

# **Аномалии сейсмического режима в окрестности очага сильных землетрясений**

**Родкин М.В**

*ГЦ РАН, Москва, [rodkin@wdcb.ru](mailto:rodkin@wdcb.ru)*

## **Затрагиваемые проблемы:**

Какие процессы происходят в окрестности сильных землетрясений?

Каковы пространственно-временные рамки таких процессов?  
Какие модели активизации отвечают таким процессам?

Определяются ли процессы реализации землетрясений изменениями напряженного состояния?

В какой мере закономерности реализации землетрясений аналогичны наблюдаемым в экспериментах по разрушению образцов?

**Какая физика может быть ответственна за такой характер поведения?**

## Методика

**Отобраны** события в окрестности сильнейших 500 землетрясений.

**Пространственный** размер области выбран по соотношению между характерным размером очага  $L$  и его магнитудой:

$$\lg \{L(\text{км})\} = 0.5 \times M_w - 1.9.$$

Сравнение проводится в единицах размера очага.

**Временной** - с учетом вывода о близкой длительности подготовки разномасштабных землетрясений (В.Б.Смирнов, 2003), сопоставление проводится методом наложения эпох

Строится суммарная окрестность «обобщенного сильного очага» все попавшие в нее землетрясения сортируются по времени относительно момента обобщенного основного события.

Анализируются временные ряды изменения параметров для групп последующих событий. Если это необходимо используется отклонение значения от среднего для данной очаговой области.

Рассмотрены широко используемые параметры сейсмического режима ( $\beta$ -value, кажущиеся напряжения  $\sigma_a$ , плотность числа событий  $n$ )

**а также** дополнительные характеристики - изменения средних величин отношения  $m_w/m_b$  и различия в глубине и времени события по данным анализа первых вступлений и по данным определения параметров сейсмического момента.

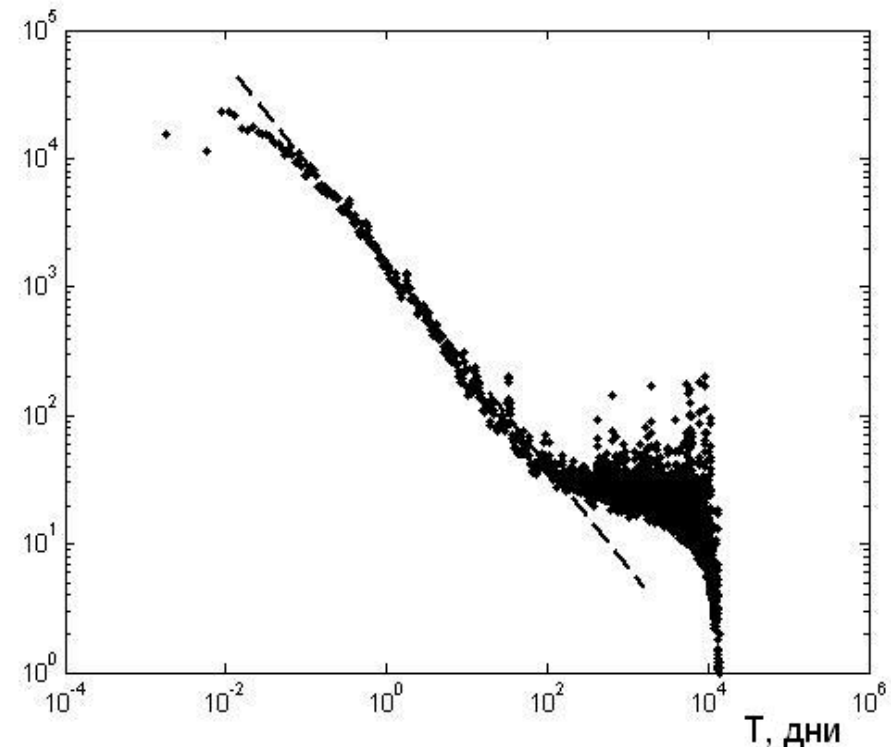
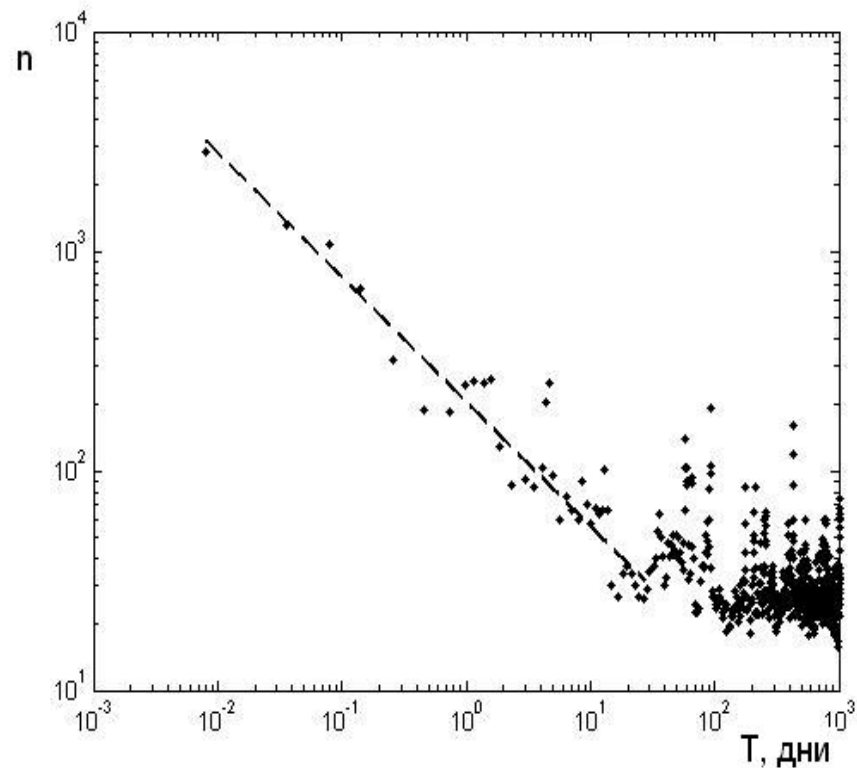
Параметр  $m_w/m_b$  характеризует относительное развитие в очаге низко- и высокочастотных колебаний, используемых, соответственно, при определении сейсмического момента  $M$  (магнитуды  $m_w$ ) и магнитуды  $m_b$ .

Параметры гипоцентра характеризуют начало процесса вспарывания в очаге землетрясения;

Время и глубина по решению сейсмического момента характеризуют «центр тяжести» очага - процесса излучения сейсмических волн.

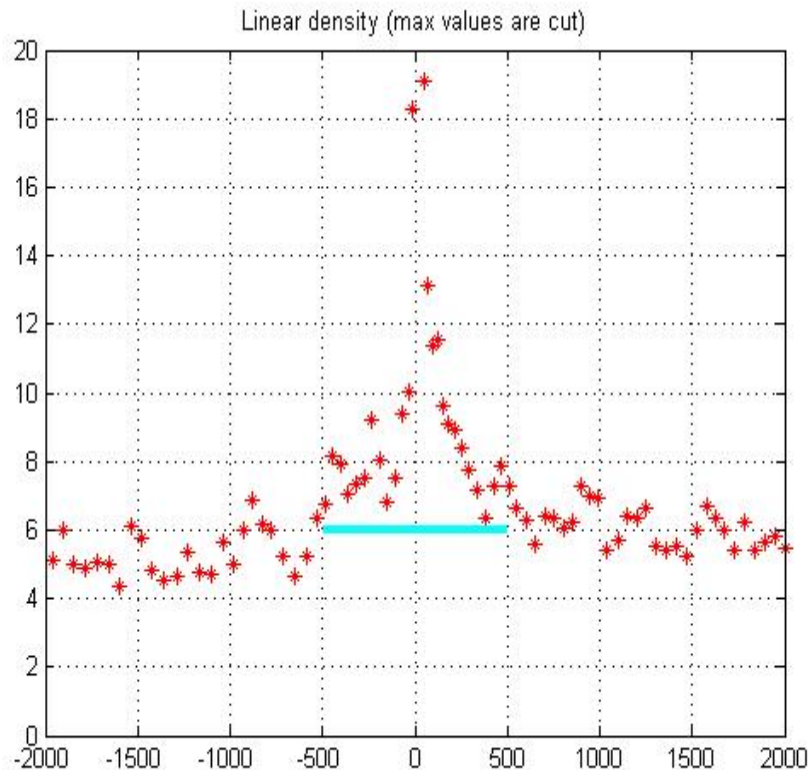
Время запаздывания  $\Delta t$  характеризует полу-продолжительность процесса излучения сейсмических волн, а разница двух значений глубины события  $\Delta H$  - полу-протяженность очага по глубине и направление процесса вспарывания (вверх или вниз).

