

Тектоническое нагружение, дилатансия и предвестники землетрясения

В.Н.Николаевский (ИФЗ РАН)

- Лэттер, Мартинелли, Теллер. **1959** Physics of Fluids = сейсмический сигнал подземного взрыва пропорционален объему, вытесненному во вмещающий упругий массив.
- Николаевский **1967** ДАН СССР = избыток материала вытеснения порождается дилатансионными трещинами.
- Родионов, Адушкин, Костюченко, Николаевский, Цветков, Ромашов **1971** **Механический эффект подземного взрыва.** = эффективный радиус излучающей полости.
- Николаевский **1979** = система трещин идет до Мохо. Первый правильный прогноз данных Кольской скважины (**1984**).
- Компьютерные программы неголономной упруго-пластичности с дилатансией и их практическое применение : Капустянский, Николаевский **1984 – 2010**; **ITASCA , США – Гарагаш, 2010** - Стефанов

2. Наблюдения Суолфа – Терра Тек

- Записи гидродатчика в щели горного массива (штат Юта).
- Дилатансия наложена на регулярное сжатие.

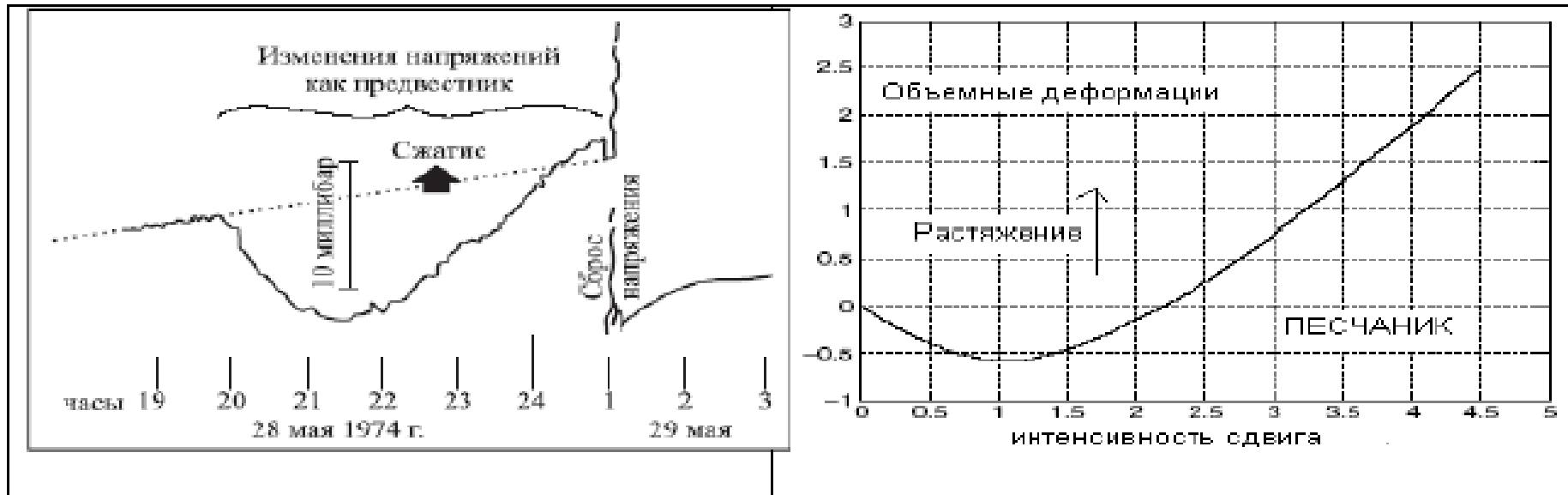
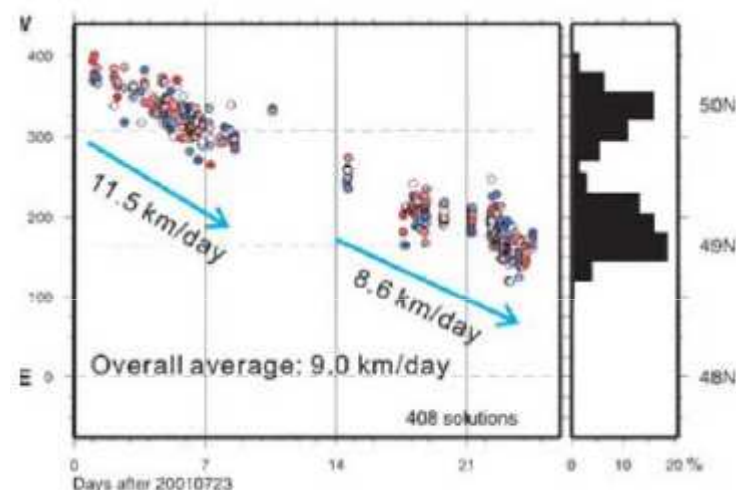
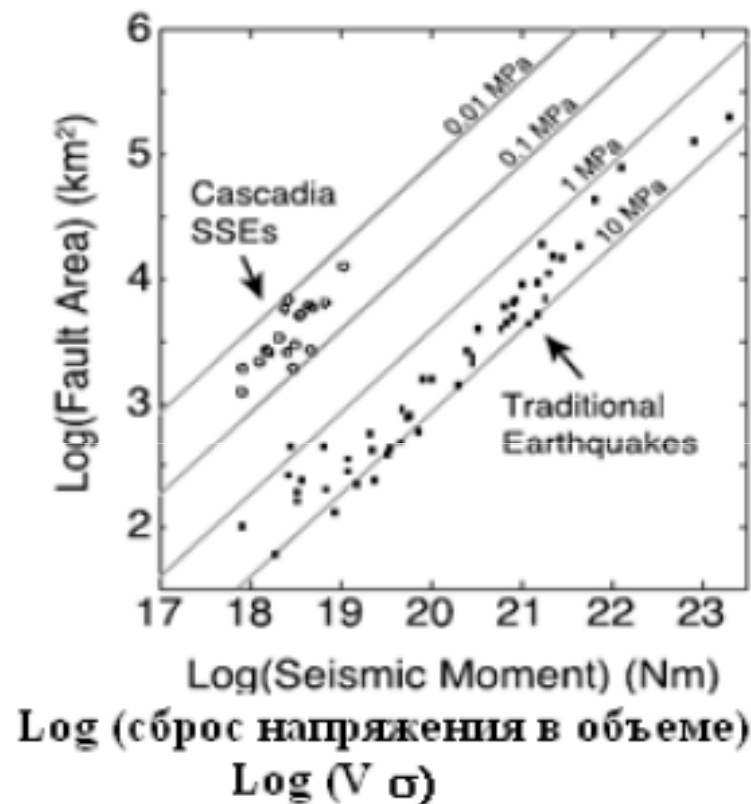


Рис. 1. Натурное наблюдение в Скалистых горах (предоставлено Терра Тек) и дилатансия сдвига.

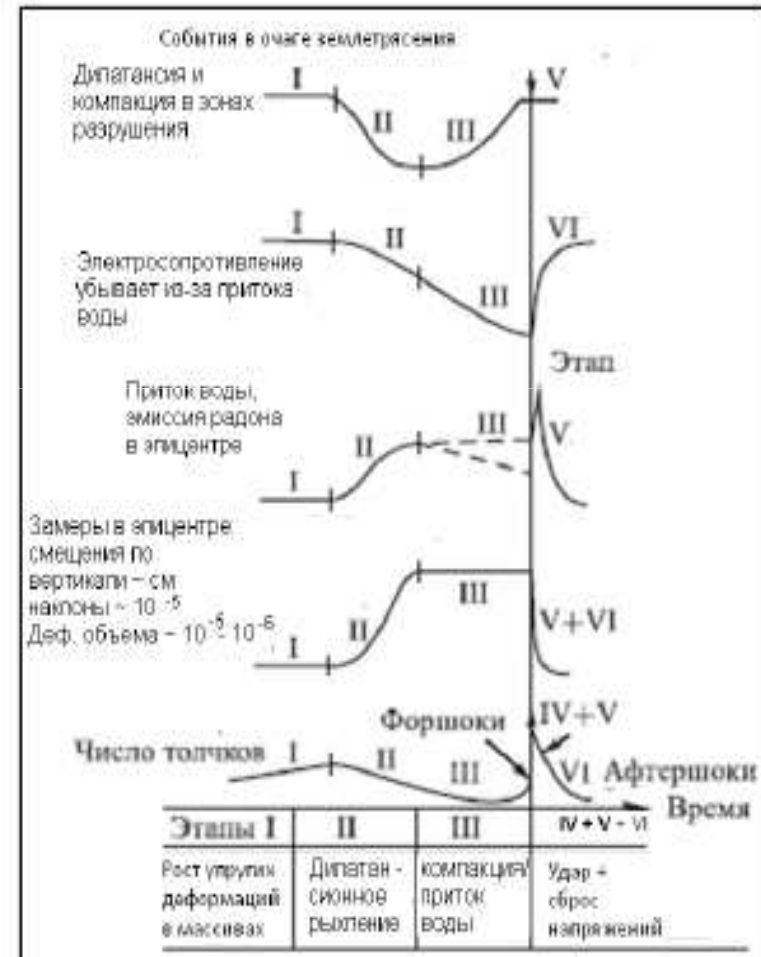
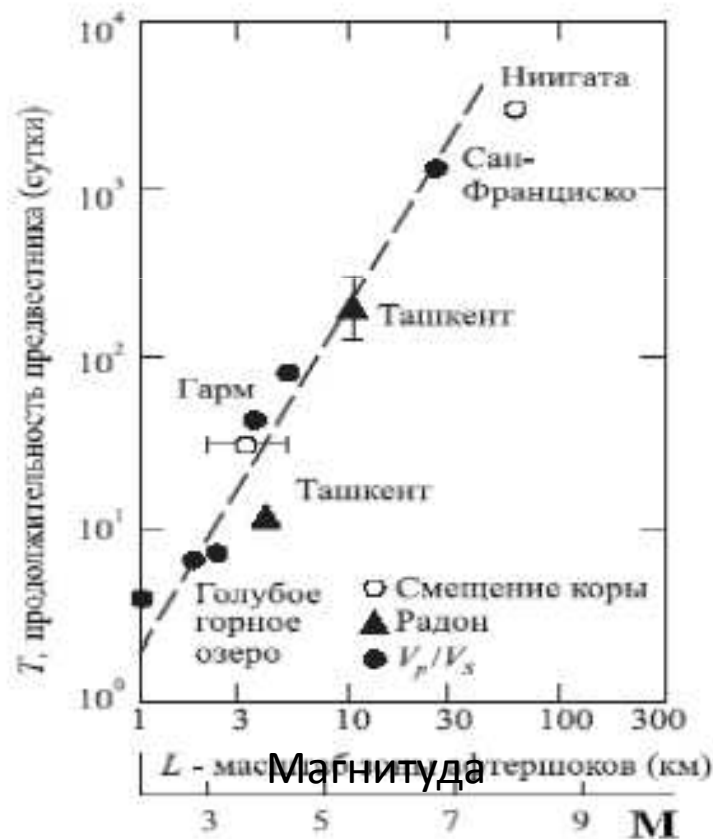
3. Волна тектонического нагружения и тремора (срывы) в Каскадии

