

# Сейсмика на Венере. (для справки)

Информативность сейсмических исследований.  
Вся информация по внутреннему строению Земли  
и Луны получена из сейсмических данных. То же  
будет на Венере.

- На Земле вес аппаратуры для регистрации сейсмики от 100кг до 0.1кг, на Луне это первые килограммы. На Венере это может быть порядка 100г., почему: любой сейсмометр состоит из колебательной массы (массой может быть блок электроники, аккумуляторы, сама станция) пружины (пружиной может быть элементы крепления блока электроники) механоэлектрического преобразователя (пьезопреобразователь(1-5г.), катушка в магните) и усилителя 20-50г. с кабелями (50г.).
- Частотные характеристики сейсмометров на Земле от 100сек до 100Гц.
- На Луне ~ 1-5Гц , на Венере 1-100Гц для начала.

# Сейсмические исследования и эксперименты

- Могут быть как пассивные и активные; как на станции так и на баллоне. Пассивный эксперимент заключается в регистрации сейсмических сигналов как на станции так и на баллоне в указанном диапазоне частот. Почему эффективно и на баллоне: При таком давлении на Венере (100ати) волновые сопротивления на переходе грунт атмосфера в отличии от Земли сопоставимы и поэтому все сейсмические сигналы будут передаваться в атмосферу, правда в атмосфере только продольные Р-волны, но это незначительно уменьшит информативность. Длительность регистрации- чем больше тем лучше.
- Активный требует сейсмических источников и знания расстояния от приемника до источника.

- Первые ожидаемые результаты (при одной станции) при пассивном эксперименте. На Земле катастрофические ( $10^{18}$  Дж) землетрясения бывают раз в 10 лет, землетрясения регистрируемые станциями каждый день ( $10^{14}$  -  $10^{15}$  Дж). На Луне за блет было зарегистрировано более 10000 лунотрясений. На Венере можно ожидать такой же частоты венеротрясений как и на Земле (т.е. несколько раз в день). Получим: 1 – уровень сейсмического шума, 2 – частоту венеротрясений, 3- распределение венеротрясений по расстояниям (из соотношения времен прихода продольных P и S поперечных волн), при длительной регистрации график повторяемости венеротрясений и элементы внутреннего строения Венеры путем сопоставлений сейсмограмм с сейсмограммами Земли. При активном: сейсмические скорости P и S-волн и скорости звука в атмосфере. Это означает знание упругих модулей грунта Венеры и их изменения с глубиной.

# Проект. Геофизическая программа для посадочной станции Венера. Классы Научных задач.

- Тектоническая активность и солнечные приливы.
- Сейсмичность.
- Внутреннее строение.
- Вулканическая активность.
- Структура микросейсмического поля.
- Динамические, акустические и электромагнитные процессы в атмосфере.
- Механические и акустические характеристики грунта, электропроводность.
- Тепловой поток.
- **Методы и аппаратурные решения этих задач.**
- Регистрация сейсмоакустических волн, микросейсмических полей и т.п.

# Аппаратура

- 3-х компонентный широкополосный приемник, установленный на Венере
- Общий вес – (механическая система + электроника внутри станции )- 0,8 кг;
- Энергопотребление - 50 мВт; Габариты -10x10x10 см;
- Режим функционирования - событийный, т.е. по превышению сигнала на входе в систему.однокомпонентный высокочастотный сейсмометр, устанавливаемый либо внутри станции, либо вне; возможен сброс в ударостойком варианте в отдельном микропенетраторе: общий вес - сейсмометр + электроника - 0,250 кг; совместно с микропенетратором, радиоизотопным источником и локальной телеметрией - 3,0 - 3,5 кг; перегрузки - 3.000 г. Энергопотребление ~ 10 мВт.
- 2. Регистрация динамических процессов в атмосфере.
- Два специализированных устройства микрофонного типа - внешнего и внутреннего размещения: Общий вес - 0,1 кг; Энергопотребление - 5 мВт.
- 3. Регистрация электромагнитных процессов в атмосфере.
- Возможен режим приема бортовой.
- Исследование свойств грунта. Установка нескольких приемо-передающих электрических и ультразвуковых источников в донной части посадочного кольца весом - 0,05 кг.
- 4. Тепловой поток
- Только с использованием микропенетратора.

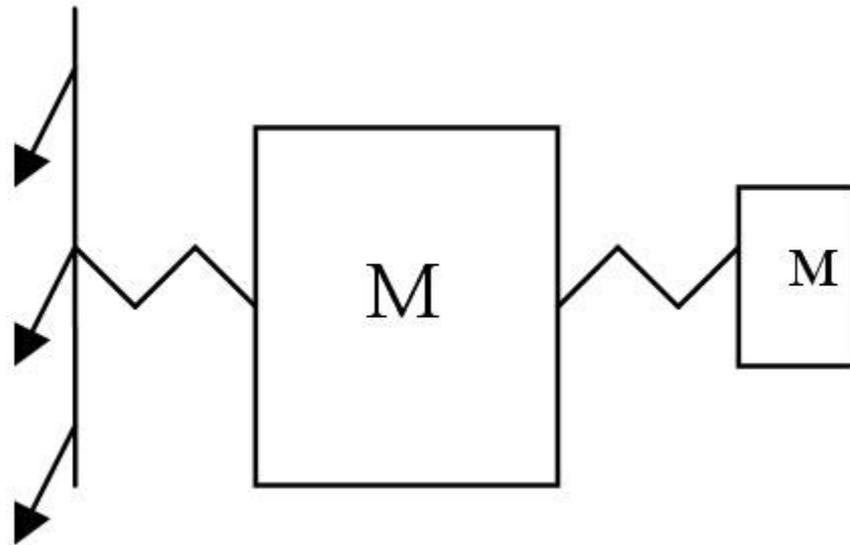
# Ожидаемые результаты.

- Полное выполнение сейсмических экспериментов позволит получить следующие предварительные результаты:
- Заключение об уровне тектонической активности Венеры: сейсмичность, вулканическая активность, возможность сейсмотектонических течений.
- Предварительную, но качественно достоверную модель внутреннего строения Венеры (ядро, мантия, кора).
- Положить начало аэрономии Венеры.
- Определить параметры грунта.
- Определить тепловой потоки геохимический состав коры и верхней мантии Венеры.
- Улучшить и обновить параметры модели происхождения планет.
- Отработать приоритетные передовые методы и технологии исследования небесных тел Солнечной системы.
- Конверсировать космические технологии для нужд научно-технического комплекса.

