

Новые свидетельства роли жидкой фазы низкой плотности в генезисе коровых землетрясений

Левин Б.В., Родкин М.В., Сасорова Е.В.*

** - ГЦ РАН, Москва, rodkin@wdcb.ru*

Проблематика выступления:

Принято полагать, что сейсмический режим тесно связан (обуславливается?) глубинным флюидным режимом.

Но флюидный режим определяется характером взаимодействия флюид – порода.

С глубиной закрываются трещины в горной породе, меняются структура и объемы порового пространства, происходит общая гомогенизация вещества.

Проявляются ли эти процессы в сейсмическом режиме?

Модель В.Н.Николаевского (1982 и последующие работы)

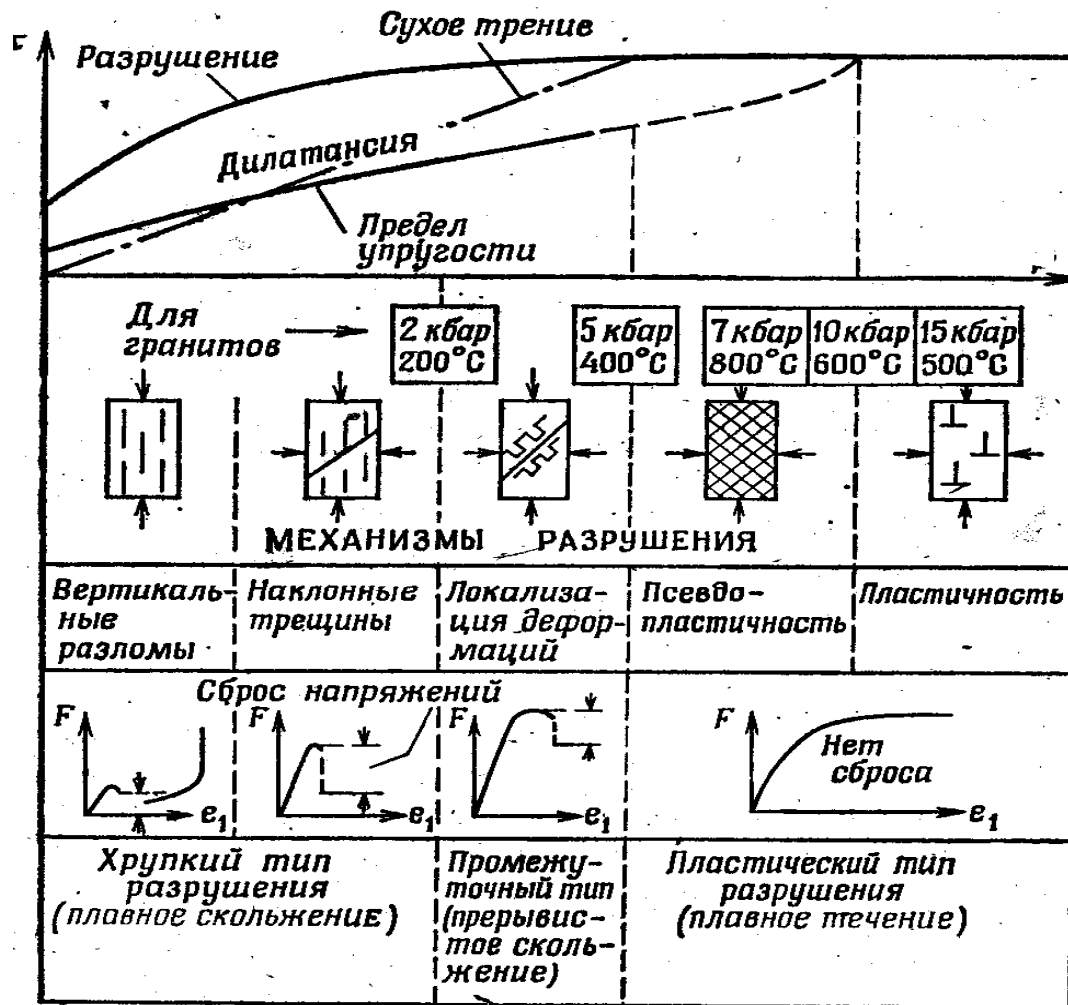


Рис. 1.

Характер взаимодействия флюид-порода определяется величиной давления (глубиной), следует ожидать развития зон трещиноватости в средней коре (область развития волноводов) и полного схлопывания пористости на границе кора-мантия

Модель С.Н.Иванова

Схлопывание трещин и пористости маркирует переход от субгидростатического давления флюида к сублитостатическому.

Этот переход происходит на глубине около 10 км в области так называемого слоя-отделителя. Слой характеризуется аномальными прочностными свойствами, концентрацией очагов землетрясений и зон глубинного срыва.

В области нижней коры происходит ряд реакций дегидратации. При этом реализуется перераспределение (отжимание) выделяющегося флюида в направлении к поверхности.

Методика

Рассматривается изменчивость от глубины средних значений:
известных параметров (β -value, кажущиеся напряжения σ_a ,
плотность числа событий n)