Поведение в окрестности обобщенного сильного события: форшоки, афтершоки мировой каталог ISC (МЦД); 400 событий  $M_{cp}=7.2$



Видно наличие выраженной афтершоковой активности (около 100 дней) и на порядок слабее форшоковой продолжительностью около 10 дней перед моментом сильного землетрясения (нарастание числа форшоков происходит несколько медленнее спадания числа афтершоков  $n \sim T^{-p}$ ,  $b \approx 0.6$ ,  $b \approx 0.7$ ).

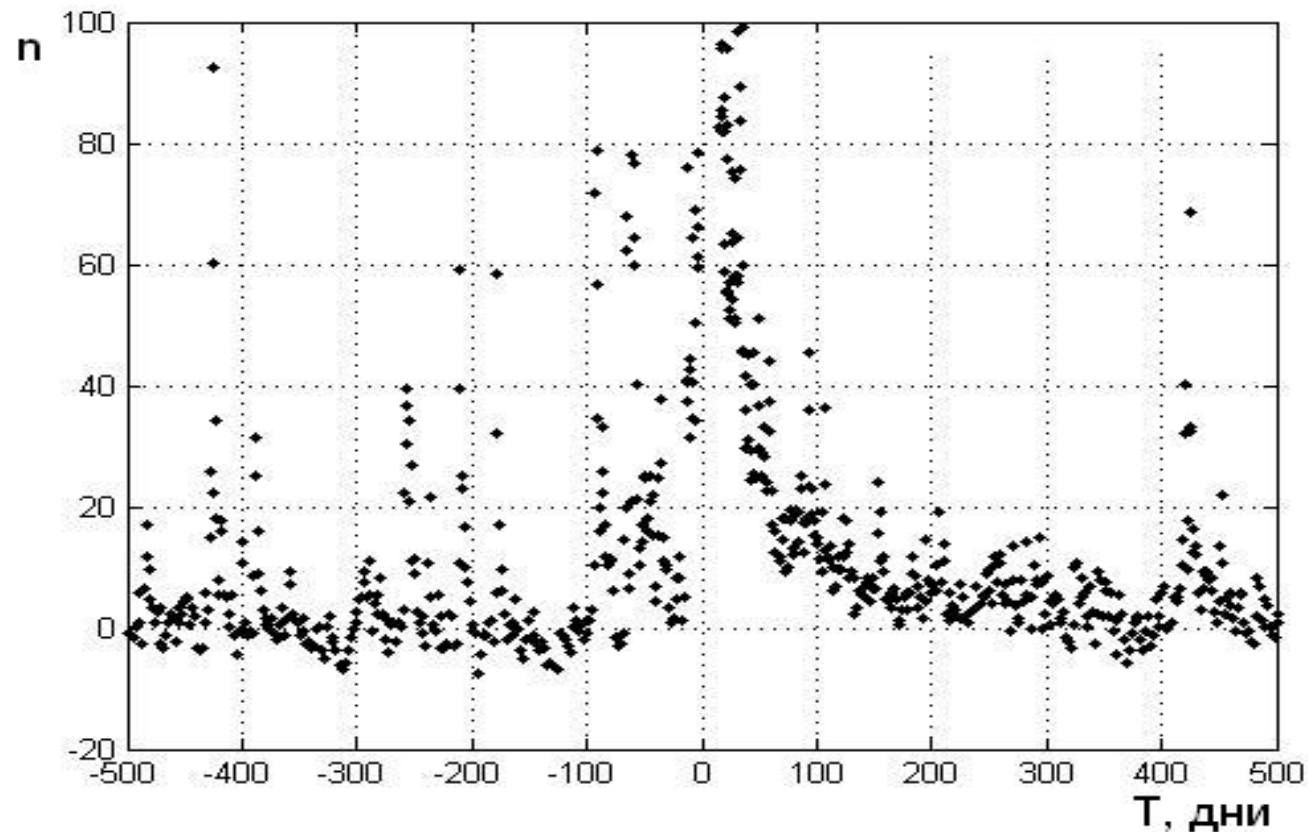
## Поведение в окрестности обобщенного сильного события: длительный период активизации до и после события + форшоки, афтершоки



Видно наличие достаточно выраженной продолжительной активизации (много более слабой, чем фор-афтершоковые процессы) родолжительностью около 500 дней перед и после сильного землетрясения.

Форшоки – афтершоки - от -10 до +100 дней (частью вне графика).

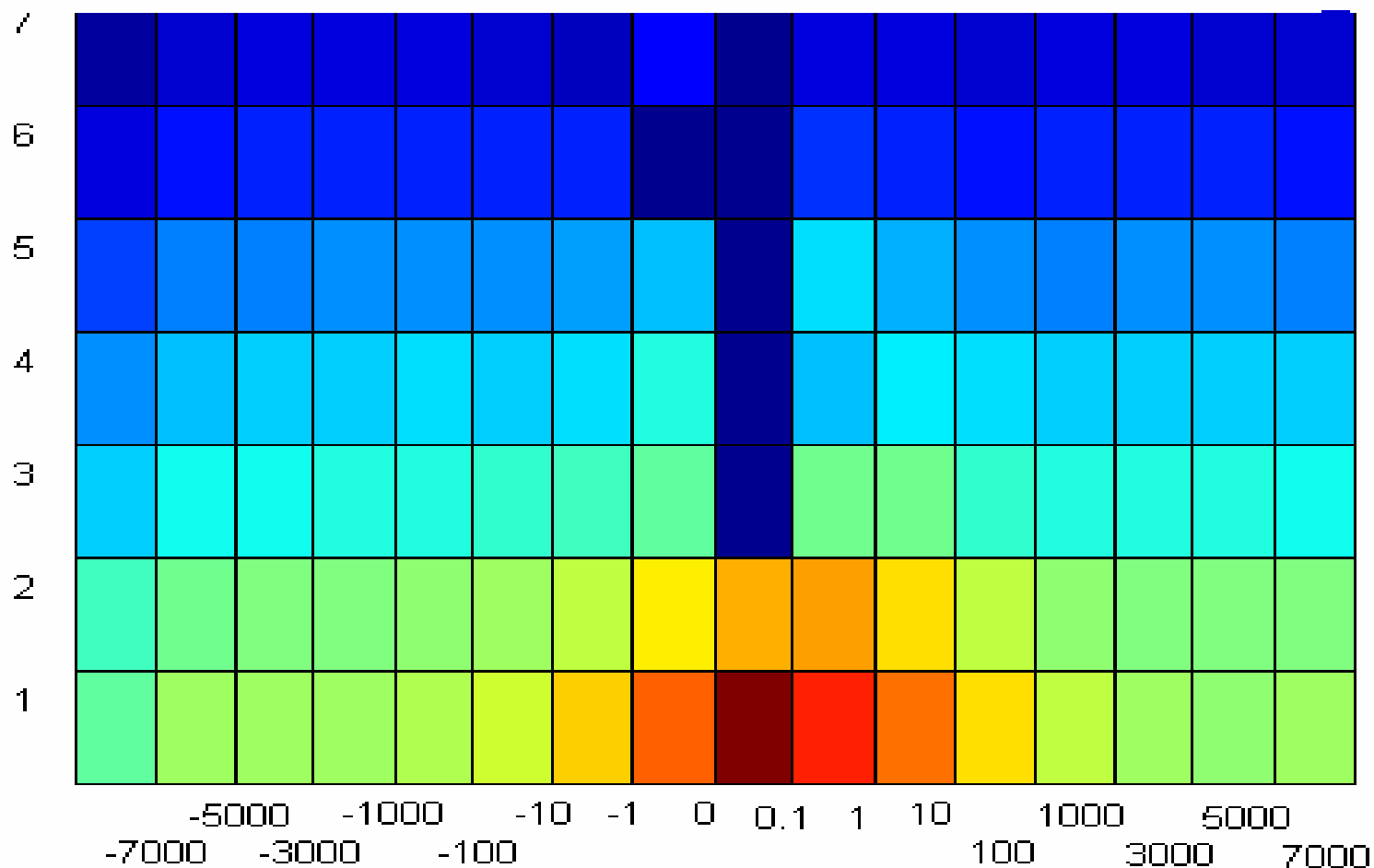
## Поведение в окрестности обобщенного сильного события: мировой каталог ISC (МЦД); 500 событий $M_{cp}=7.2$



