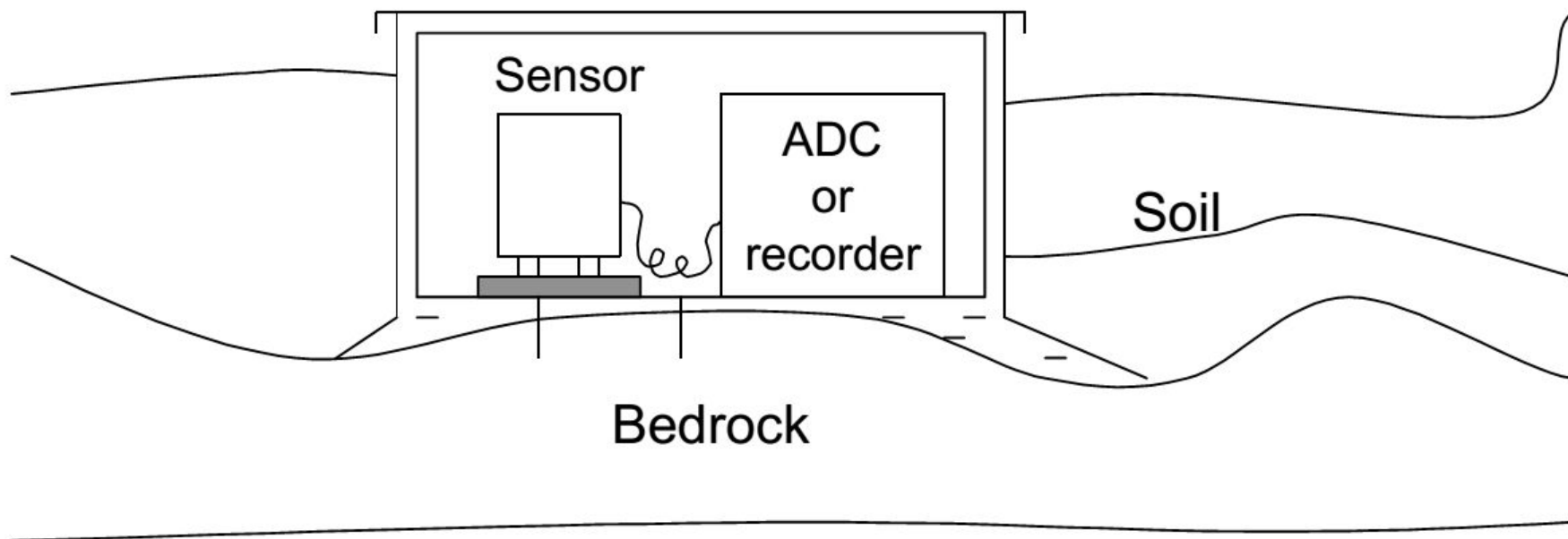
Группа SPI после 2002 г

# Типичная установка вертикального короткопериодного датчика



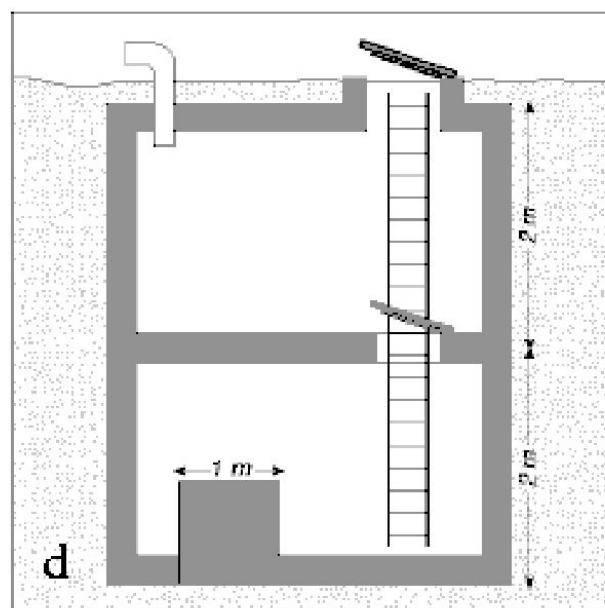
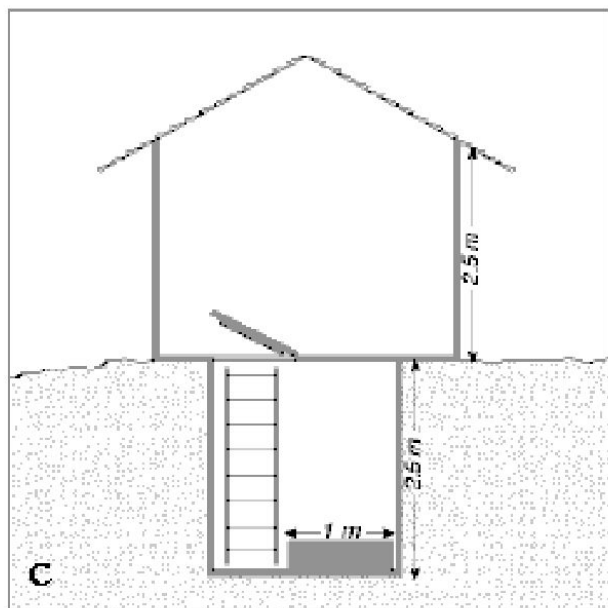
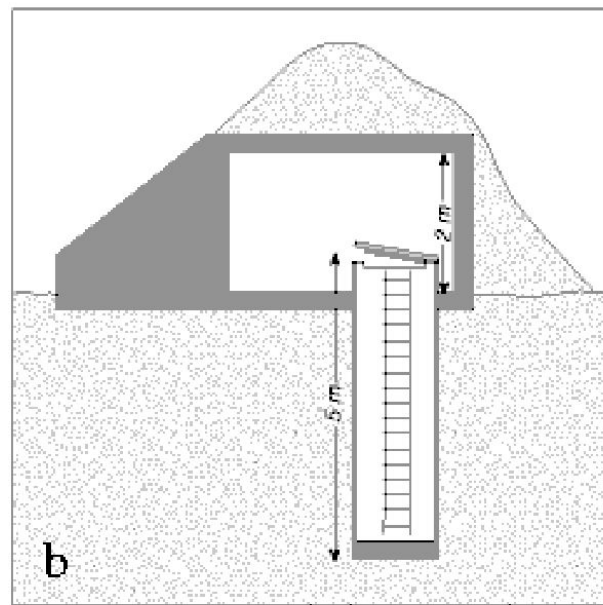
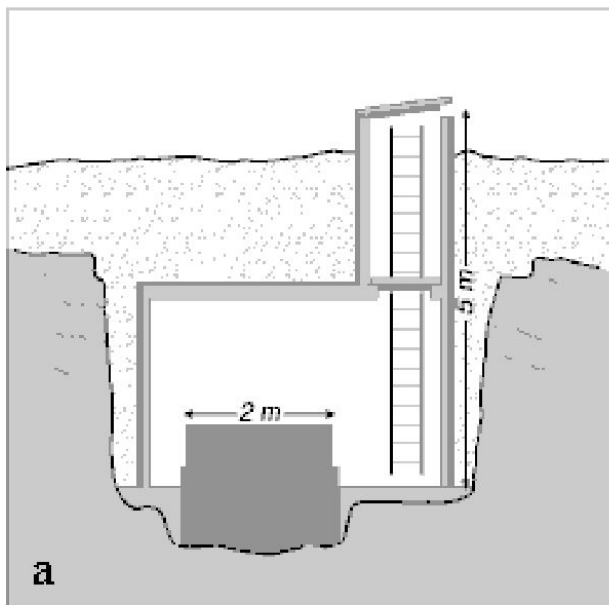