КАНАДА



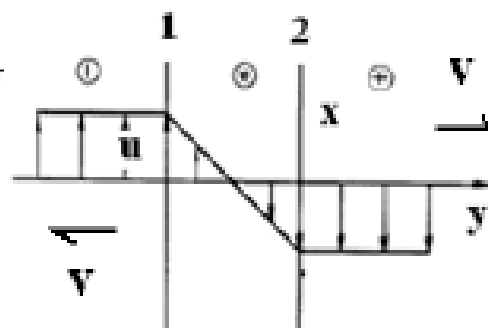
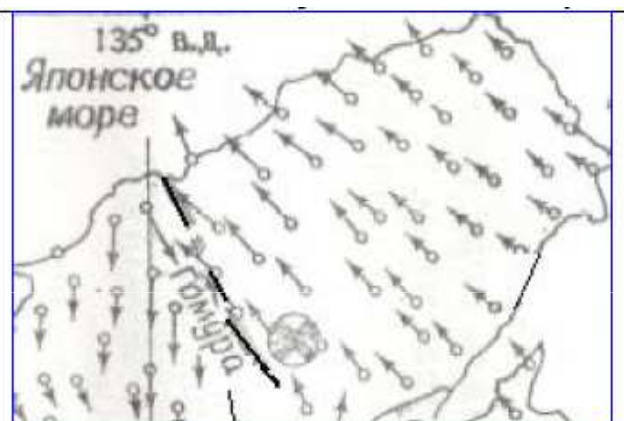
По данным о распространении толчков вдоль контакта плит можно судить о скорости передачи тектонических напряжений - в системе блоков с их проворотами .

4. Стандартная сводка предвестников



5. Разлом дилатансионно расширяется, что геодезически фиксируется по наклонам смещений

Из книги Касахары:



Смещения при землетрясении наклонены к разлому под углом дилатансии

Рис. 3.

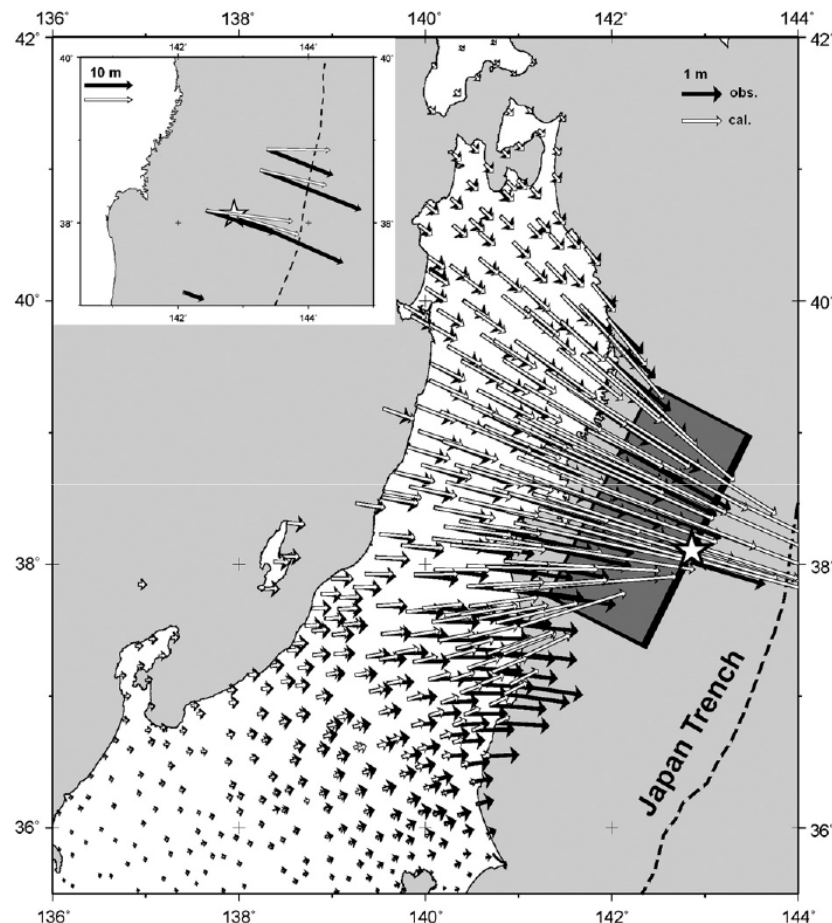
Компоненты поля скоростей смещения кинематически связаны между собой
 ψ - угол дилатансии (обычно 15 – 36°)

$$\operatorname{tg} \psi \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial y}$$

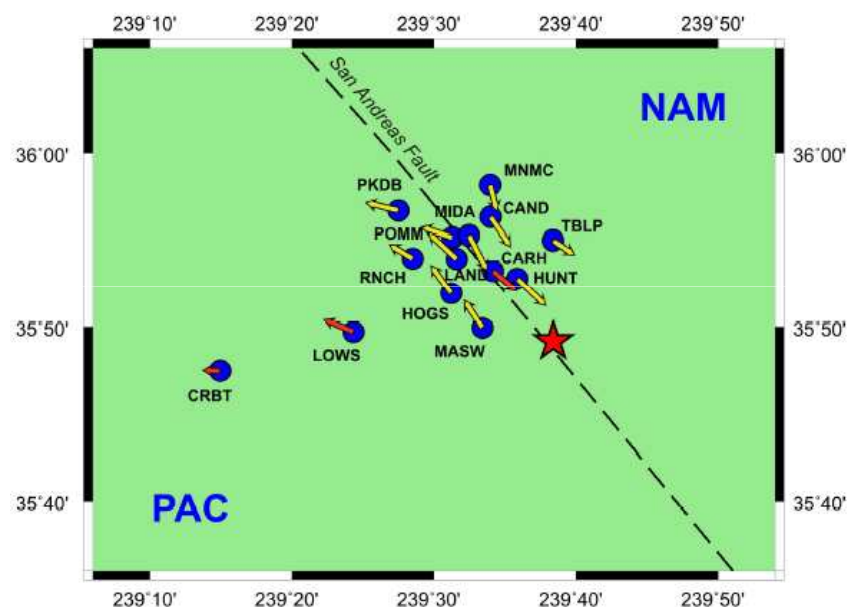
Условно подразделяем зону подготовки землетрясения на разлом с его предразрушением и вмещающий упругий массив.

В разломе смещения необратимы (диссипация тектонической энергии). В массиве – накопление упругой энергии (затем отдачи)!₅

6. Замеры (**GPS**) косейсмических смещений (**черные стрелки**) и упругий расчет (**белые**)