# Трансформаторный сейсмоприемник

- Трансформаторный сейсмоприемник.
- Для увеличения чувствительности сейсмоприемника механическим путем можно применить механическую трансформаторную связь. В этом случае все сводится к модели связанных осцилляторов разных масс:  $M$ ,  $m$ . Схематически это можно представить в виде связанных осцилляторов (см. следующий Рис.)

# Принципиальная схема сейсмоприёмника с трансформаторным усилением



- Из теории колебаний известно, что при добротности  $Q_m$  малого осциллятора ( $m$ ) больше добротности  $Q_M$  большого ( $M$ ) амплитуда сейсмического сигнала увеличивается в  $(M/m)^{1/2}$  раз, что позволяет уменьшить требования к усилителям и электромеханическим датчикам.
- Уравнения, описывающие эту систему связанных осцилляторов имеют вид:

- Где:  $\xi$  - амплитуда смещений (колебаний) большого осциллятора (сейсмоприемника);
- $\eta$  - амплитуда смещений малого осциллятора;
- $\alpha = m/M$  параметр трансформации;
- $\delta$  – коэффициент затухания;
- $\omega$  – циклическая частота;
- $f$  – внешнее воздействие на осциллятор

- При равенстве парциальных частот осцилляторов ( $\omega_M = \omega_m$ ) в системе возникают биения с частотой  $\Omega \sim 0.5\omega(m/M)$  которую можно регулировать за счет подстройки парциальных резонансных частот каждого из осцилляторов. Колебания малого осциллятора появляются за счет механической связи с большим. При этом с интервалом равным  $\Delta t = (\pi/\Omega) = (2/\omega) \times (M/m)^{1/2}$  энергия перекачивается от одного осциллятора к другому и в этом случае теряется временное разрешение, что не приемлемо для сейсмоприемника при точной регистрации моментов вступлений Р и S волн. Поэтому коэффициент трансформации  $K = (M/m)^{1/2}$  не должен быть слишком большим при регистрации сейсмических сигналов от землетрясений, но при регистрации сейсмических шумов пределов нет.

# Схема гравитационной антенны с механическими двухкаскадными усилителями амплитуд колебаний (Модель Лаврентьева).

- 1- массивная цилиндрическая часть антенны с массой  $M^{\circ}$  и собственной частотой продольных колебаний  $f^{\circ}$ ;
- 2- масса 1-го каскада усиления  $M_1$ ;  $M_1 \ll M^{\circ}$  осциллятора с собственной частотой продольных колебаний  $f_1$ ;
- 3- масса 2-го каскада усиления  $M_2$ ;  $M_2 \ll M_1$  осциллятора с собственной частотой продольных колебаний  $f_2$ ;
- 4- упругий элемент 1-го каскада усиления;
- 5- упругий элемент 2-го каскада усиления;
- Усиление первичного сигнала (продольные колебания цилиндрической антенны 1) происходит при условии  $f^{\circ} = f_1 = f_2$ .



ШСБ  
№01 2007г.  
ГЕОХИ РАН



САБ  
№01 2007г.  
ГЕОХИ РАН

# Схема узкополосного сейсмометра с механическим однокаскадным усилением.

- 1- основная инертная масса  $m_1$  осциллятора с частотой  $f_1$ ;
- 2- инертная масса  $m_2$  осциллятора усиления с частотой  $f_2$ ;
- 3- упругий элемент массы  $m_1$ ;
- 4- упругий элемент массы  $m_1$ ;
- 5- заделка (например, корпус аппарата);
- 6- жесткая заделка, элемент массы  $m_1$ ;
- 7- пьезопреобразователь динамических колебаний, обусловленных внешним воздействием на осциллятор с частотой  $f_1$  (колебания под действием сейсмической волны);
- Усиление первичного сигнала ( $Z$ - компоненты сейсмического сигнала) происходит при условии  $f_1 = f_2$ .



