

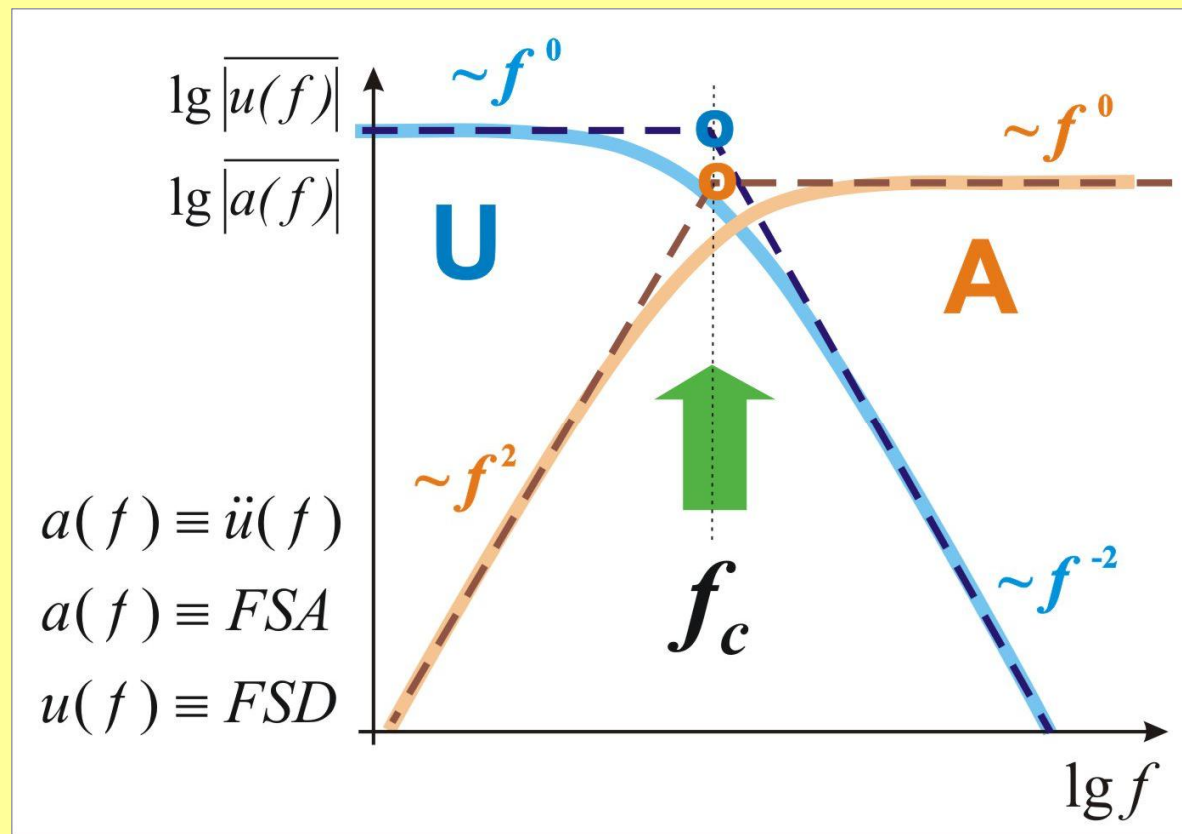
**Предварительные результаты определения
характерных частот
очаговых спектров местных землетрясений
по записям ст. Петропавловск-Камчатский.**

А.А.Гусев^{1,2}, Е.М.Гусева²

(КФ ГС РАН²; ИВиС ДВО РАН², Петропавловск-Камчатский)

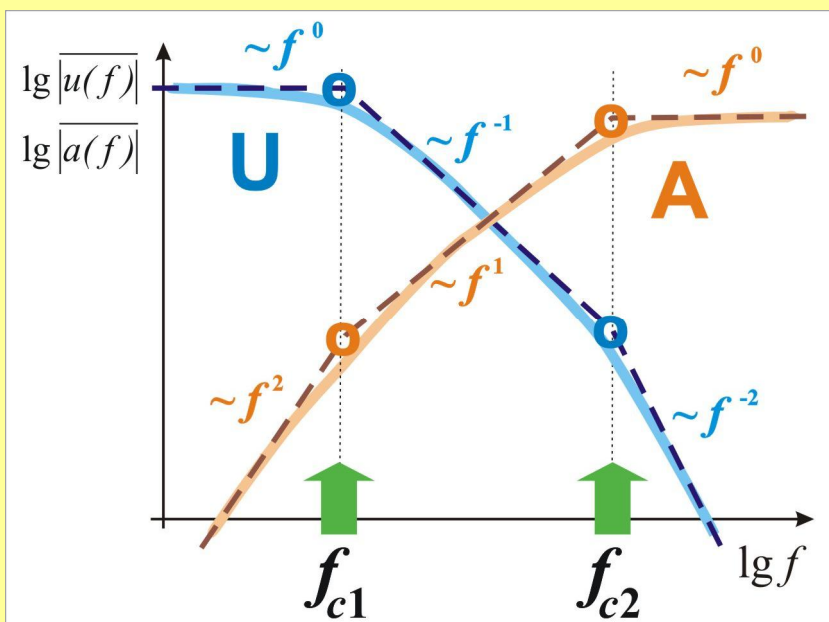
Проблема:

Аки(1967); Брун(1970): модель очагового спектра землетрясения
« ω^{-2} или омега-квадрат» - стандарт современной сейсмологии.
В этой модели спектр имеет единственную характерную частоту
-- корнер-частоту f_c ... НО!



Проблема(2)

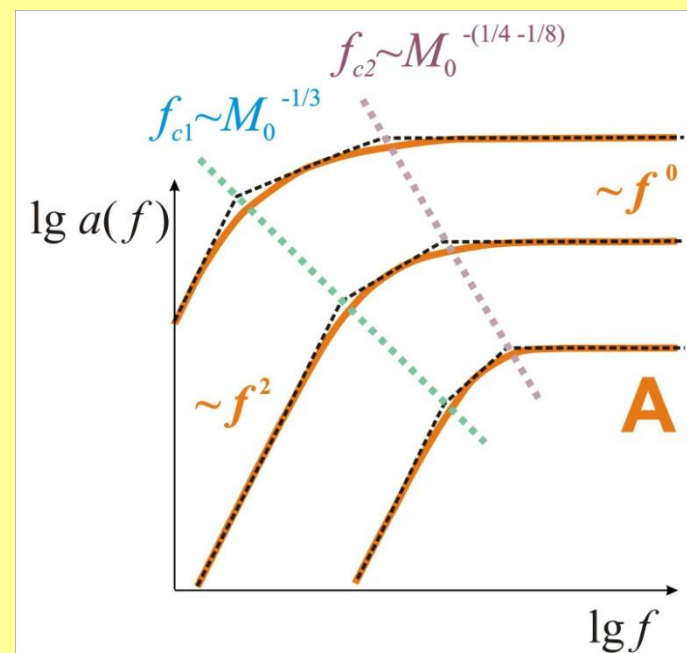
Брун (1970) также ввел модель очагового спектра с двумя корнер-частотами (ε -модель), и с ветвью типа ω^{-1} в промежутке между ними. Далее она обозначается « $\omega^{-0} - \omega^{-1} - \omega^{-2}$ », ее а ее корнер-частоты f_{c1} и f_{c2} .



Гусев(1983) (1) обосновал реальность f_{c2} на материале наблюдений и (2) выявил удивительный характер скейлинга для f_{c2} .

Если $f_{c1} \sim M_0^{-1/3}$ в согласии с идеей подобия спектров, то для f_{c2} вообще не было обнаружено явной зависимости от M или M_0 . (Позднее медленный рост f_{c2} с M был выявлен).

Это значит, что **грубо нарушается подобие очаговых спектров** (а, значит, и самих очагов).



Проблема(3)

Хэнкс (1982) отметил наличие верхнего среза наблюдаемого спектра ускорений при $f = f_{\text{max}}$.