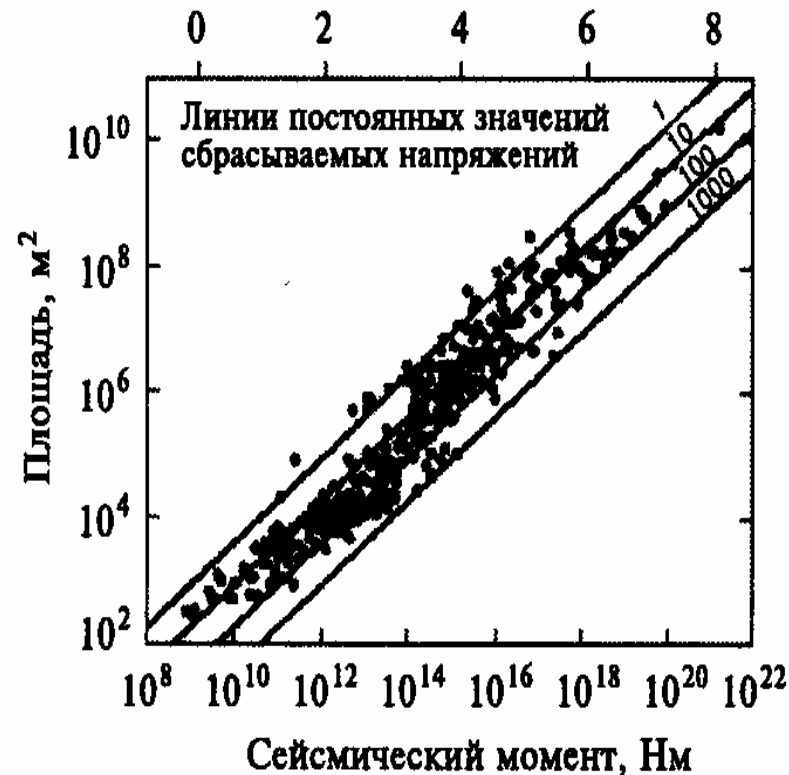
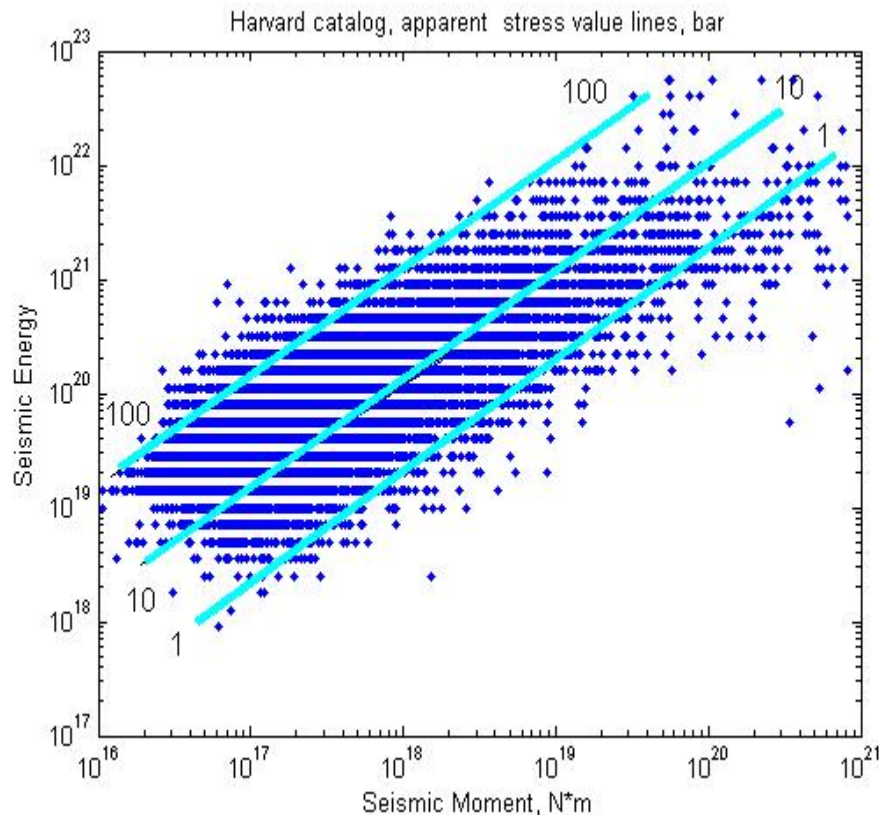
а также средних величин отношения m_w/m_b и различий в глубине
и времени события по данным анализа первых вступлений и по
данным определения параметров сейсмического момента.

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 Δt характеризует полу-продолжительность
процесса излучения сейсмических волн, а разница двух значений
глубины события ΔH - полу-протяженность очага по глубине и
направление процесса вспарывания (вверх или вниз)..

Правомочно ли использование кажущихся напряжений? Сравним значения сброшенных и кажущихся напряжений



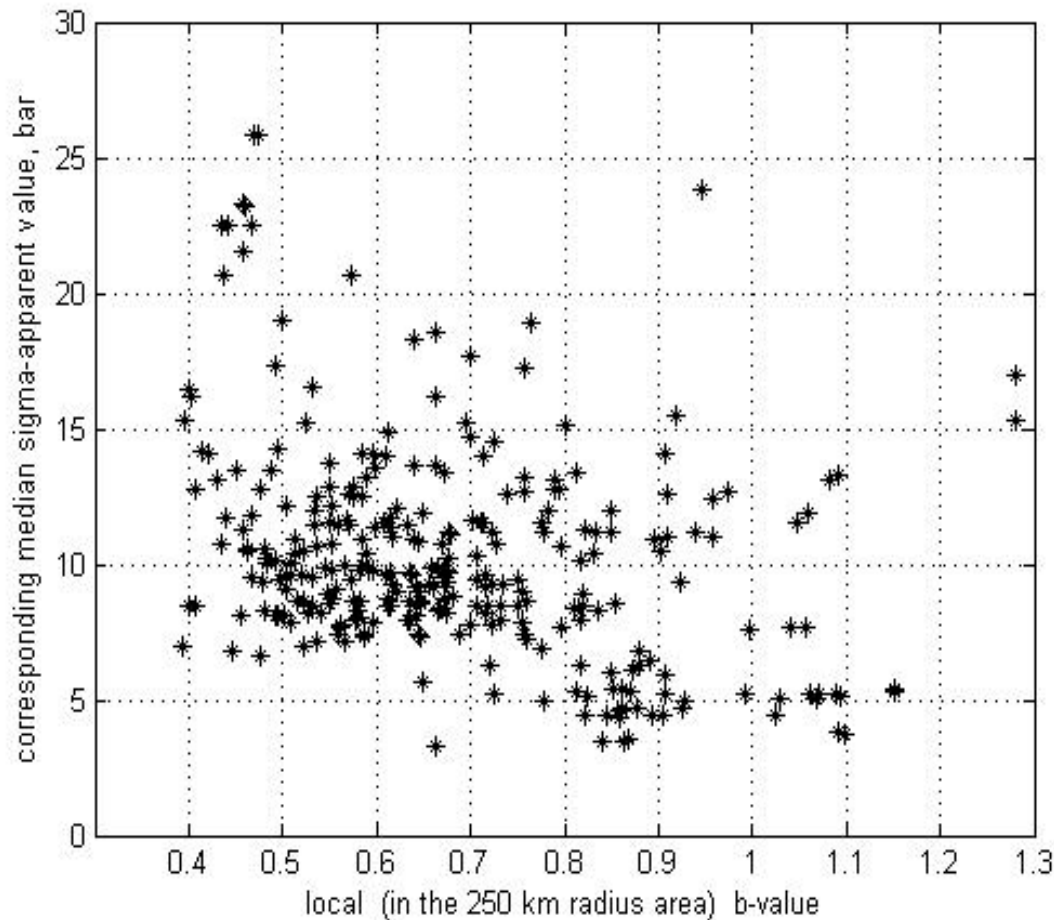
Видна аналогичность величин и характера поведения кажущихся ($\sigma_a = \mu E_s / M$, Abe, 1982) – слева и сброшенных напряжений (справа). Данные: Гарвардский каталог (слева) и по [Abercrombie, Leary, 1993] - справа.