Изменение интенсивности потока событий  $n$  в области  $\pm 500$  дней от момента основного события. Исключены значения (мгновенной) интенсивности более 100 событий в сутки и введена поправка на неоднородную представительность данных по времени (после поправки фоновая интенсивность потока событий флуктуирует вокруг нуля).

# Плотность числа событий в области обобщенного сильного события: мировой каталог NEIS/USGS; 400 событий $M_{cr}=7.2$

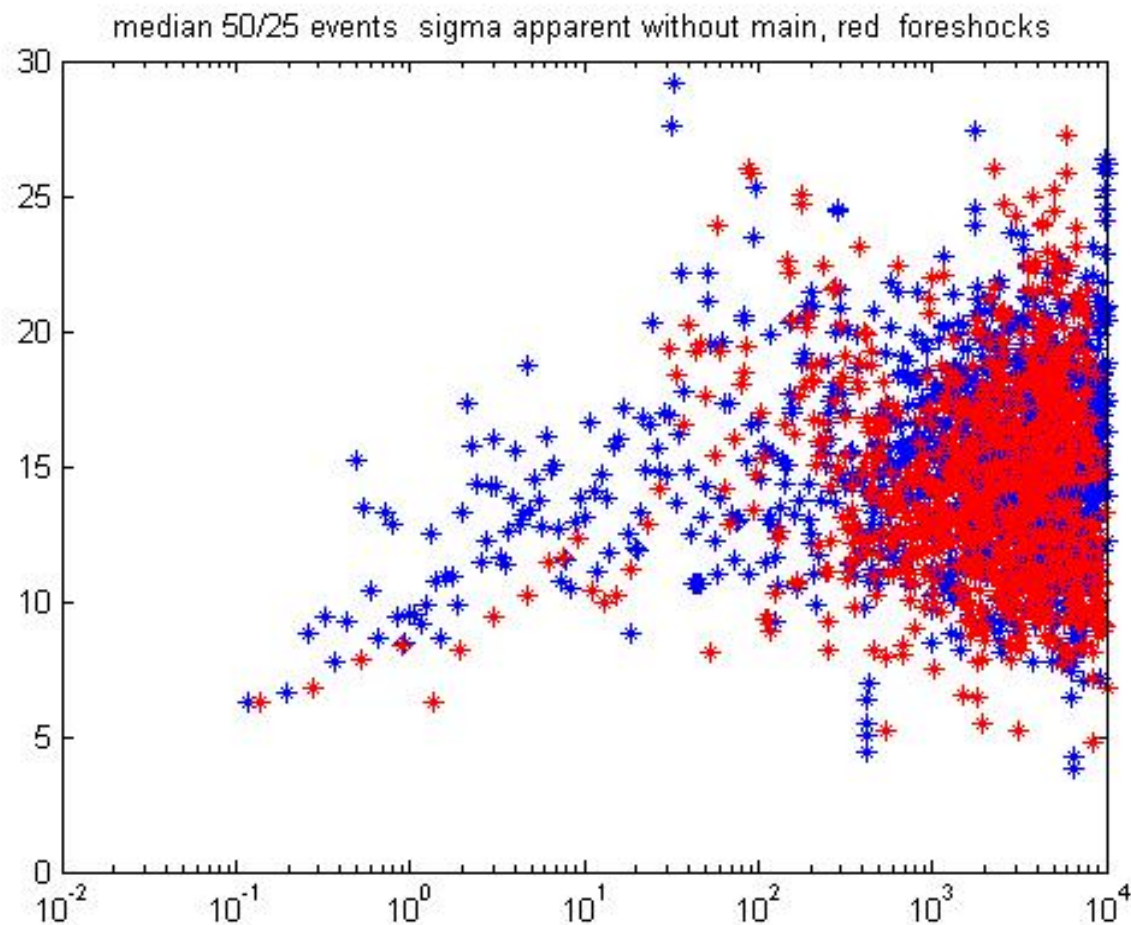
Нелинейное преобразование плотности:  $\log_{10}(\sqrt{n})$ , стандарт радиусы



Выявляется ли аномалия роста активизации отличная от степенной неустойчивости?

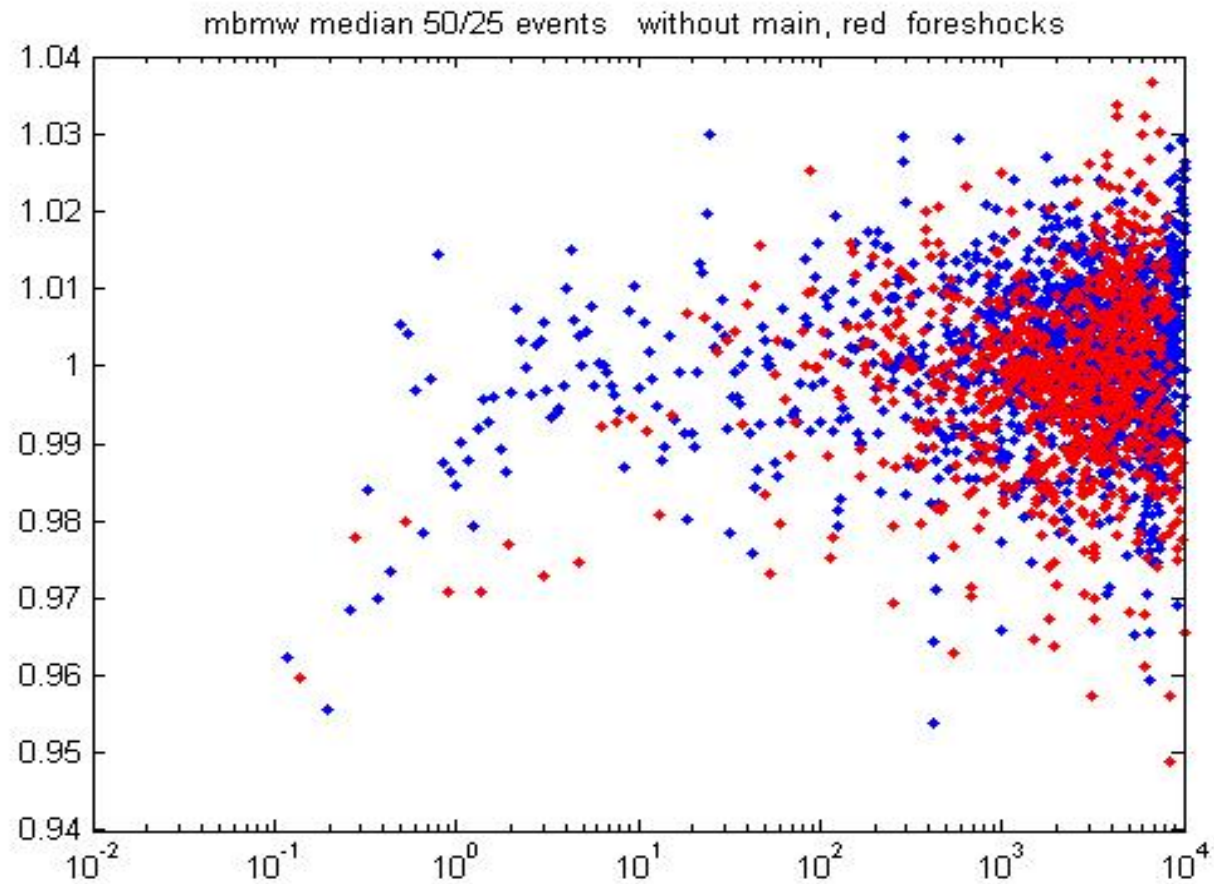


Изменение медианы 50 (шаг 25) событий Sigma apparent, форшоки даны красным



Эффект разупрочнения в критической области

**Изменение медианы 50 (шаг 25) событий отношения  $m_b/m_w$ , форшоки даны красным**



# Обусловливается ли рост сейсмичности ростом напряженного состояния?

Обычно полагают:

Источник напряжений – взаимодействие плит, землетрясения порождаются ростом напряжений,

но ...