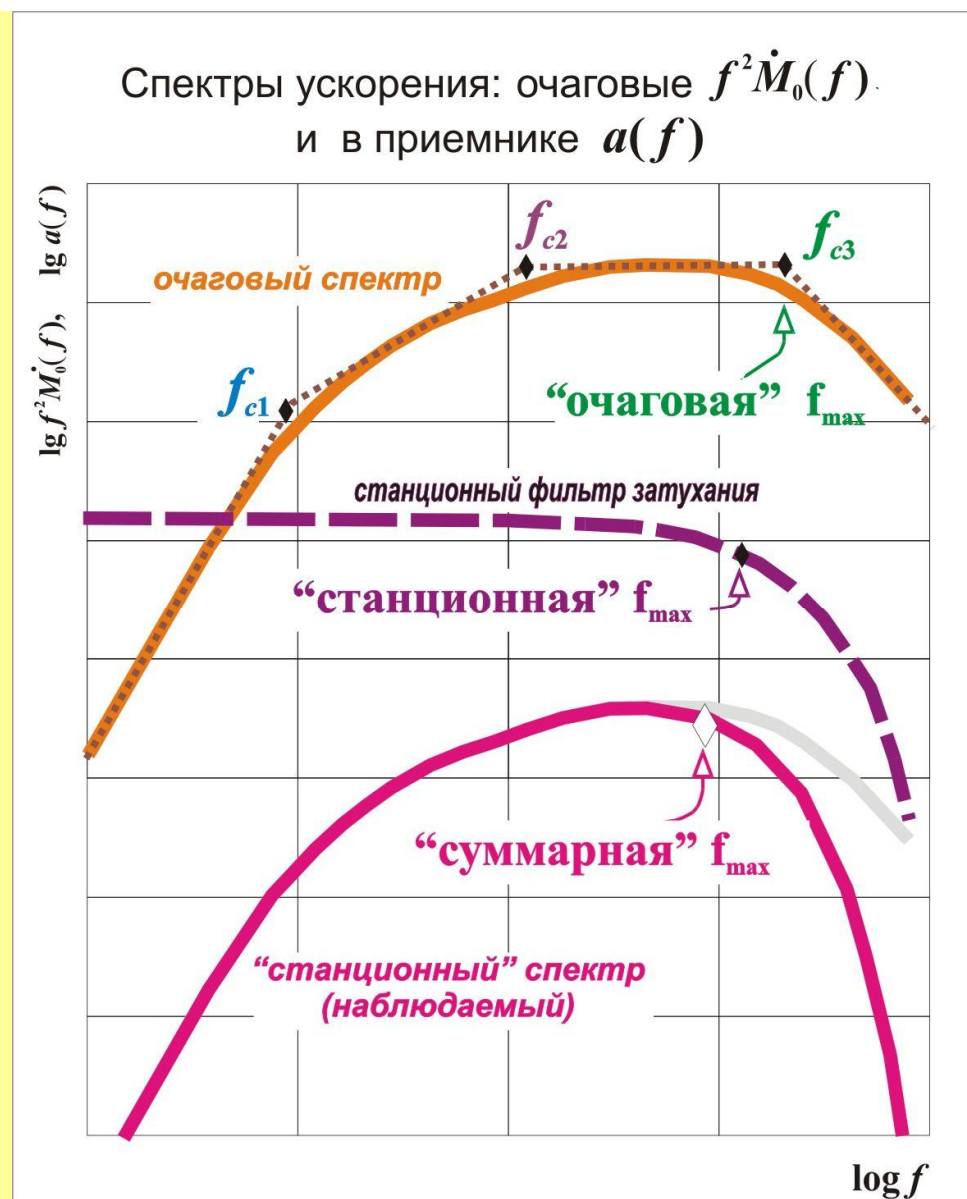
Гусев(1983) и Пападжорджиу и Аки (1983) предположили, что f_{max} – это очаговый эффект. Но Андерсон и Хок (1984) показали, что f_{max} формируется слоем высокого затухания под приемником.

КТО ПРАВ?

Вероятно, оба фактора играют роль.

Вопрос мало изучен.

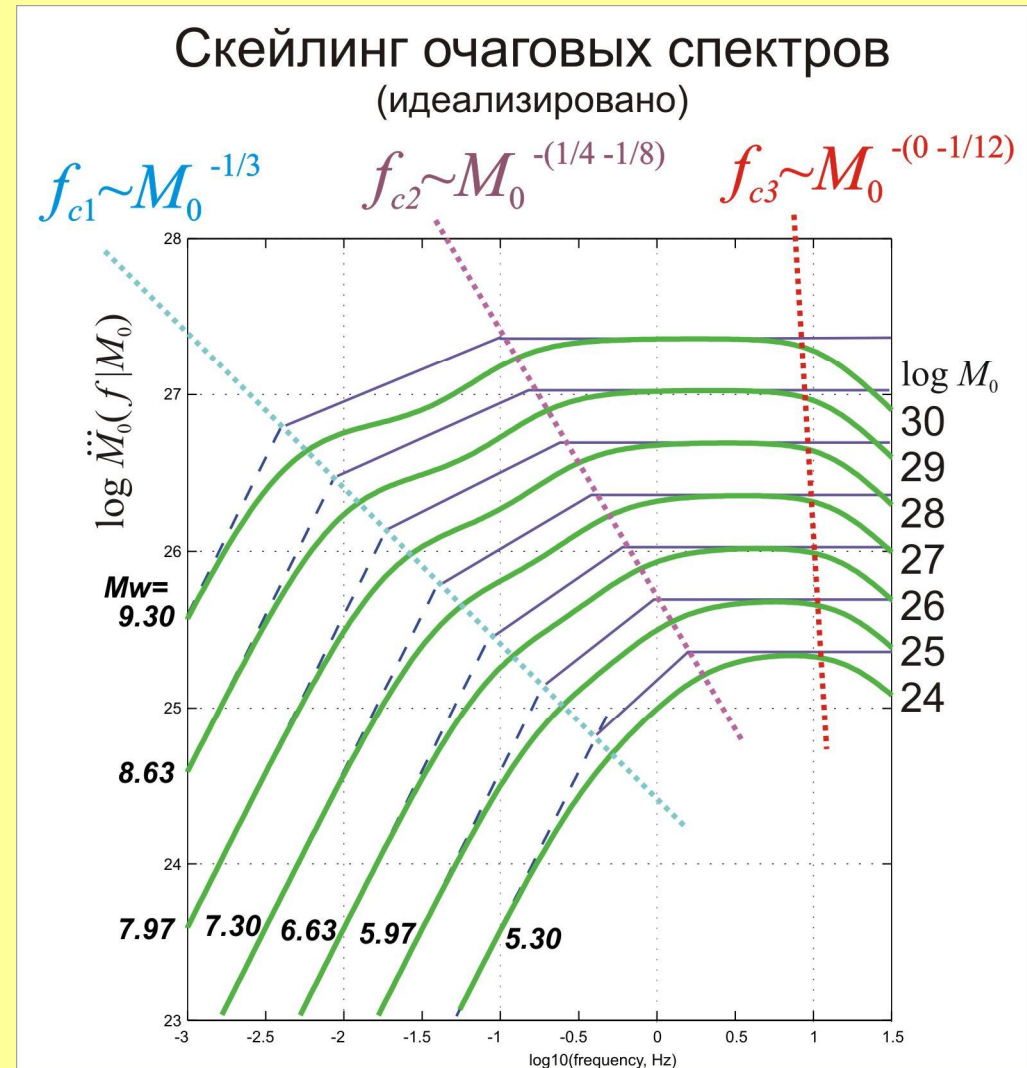
Обозначим «станционную» f_{max} ,
- эффект поглощения вблизи
станции – как $f_{\text{max-погл}}$



Проблема(4)

- **Постановка задачи:**
Для землетрясений Камчатки с $M=4-6$
выявить наличие f_{c2}
проверить реальность
аномального скейлинга $f_{c2}(M)$
выявить наличие f_{c3}
изучить скейлинг $f_{c3}(M)$

Предполагаемая схема скейлинга (масштабирования) очаговых спектров землетрясений



Предварительный этап – установление модели затухания P и S волн(1)

Цель: уметь оценить форму очаговых спектров на основе наблюдаемых спектров путем компенсации эффектов затухания.

параметры затухания: κ_{0P} , κ_{0S} , $Q_P(f)$, $Q_S(f)$ и др.

Исходные данные: записи цифровой станции РЕТ

Проведена совместная интерпретация оценок затухания по результатам работ: **Абубакиров [2005]; Гусев и Гусева [2011]**

Принятая модель затухания S-волн для амплитудного спектра Фурье:

$$\begin{aligned} -\ln A(f) &= \pi f \kappa = \\ &= \pi f \kappa_0 + \pi f r_{eff} / c Q(f) = \\ &= \pi f \kappa_0 + \pi f (r_{eff}/100) \kappa_{100}(f) \end{aligned}$$

где

r_{eff} - гипоц. расстояние (эффективное)

κ_0 – постоянный эффект слоя под станцией; $\kappa_0 = \ln 2 / \pi f_{\text{max-погл}}$

$\kappa_{100}(f) = \kappa_{100}$ – потери на трассе при $r=100$ км

$Q(f)$ – добротность на трассе

c - скорость волн

Предварительный этап – установление модели затухания P и S волн (2)

Оценка параметров для среды
под ст РЕТ, S -волны

κ_0 – постоянный эффект слоя
под станцией;