## Установка 3-компонентного датчика и оборудования в алюминиевом транспортном контейнере



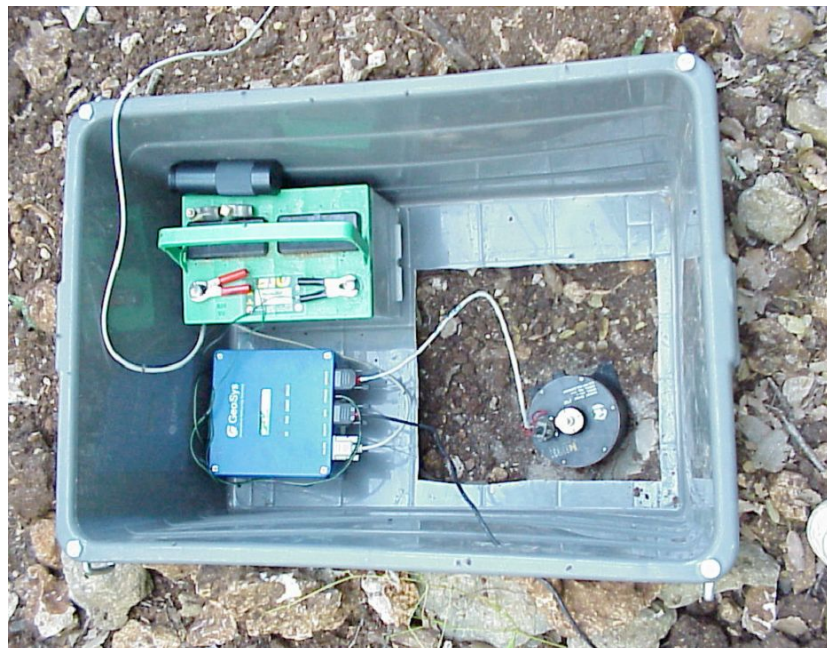
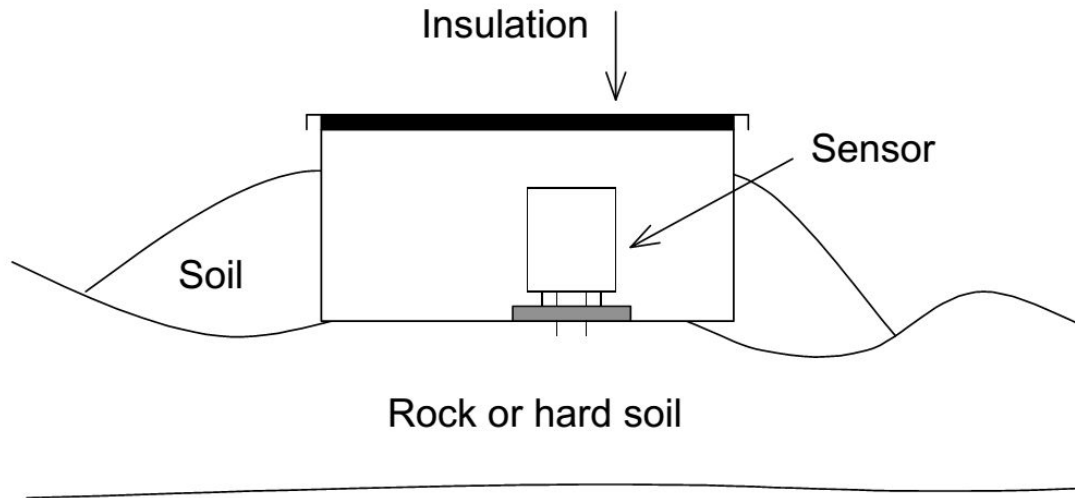
Часть дна контейнера выпилена. Дно залито цементом и соединено с коренной породой стальными стержнями