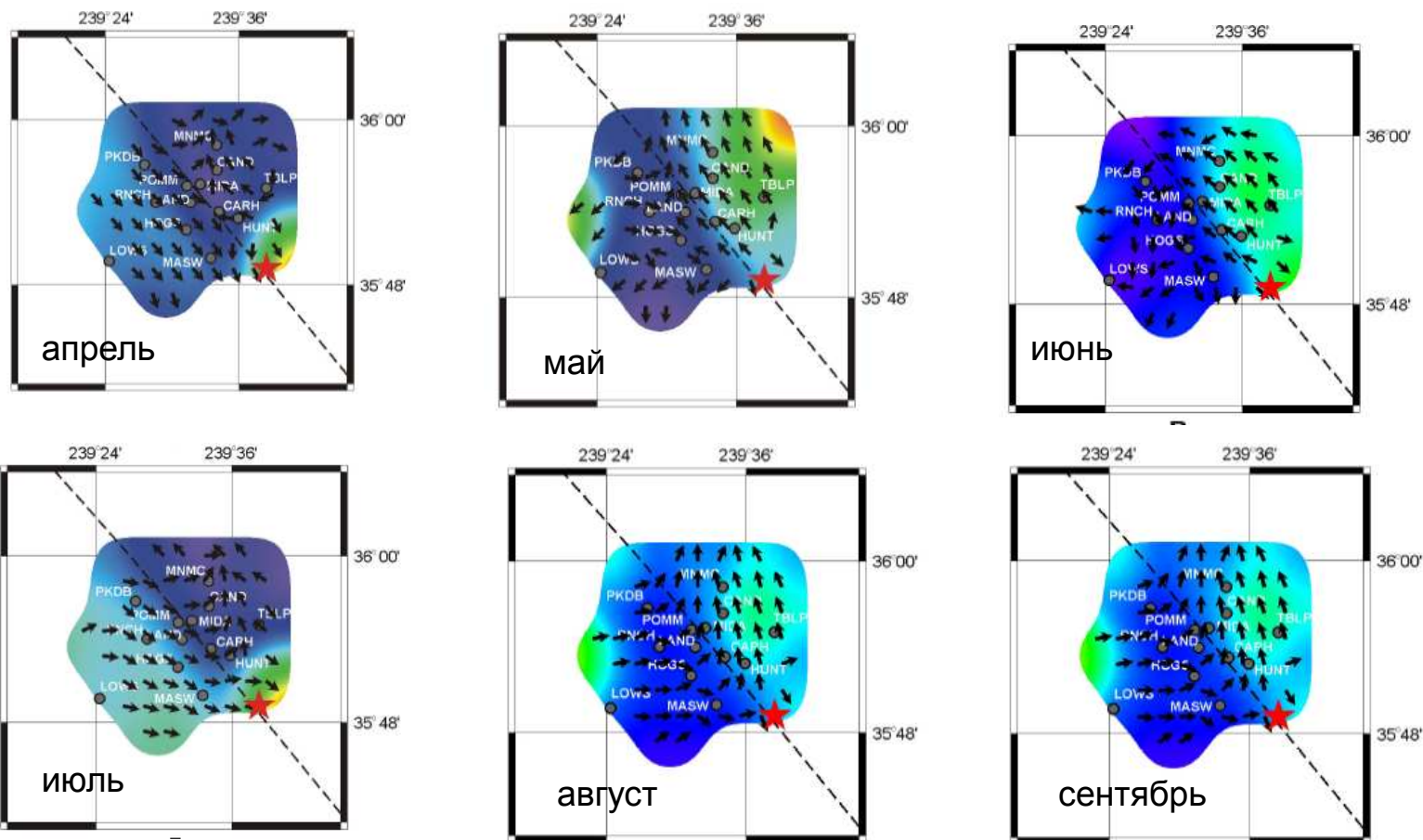


Тохоку - Оки 11.03.2011: $M=9.0$
Предоставлено В.Г. Быковым



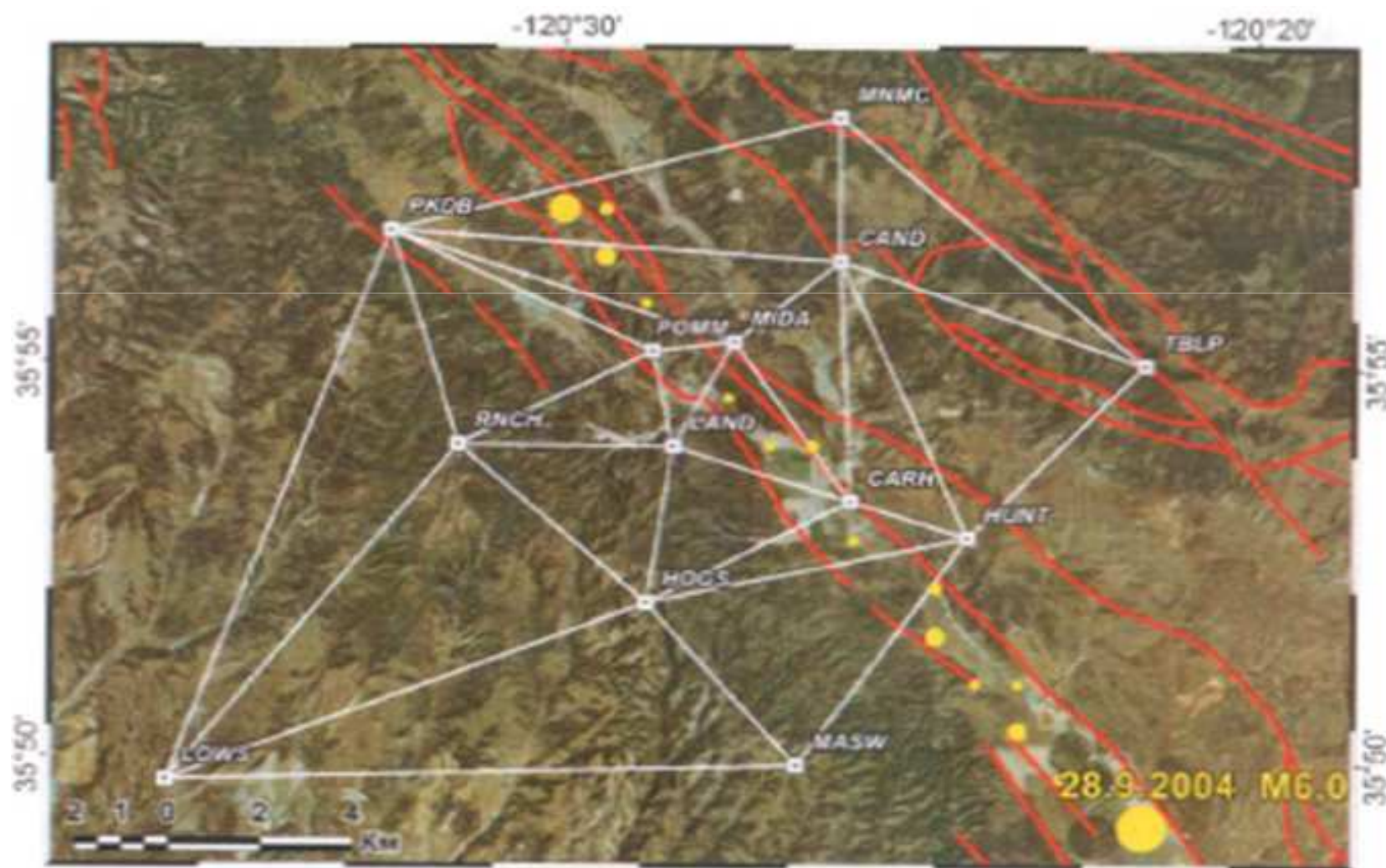
Паркфилд 28.09.2004: $M=6.0$ -
из статьи Габсатарова (2012)

Смещения блоков за месяца дилатансионного предразрушения (**GSP: Паркфилд 28.09.2004**)

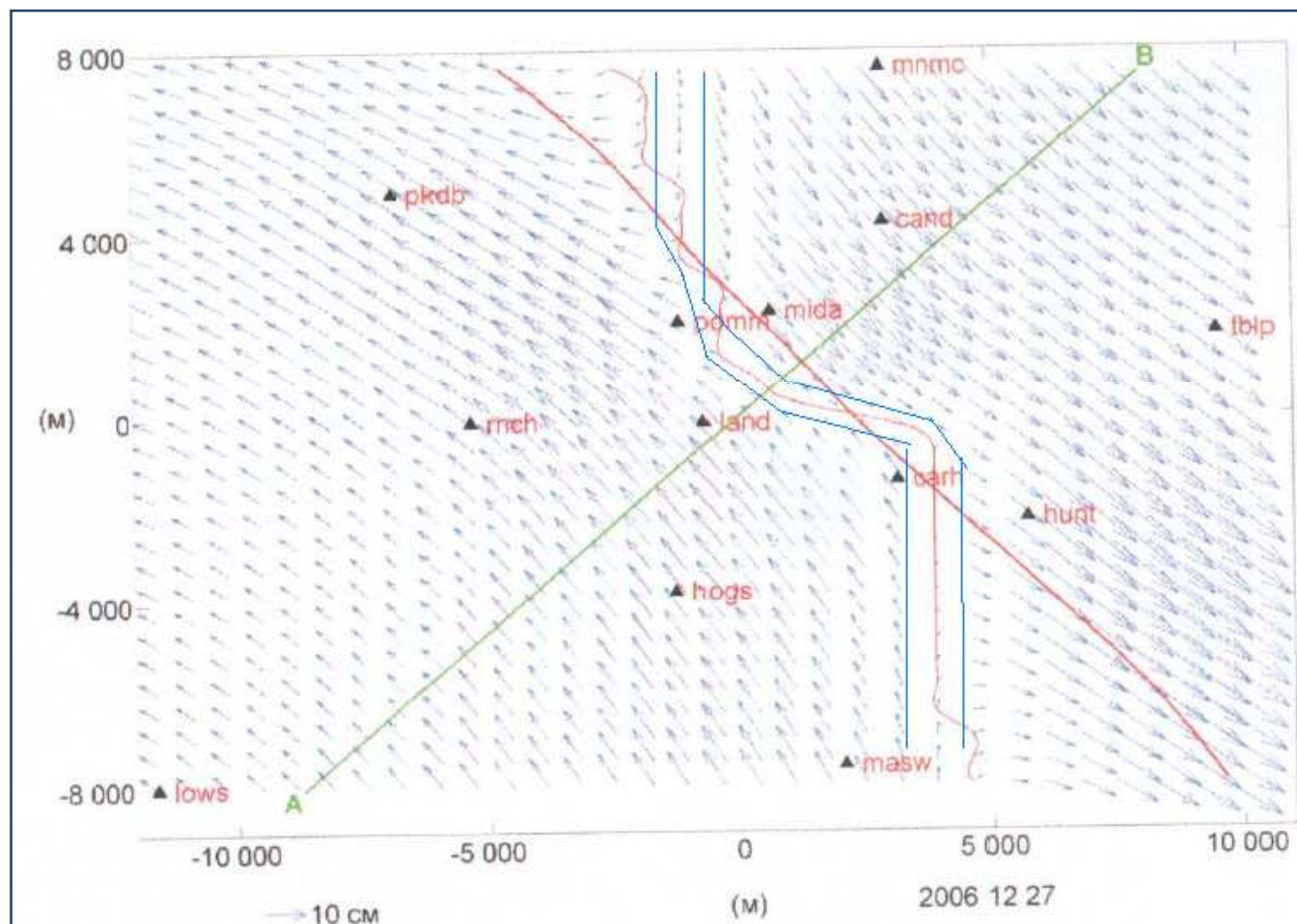


Citation: Gabsatarov Yu.V., 2012. Analysis of deformation processes in the lithosphere from geodetic measurements based on the example of the San Andreas fault. *Geodynamics & Tectonophysics* 3 (3), 275–287.