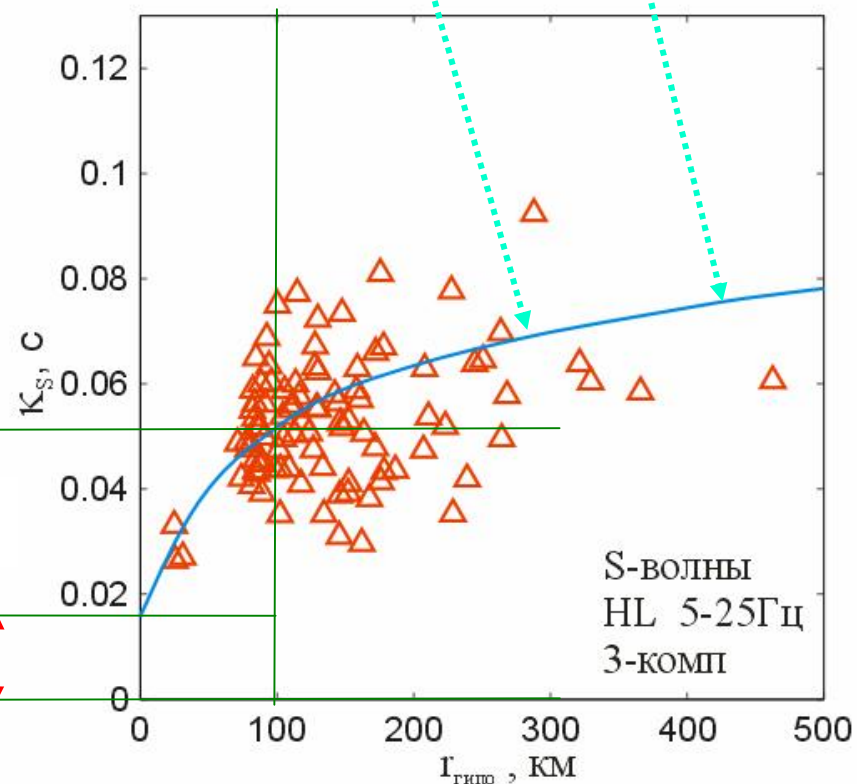
$\kappa_{100}(f)$ – потери на трассе при
 $r=100$ км

зависимость $\kappa(r)$ принята
нелинейной

$$\kappa_0 + \kappa_{100} = 0.053 \text{ с}$$

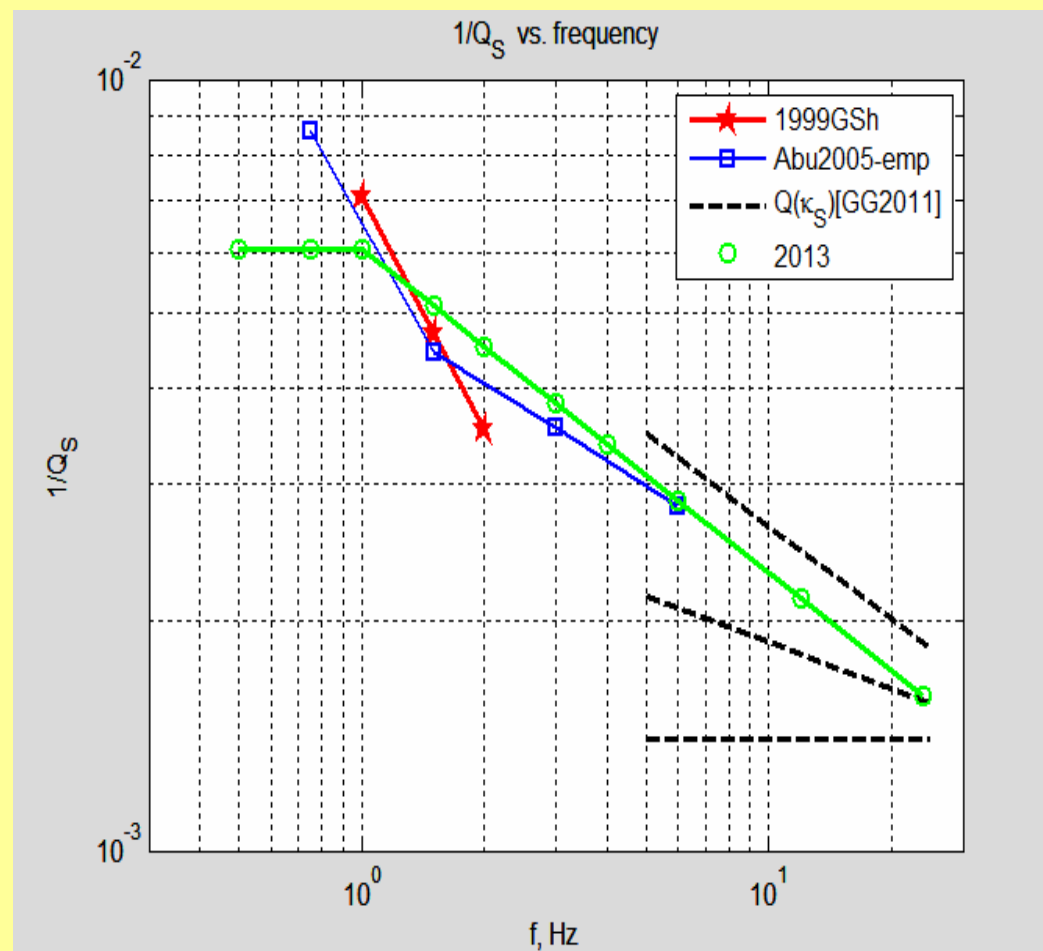
$$\kappa_{100} = 0.037 \text{ с}$$

$$\kappa_0 = 0.016 \text{ с}$$



Предварительный этап – установление модели затухания P и S волн (3)

модель $Q_s(f)$ (—) принята:
в полосе 1-6 Гц в основном по
[Абубакиров 2005]
в полосе 5-25 Гц – на основе
[Гусев, Гусева 2011];
результат:
 $Q_s(f)=165f^{0.42}$



Исходные данные

Использованы записи акселерографа цифровой станции РЕТ (канал LG, код HN), за 1993-2005 гг с частотой опроса 80 Гц

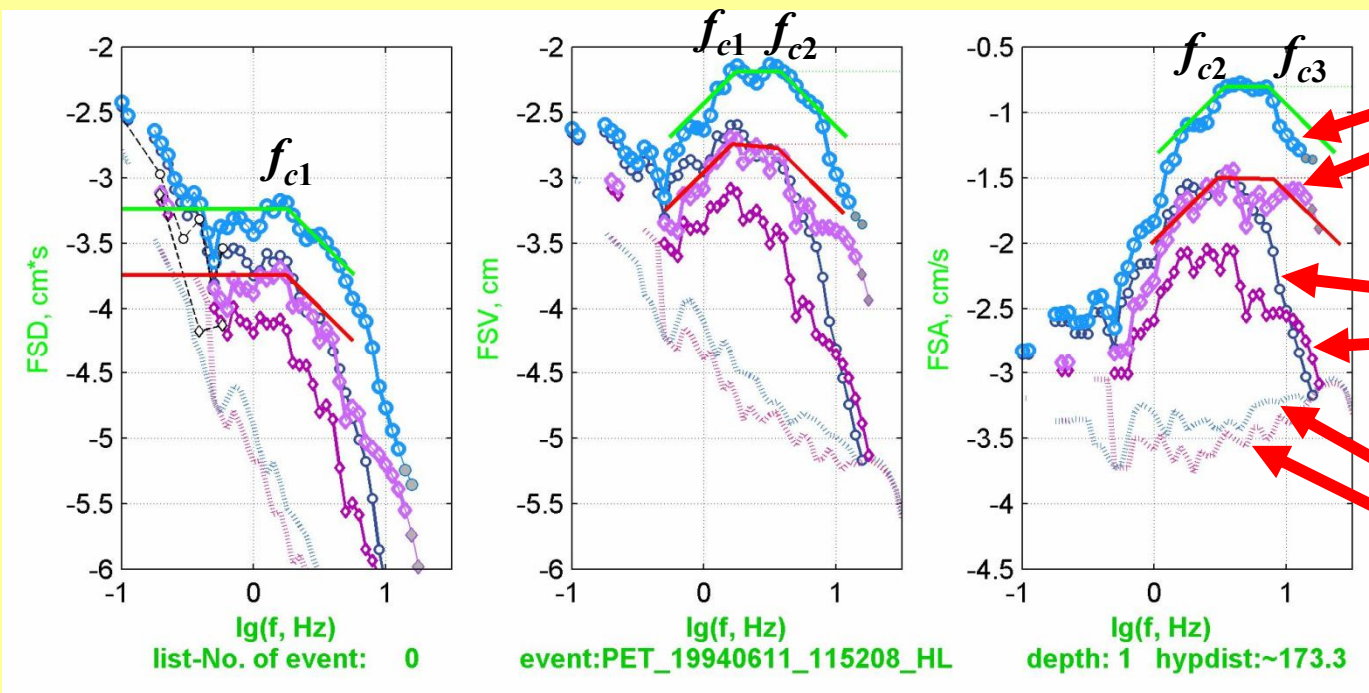
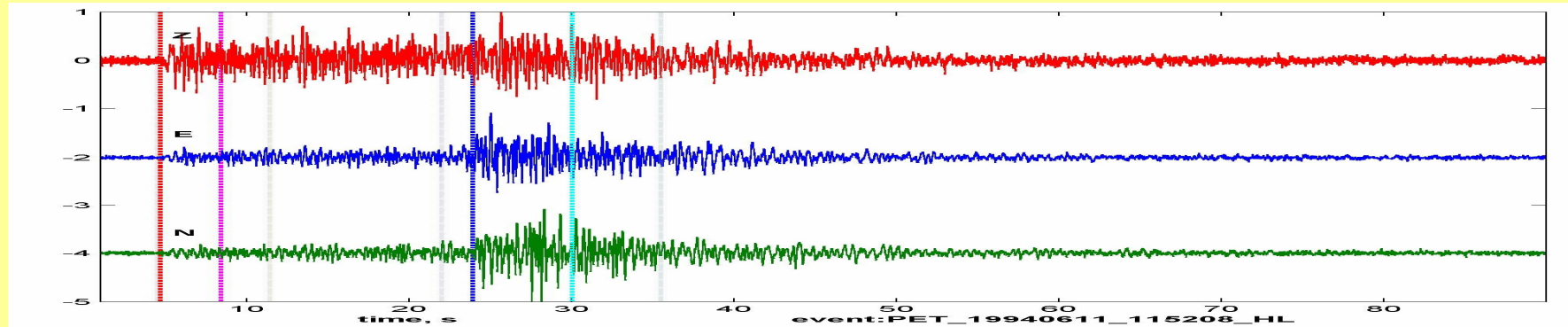
Всего отобрано 439 записей