Изменения параметров для разных регионов

Наклоны графика повторяемости в его линейной части β , медианы величин кажущихся напряжений σ_a и число событий N для разных регионов

Регион, название	β	σ_a , МПа	Число событий с $M > 4 \times 10^{24}$ дин-см.
Зоны субдукции и коллизии			
Аляска	0.59	0.13	151
Альпийский пояс Евразии	0.61	0.12	222
Тонга	0.71	0.12	245
Зондские о-ва	0.55	0.17	131
Южная Америка	0.56	0.11	176
Япония	0.67	0.21	96
Курилы	0.72	0.12	191
Марианские о-ва	0.92	0.14	88
Мексика	0.47	0.06	141
Новая Зеландия	0.44	0.1	38
Срединно-океанические хребты и трансформные разломы			
Атлантический океан	0.79	0.07	147
Тихий океан	1.08	0.03	155
Индийский океан	0.74	0.054	192
Чилийский хр.	0.95	0.034	62

Общее соотношение b-value vs. σ

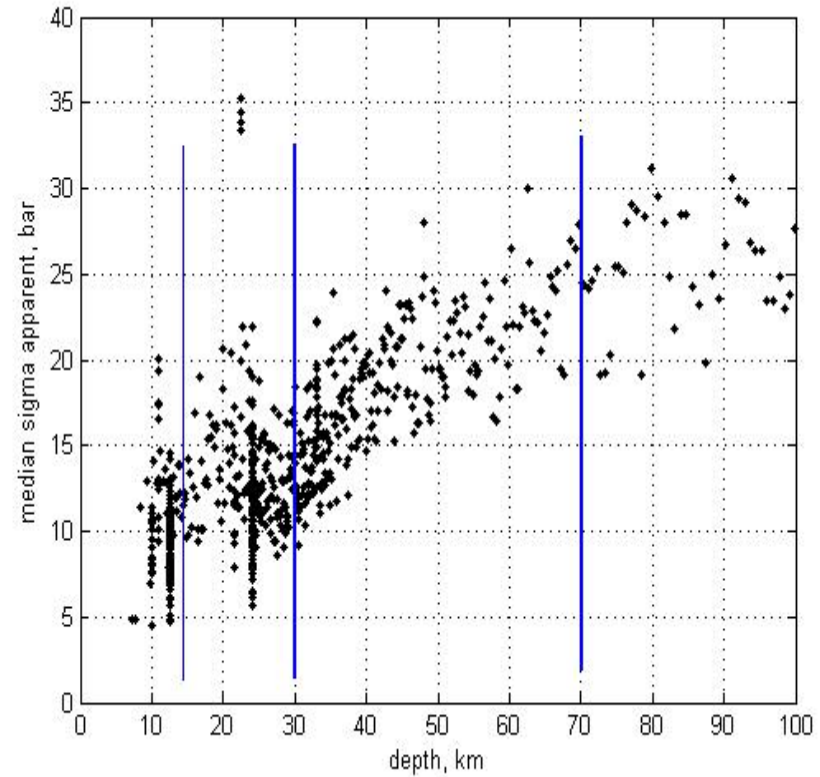
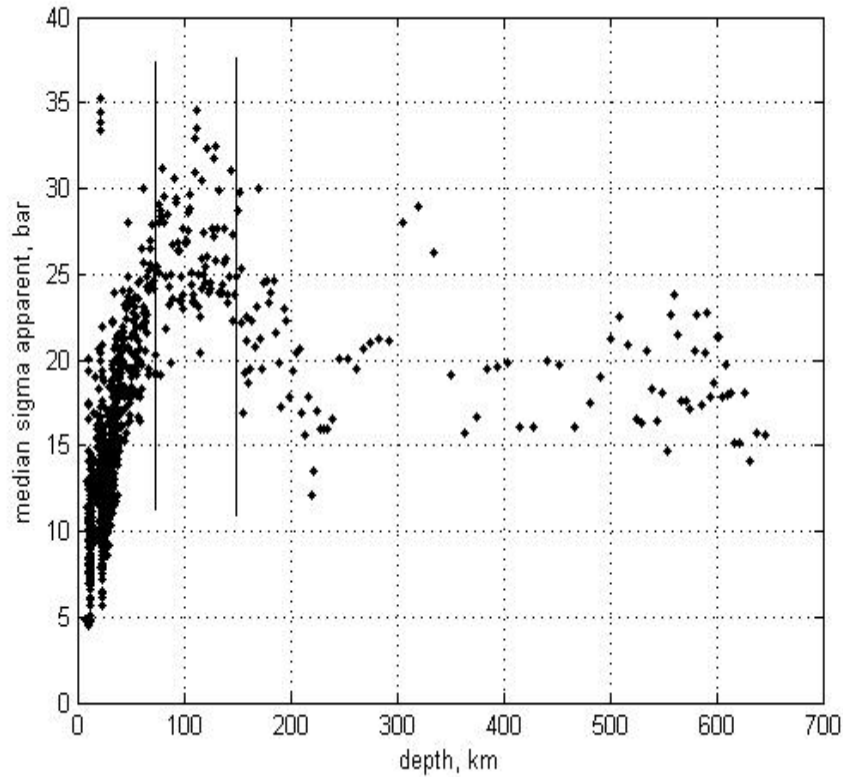


Для областей с числом событий не менее 70.

В целом (как и в эксперименте), меньшие значения наклона графика повторяемости соответствуют большим значениям напряжений

Параметр величина кажущихся напряжений ведет себя ожидаемым образом (как если бы характеризовали величину напряжений)