Полоса скольжения и афтершоки Паркфилда говорят о повторных разрушениях типа Риделя (сеть реперов и карта по Р.Красноперову)

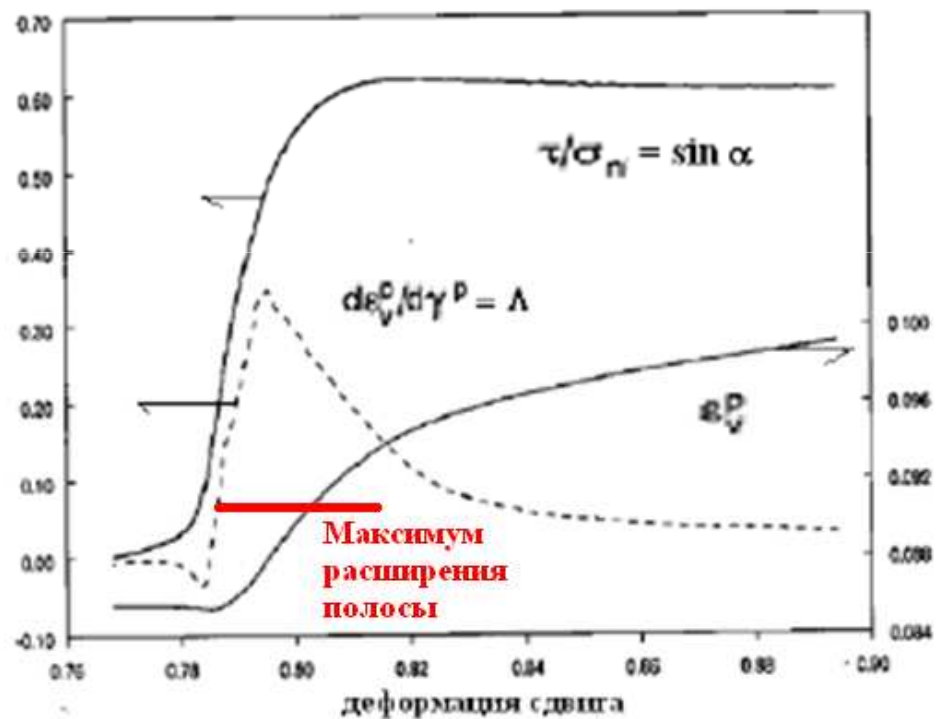


Смещения при землетрясении наклонены к телу разлома под углом дилатансии 2006 года (по данным космической навигации Р. Красноперова).



10. Тектонический сдвиг дает полосы

Выход на скольжение при дилатансионном деформировании массива.



11. Дочерние зоны уплотнения на соседних разломах (ключ к афтершокам)

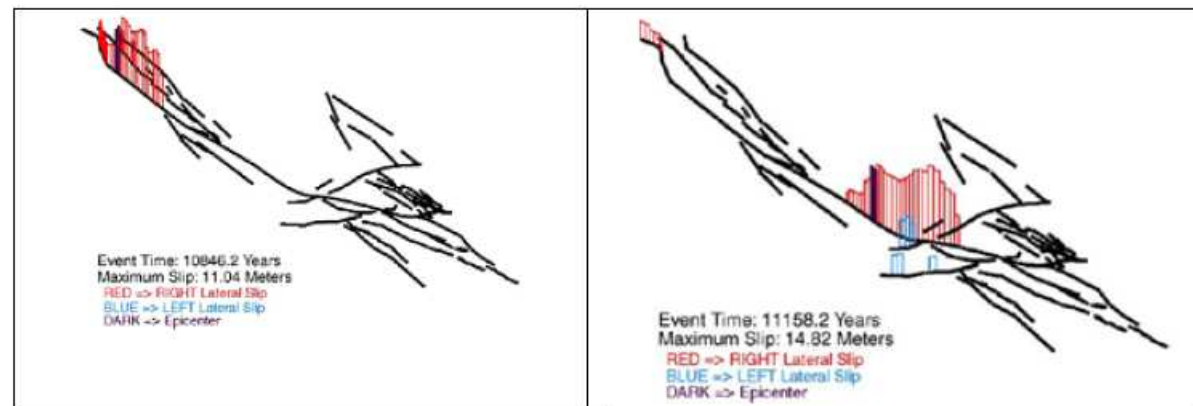


Рис. 13. Пример сильных землетрясений у северной части разлома Сан Андреас (гипоцентры выделены черной меткой) и сопутствующих подвижек на субпараллельных ветвях разлома.

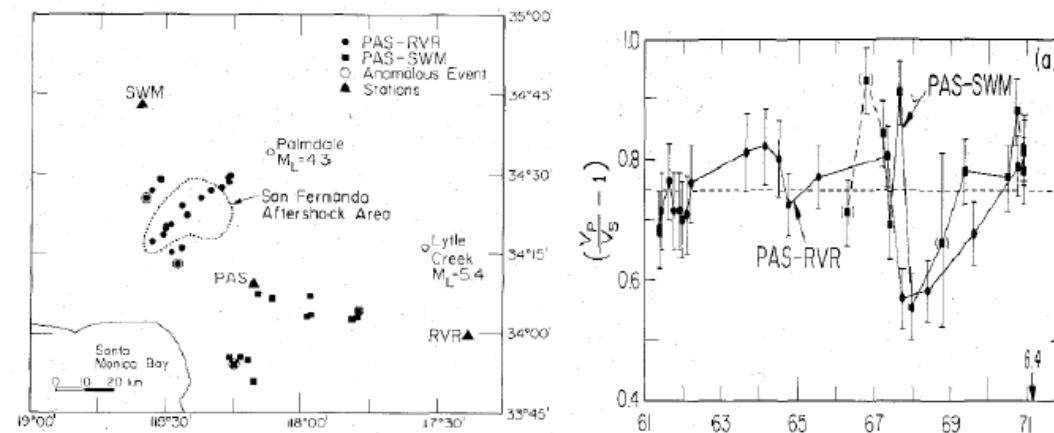


Рис. 15. Измерения скоростей звука для разных пар станций Землетрясения Сан Фернандо.

12. Нарушенность массивов в эпицентре – «подъем» предвестников

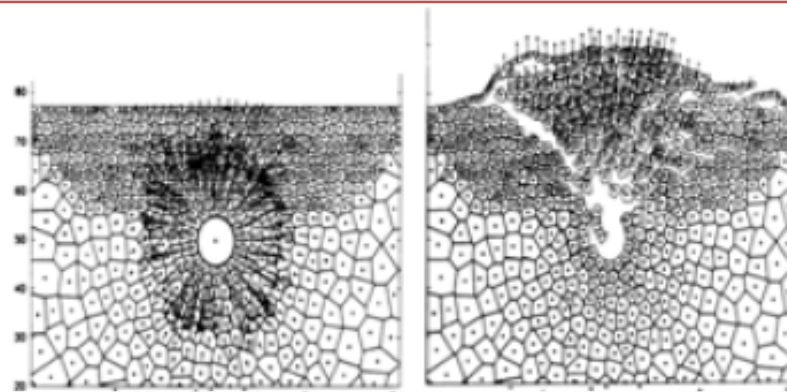


Рис. 6. Числовой расчет взрыва с отколом и образованием трещинных пустот [40].

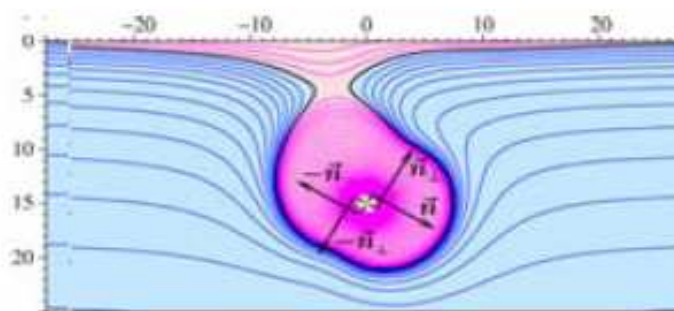
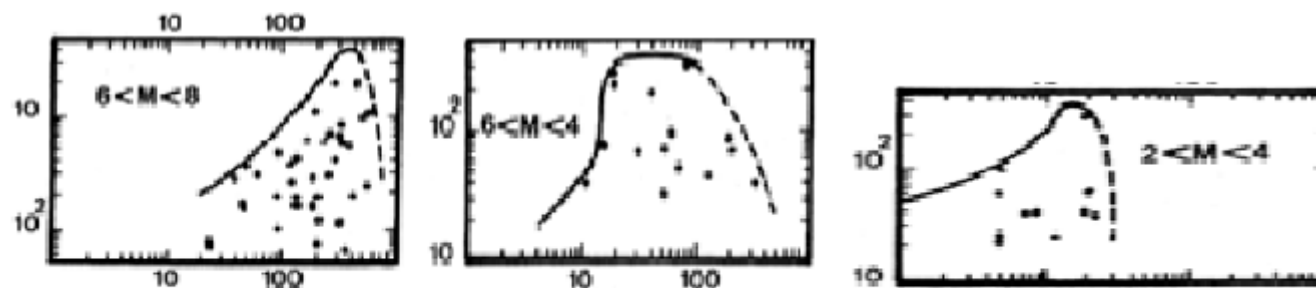
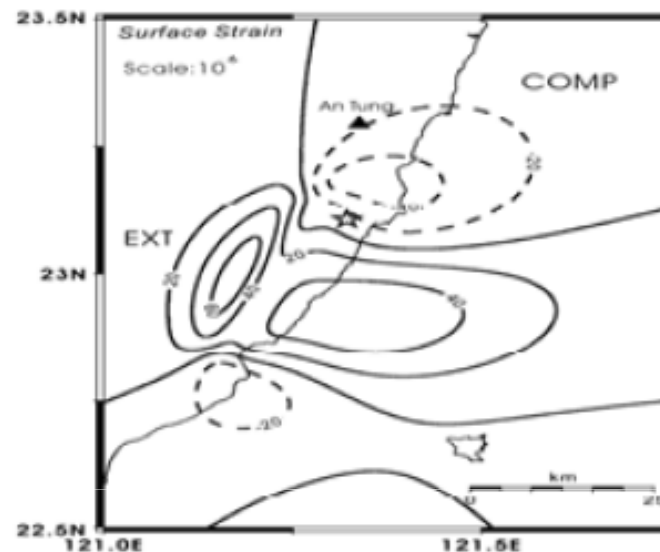
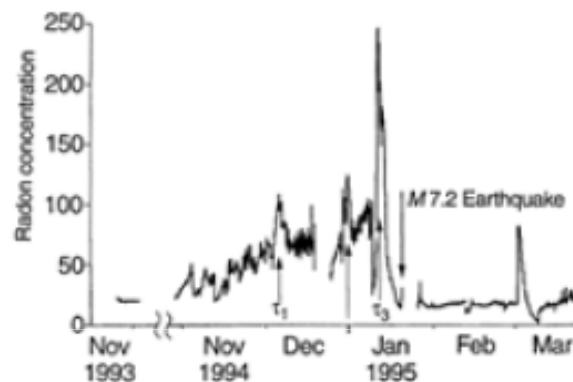


