

Методические особенности определения динамических параметров землетрясений по данным сейсмической сети KNET (Северный Тянь-Шань).

Сычева Н.А., Кальметьева З.А., Мансуров А.Н., Сычев В.Н.

Мотивация

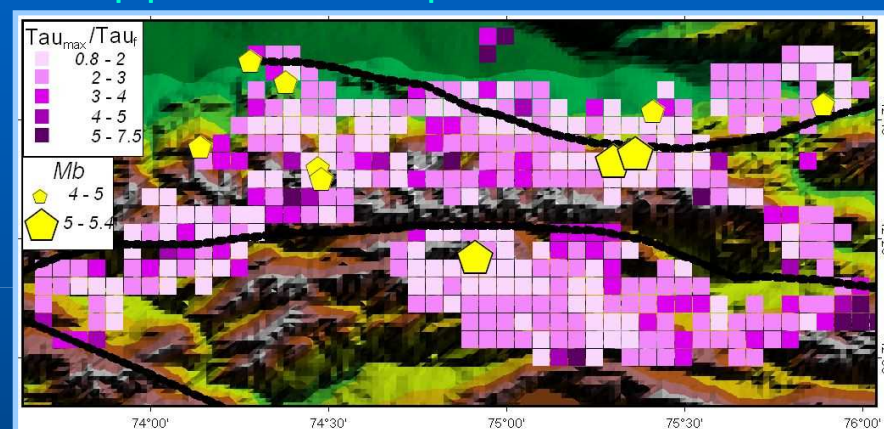
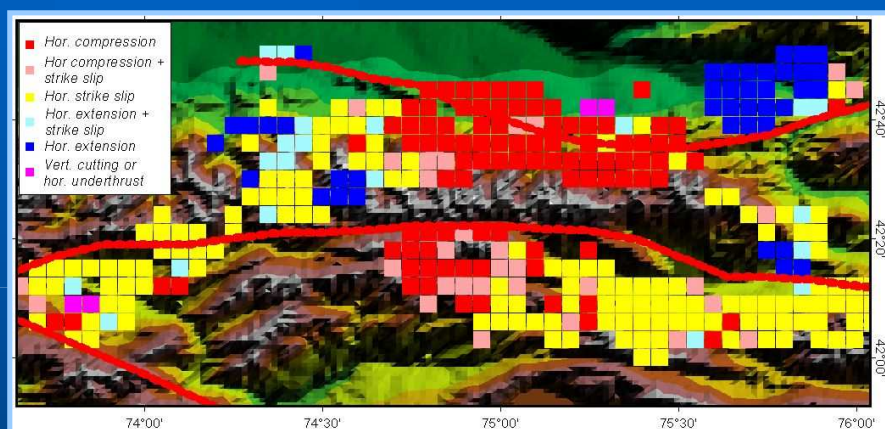
Метод катакlastического анализа (Ребецкий Ю.Л.)

- 1- определение параметров эллипса тензора напряжений;
- 2 - нахождение относительных компонент эффективного всестороннего давления;
- 3-4 –получение абсолютных значений величин напряжения;