X383H

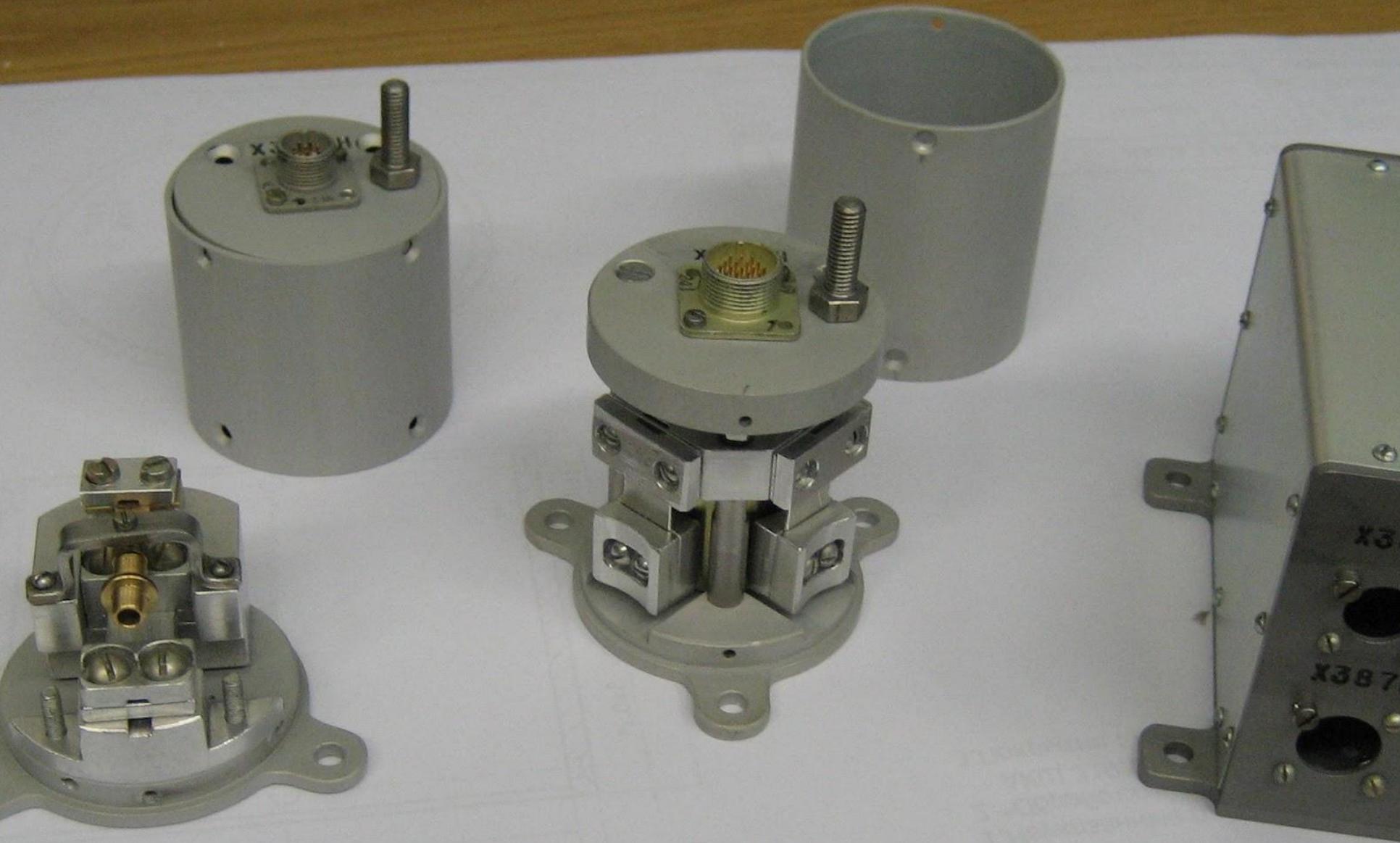
БЭ СЕЙСМО-1  
№ 01 2007г  
ИФЭ РАН

X387H

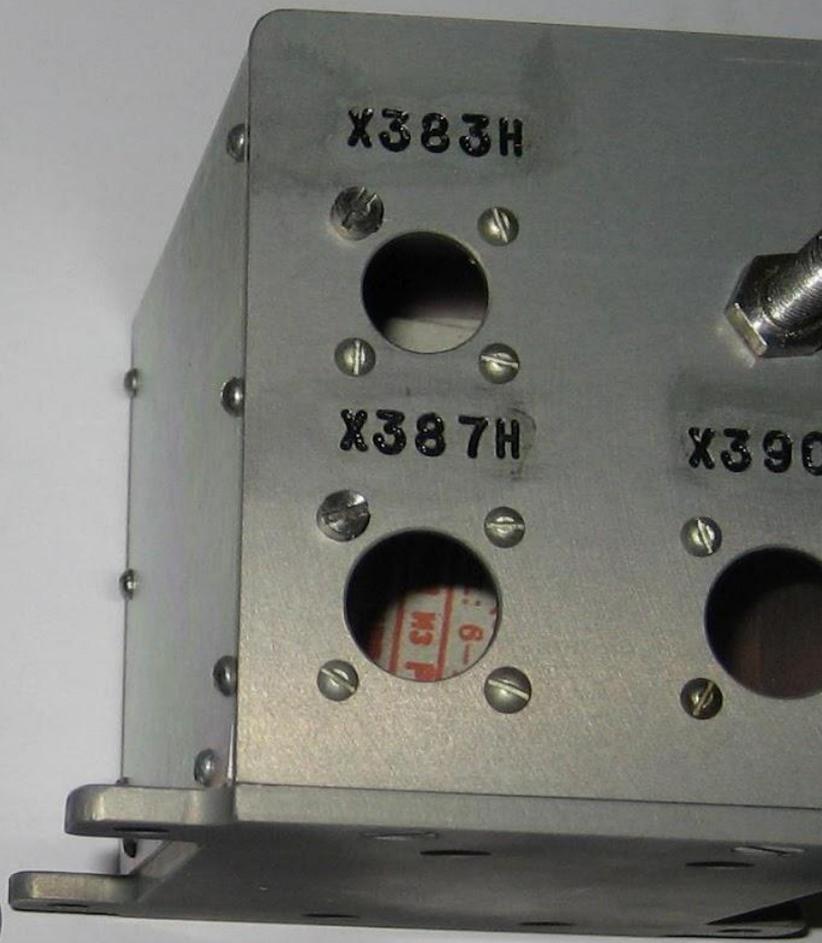
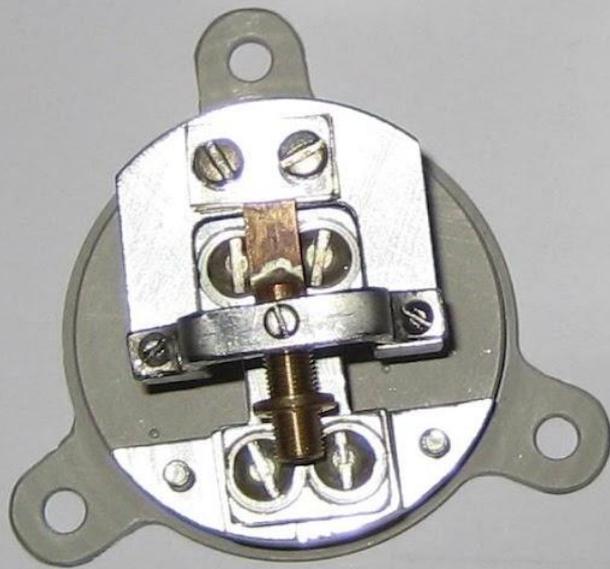
X390H

# Принципиальная схема создания сейсмометра с многокаскадным усилением с использованием в качестве основного осциллятора посадочную станцию, имеющую опоры с упругими элементами.