Рис. 7. $K = \text{const}$ - линии для источника типа двойного момента (А.С. Алексеев и др. 2008).

13. Радоновые предвестники удара

Кобе, Япония



Шкала расстояний в км. Максимум на краях очага землетрясения.

Это зона роста трещин и контакта с водным бассейном.

14. Эпицентр очага (10 км X 20 км) – растяжение и сдвиг с дилатансией

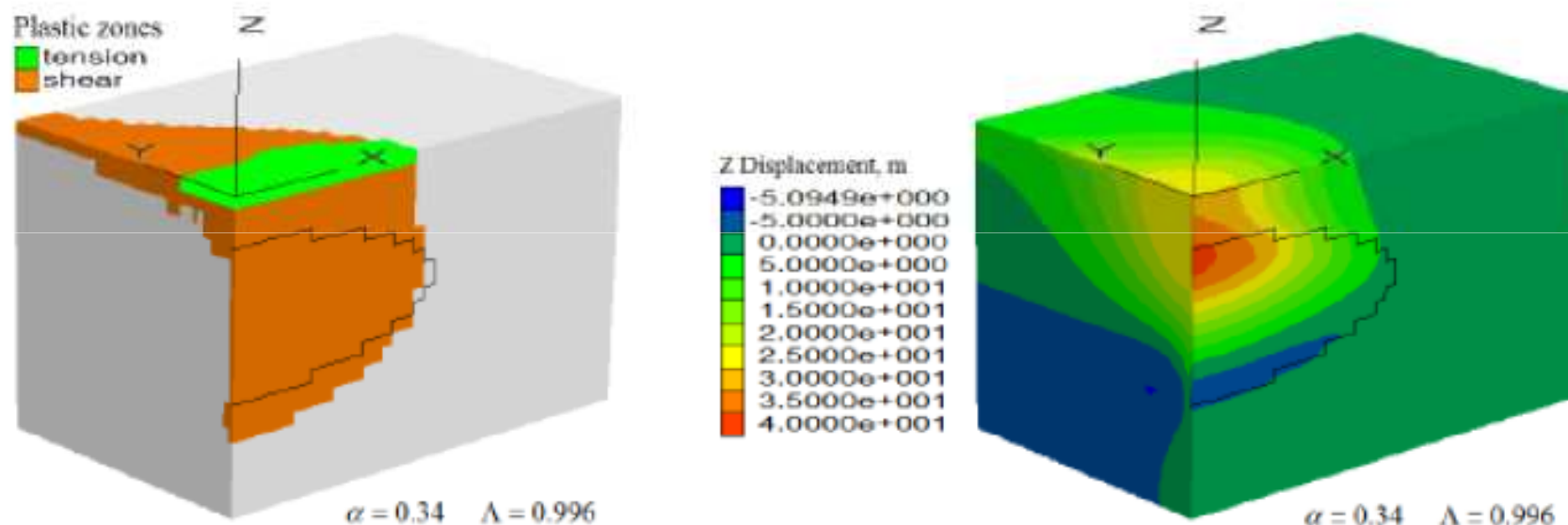


Рис. 9. Зоны вокруг очага землетрясения по И.А. Гарагашу.

15. Гидрогеологические признаки деформаций разных знаков

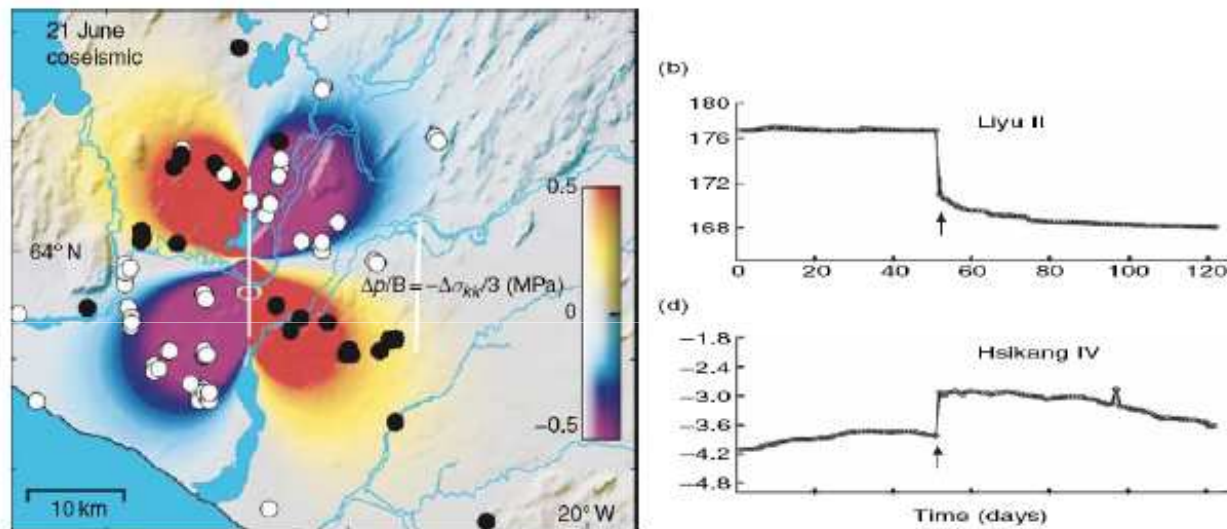


Рис. 14. Квадранты у вершины разлома (Исландия) и сбросы уровней в скважинах после удара

16. Локализация и разгрузка упругого массива (по Рейду)

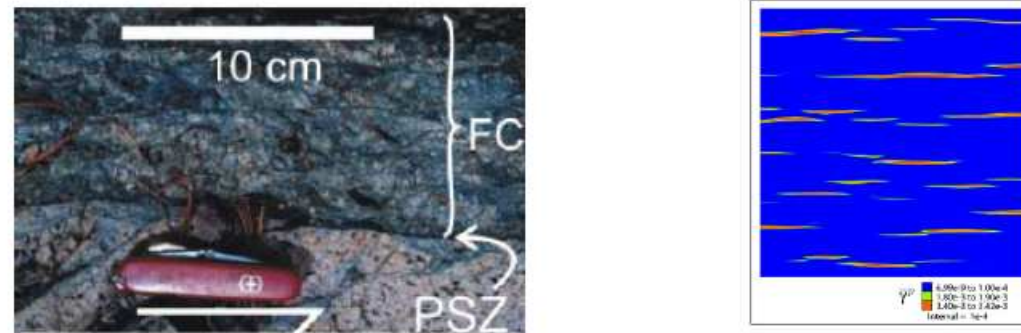
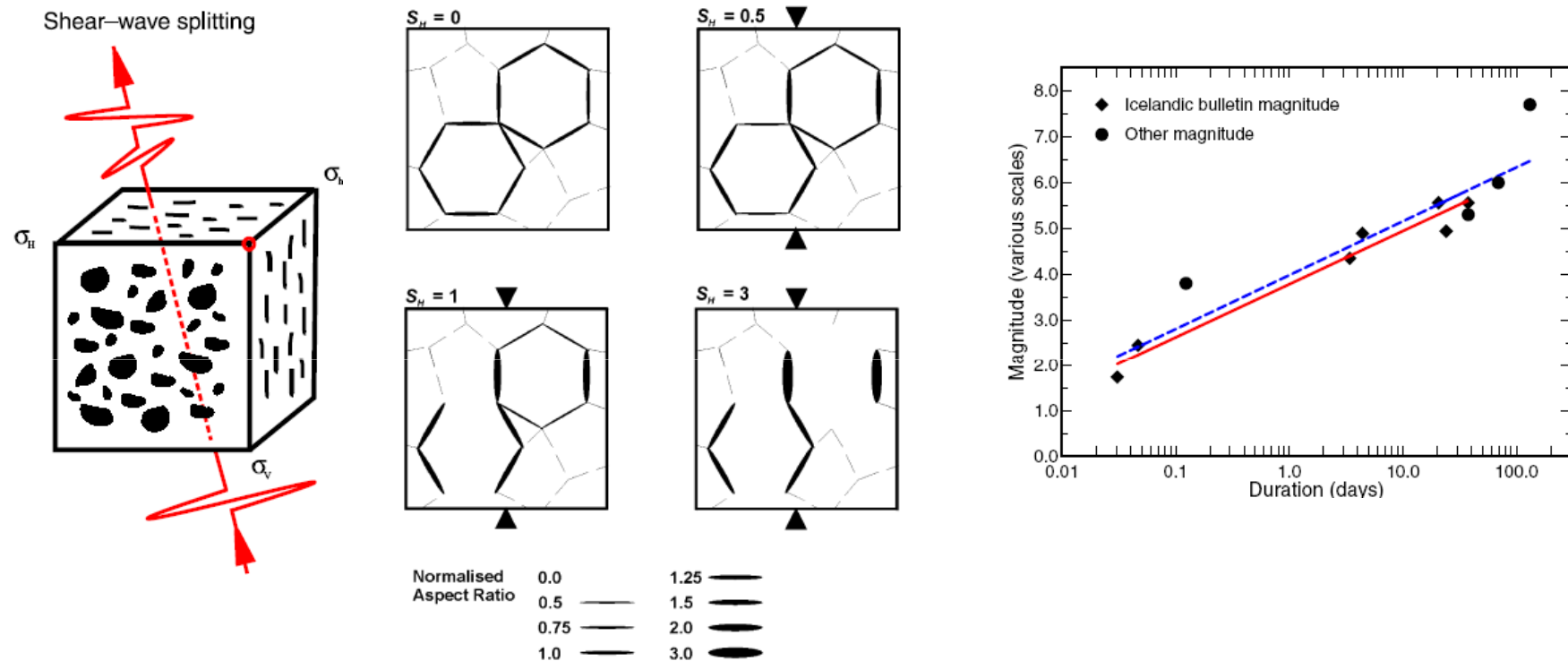