Гипоцентральные расстояния: 80-220 км;

Глубины 0-200 км;

$M_L=4-6.5$ ($K^{\Phi 68}=9.5-14$)

Пример обработки



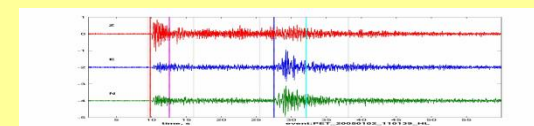
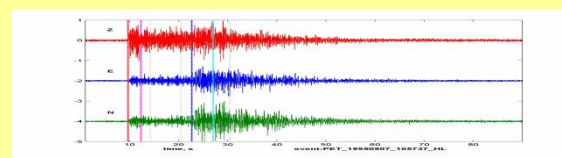
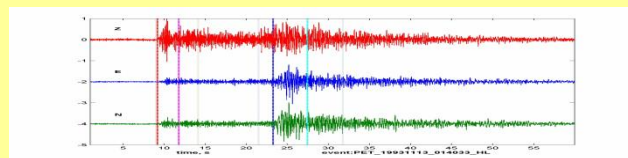
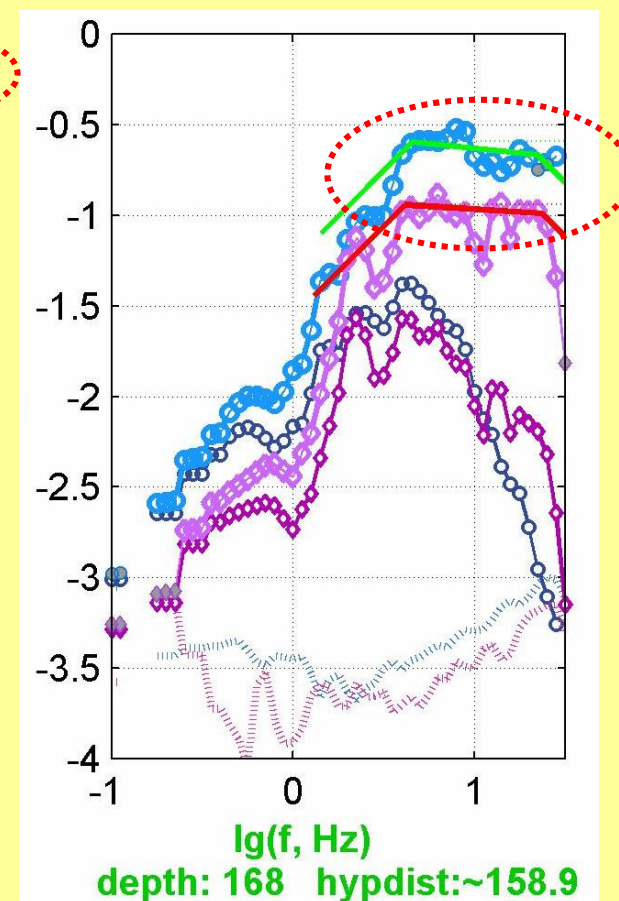
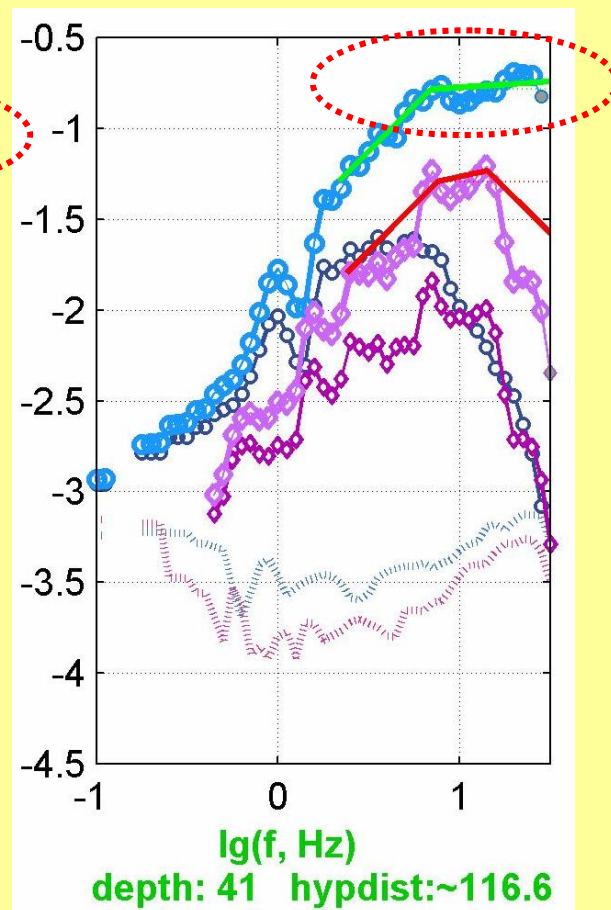
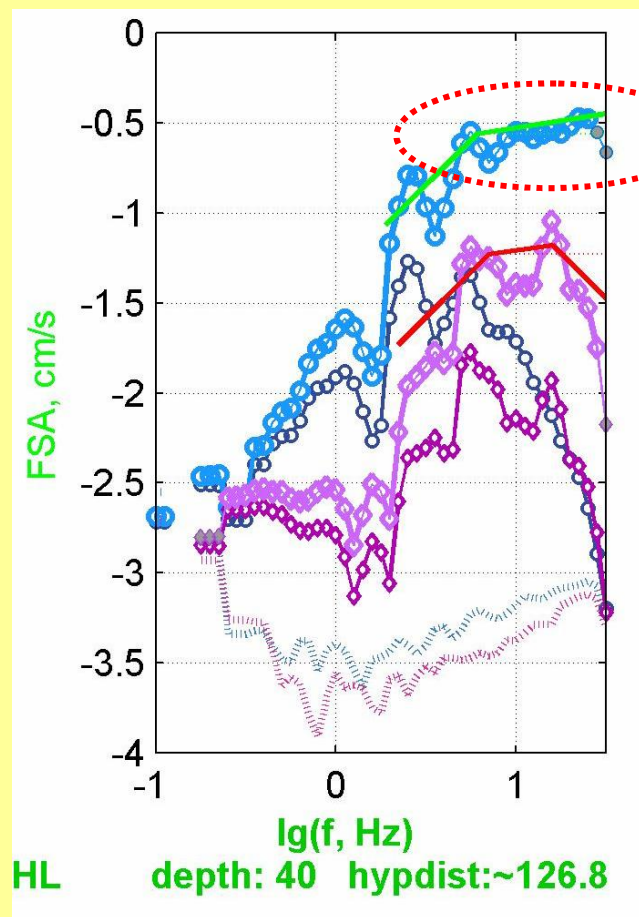
Исправлен-
ные спектры
Р и S волн