Тип напряженного состояния

Глубина – 5 км

Землетрясения и девиаторные и эффективные напряжения



Глубина – 15 км

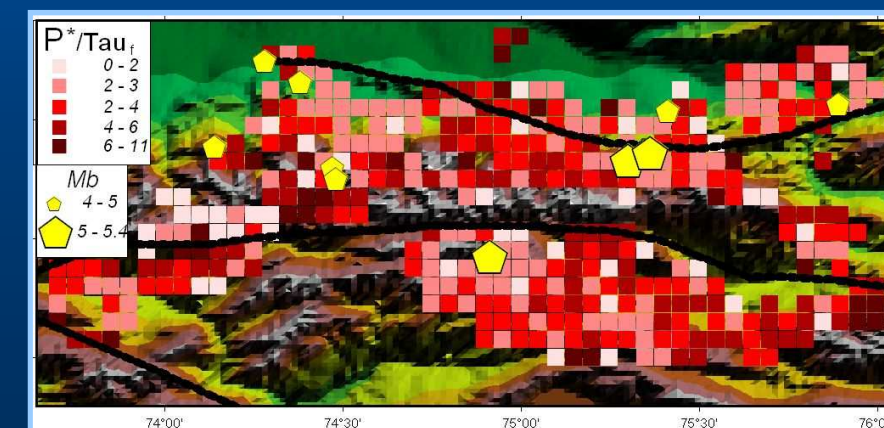
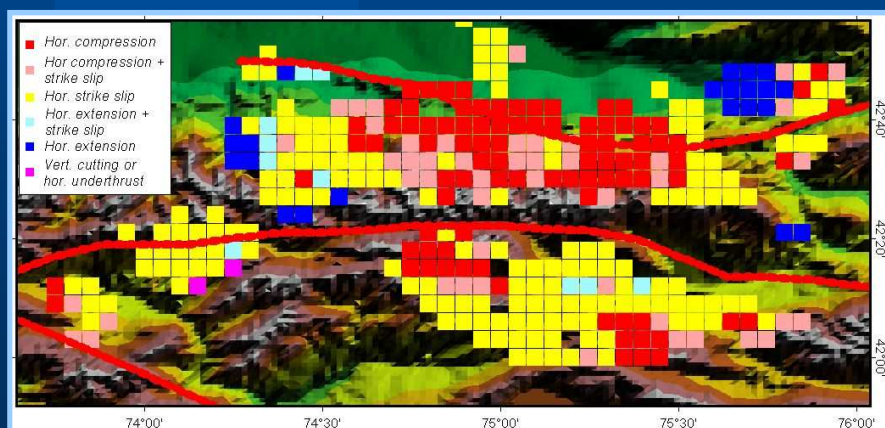


Рис. 1. Некоторые результаты МКА.[Ребецкий, Сычева, 2008]

Применить современные методы
определения динамических параметров
для данных сейсмическая
сети KNET для дальнейшего их
использования в МКА

Исходные данные для расчета ДП

НС РАН

Таблица. Параметры землетрясений.

Дата	Ч	М	С	Шир.	Дол.	Гл.	К
02.11.1998	0	57	37,10	42,10	75,08	15	11,53
21.11.1998	11	46	9,44	42,24	74,06	20	12,50
18.11.2001	1	28	55,44	42,59	74,14	6	12,65
21.02.2003	10	35	22,15	42,53	74,47	13	11,66
06.10.2003	16	42	13,93	42,50	74,48	16	11,95
16.01.2004	9	6	17,90	42,55	75,30	13	13,68
02.06.2004	17	15	10,82	42,28	74,91	17	13,25
20.06.2005	14	25	1,50	42,77	74,38	23	11,95
27.12.2005	0	55	30,54	42,71	75,89	6	11,60
28.12.2005	1	52	48,29	42,69	75,41	12	11,90
08.11.2006	2	21	26,94	42,57	75,36	18	13,37
06.06.2007	11	9	25,58	42,57	75,40	13	13,25
01.02.2009	11	25	38,02	42,75	73,86	15	12,29
07.08.2009	4	32	46,39	42,00	75,73	5	11,80