Рис. 17. Разлом в Кингз Каньоне, Сьерра Невада [37] и структура полос сдвига [17].



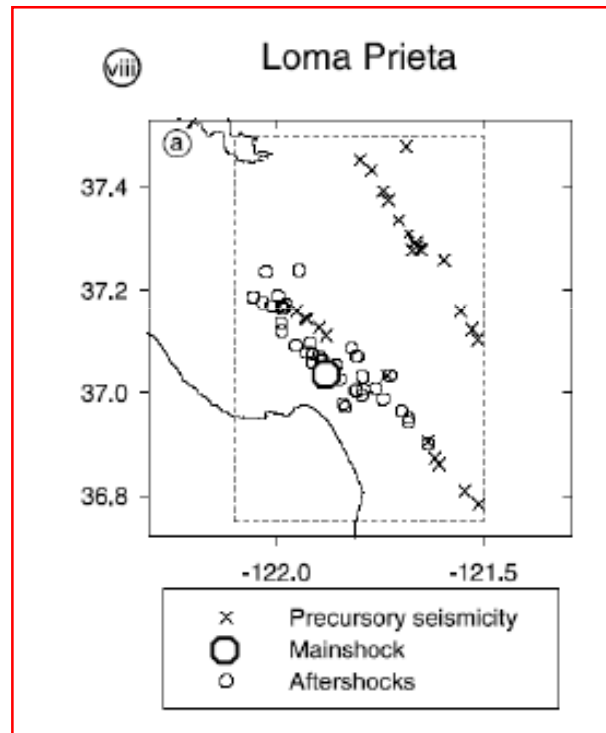
Зона перехлеста – «сверхсжатие» с дилатансией перед самым ударом

17. Анизотропия (поляризация) системы трещин за недели перед ударом – суждение о «перехлестом» сжатии по расщеплению S волн



Crampin, S., Zatsepin, S.V., 1997. Modelling 1 earthquakes. Geophys. J. Int. 129, 495–506.

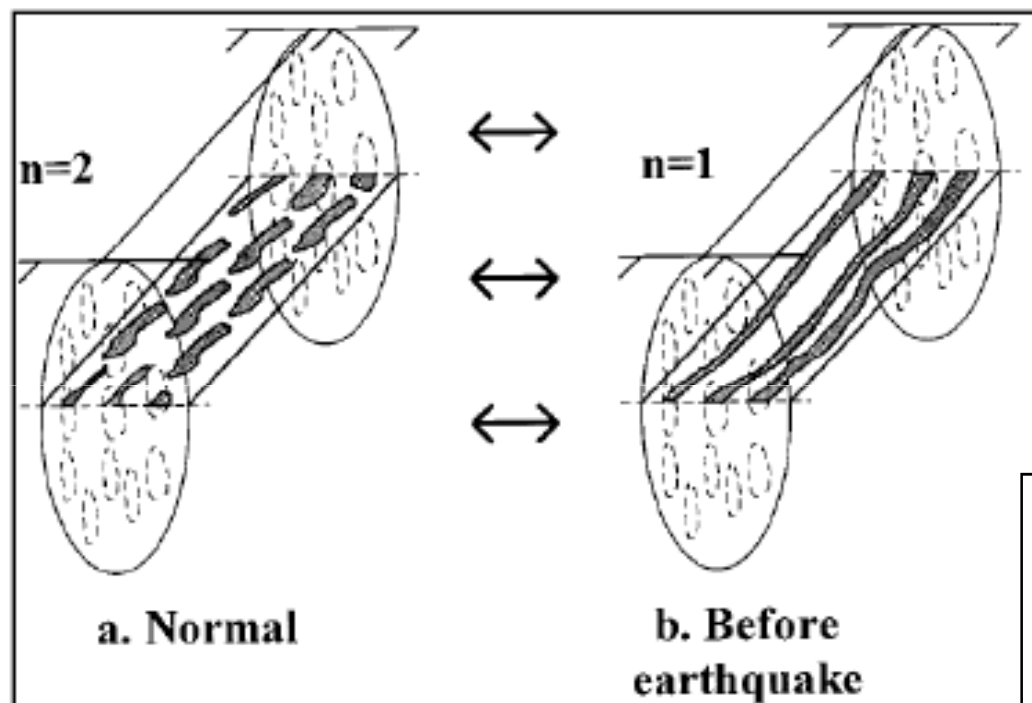
18. Магнитный сигналы в Ломо Приета



FENOGLIO, M. Л., JOHNSTON, M. J. S., BYERLEE, J. D.

Fraser-Smith A.C. Ultra-Low-Frequency Magnetic Fields Preceding Large Earthquakes. EOS. 2008. V. 89. № 23. P. 211.

19. Тело дилатирующего разлома как излучатель магнитных сигналов



Эффект проводящей соленой воды - как у Фрезера –Смита и др.

Альтернатива – эффект храповика

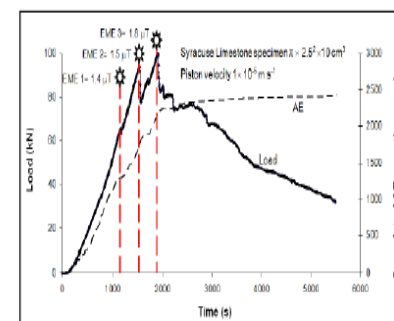


Рис. 19. Разрушение известняка (из Сиракуз [16]) в режиме прерывистого скольжения с сигналом ЭМИ и с возбуждением магнитного поля в 1.4 – 18 μT (прерывистая линия – акустическая эмиссия).

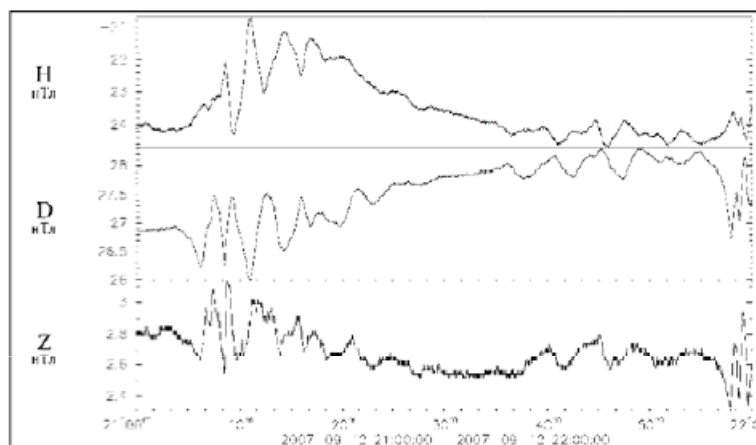
Merzer M., Klemperer S. L. Modeling Low-frequency Magnetic Precursors to the Loma Prieta Earthquake with a Precursory Increase

Pure Appl. Geophys. 1997.