Наблюден-
ные спектры
Р и S волн

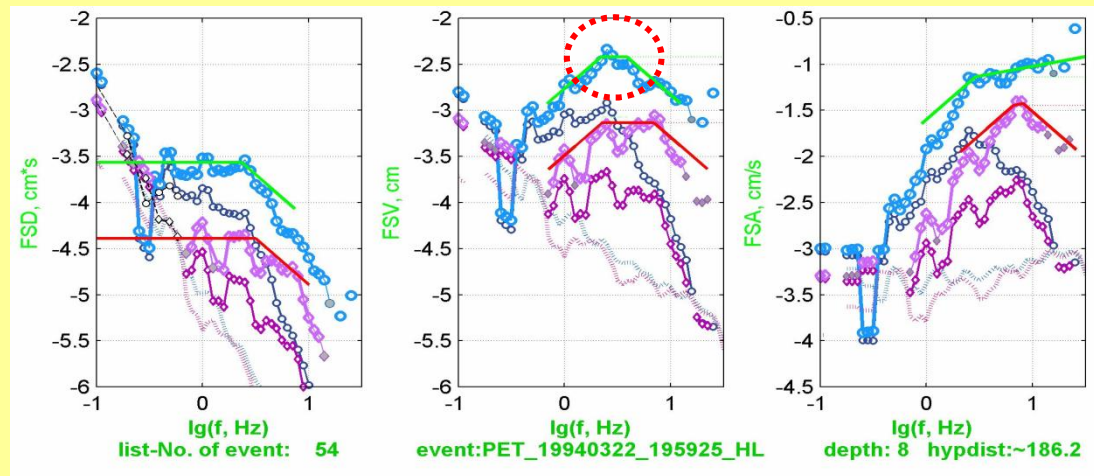
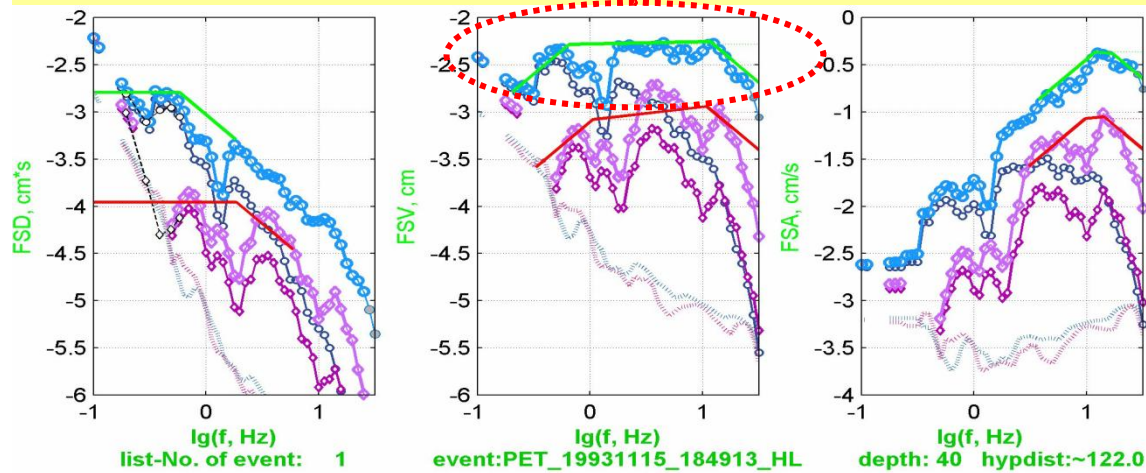
Шум

f_{c2}

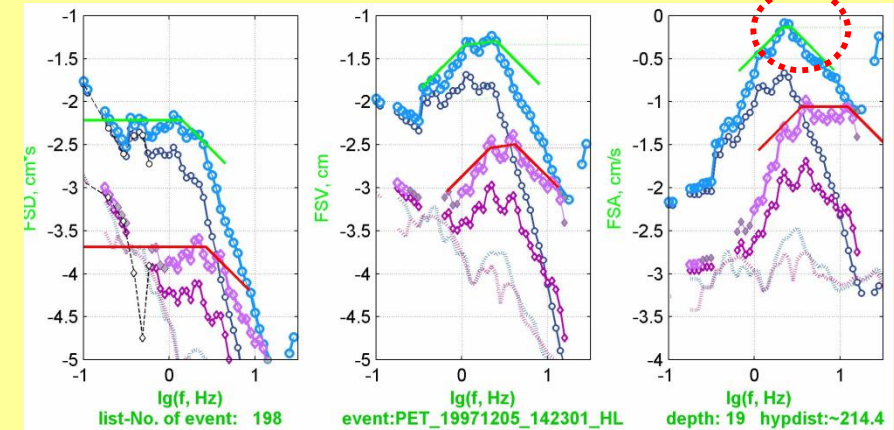
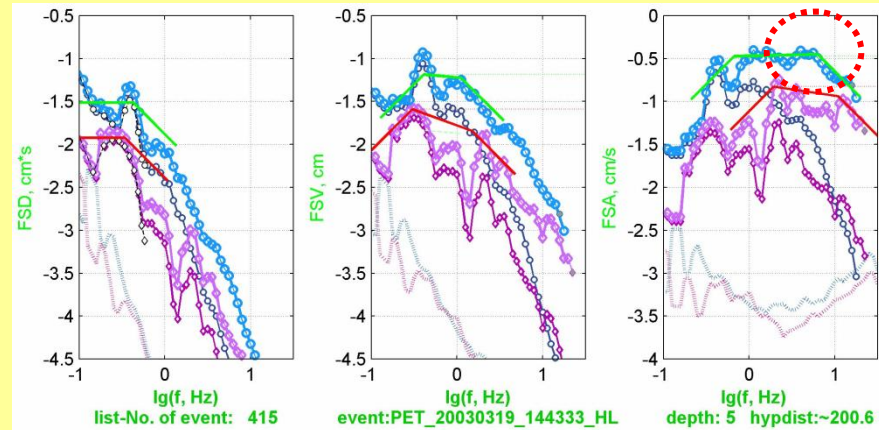
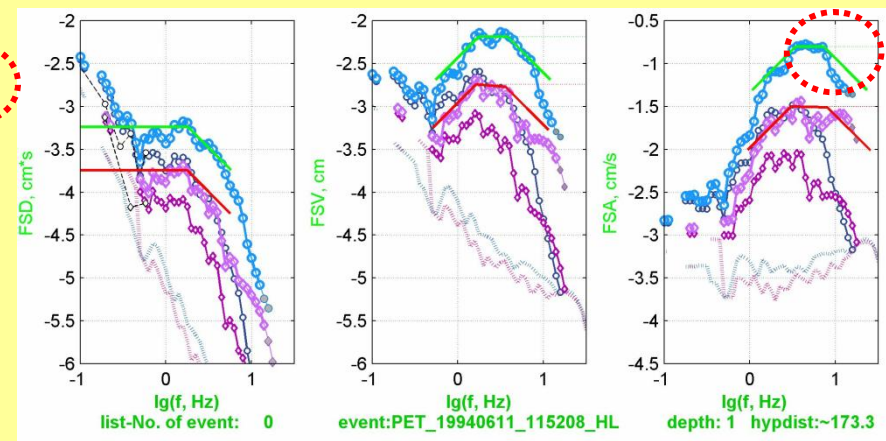
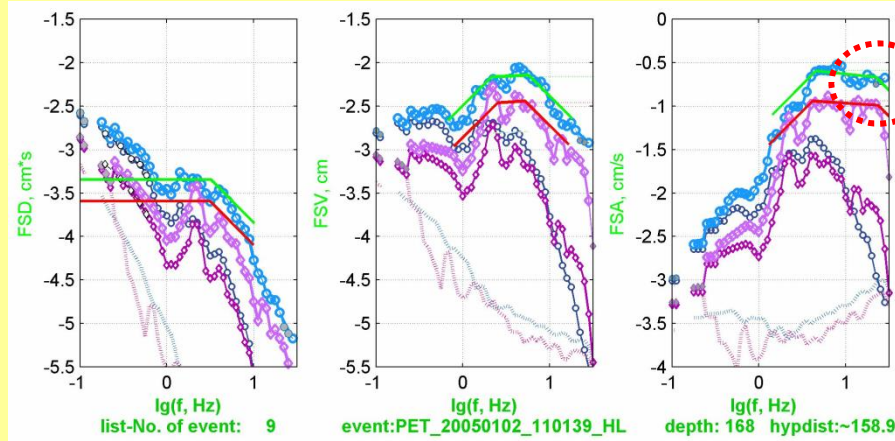
Случай, когда очаговый спектр ускорения – плоский до 25 гц и выше – иллюстрация корректности поправок за поглощение