Зависимость величин кажущихся напряжений от глубины



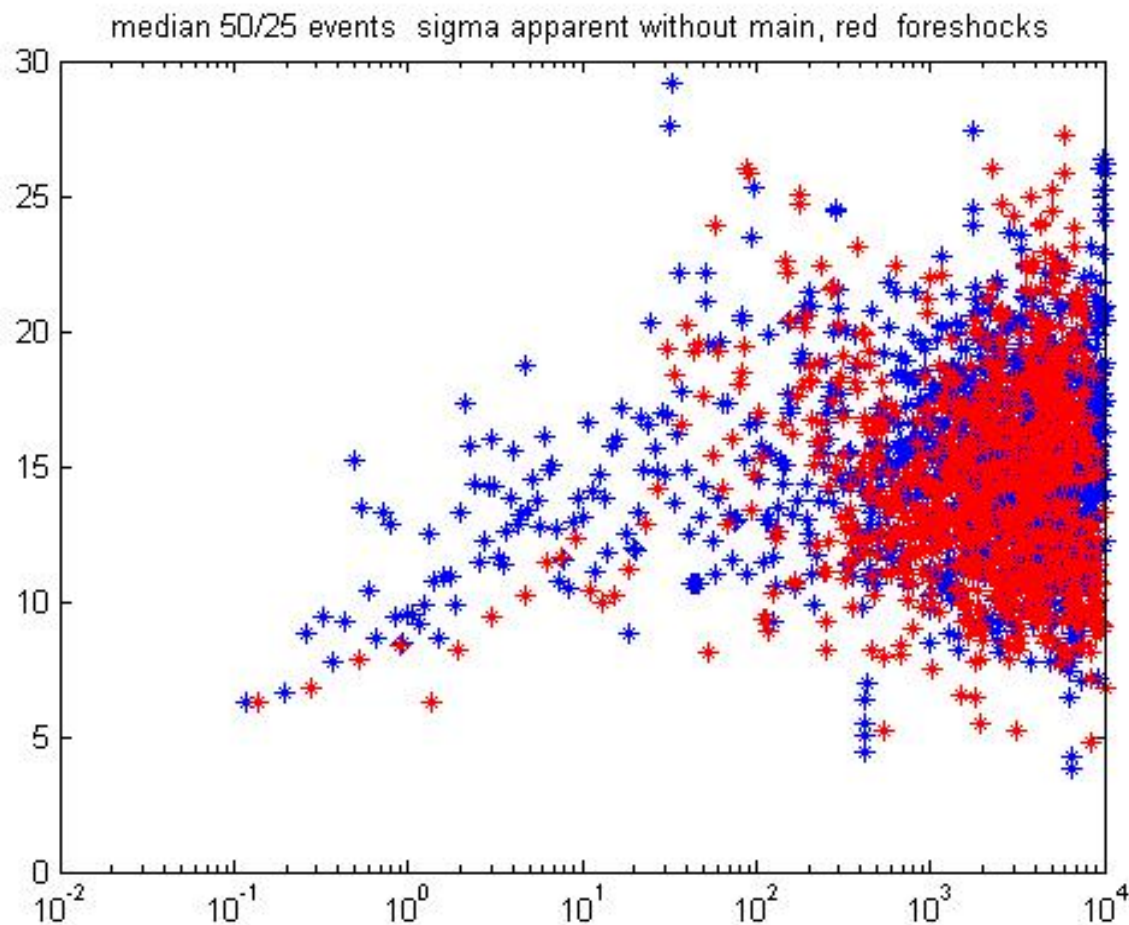
Зависимость характерных величин кажущихся напряжений от глубины.

Для сопоставления плотность очагов – величина сейсмогенных напряжений надо разбить на интервалы глубин.

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

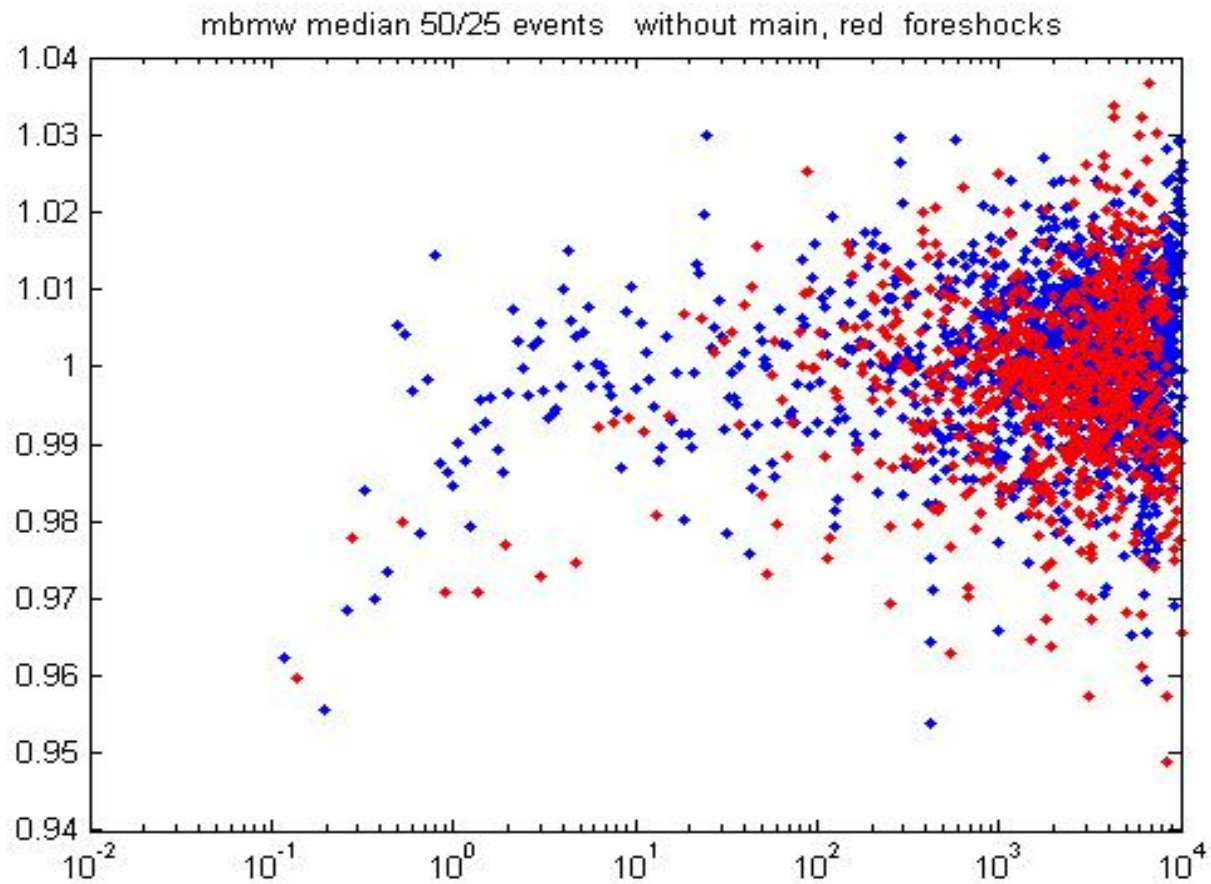
Интервал глубин, км	Радиус ячейки, км				Число событий, (достоверность > 99%)
	25	50	100	250	
0 – 15	-0.20	-0.24	-0.28	-0.31	5000
15 – 30	-0.25	-0.26	-0.27	-0.29	6000
30 – 70	-0.17	-0.20	-0.21	-0.26	6500
70 – 150	-0.11	-0.11	-0.07	-0.05	2500
150-700	-0.18	-0.17	-0.16	-0.11	2547