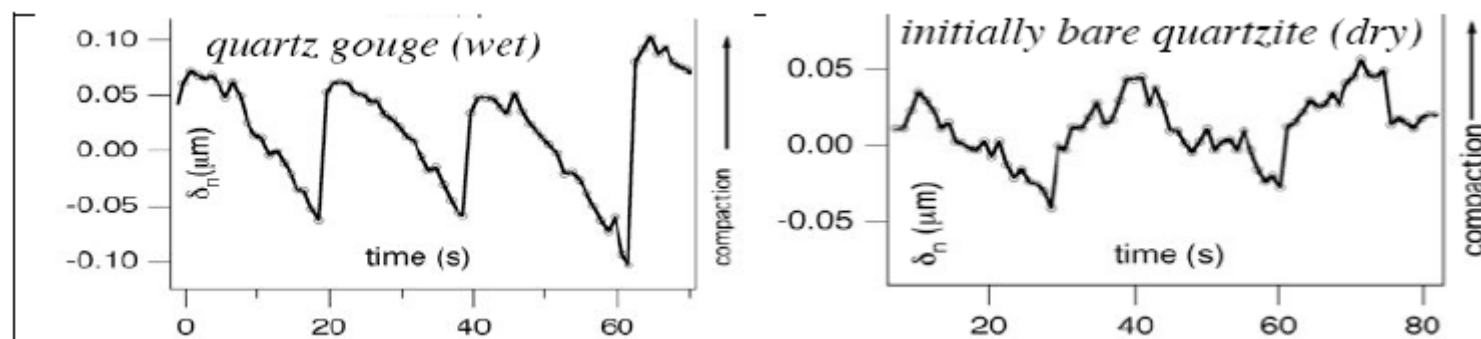
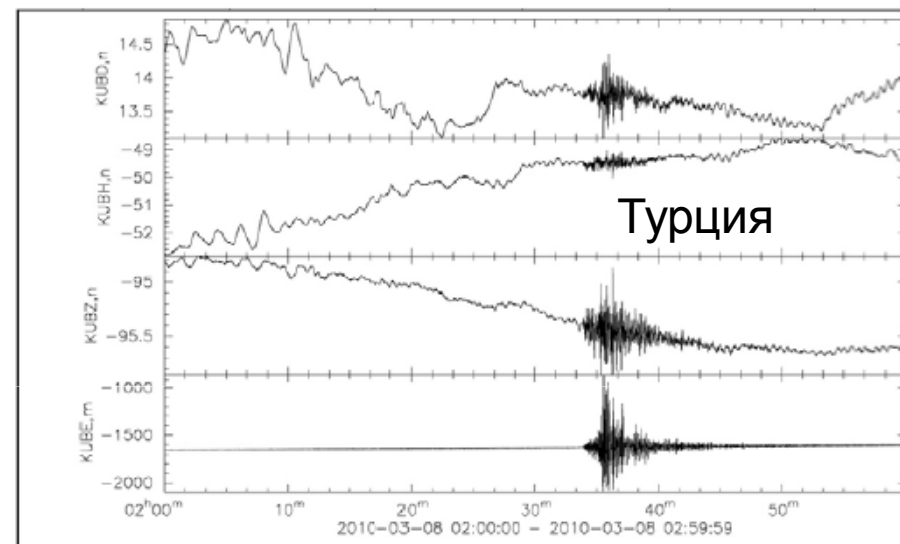
EGBERT G. D. On the Generation of ULF Magnetic Variations

Pure Appl. Geophys. 2002,

20. Магнитные предвестники за 3 часа до удара (по Л.Е. и А.Л. Собисевичам)



Магнитный сигнал Южной Суматры – с 21.30, за три часа до удара.

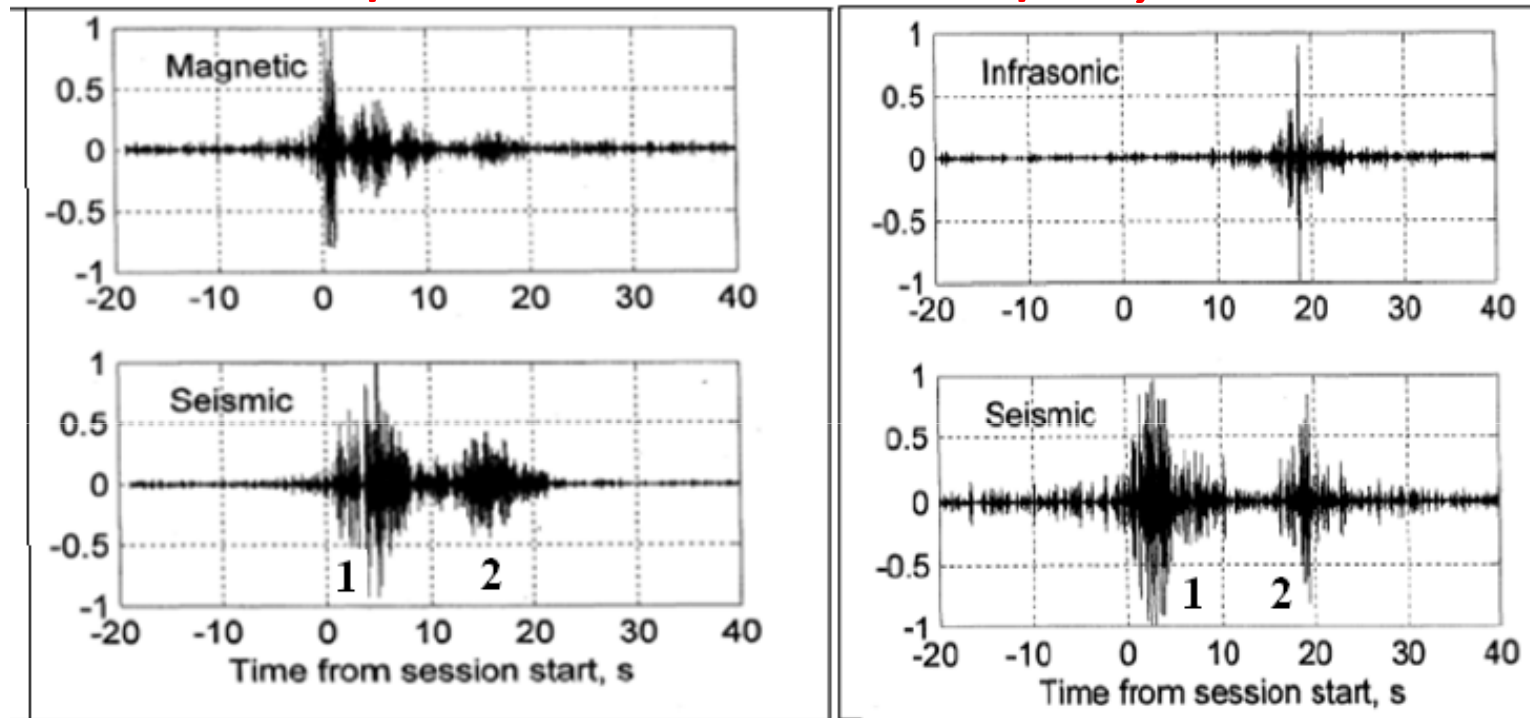


Эксперименты с шероховатостью - Билер, Локнер, 2010

21. По наблюдениям Собисевичей, морская вода меняет магнитный сигнал

- Поскольку морская вода может проникнуть только в эпицентр землетрясения, то
- тело эпицентра (но не изолированного глубинного разлома) служит излучателем.
- Скорее всего механизм храповика - срыва шероховатостей – приводит к ЭМИ.
- О скорости развития событий в излучателе можно судить по данным в Каскадии!

22. Сейсмические волны 2 рода излучают акустический и магнитный сигналы (Кузнецов и др. 1999, Новосибирск)



Излучает максимальный магнитный сигнал волна 1 рода – деформации матрицы стеснены (возможны сломы и трение на контактах). Волна 2 рода реализуется за счет деформации структуры матрицы (что излучает звук как в гармонии). Волна 2 наблюдается, если в среде газ. Скорость 300 м/с в грунте. Смена волн приводит к V_p/V_s аномалиям. Объясняет **AVO** – аномальный сброс скорости – при поиске газа.

23. Перенос ЭМИ волнами в массиве

(Динариев, Николаевский, Физика Земли, 1998)

$$u_i = \delta_{i3}\alpha(x - Vt), \quad \varphi_i = \delta_{i2}\beta(x - Vt),$$

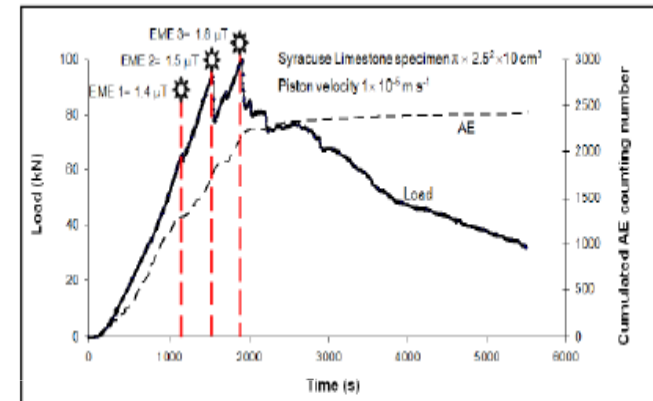
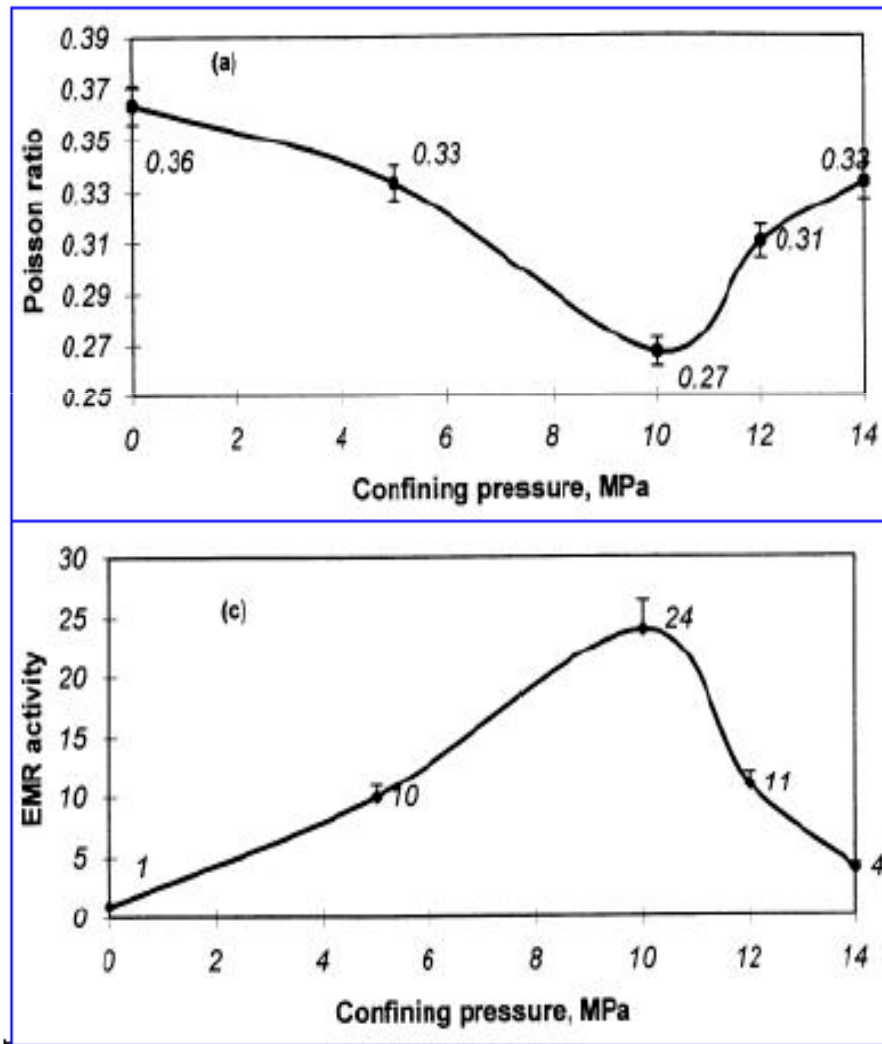
$$E_i = \delta_{i3}e(x - Vt), \quad H_i = \delta_{i2}h(x - Vt).$$