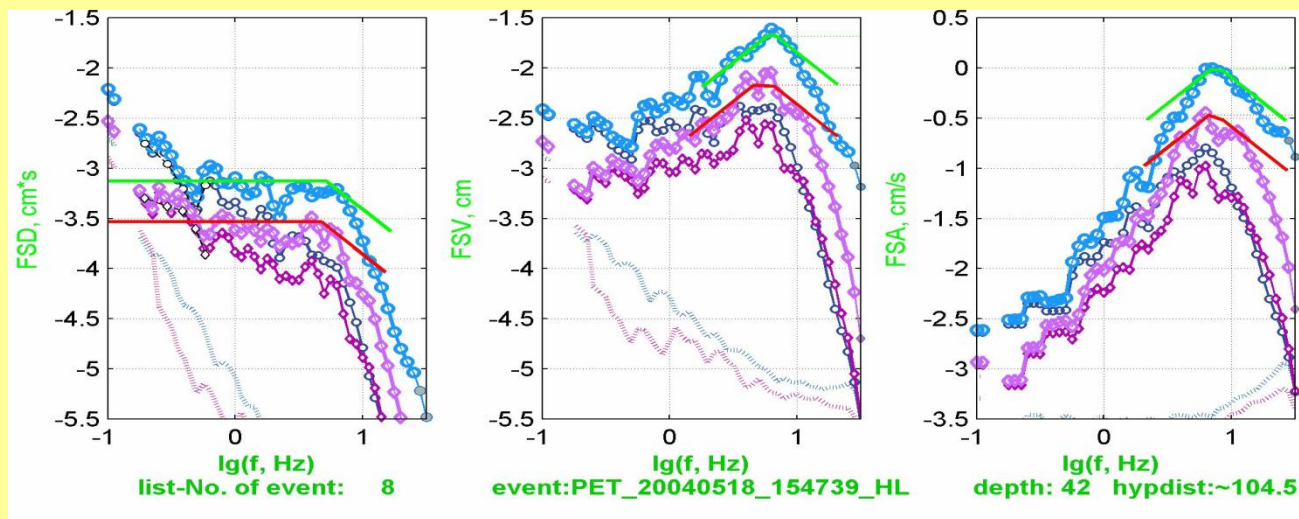
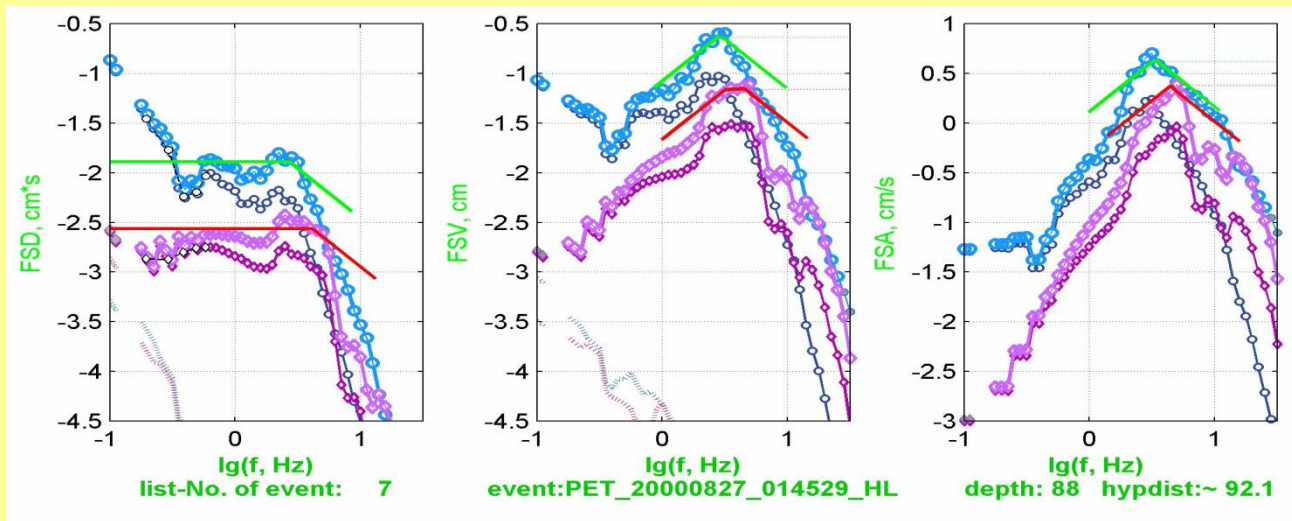
Случаи широкого и узкого плоского участка спектра скорости (= интервала между f_{c1} и f_{c2})



Случаи наличия и отсутствия f_{c3} (в полосе 1-25 Гц)

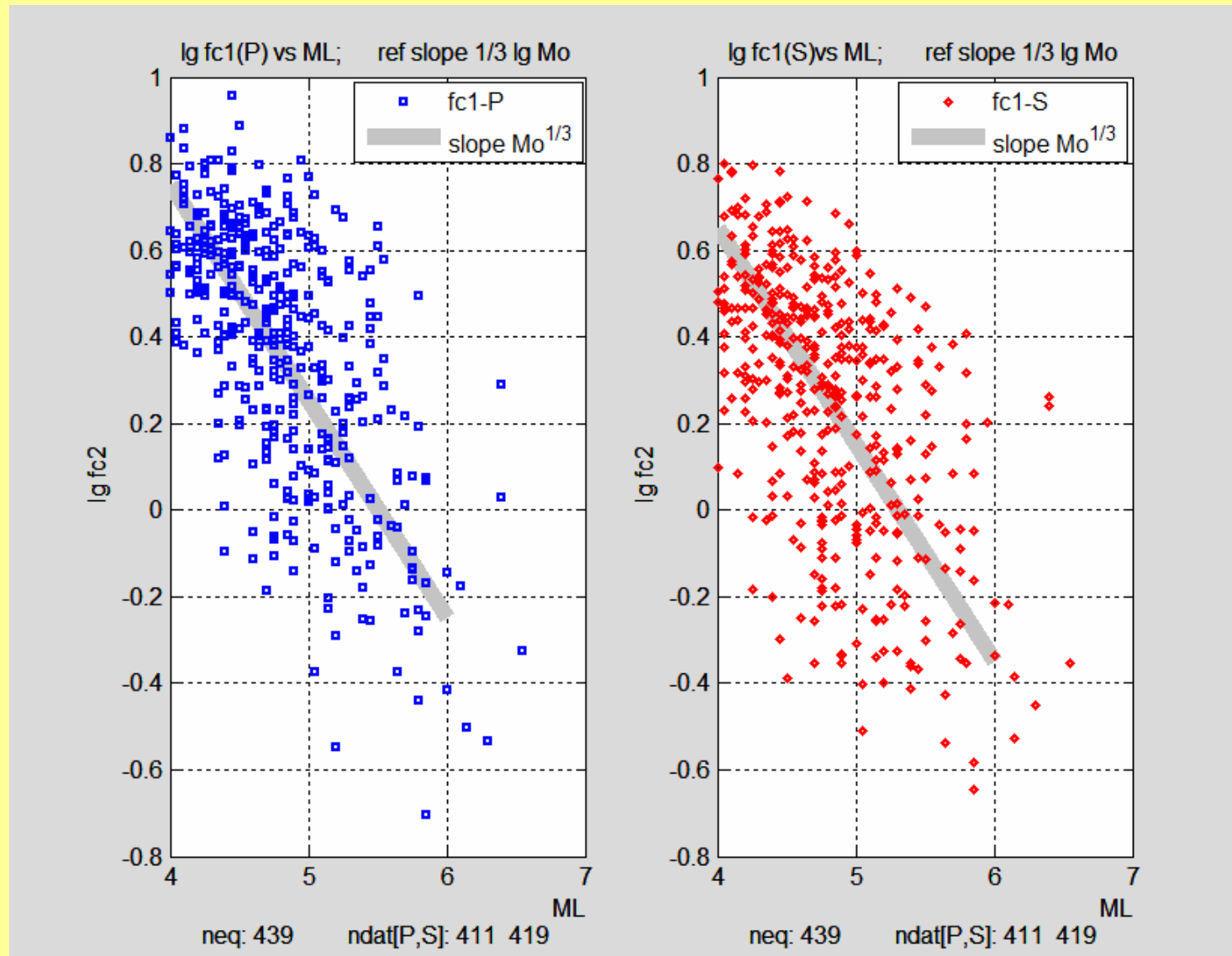


Случаи спектров типа « ω^{-3} »