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

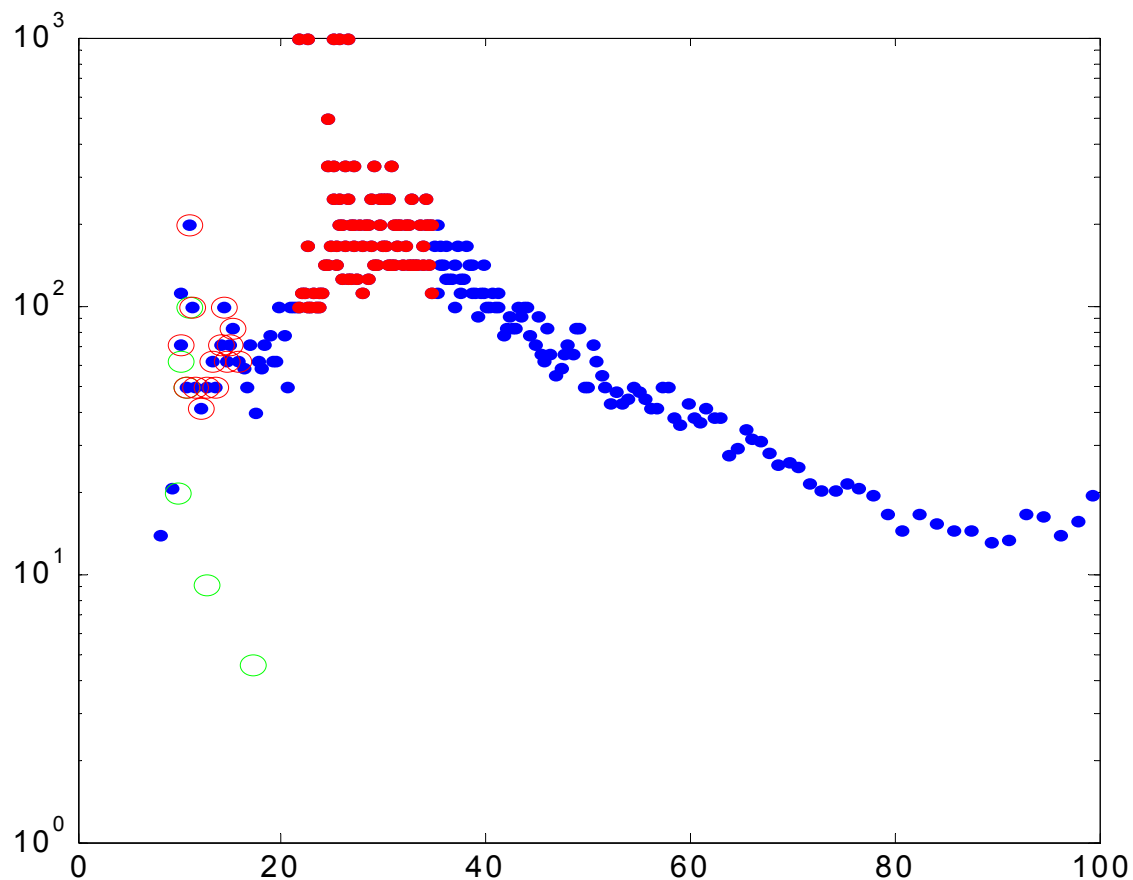


Эффект разупрочнения в критической области

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

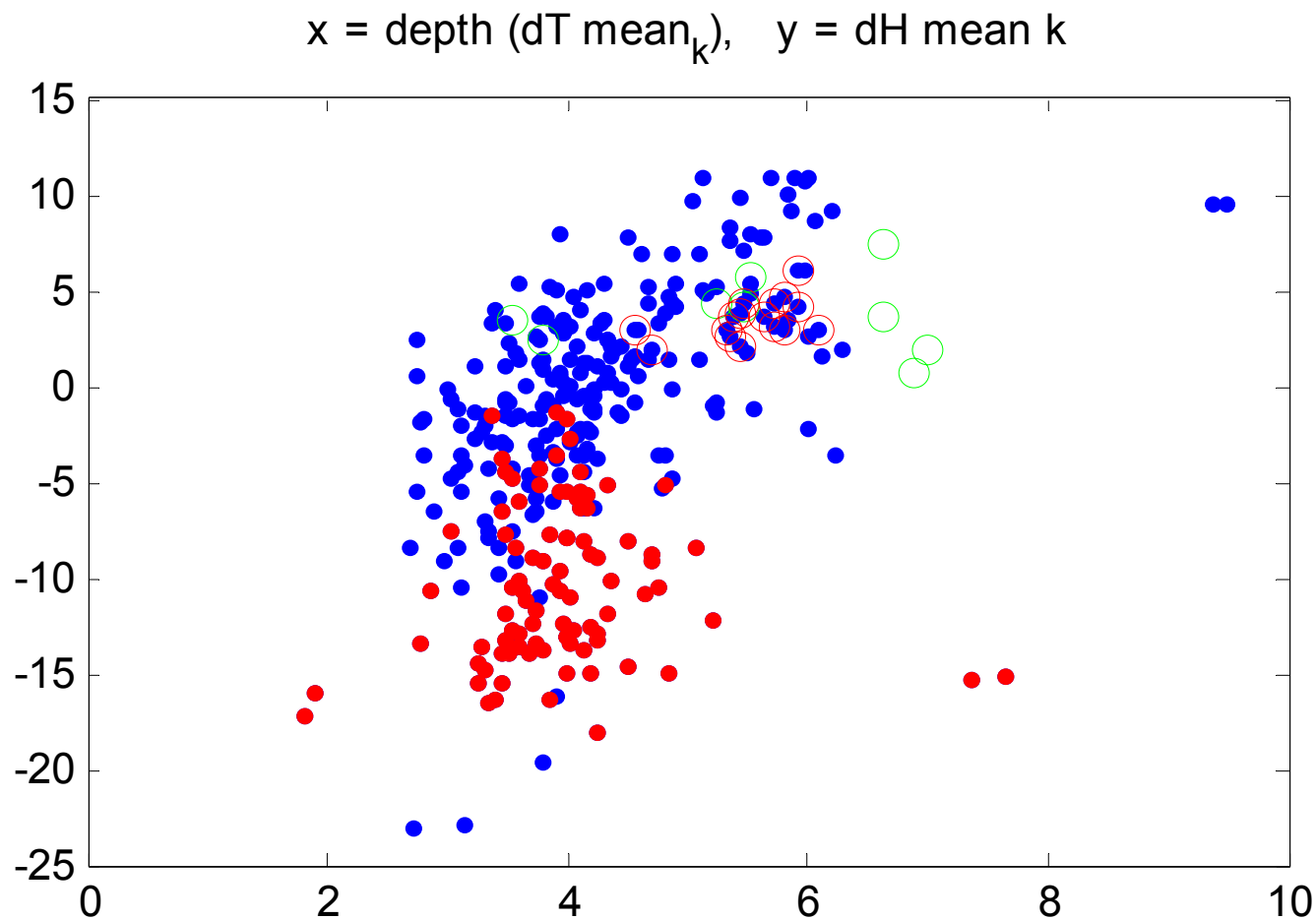


Гарвардский мировой каталог сейсмических моментов



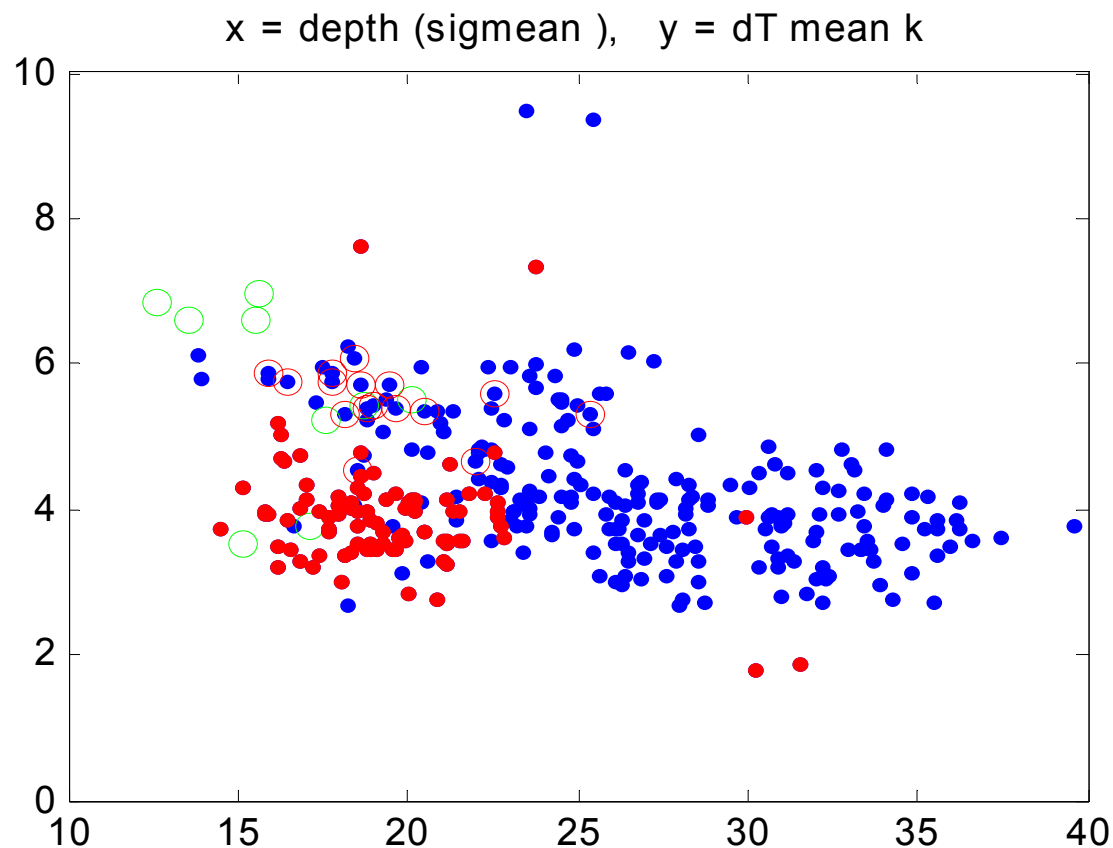
Зависимость плотности числа событий n от глубины H , кружки – области срединно-океанических хребтов, точки – остальные землетрясения.

Гарвардский мировой каталог сейсмических моментов