установлено, (Касахара, Раутиан, др), что сброшенные и кажущиеся напряжения при внутриплитовых землетрясениях больше, чем при межплитовых.

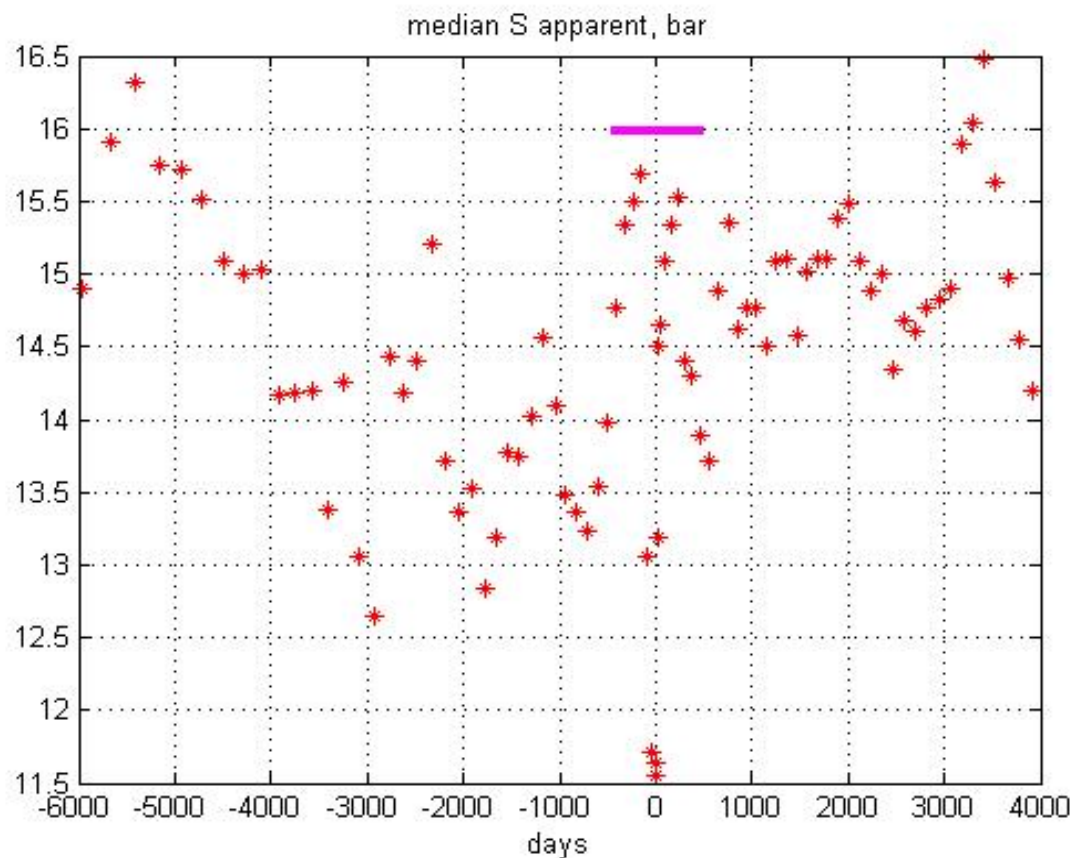
То есть,

1. Напряжения распространяются из областей НИЗКИХ напряжений?
2. Землетрясений больше там, где напряжения меньше?

Корреляции величин медианы кажущихся напряжений  $\sigma_a$  и  $\lg(\text{числа землетрясений в ячейке})$  - пространственной плотности очагов

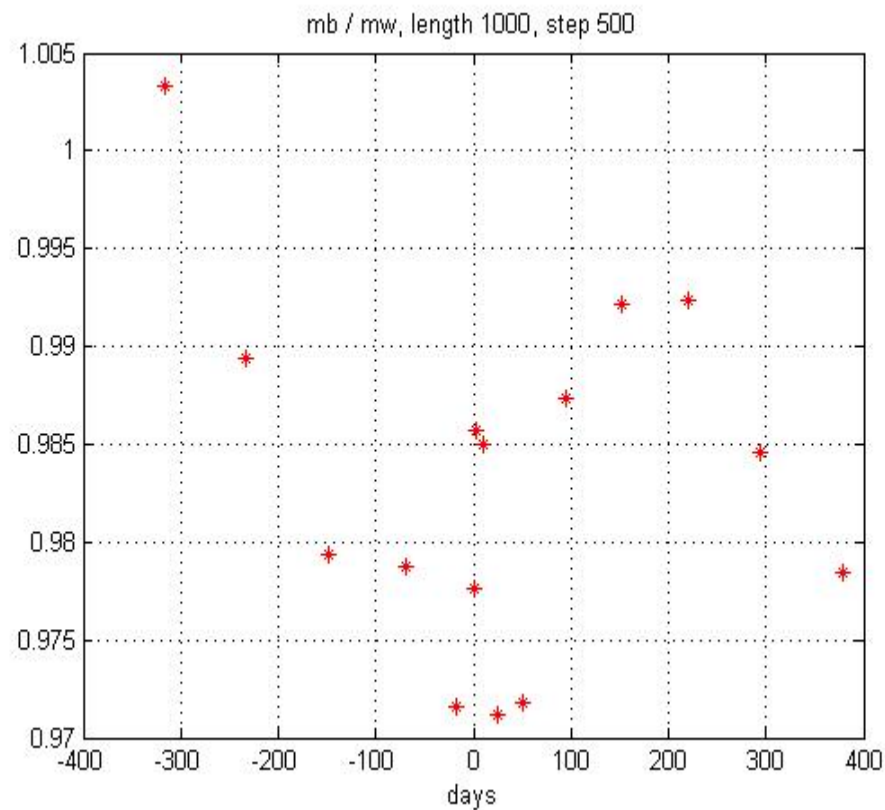
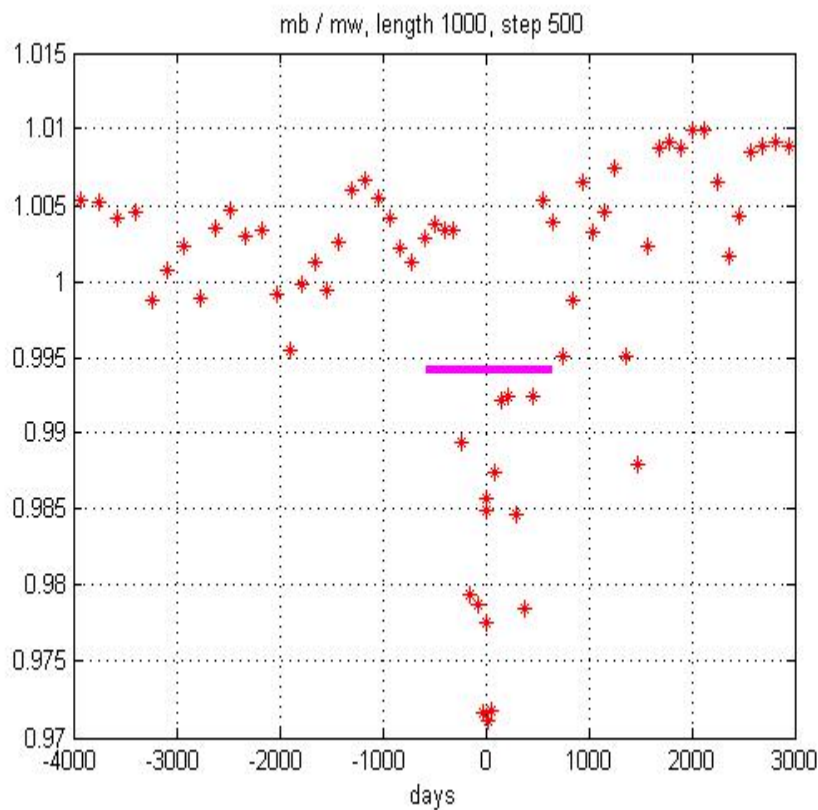
Интервал глубин, км	Радиус ячейки, км				Число событий, (достоверность > 99%)
	25	50	100	250	
0 – 15	-0.20	-0.24	-0.28	-0.31	5000
15 – 30	-0.25	-0.26	-0.27	-0.29	6000
30 – 70	-0.17	-0.20	-0.21	-0.26	6500
70 – 150	-0.11	-0.11	-0.07	-0.05	2500
150-700	-0.18	-0.17	-0.16	-0.11	2547