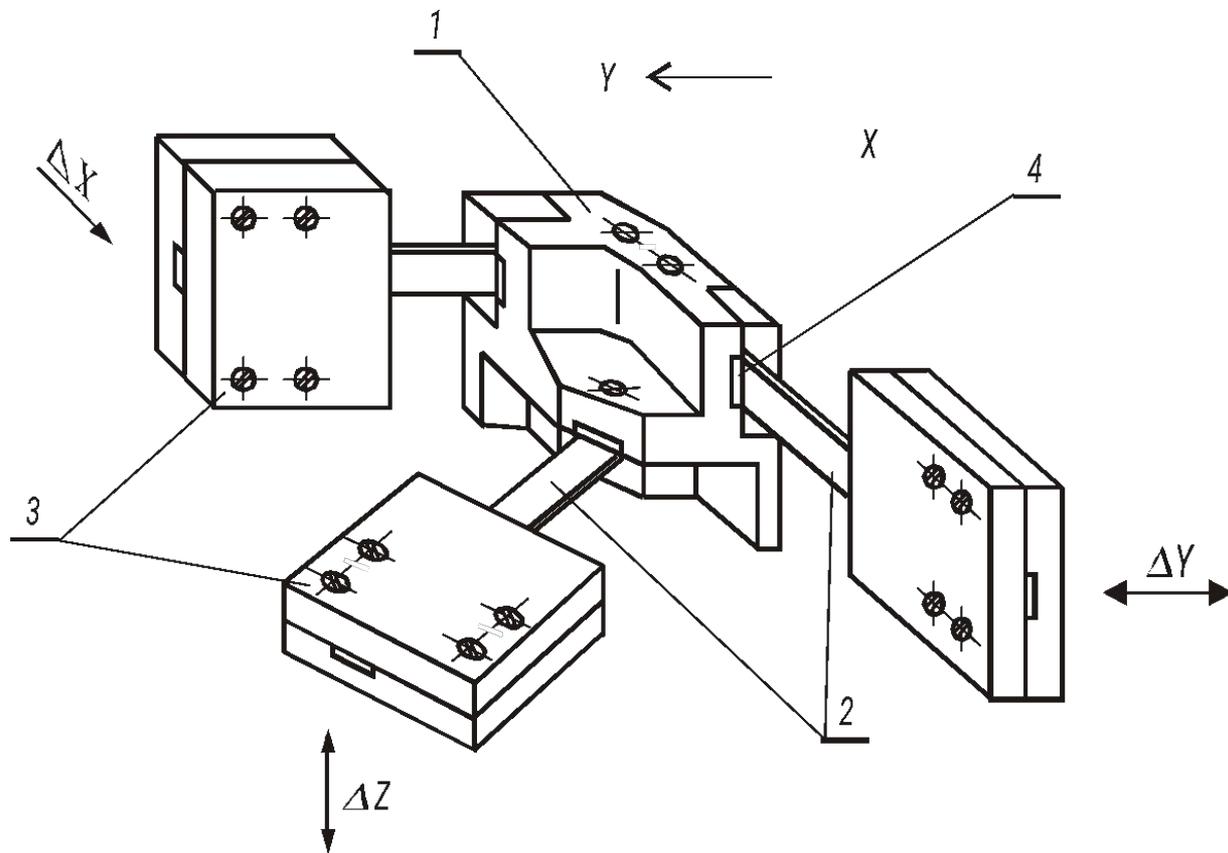
- 1- герметичный корпус станции, имеющей общую массу  $m_1$  (за вычетом масс осцилляторов с инертными массами (2)  $m_2$  и (3)  $m_3$  и с собственными частотами  $f_4$ ;  $f_5$ );
- 2- инертная масса осциллятора усилителя 1-го каскада;
- 3- инертная масса осциллятора усилителя 2-го каскада;
- 4- упругий элемент сейсмометра - посадочной станции (устанавливается во всех опорах станции);
- 5- упругий элемент осциллятора усилителя 1-го каскада;
- 6- упругий элемент осциллятора усилителя 2-го каскада;
- 7- опоры станции;
- 8- дневная поверхность планеты;
- 9- якорь-фиксатор;



- А – В. Конструктивная схема упругого элемента опоры посадочной станции как элемента сейсмометра (основного осциллятора).
- А- Схема расположения посадочной станции на дневной поверхности планеты.
- Б- Внешний вид опоры.
- В- Конструктивная схема упругого элемента опоры.
- А. 1-корпус станции; 2- дневная поверхность; 3- опоры корпуса; 4- якоря-фиксаторы.
- Б. 1- верхняя часть опоры; 2- нижняя часть опоры; 3- корпус упругого элемента опоры; 4- дневная поверхность; 5- цилиндрическая часть якоря- фиксатора; 6- якорь
- В. 1,2- верхние и нижние части опоры соответственно; 3- корпус упругого элемента опоры; 4- опорный диск для пружины; 5- направляющие опорного диска; 6- срезаемые в момент посадки штифты- фиксаторы; 7- плоская пружина; 8- пьезокерамический преобразователь деформации пружины 9- направляющие для настройки упругого элемента; 10- фиксаторы корпуса 3; 11- кабель для передачи сигнала от 8.



# Острорезонансный сейсмоприёмник



# Предельная чувствительность резонансного сейсмоприемника

- Трехкомпонентный резонансный сейсмоприемник:
- 1– основание; 2– пластины; 3 – грузы; 4 – пьезокерамика
- Предельная чувствительность осциллятора в узкой полосе определяется теоремой Найквиста; Подставляя реальные параметры:  $K=1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К,  $T=3 \cdot 10^2$  К,  $m \sim 1$  кг, для частоты  $\omega^2 = 10^2$  рад/с получаем  $\sim 5 \cdot 10^{-13}$  м. и, полагая  $Q \sim 10^2$ , получаем  $\sigma_{\text{фл}} = 10^{-15}$  м. Эта величина значительно выше предыдущей оценки, поэтому региональные ВСШ в диапазоне десятков Герц должны регистрироваться сейсмоприемниками, обладающими значительной массой

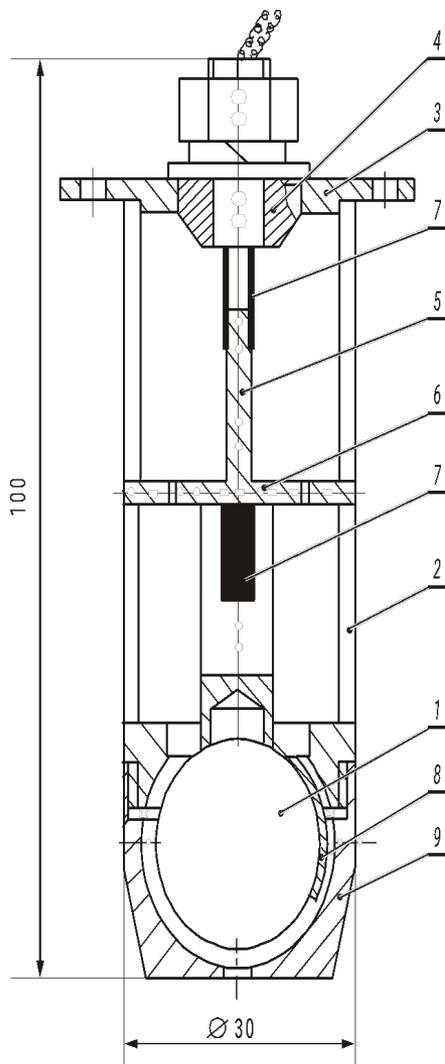
## *Сейсмоприемник для посадочных модулей межпланетных станций и пенетраторов*