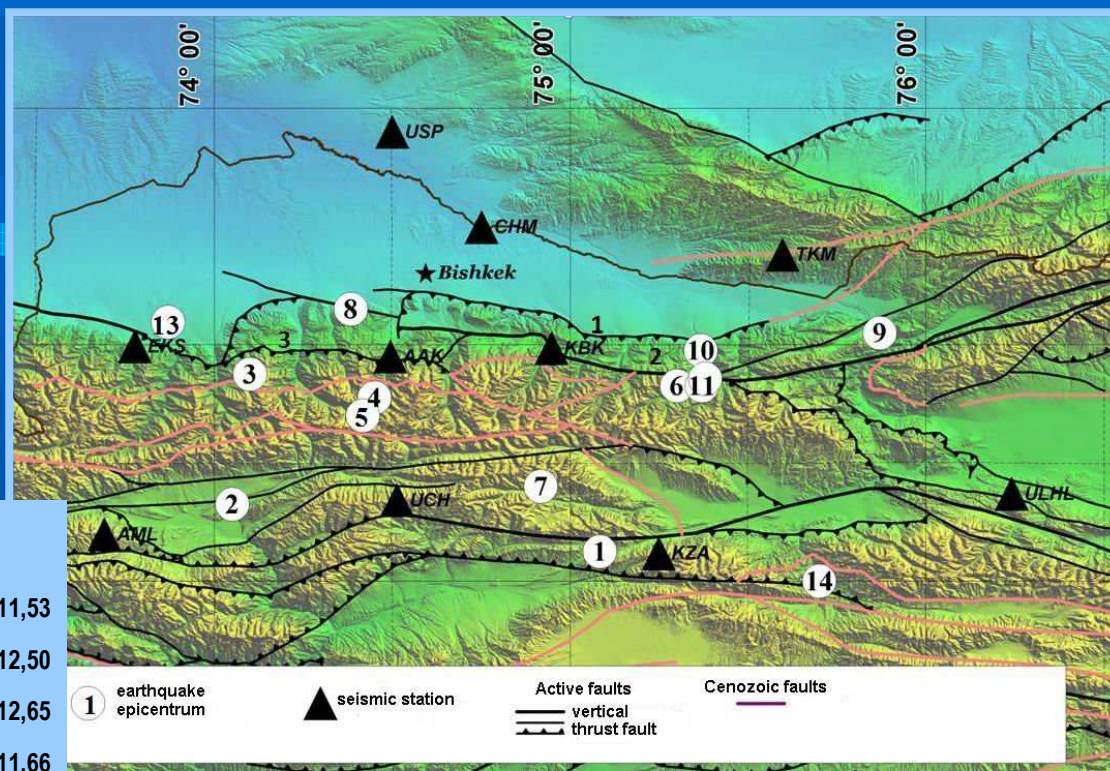


Рис.2. Расположение событий, используемых для расчета динамических параметров.

Количество событий: 14 ;
Класс событий: > 11.5;
Период : 1998-2009.

Метод

НС РАН

$$S_i(f) = \frac{\Omega_0}{1 + \left(\frac{f}{f_0}\right)^2} \quad (1)$$

[Brune, 1970]

$$\Omega_0 = \frac{2 \cdot R_\psi \cdot M_0}{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot V_s^3 \cdot r_d} \quad (2)$$

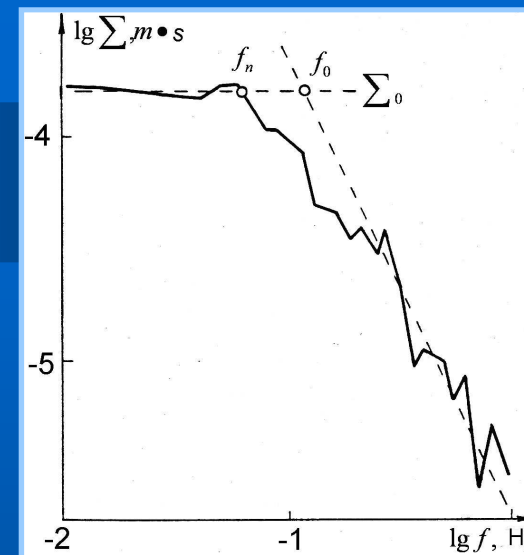


Рис.3. Спектр сейсмического источника.

Динамические параметры землетрясений

$$M_0 = \frac{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot V_s^3 \cdot r_d \cdot \Omega_0}{R_\psi \cdot S_k} \quad (3)$$