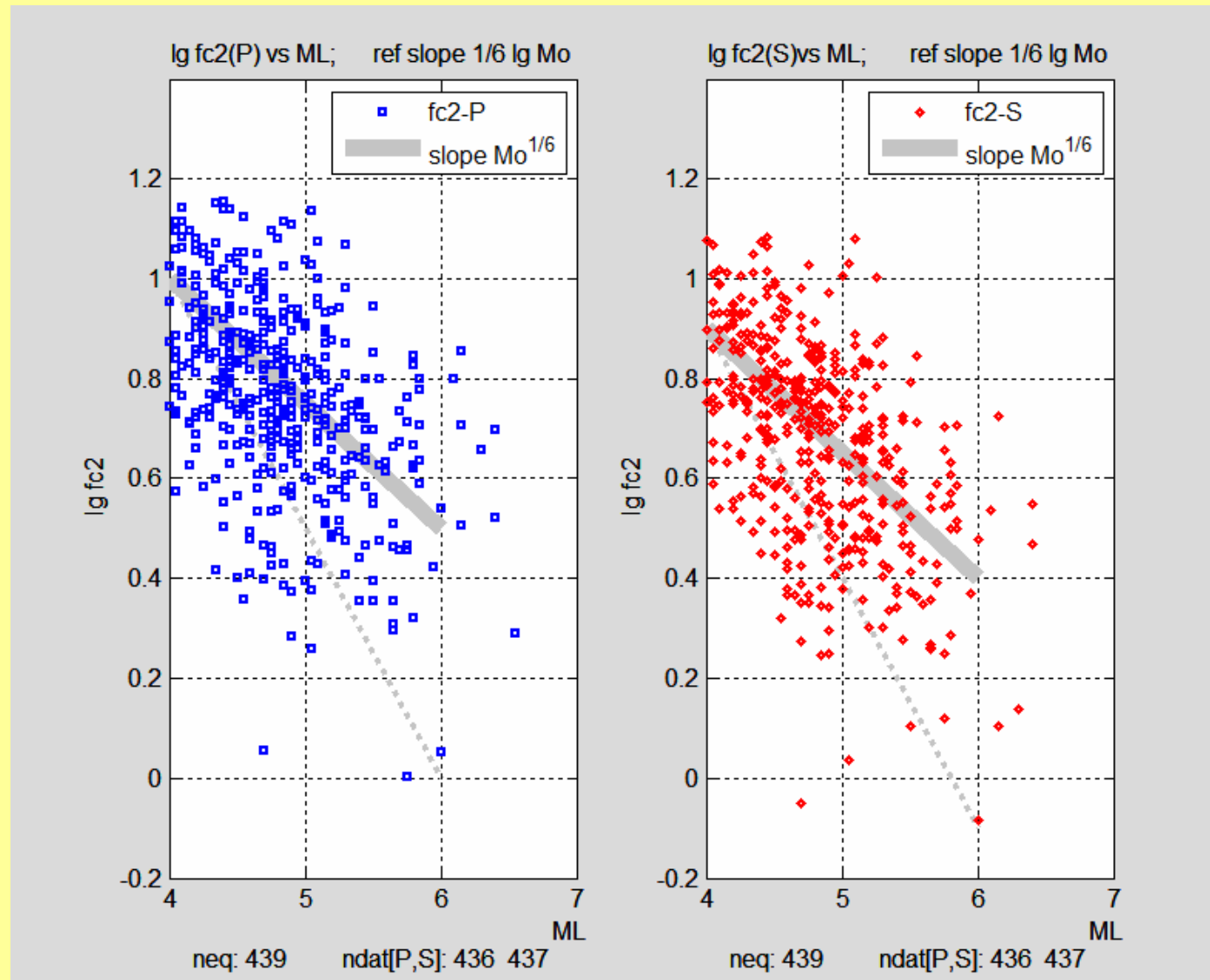


$$f_{c1}(M): \quad d\lg f_{c1}/d\lg M_0 \approx -1/3$$

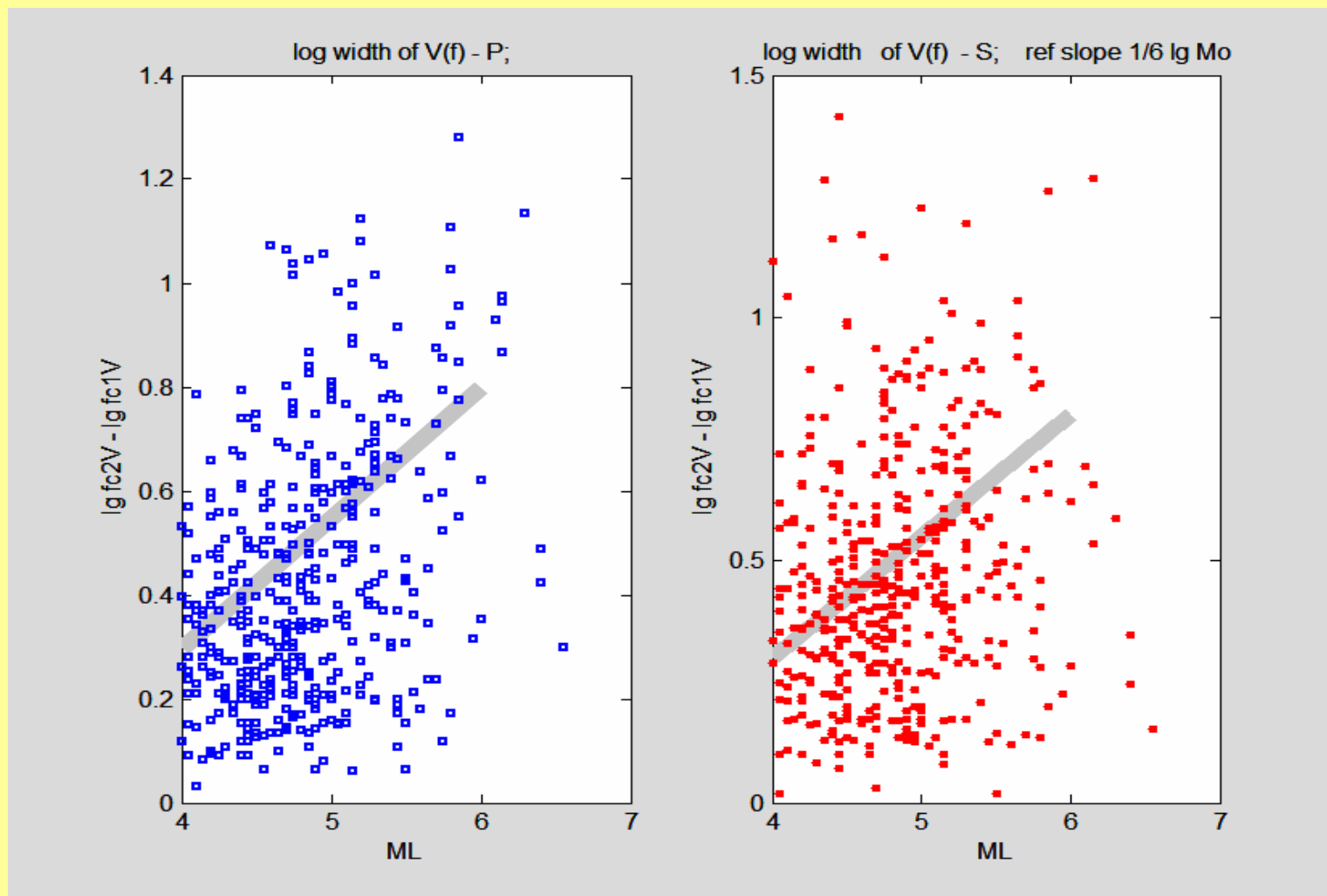
обычный тренд, в согласии с идеей подобия



$f_{c2}(M)$: $d \lg f_{c2} / d \lg M_0 = 0.15 - 0.25 \ll 1/3$
подобие явно нарушено