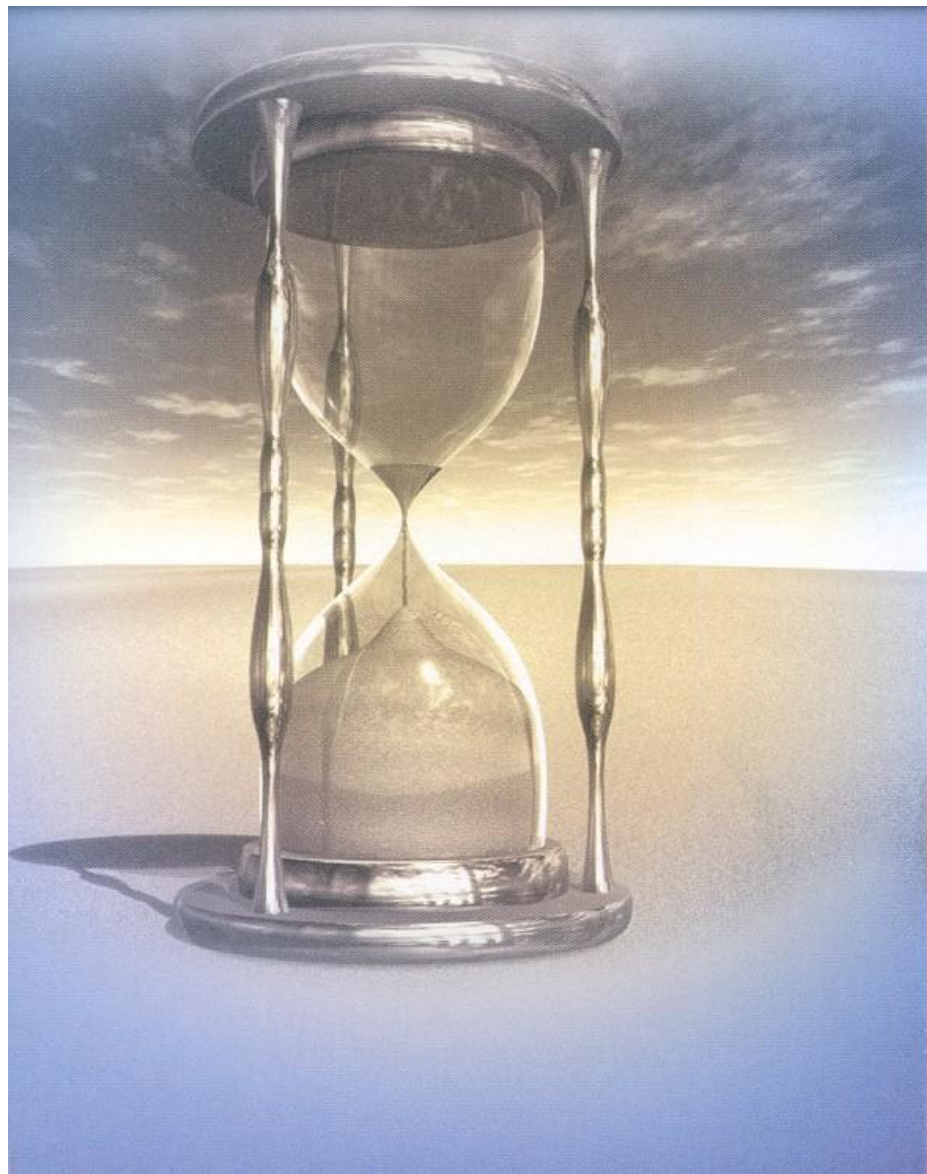
# Варианты бункеров для установки длиннопериодных станций



## Установка временных станций

Если нет коренной породы – зарыть на 1-2 метра и засыпать грунтом.





**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**