$$r = \frac{2.34 \cdot V_s}{2 \cdot \pi \cdot f_0} \quad (4)$$

$$\Delta\sigma = \frac{7 \cdot M_0}{16 \cdot r^3} \quad (5)$$

$$D = \frac{M_0}{\rho \cdot V_s^2 \cdot \pi \cdot r^2} \quad (6)$$

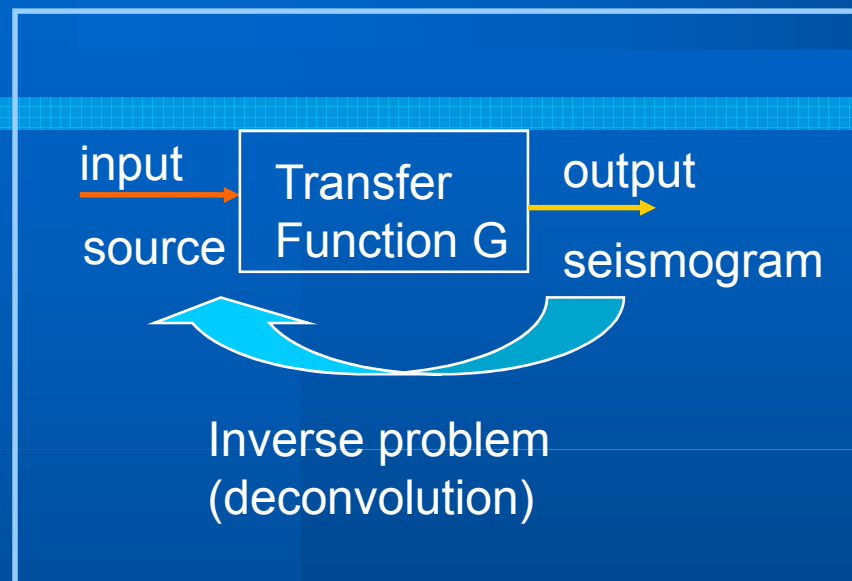
$$E = \frac{M_0 \cdot \Delta\sigma}{2 \cdot \rho \cdot V_s^2} \quad (7)$$

$$M_w = \frac{2}{3} \cdot \lg M_0 - 6.07 \quad (8)$$

- (3) – Сейсмический момент
- (4) – Радиус Брюна
- (5) – Сброшенные напряжения
- (6) – Средняя подвижка
- (7) – Энергия
- (8) – Моментная магнитуда

Главная проблема – перейти к спектру источника!

Точечный сейсмический источник



Для точечного источника $S(t)$

$$u_i(x, t) = S_j(t) * G_{ij} \quad (9)$$

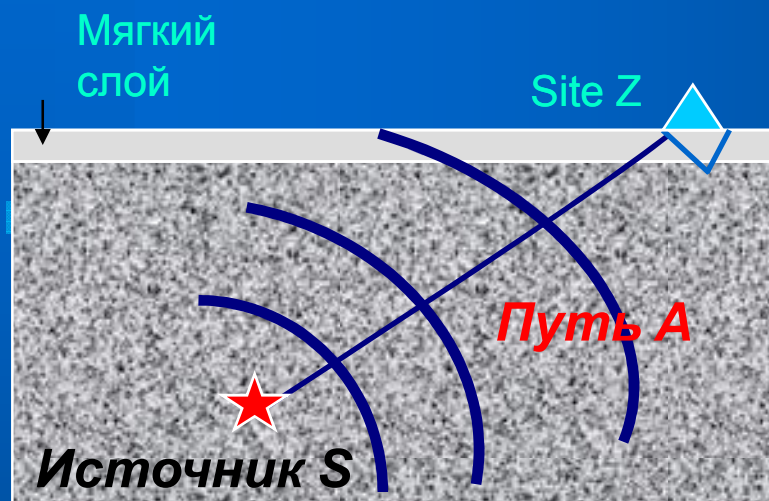
Рис. 4. Линейная временная инвариантная система.

[Bindi, 2009]

Мы сталкиваемся с проблемой: передаточная функция G неизвестна.

Численный подход определения G

НС РАН



Область Фурье

Source

Site

Path

$$U_{ij}(f, r) = S_i(f) \cdot Z_j(f) \cdot A_{ij}(f, r) \quad (10)$$

[Andrews, 1986; Castro et al., 1990]

Рис.5. Источник, распространение и место.

Путь

Path attenuation

$$|A_{ij}(f)| = \frac{1}{R} \exp \left(-\frac{\pi f R}{Q_c V_s} \right) \quad (11)$$