## Поведение величин кажущегося напряжения $\sigma_a$ в окрестности (до и в момент) обобщенного сильного события



Наблюдается падение напряжений в широкой области  
?до сильного события?

Поведение в окрестности обобщенного сильного события,  
величины отношения  $m_b/m_w$   
(в целом эта величина хорошо коррелирована с величиной напряжений)



**Тенденции изменения величин отношения  $m_b/m_w$ . Видно наличие продолжительной аномалии**

**до и после примерно ( $\pm 500$  дней) сильного землетрясения имеет место рост низкочастотной компоненты.**

В широкой области (до  $\pm 500$  дней ??) от сильного события наблюдаются аномалии сейсмического режима (свойств среды):

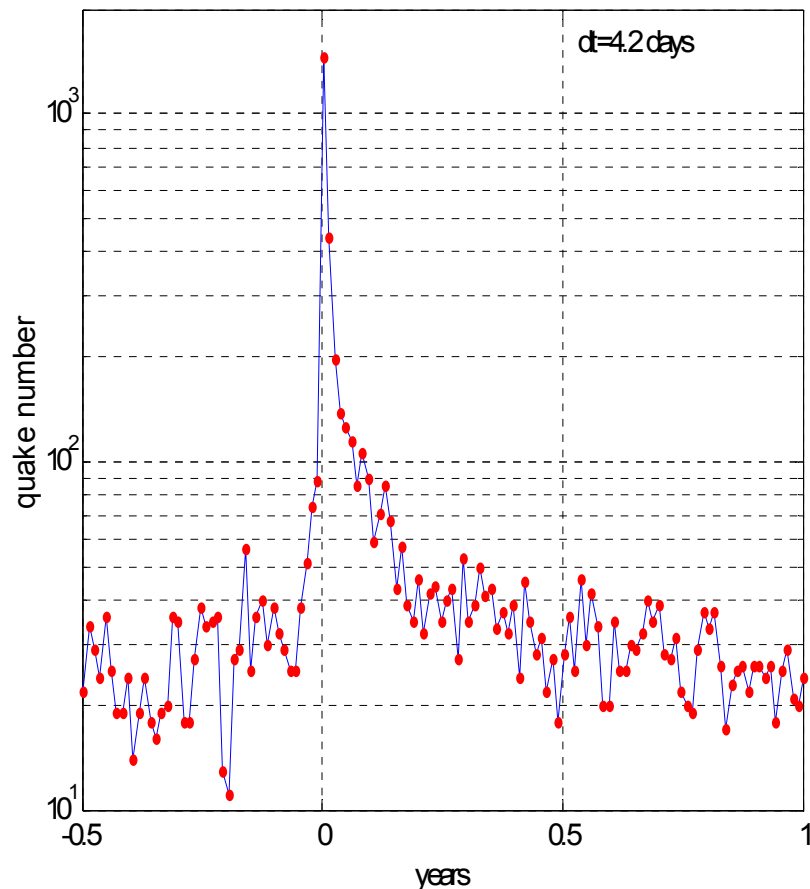
- Отношение  $m_w/m_b$  увеличивается (рост низкочастотной компоненты);
- Величина кажущихся напряжений  $\sigma_a$  уменьшается (до момента события)? Среда становится более «податливой»;
- Величина наклона графика повторяемости  $\beta$  уменьшается;
- Полу-продолжительности времени очагового процесса  $\Delta t$  увеличивается. Растет пластичность?

Среда становится как бы более пластичной – идет процесс «обмягчения» среды.

При этом, по сравнению с зависимостью от глубины, аномалии в окрестности сильного события весьма невыразительны.

В более узкой области ( $\pm 10-100$  дней) реализуются: фор- афтершоковая активность и проявляются другие проявления, характерные для процессов развития катастроф (наблюдаются степенные законы, рост когерентности, падение прочности).

# Сравнение фор- афтершоковых последовательностей: землетрясения и эксперимент



**В эксперименте (Патонин, 2005) примерно равно выражены фор- и афтершоковый режимы. В землетрясениях форшоков много-много меньше.**

**Опыт рудников в Южной Африке – практически налажена безопасность от горных ударов по режиму форшоковых тресков.**

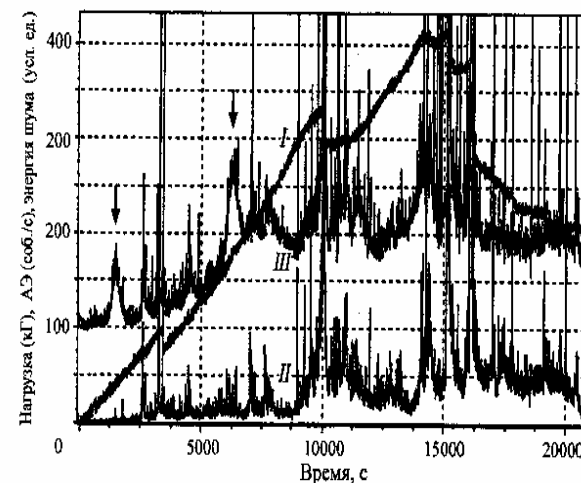


Рис. 4. Вариации акустического микрошума: I – изменение нагрузки, II – активность АЭ, III – энергия акустического микрошума