- Должен удовлетворять следующим, особенно жестким в случае пенетратора, требованиям: жесткие ограничения по массе, габаритам и энергопотреблению; сжатие первичной информации; стойкость к перегрузкам от 500 до 10000 g; исключение арретира; функционирование при любых отклонениях от вертикали; работоспособность через 0.1–1 с после остановки пенетратора или его проникающей части; совмещение трехкомпонентного акселерометра больших сигналов длительностью 0.1 с с сейсмоакустическим приемником слабых высокочастотных импульсов с частотой 10<sup>3</sup>–10<sup>5</sup> Гц. Кроме того, он должен регистрировать сейсмический сигнал в широком частотном диапазоне в виде обычной сейсмограммы. Сейсмометр обычно расположен в головной части пенетратора и содержит несколько блоков: собственно двухкомпонентный сейсмоприемник в виде специальной механической конструкции (рис. 2), электромеханических пьезопреобразователей колебаний инертной массы и электронных узлов – усилителя и блока выделения огибающей сигнала.

## Продолжение

- Введение блока выделения огибающей вызвано ограниченными возможностями электронных блоков памяти и мощности передатчика и служит для значительного уменьшения (более чем на два порядка) количества бит передаваемой информации. По циклограммам функционирования сейсмометр сразу после внедрения пенетратора работает в режиме высокочувствительного акселерометра ( $a \sim 10^{-10}g$ ) с полосой пропускания, определяемой электронными блоками. В этом режиме сейсмоприемник записывает на сейсмограмме (акселерограмме) сейсмические сигналы в виде волн, отраженных от различных неоднородностей и сейсмических границ. Первичный источник таких волн – внедрение пенетратора, падение частей теплового экрана и тормозных двигателей. После сейсмометр работает в дежурном режиме как узкополосный сейсмограф на резонансных частотах  $f_1, f_2$  с максимальным усилением для записи вариаций уровня сейсмических шумов; его амплитудно-частотные характеристики сейсмометра подобны таковым акселерометра (рис. 3). В событийном (ждушем) режиме записывается сигнал от планетотрясения и других сейсмических событий только после превышения последним определенного уровня (порога) с меньшим коэффициентом усиления  $K$  (рис. 4). Коэффициенты усиления сигналов меньше пороговой величины  $U_p$  ( $U < U_p$ ) –  $K = 10^4$

# Ударостойкий сейсмометр



Двухкомпонентный сейсмоприемник  
для пенетратора:

1 – сферическая масса; 2 – корпус;

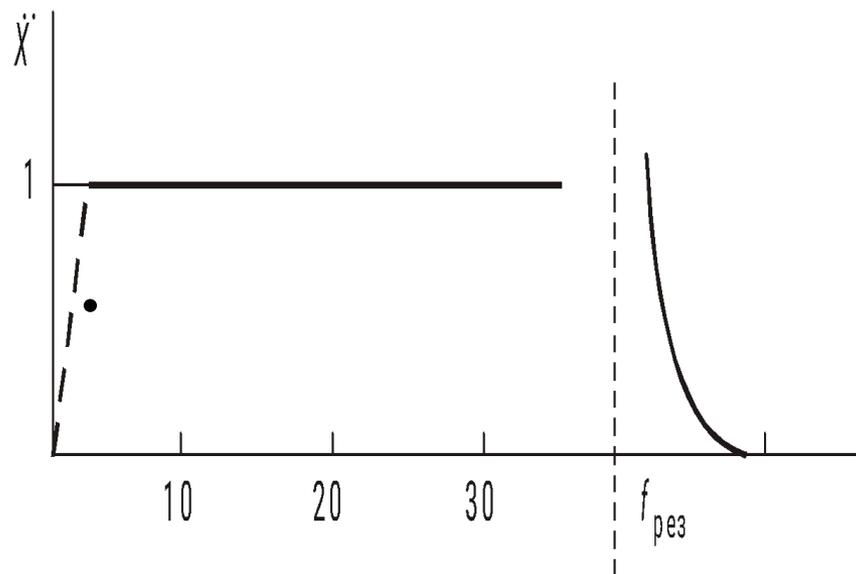
3 – крышка; 4 – хвостовик упругого

элемента; 5, 6 – переходник;

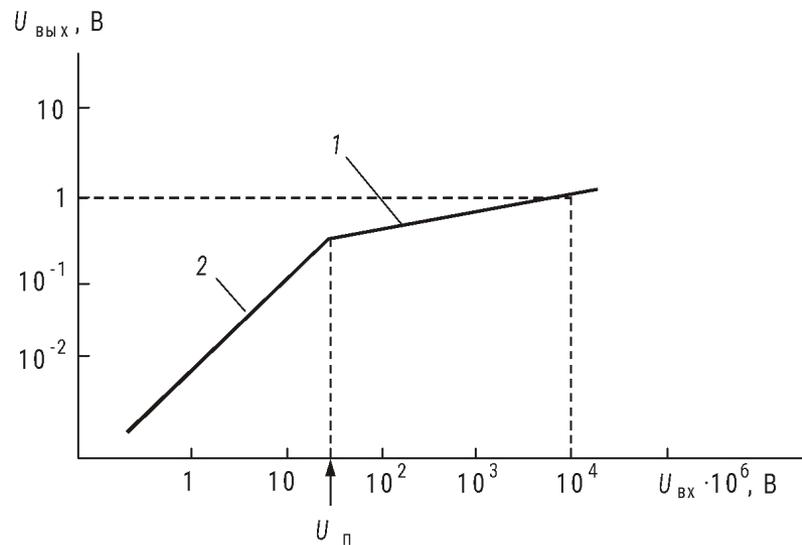
7 – пьезопреобразователь;