Соотношение характерной полу-протяженности очага по глубине dH (ось y) от полу-продолжительности сейсмического процесса dT (ось x).

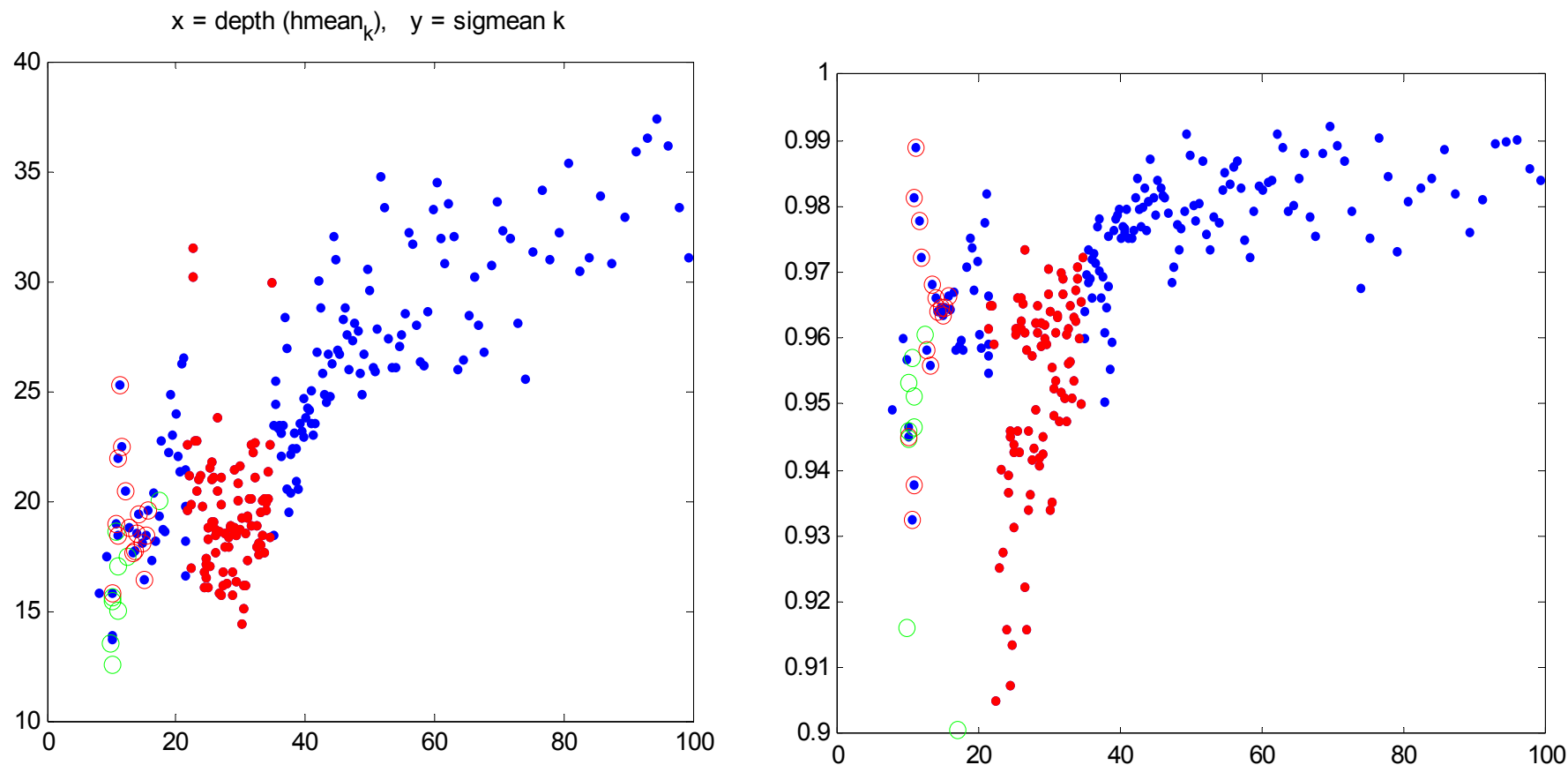
Гарвардский мировой каталог сейсмических моментов



Соотношение характерной полу-продолжительности сейсмического процесса dT (ось y) от величины кажущихся напряжений (ось x). Средние значения для сортированные в порядке возрастания глубины группы землетрясений, зеленые кружки – области срединно-океанических хребтов, точки – остальные землетрясения.