$$e = -\xi_4 c^{-1} V (\beta + 2^{-1} \alpha_x),$$

$$h = -4\pi\sigma\xi_4 c^{-1} V \left(\int_{-\infty}^x \beta(y) dy + 2^{-1} \alpha \right) + c^{-1} V \xi_2 \beta_x$$

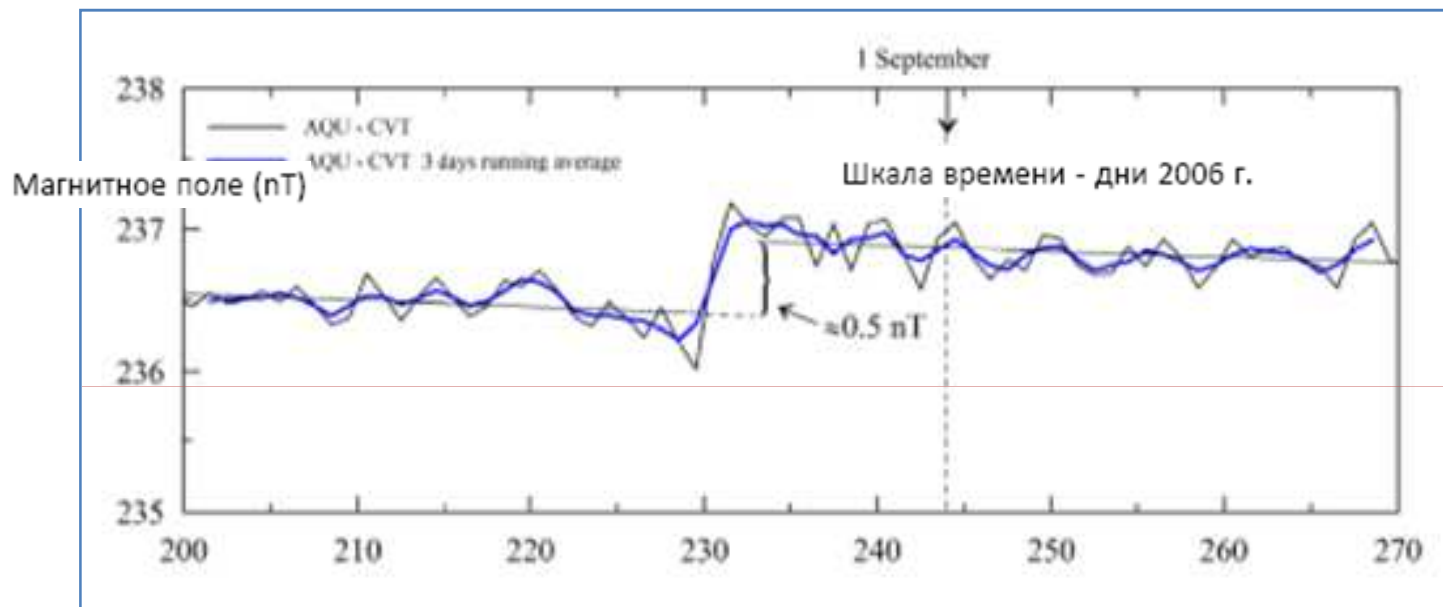
Электрический сигнал дает пики (при смене градиента смещения), магнитный связан со смещением с поворотом.

24. Излучение ЭМИ – в лаборатории



Прерывистый режим при наименьшем P_r ?
Эффект храповика = ratcheting!
Поразительно, но это происходит в 1-ой волне Френкеля - Био, при запрете деформаций матрицы!

25. Перестройка очага за 2 недели до удара – в Акилле (Италия)! Если волна, то тектоническая?



**Какие локальные признаки
скорого удара:
расщепление S - волн +
радоновые предвестники.**

26. Сухое трение в сейсмических волнах

Формула Дитриха – зависимость трения от скорости

$$\tau = \tau_0 + a \ln\left(\frac{v}{v_*}\right) \sigma = \tau_0 + a \ln\left(1 + \frac{v'}{v_*}\right) \sigma \approx \tau_0 + a \left(\frac{v'}{v_*} - \left(\frac{v'}{v_*}\right)^2 + \left(\frac{v'}{v_*}\right)^3 - \dots \right) \sigma$$

$$v' = \lambda \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right| \operatorname{sgn} v$$

Пульсации - по аналогии с теорией турбулентности

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = C \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{a_0}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} \left(\phi^m \sigma^{n+1} \lambda \left| \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} \right| \operatorname{sgn} \frac{\partial u}{\partial t} \right)$$

Нелинейные уравнения динамики с модулями функций встречались в работах Кнопова, Николаевского, Назарова и др. Они дают затухание пропорциональное первой степени частоты, что отвечает наблюдениям, но находится вне рамок вязкоупругих моделей геосреды.

<http://shop.rcd.ru>

продажа с 19.07.2012

НИКОЛАЕВСКИЙ Виктор Николаевич (1935 г.р.) д.т.н., профессор, академик Российской Академии естественных наук по Отделению нефти и газа, член Национального Комитета России по теоретической и прикладной механике и Общества инженеров-нефтяников. Окончил Московский нефтяной институт им. И.М. Губкина и мехмат МГУ им. Ломоносова. Докторскую стажировку проходил в Университете Дьюка Гопкинса (Баттимор, США, 1974г.). Работает в Российской Академии наук, с 1957г. в Институте механики, а с 1965г. по настоящее время в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта. Здесь он был организатором и руководителем лаборатории геомеханики. Сейчас ее главный научный сотрудник. В 1968–70гг. был профессором и заведовал кафедрой высшей математики ВЗИСИ (Москва).

Создал курс и читает лекции по геомеханике нефти и газа (МОТИ, Университет Губкина, зарубежные университеты – Хьюстон, Дельфт, Миннеаполис и др., компании Шлюмберге, Петробраз, ЭНИ). Член редколлегии ряда журналов по механике. Входил в Международную комиссию, инспектировавшую (1996–97гг.) устойчивость и экологию атомной электростанции в Токан-Океане. Вел совместные проекты во ВНИИ прикладной геологии, МИФИ, Губкинском университете, ИГНГ РАН, а также в нефтяных компаниях – Луккой, Шелл, ИНТЕВЕР, Арко, Аджип и Шлюмберге.

Исследования В. Н. Николаевского относятся к математическому моделированию природных и технологических процессов по разделу наук о Земле. Опубликовал более 300 научных статей, в том числе 13 монографий.

ТОМ 1
ГЕОМЕХАНИКА
Разрушение и дилатансия
Нефть и газ
В. Н. Николаевский

В. Н. Николаевский
ГЕОМЕХАНИКА
Том 1

Разрушение и дилатансия
Нефть и газ

В. Н. Николаевский, доктор, академик естественных наук, член Российской академии наук. Окончил Московский институт ГМУ им. Ломоносова, стажировку в Дьюка Гопкинса (Баттимор, США, 1974г.). Работает в науке, с 1957г. в Институте механики, а с 1965г. по настоящее время в Институте физики Земли им. О. Ю. Шмидта.

Создал курс и читает лекции по геомеханике нефти и газа (МОТИ, Университет Губкина, зарубежные университеты – Хьюстон, Дельфт, Миннеаполис и др., компании Шлюмберге, Петробраз, ЭНИ). Член редколлегии ряда журналов по механике. Входил в Международную комиссию, инспектировавшую (1996–97гг.) устойчивость и экологию атомной электростанции в Токан-Океане. Вел совместные проекты во ВНИИ прикладной геологии, МИФИ, Губкинском университете, ИГНГ РАН, а также в нефтяных компаниях – Луккой, Шелл, ИНТЕВЕР, Арко, Аджип и Шлюмберге.

Исследования В. Н. Николаевского относятся к математическому моделированию природных и технологических процессов по разделу наук о Земле. Опубликовал более 300 научных статей, в том числе 13 монографий.

ТОМ 2
ГЕОМЕХАНИКА
Земная кора. Нелинейная сейсмика
Вихри и ураганы
В. Н. Николаевский

В. Н. Николаевский

Собрание трудов

ГЕОМЕХАНИКА

Том 2

Земная кора. Нелинейная сейсмика
Вихри и ураганы

В. Н. Николаевский

Собрание трудов

ГЕОМЕХАНИКА

Том 3

Землетрясения и эволюция коры.
Скважины и деформации пласта.
Газоконденсат

www.moscow-book.ru

Московский Дом Книги

Виктор Николаевский

Геомеханика : собрание трудов. Т.3.

Землетрясения и эволюция коры. Скважины и деформации пласта. Газоконденсат.