8 – пружинная цанга; 9 – донная ловушка

# Характеристики резонансного сейсмоприёмника и усилителя



**Рис.3.** Амплитудно-частотная характеристика сейсмометра

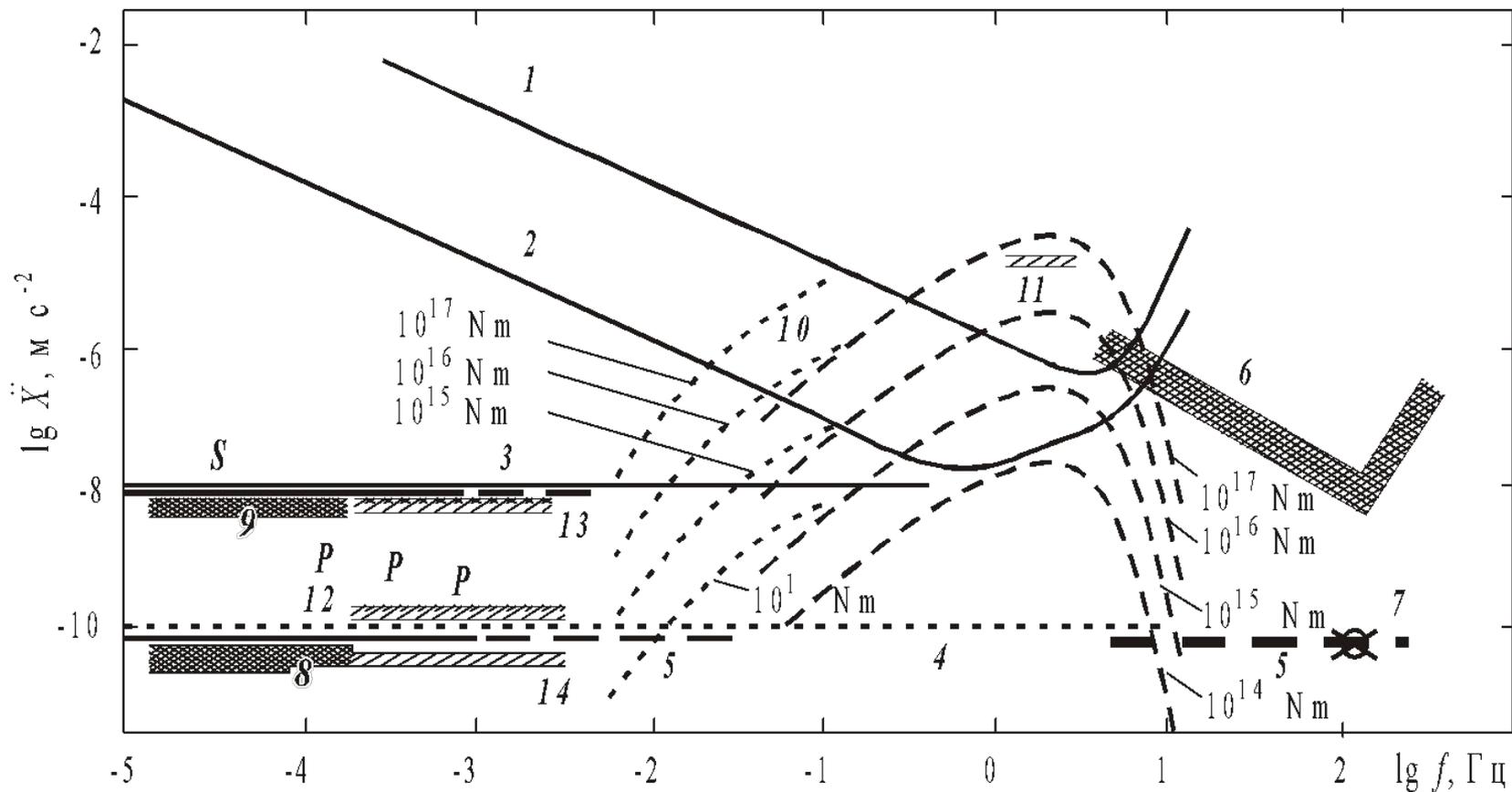


**Рис. 4.** Амплитудно-амплитудная характеристика усилителя сейсмометра  
1 –  $K=102$ ; 2 –  $K=104$

# Основные параметры сейсмометра

№п \п	Параметр	Канал 1	Канал 2
1	Масса, кг		
	Общая		0.5
2	Инертная		0.1
3	Собственная частота, Гц	108	101
4	Коэффициент преобразования, В\м\с <sup>2</sup>	11	2.7
5	Полоса частот, Гц	10-110	10-110
6	Предельная чувствительность, м\с <sup>2</sup>	10 -10	10 -10
7	Добротность	100	100
8	Динамический диапазон, дБ	120	120