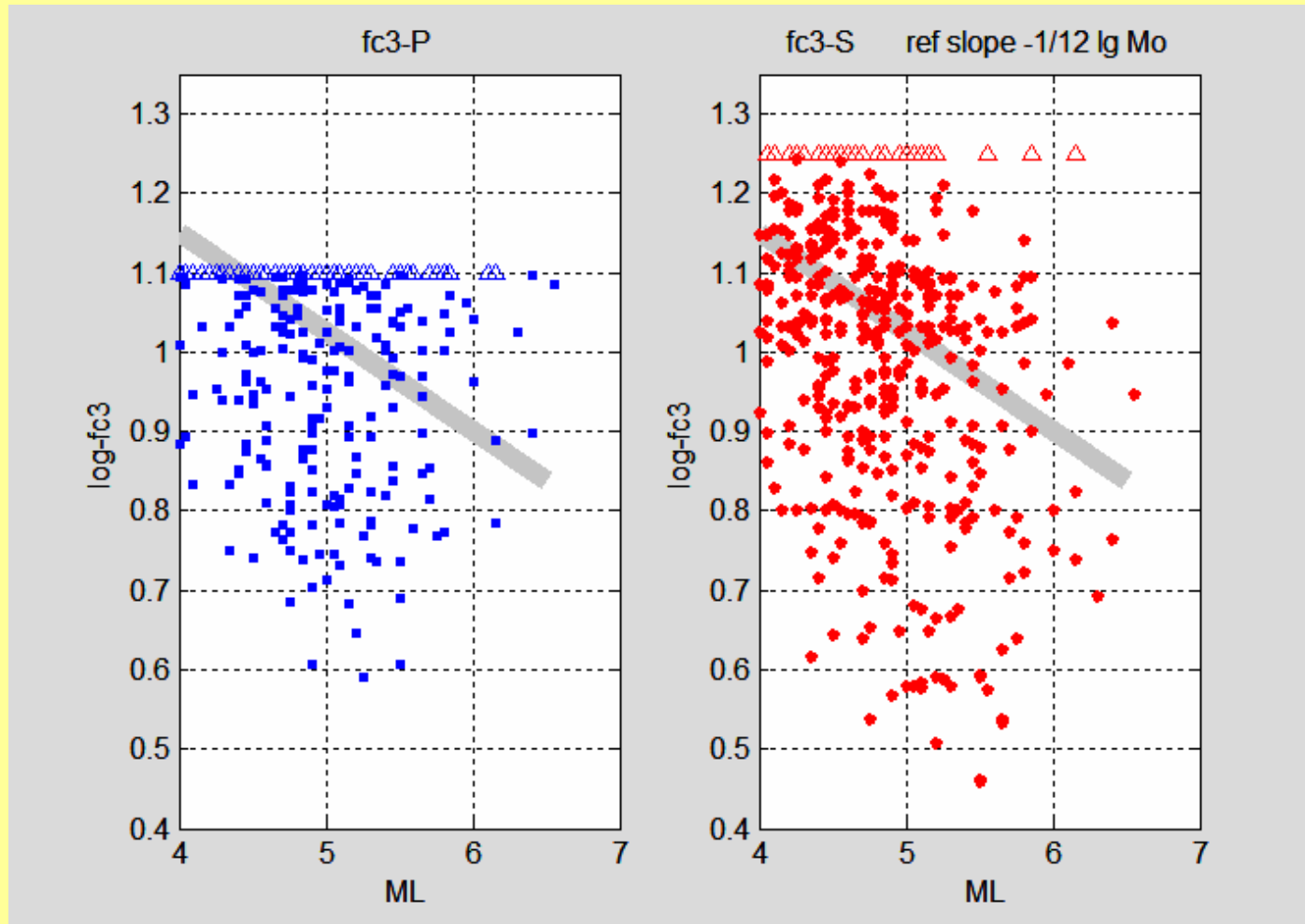


лог-ширина спектра скорости $V(f)$ в функции M (предположение подобия требует постоянной ширины)

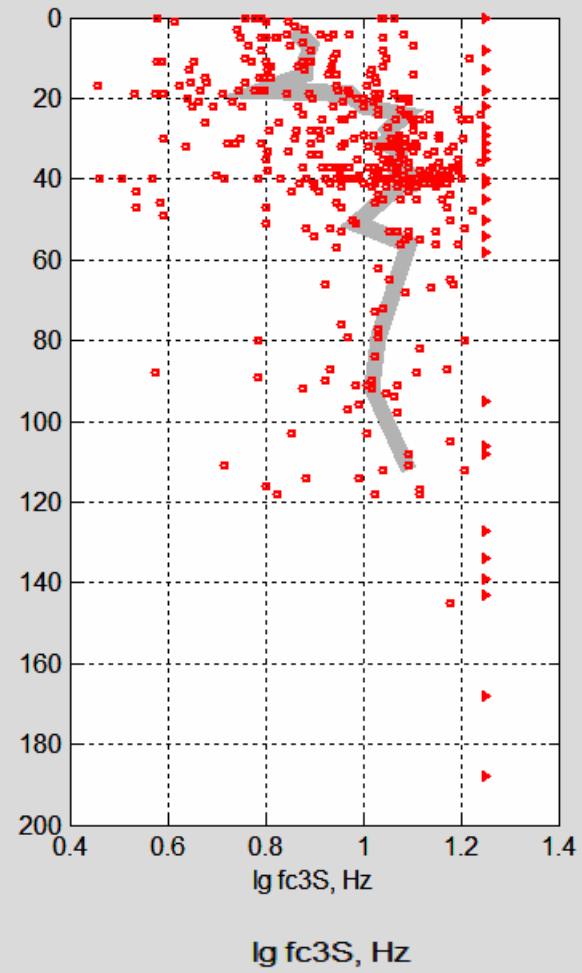
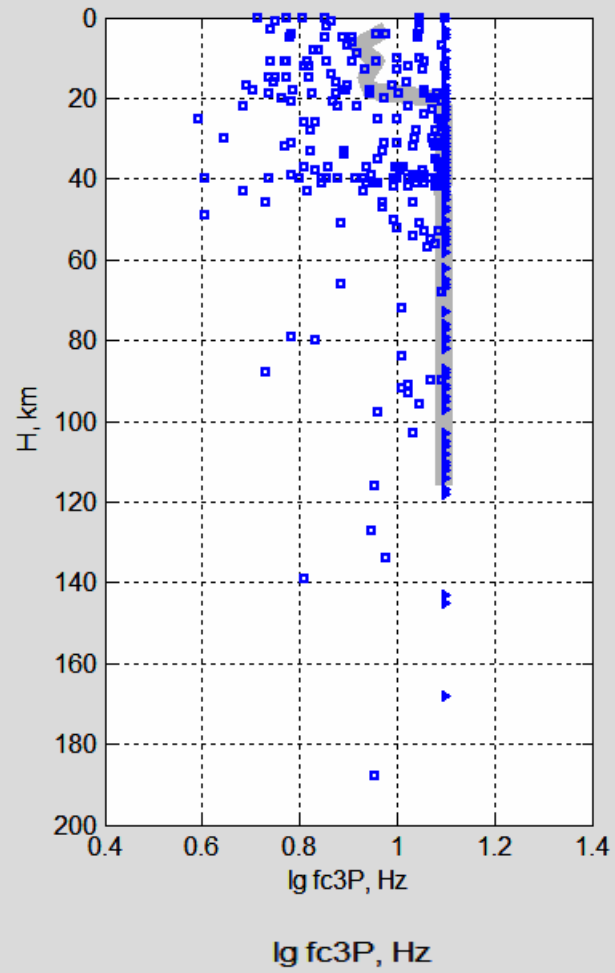


$$f_{c3}(M): d\lg f_{c1}/d\lg M_0 \approx -0.05-0.10$$

подобие грубо нарушено



$$f_{c3}(H)$$



Выводы

1. Скомпилированы и протестированы модели затухания Р и S волн для среды вблизи ст. «Петропавловск».
2. Определены характерные частоты очаговых спектров f_{c1}, f_{c2}, f_{c3} , для многих из 420 землетрясений в радиусе 220 км от станции.
3. Большая доля спектров S-волн имеет выраженную очаговую f -тах, или f_{c3} , ниже 18 Гц. Выявлен медленный рост f_{c3} с магнитудой.
4. Заметная доля очаговых спектров имеет выраженную $f_{c2} \gg f_{c1}$. (имеется выраженная площадка в спектре скорости).
Выявлен рост f_{c2} с магнитудой, примерно соответствующий скейлингу $f_{c2} \sim M_0^{-0.15-0.25}$.
5. Предположение подобия спектров грубо нарушено и для f_{c2} , и для f_{c3} .
6. Часть очаговых спектров имеет характерный вид « ω^{-3} ».

- **Резюме**

-

- А.А.Гусев, Е.М.Гусева

-

- Ранее было проведено исследование параметра «каппа», характеризующего высокочастотный спад спектра записи ускорения. Значения «каппа» для Р и S волн по данным ст. Петропавловск-Камчатский показали широкий разброс; его трудно приписать влиянию больших вариаций затухания объемных волн на разных трассах от очага к станции. Делается попытка объяснить разброс «каппа» через совместный эффект двух факторов - (1) различного затухания волн на трассе и (2) различий в форме очагового спектра. Обычно при анализе параметра «каппа» используется классическая модель очагового спектра «омега-квадрат» Аки-Бруна, с плоским спектром ускорения на высоких частотах. Введено предположение, что очаговые спектры ускорения могут отклоняться от этой модели, причем формируется спад спектра ускорений со срезом на определенной характерной частоте (очаговая « f_{max} », третья частота угла спектра). Выше этой частоты очаговый спектр имеет поведение, близкое к модели омега-куб. Для проверки этой гипотезы наблюдаемые спектры записей ускорения на ст. Петропавловск-Камчатский были приведены к непоглощающей среде («исправлены») путем внесения соответствующих поправок. Для этого была заранее разработана предварительная модель среднего частотно-зависимого поглощения для Р и S волн для среды вблизи ст. Петропавловск-Камчатский. Исправленные спектры демонстрируют большое разнообразие форм. Имеются простые одnogорбые спектры типа омега-квадрат, изредка омега-куб; спектры типа омега-квадрат с двумя частотами угла. Также нередки спектры с тремя частотами угла и с ВЧ спадом очагового спектра ускорений. Значение третьей частоты угла спектра - в основном в области 7-12 Гц, в отдельных случаях 2-5 Гц. В других случаях третья частота угла иногда видна неуверенно в области частот выше 12-15 Гц, а нередко вовсе не выявляется. Будут приведены примеры и обобщенные результаты обработки более 400 спектров.

Благодарю за внимание

Кажущееся напряжение σ_a и сброшенное напряжение $\Delta\sigma$ в функции М