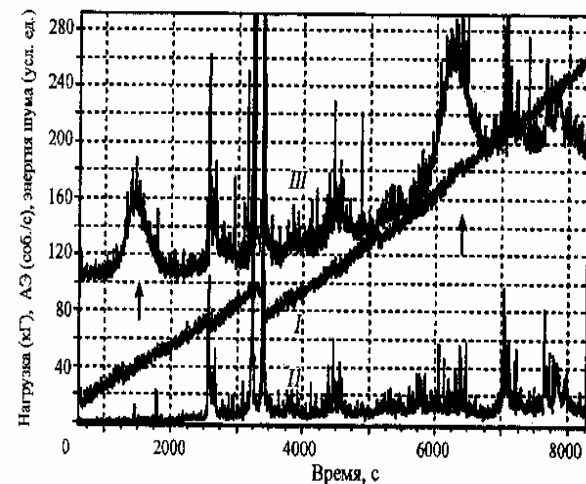
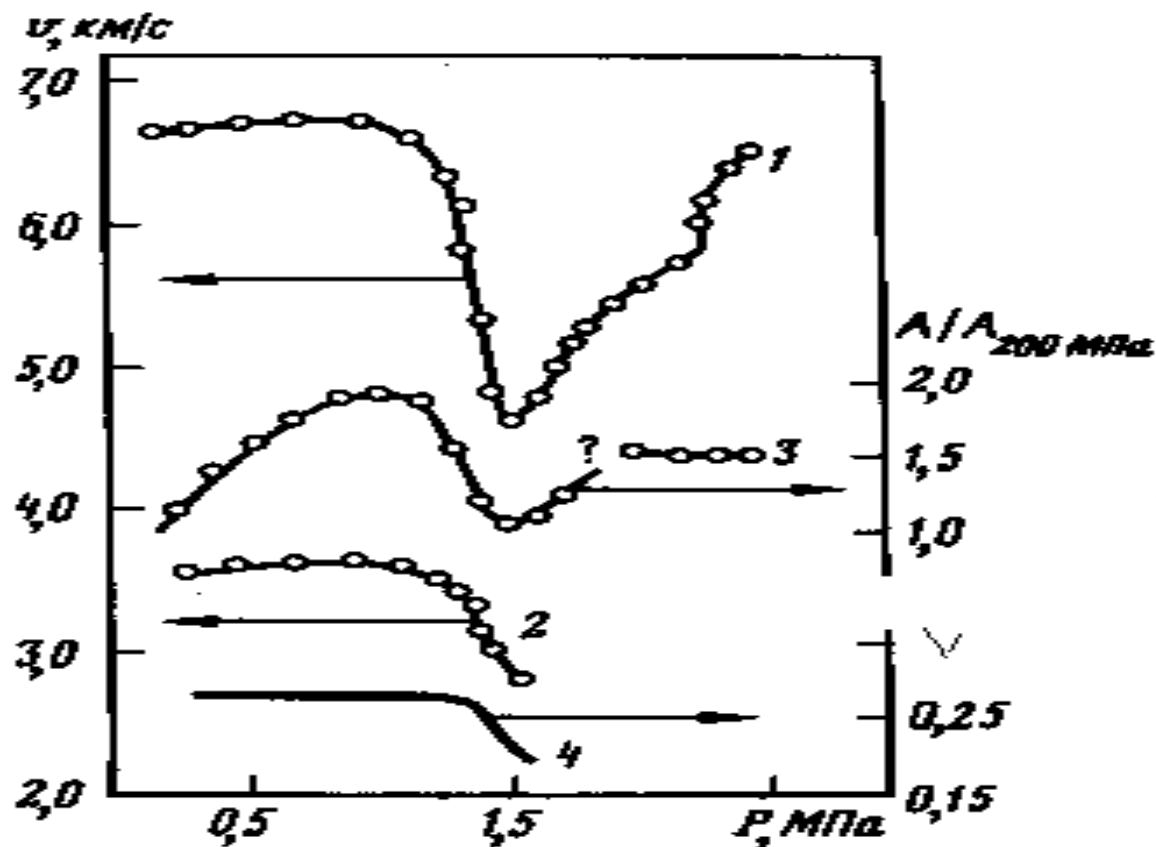


Рис. 5. Зоны аномального поведения акустического микрошума. I–III см. на рис. 4



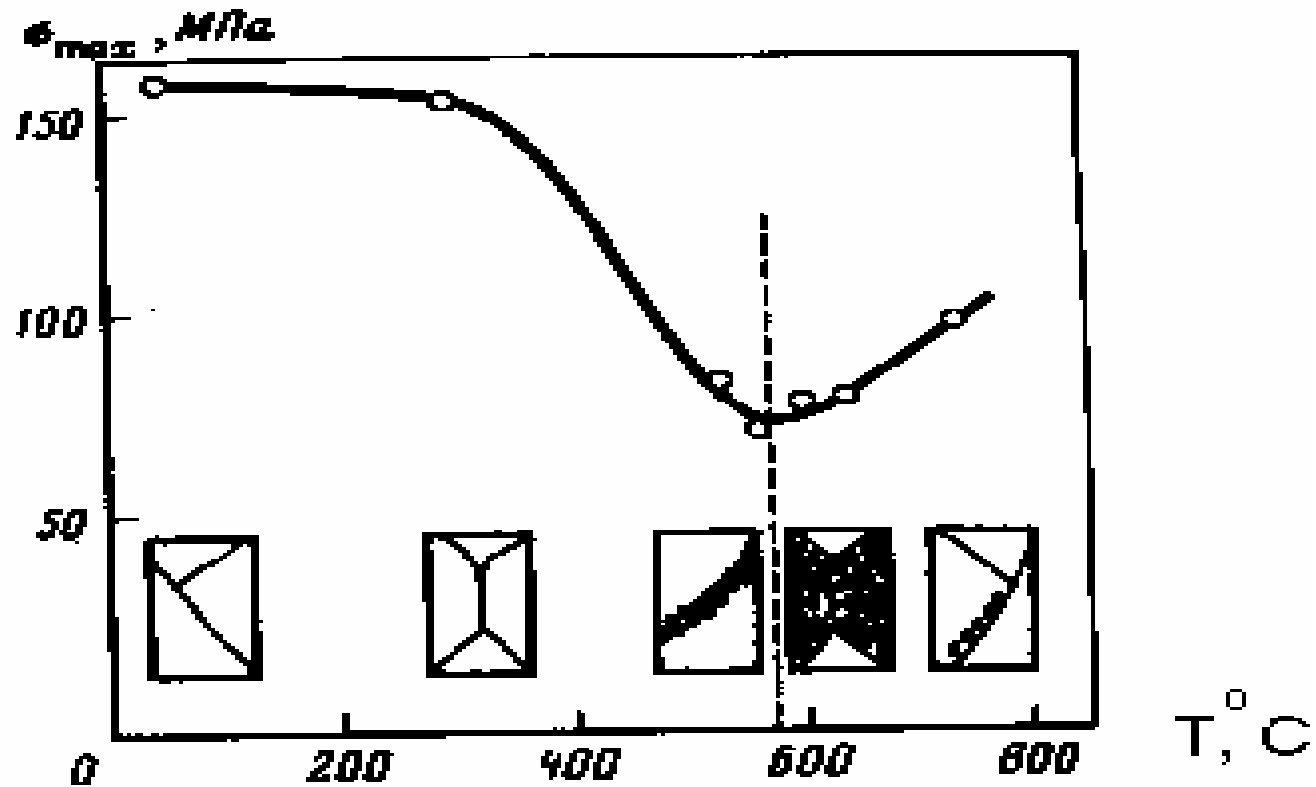
*К возможной физике процесса  
«обмягчения вещества в широкой  
очаговой области»*