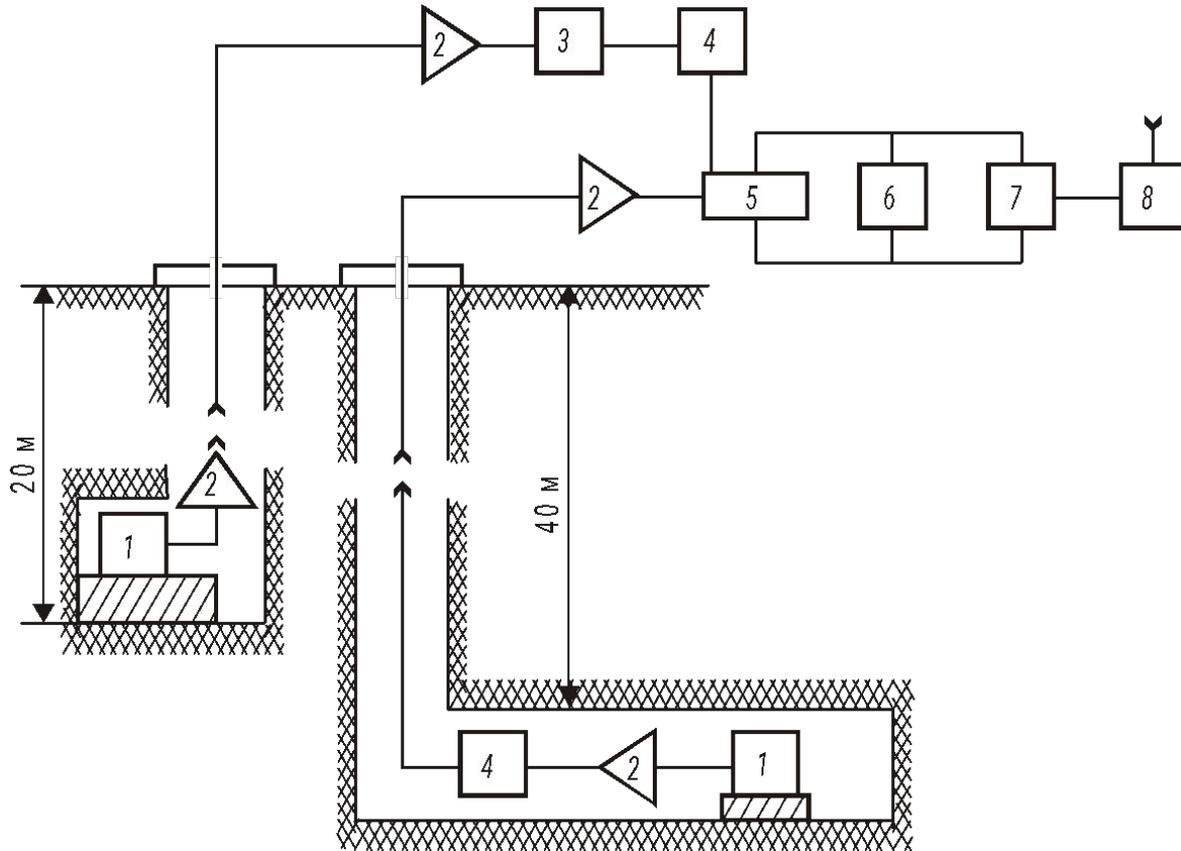
# Сводные данные по чувствительности аппаратуры и сейсмическим условиям на Луне и Марсе



# Сводные данные по чувствительности аппаратуры и сейсмическим условиям на Луне и Марсе (продолжение)

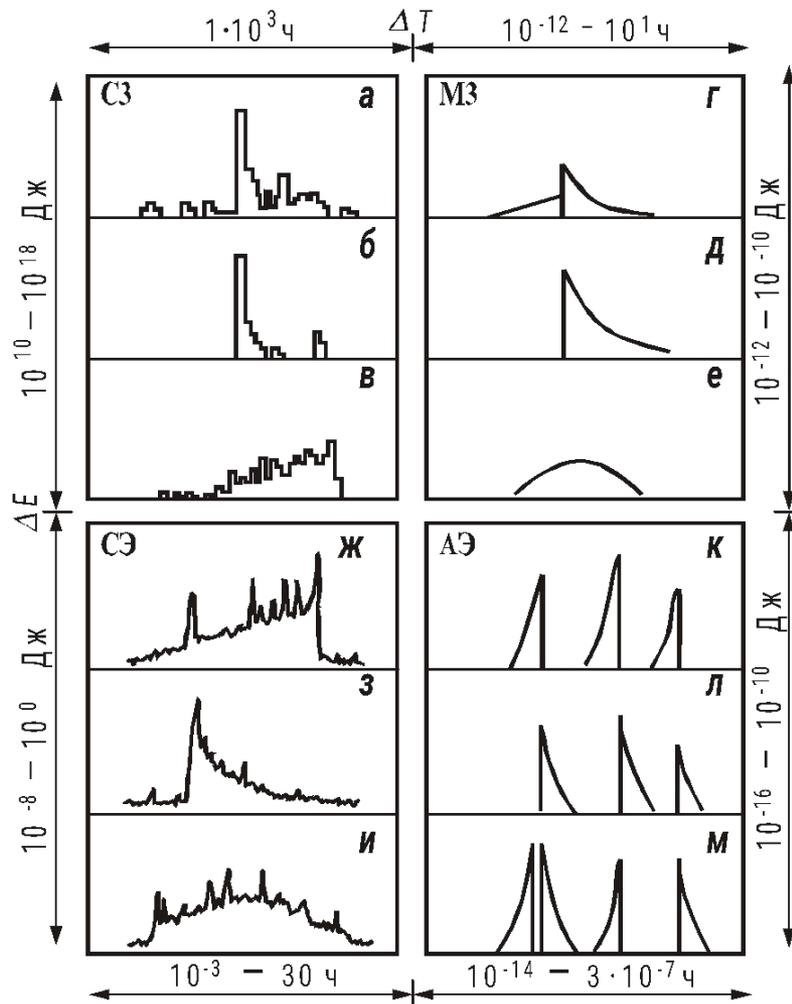
- 1 – сейсмометры Viking; 2, 3 – сейсмометр Optimism (2 – пассивный режим регистрации, 3 – активный режим); 4 – тепловой шум канала Optimism; 5 – шум канала сейсмоприемника пенетратора; 6 – акселерографический режим работы сейсмоприемника пенетратора; 7 – узкополосный сейсмограф; 8 – чувствительность при регистрации в модуляционном режиме; 9 – модуляционный режим для солнечного прилива; 10 – амплитуды волн от марсотрясений; 11–13 – уровень поверхностного шума: 11 – по данным Viking, 12 – средний, 13 – максимальный; 14 – минимальный ветровой шум на Марсе;  $P$  – уровень сигнала от приливных воздействий Фобоса

# Схема стационарного пункта наблюдений ВСШ “Первомайский”, Туркмения



- 1 – датчики; 2 – усилитель; 3 – фильтр;
- 4 – блок выделения огибающей;
- 5 – блок памяти;
- 6 – автомат приема точного времени;
- 8 – радиоприемник