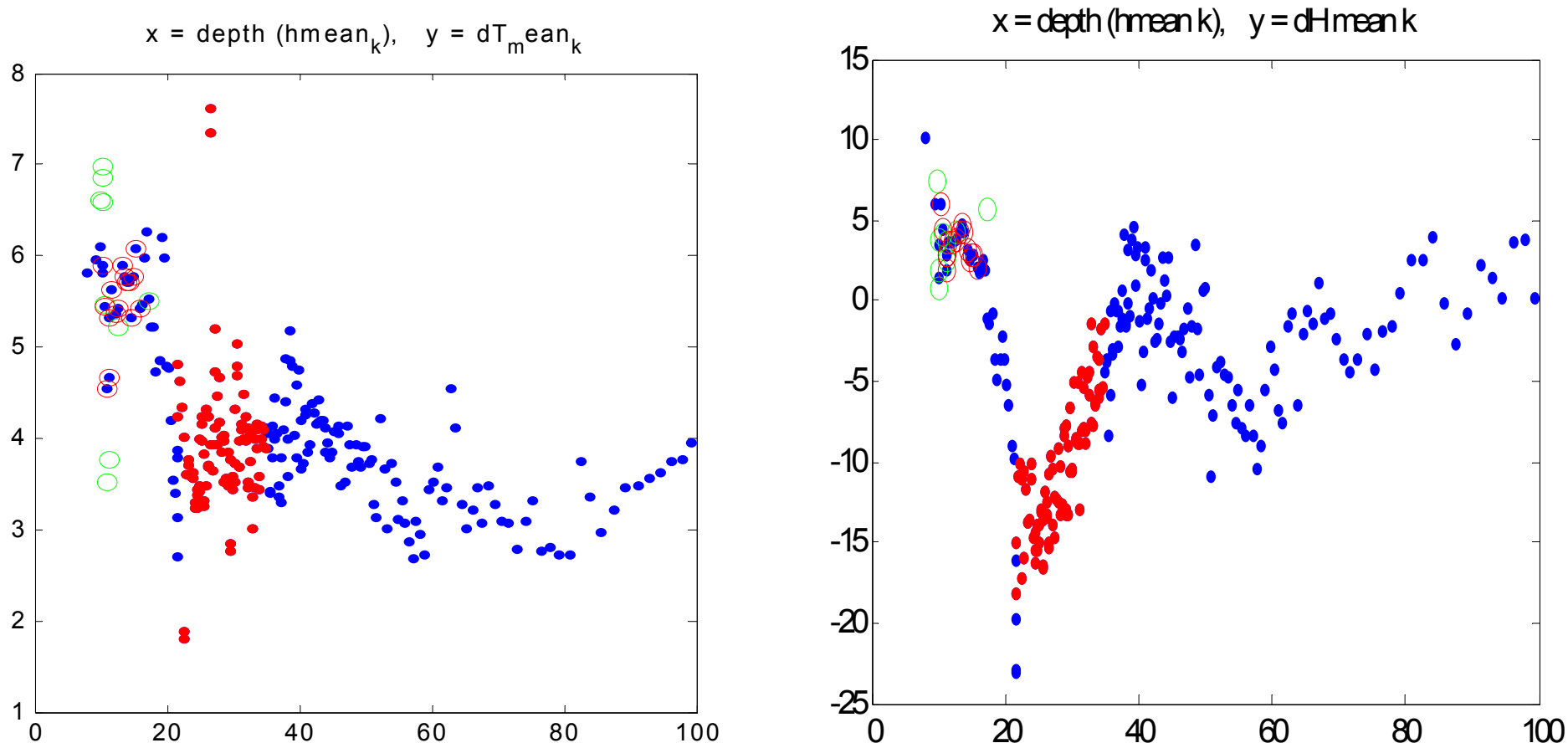
События с более высоким уровнем «напряжений» имеют тенденцию протекать несколько быстрее

Гарвардский мировой каталог сейсмических моментов



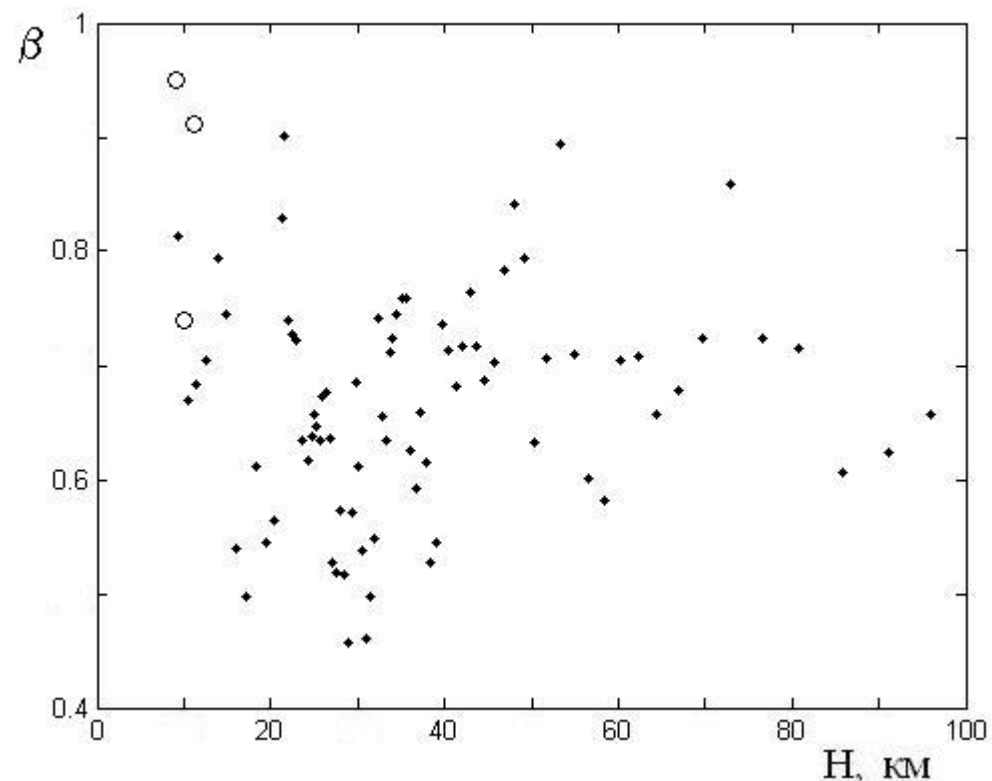
Зависимость от глубины средних значений кажущихся напряжений σ_a (слева) и отношения магнитуд m_b/m_w (справа), кружки – области срединно-океанических хребтов, точки – остальные землетрясения.