# Изменения физических свойств в области фазового перехода в известняке

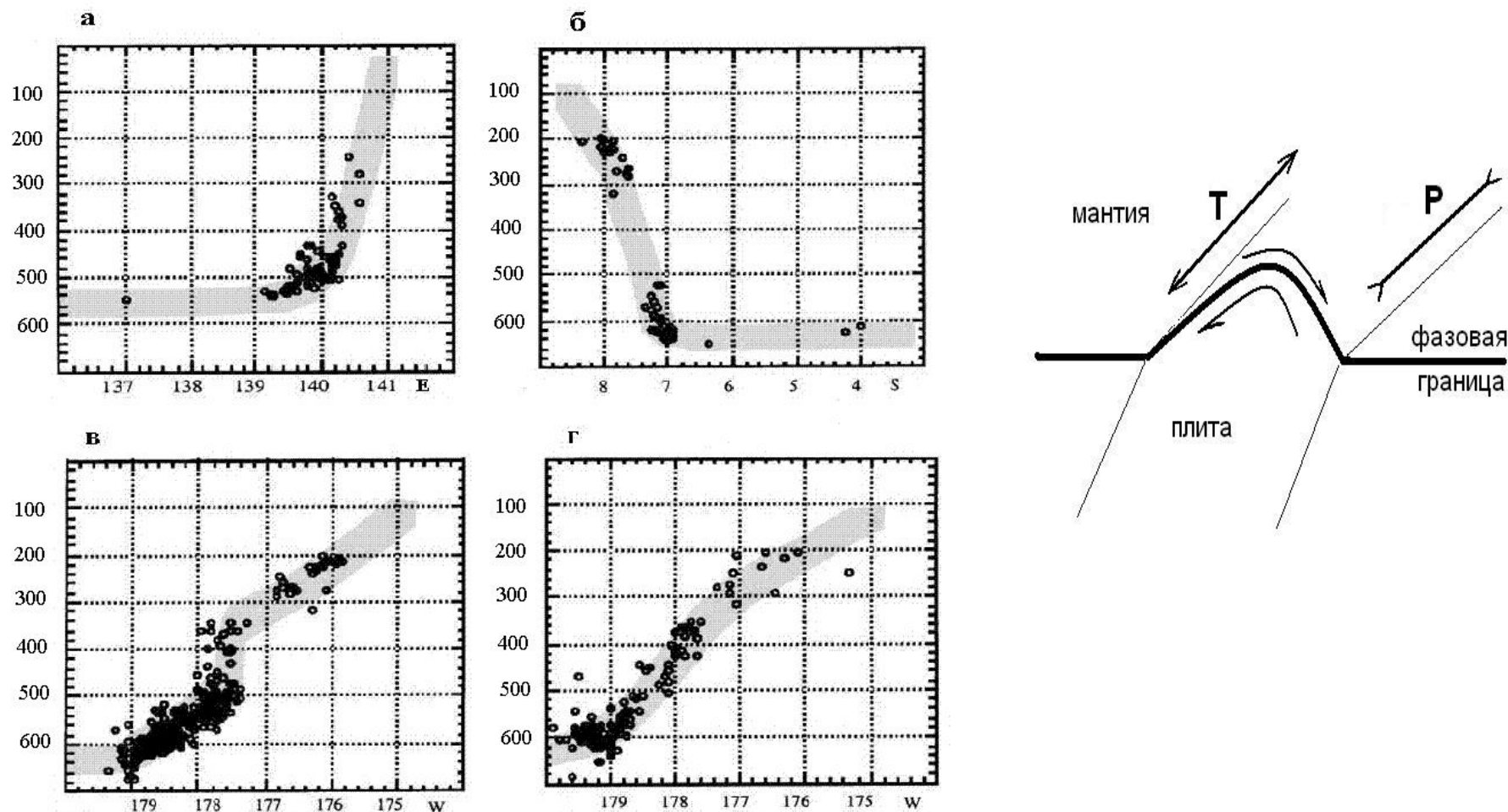


1, 2 - скорости  $V_p$  и  $V_s$  волн; 3 - относительные изменения амплитуды волн  $V_p$ ; 4 - коэффициент Пуассона.

Изменение характера разрушение при превращении в образце габбро.  
Происходит падение прочности, дезинтеграция тела,  
**тело частично как бы рассыпается в песок.**

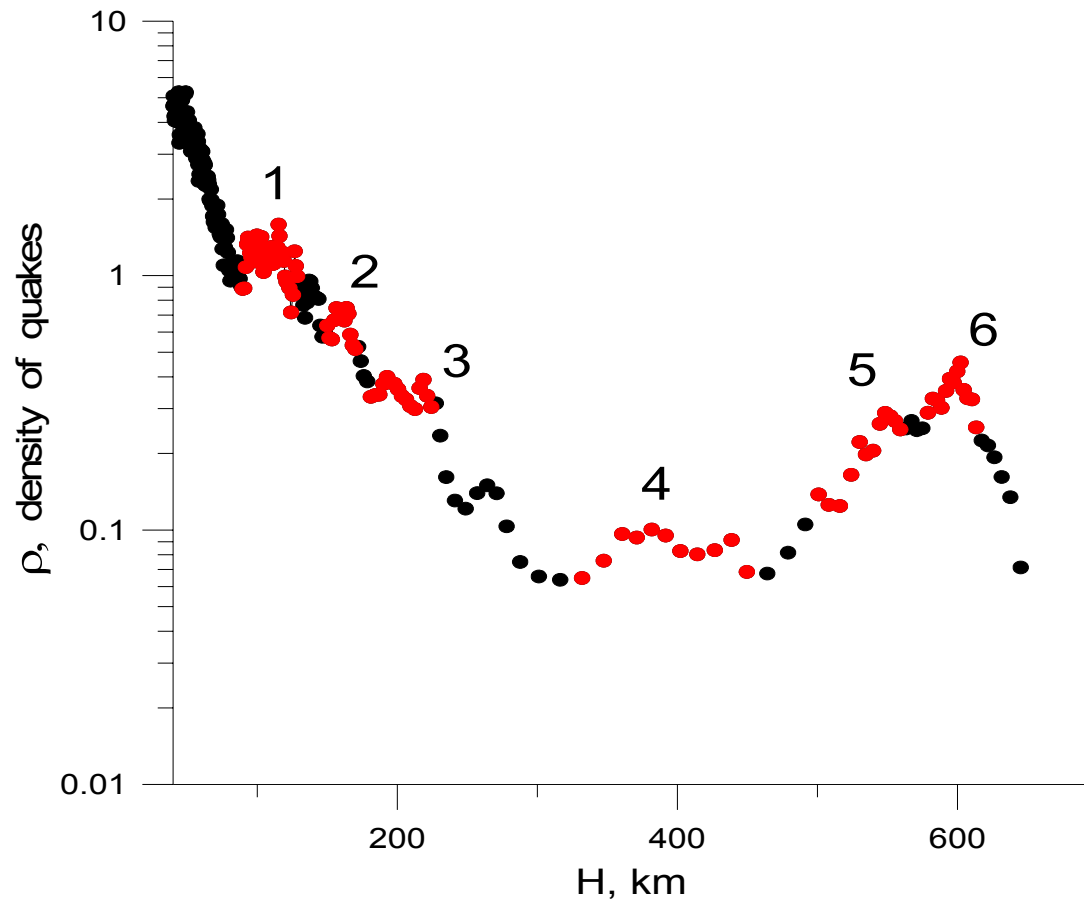


# Глубокофокусная сейсмичность



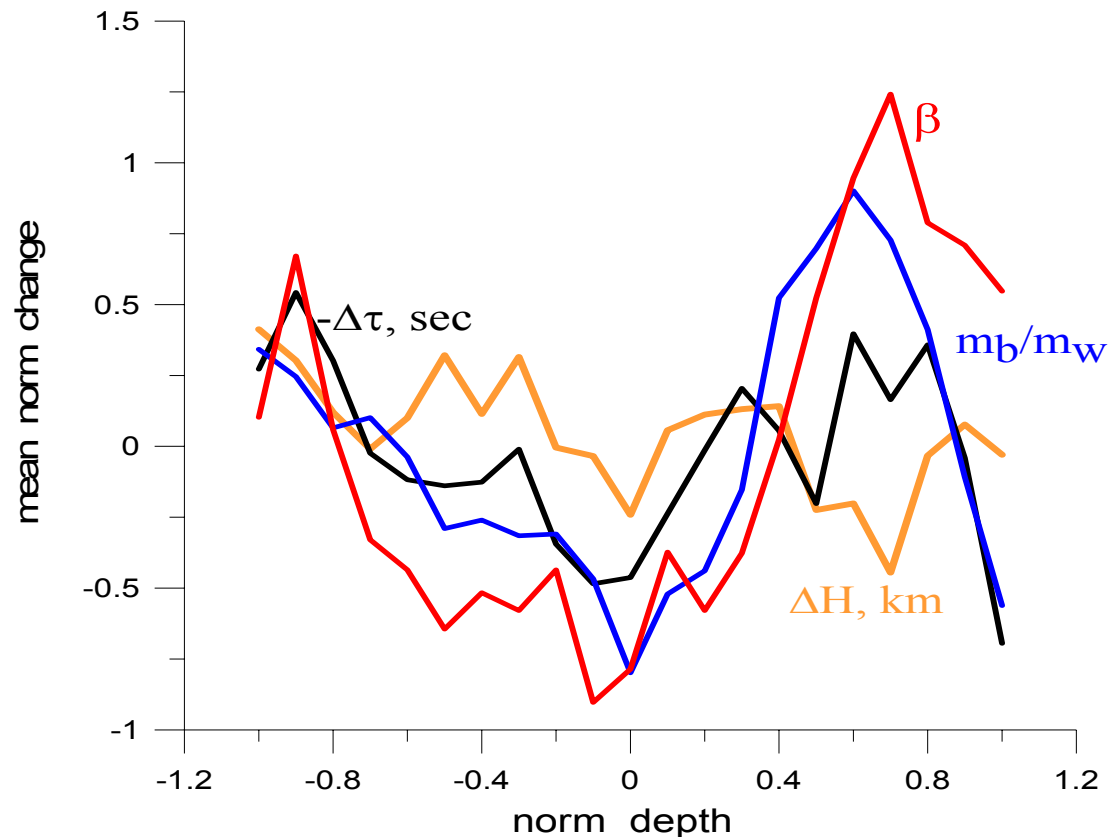
Профили с изгибами погружающихся литосферных плит по сейсмотомографическим данным и расположению гипоцентров ([Carato, Riedel, Yuen, 2001], рис.1); (а) – Идзу-Бонин, в области 27-28°N; (б) – море Банда, 122-124°E; (в) – Тонга, 20-21°S; (г) - Тонга, 21-22°S. По оси x даны координаты профиля (градусы широты или долготы), по оси y – глубина в километрах (слева) и теоретическая схема процесса (справа)