# Особенности форм возмущений уровня огибающей ВСШ и выбросов СЭ



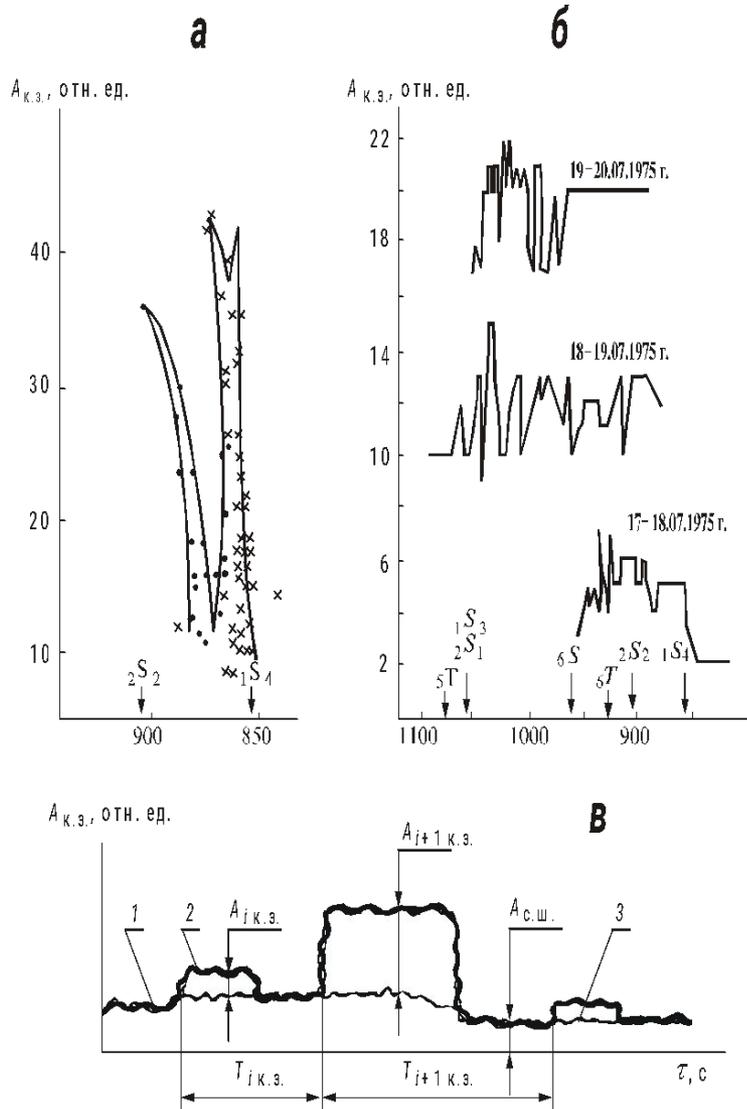
а–в – формы совокупности землетрясений (СЗ) [Mogi, 1963];

г–е – моделирование сейсмического режима (МЗ);

ж–и – типы меандров сейсмической эмиссии (СЭ);

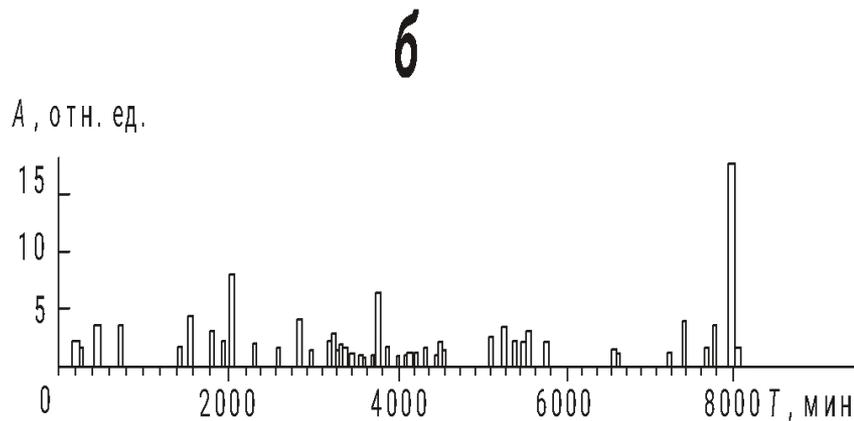
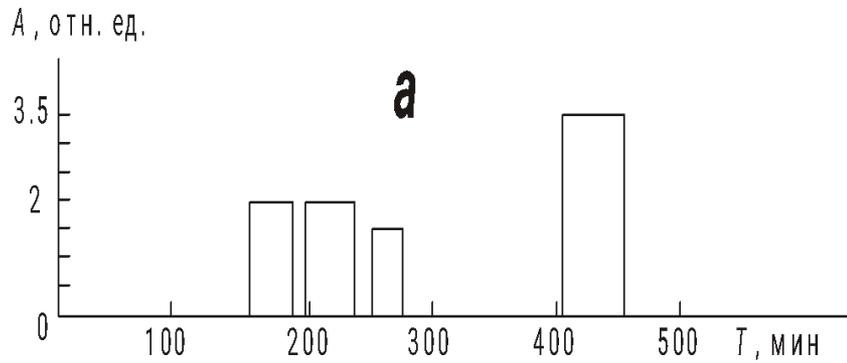
к–м – акустическая эмиссия (АЭ) [Иванов, Белов, 1981]

# Динамика собственных колебаний Земли



- Переход колебательной энергии Земли от  $1S_4$  на  $2S_2$  (а);
- дрейф периода колебаний  $T_{к.з.}$  во времени в узкой
- полосе периодов от группы из  $1S_4$  на  $2S_2$  к группе
- из  $2S_1$ ;  $1S_4$ ;  $5T_0$  в течение 17-20.07.1975 г. (б);
- схема определения амплитуд  $A_{i к.з.}$  и  $T_{i к.з.}$ .
- (в) по записи вариации уровня огибающей сейсмических шумов в реальном времени
- 1 – невозмущенный участок огибающей шумов;
- 2 – характерное возмущение под действием собственных колебаний Земли ( $i$ -й участок);
- 3 – усредненный уровень шума

# Графическое представление Каталога Накамуры



Пример построения  
временного ряда  
из каталога лунной  
сейсмичности Накамуры:  
(а), по оси ординат –  
амплитуда лунотрясения  
( $A_{\text{отн.}}$ ),  
по оси абсцисс – время;  
(б) – то же самое в более  
сжатом виде

# Выводы

- Сейсмический эксперимент для космических исследований – не требует значительных масс, энергопотребления, информационных потоков, компактен и надежен. Включает современные представления нелинейной физики, требует обширного опыта и высокой культуры исследования. Для многих исследований – безальтернативный источник космогонической и астрофизической информации.