Гарвардский мировой каталог сейсмических моментов



Зависимость от глубины средних значений разницы момента события ΔT (слева) и глубины очага ΔH (справа) по решению сейсмического момента и по первым вступлениям, **отрицательные значения справа отвечают развитию очага вверх**, кружки – области срединно-океанических хребтов, точки – остальные землетрясения.

Гарвардский мировой каталог сейсмических моментов



Зависимость от глубины средних (для сортированных в порядке возрастания глубины групп землетрясений) значений наклона графика повторяемости величин сейсмического момента M , кружки – области срединно-океанических хребтов, точки – остальные землетрясения.

Некоторые выводы

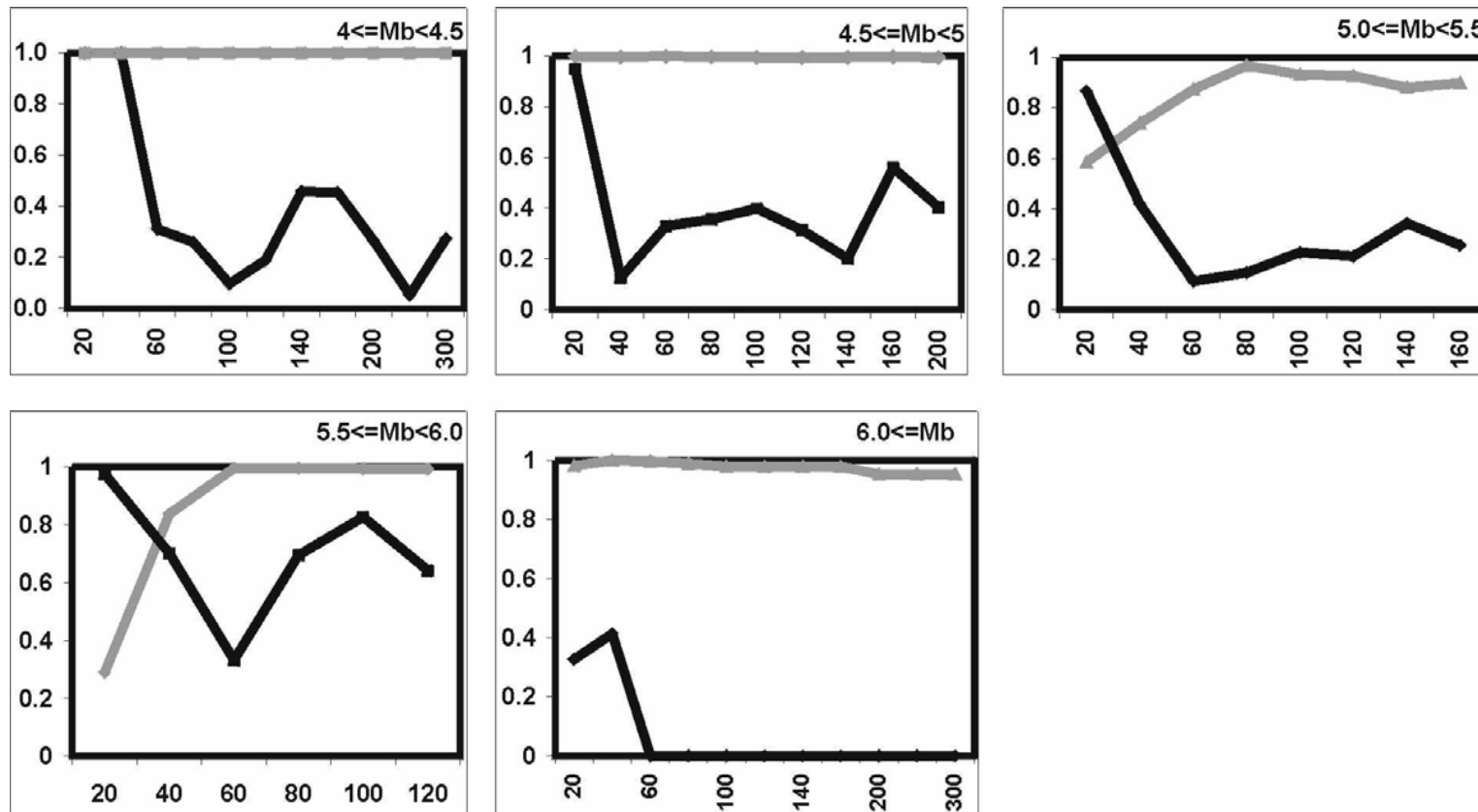
В области глубин 10-15 км и 20-30 км выявляются аномалии, отвечающие

- Увеличению числа очагов землетрясений;
- Уменьшению величины кажущихся напряжений и отношения магнитуд m_b/m_w ;
- Сильно выраженной (для глубин 20-30 км) тенденции развития процесса испарывания очага в направлении к поверхности Земли.

То есть, наблюдаются: уменьшение прочности пород, превалирование развития низкочастотных компонент излучения очага, тенденция «прорыва» очага в область меньших давлений.

Такие свойства во многом аналогичны особенностям, характерным для очагов в окрестности сильных землетрясений.

Литосферные землетрясения ($H < 70$ км) имеют годовой ход, более глубокие - нет. Примерно на этой глубине энергетически предпочтительнее становится вхождение флюида в кристаллическую решетку (Адушкин, Родионов, 2005).



Графики зависимости вероятности от порогового значения глубины для пяти магнитудных диапазонов: черные линии для глубоких событий, серые линии - для неглубоких. По оси абсцисс на всех фрагментах - пороговое значение глубины (H_{thr}), по оси ординат - значение вероятности того, что данная последовательность событий не соответствует равномерному закону распределения. Кривые вычислены по месячной дискретной шкале для Камчатского субрегиона.

В совокупности представленные данные являются новым свидетельством в пользу важной роли флюида низкой плотности в очагах землетрясений.

При этом выделяются характерные горизонты в области глубин 10-15 км, 20-30 км и 70-80 км.

Эти глубины могут соответствовать:

- схлопыванию порового пространства (переходу к сублитостатическим давлениям флюида),**
- развитию реакций дегидратации и перетоку легкого флюида вверх,**
- переходу от свободного состояния флюида к его вхождению в кристаллическую решетку породы.**

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

Спасибо за внимание