## The dependence of density $\rho$ of number of quakes with the depth



The depth intervals with increased  $\rho$  values are shown by red color. These depths correlate with the depth values of the main solid-state transformations in the subducting slabs: 1 – deserpentinization area (double seismic zones); 2 – eclogitization?; 3 – A-phase formation (Liu, 1993); 4 -  $\alpha \leftrightarrow \beta$  transition zone; 5 -  $\beta \leftrightarrow \gamma$  transition; 6 –  $\gamma$ -phase  $\leftrightarrow$  Pv+Mw phase.

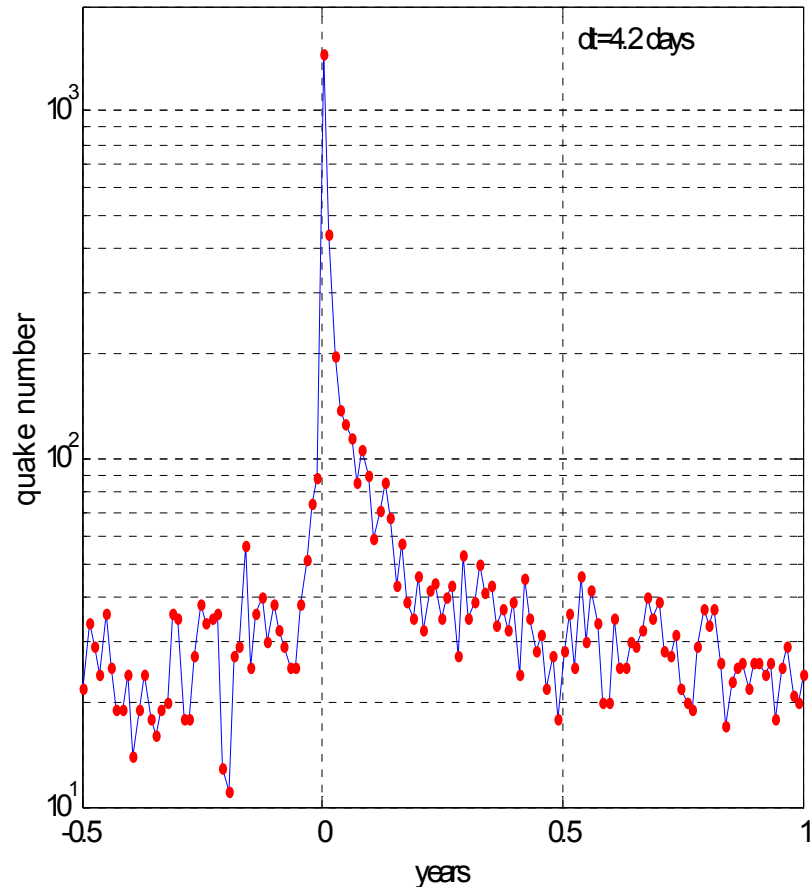
## The change of the mean values of the residual parameters in the norm depth intervals (depth intervals of the solid-state transformations)



Parameters  $-\Delta\tau$ ,  $\beta$ ,  $m_b/m_w$  (but not  $\Delta H$ ) have a tendency to decrease in the depth intervals of the solid-state transformations.

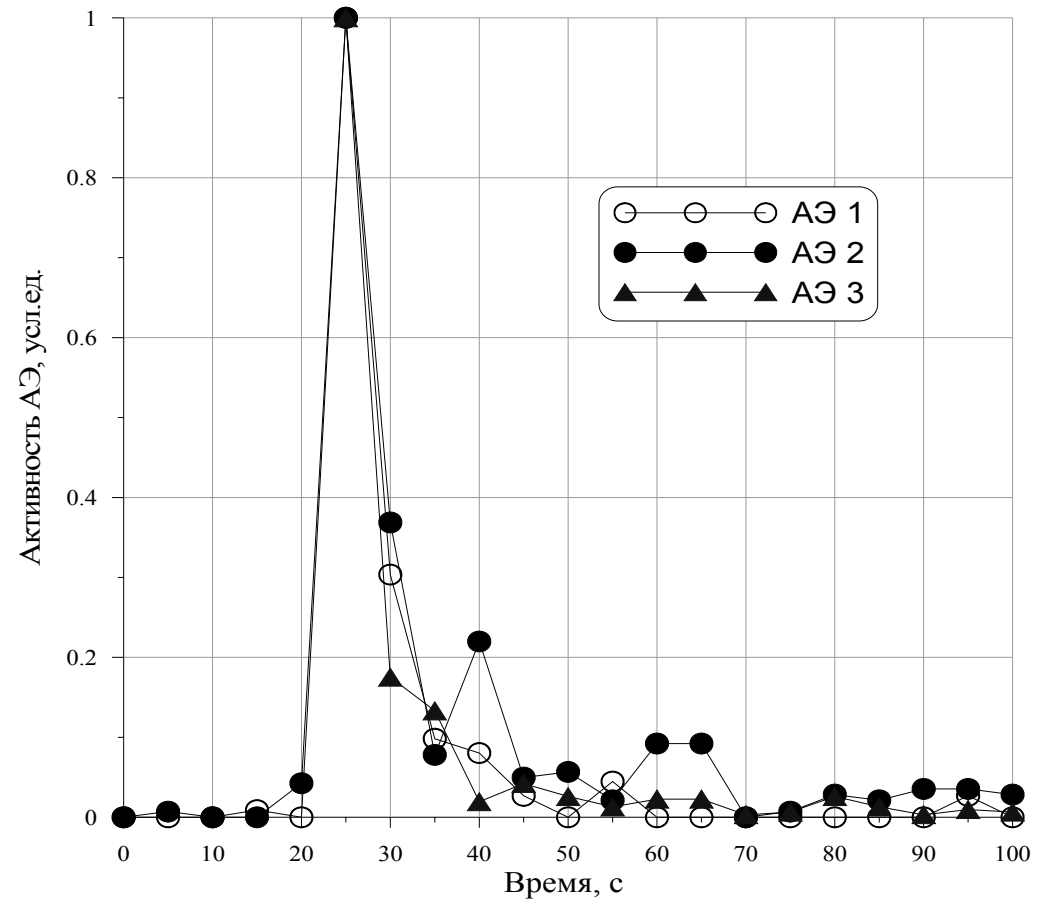
В областях превращений процессы идут медленнее, относительное превалирование сильных событий

# Сравнение фор- афтершоковых последовательностей: землетрясения и эксперимент



**В эксперименте (Патонин, 2005) примерно равно выражены фор- и афтершоковый режимы. В землетрясениях форшоков много-много меньше.**

**Опыт рудников в Южной Африке – практически налажена безопасность от горных ударов по режиму форшоковых тресков.**



**Кинетика акустической активности кварцита в периоды активизации после  $\alpha$ - $\beta$  фазового перехода**

*Представляется, что возможным «претендентом» на роль обмягчителя среды являются взаимосвязанные процессы твердотельных превращений и флюидной активизации.*

*Спасибо за внимание*