Геометрическое
расхождение

Неупругое
ослабление

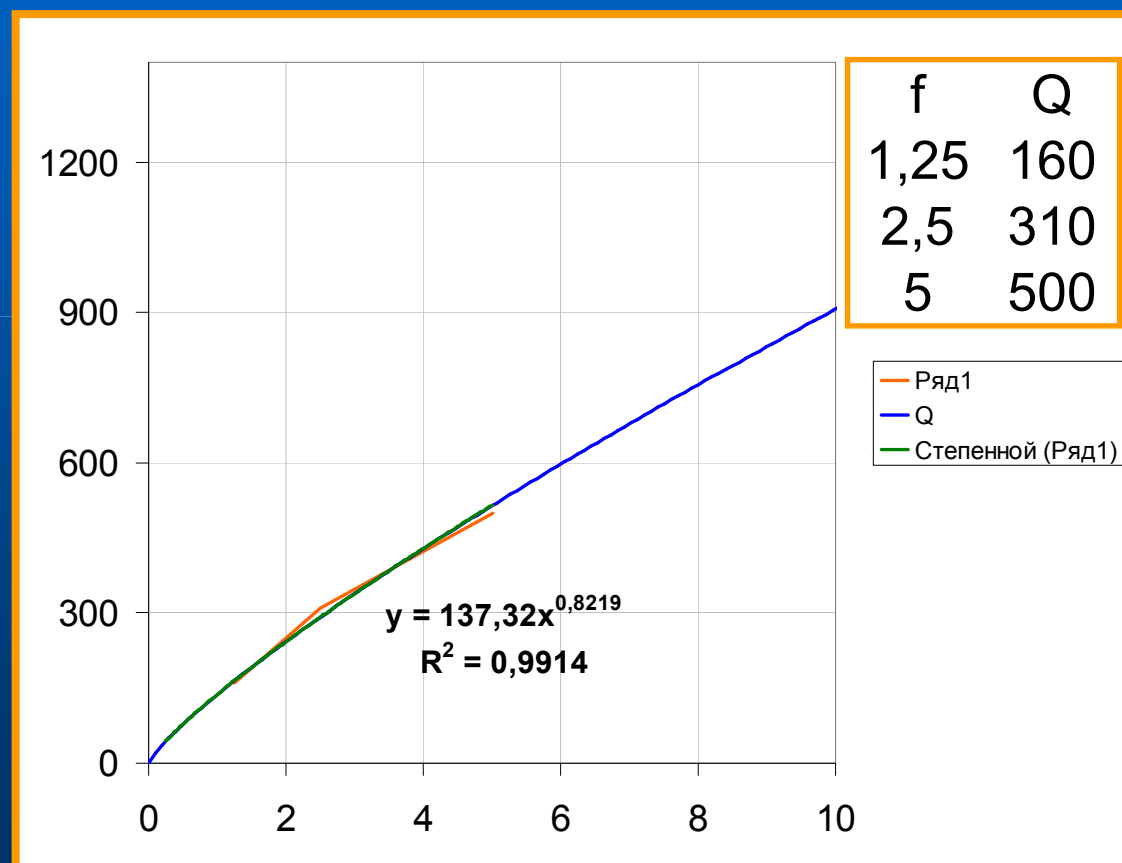
$$Q_c(f) = Q_o f^\alpha \quad (12)$$

где Q_c – добротность земной коры,
 V_s – скорость поперечной волны

Мы должны знать!

Фактор добротности для Северного Тянь-Шаня

1. Земкова А.Г. Сейсмическая кода и динамические особенности землетрясений Киргизии.// ТДиссертационная работа на соискание ученой степени кандидата физ-мат наук.Фрунзе. 1985. 164 с.



$$Q_c(f) = 137^{0,82 \cdot f} \quad (13)$$

Рис. 6. Зависимость добротности земной коры от частоты.

Оценка сайт-эффекта

Source

Site

Path

$$U_{ij}(f, r) = S_i(f) \cdot Z_j(f) \cdot A_{ij}(f, r) \quad (10)$$

1) Прямые

На основе землетрясений

[Andrews, 1986; Castro et al., 1990]

С базовой станцией

- Standard Spectral Ratio (SSR);
- Generalized Inversion Technique (GIT);

Без базовой станции

- Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (H/V) [Nakamura, 1989];

На основе сейсмического шума

С базовой станцией

- Standard Spectral Ratio (SSR), Spectra analysis [Nakamura, 1989];

Без базовой станции

- Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (H/V)

2) Непрямые

Активный (SASW, MASW) и пассивный (сейсмический шум) анализ массива.

Численная симуляция.

Станционные поправки станций сети KNET на основе землетрясений

ИС РАН

Метод: Без базовой станции: Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (H/V) [Parolai S. et al., 2001,2003,2005]

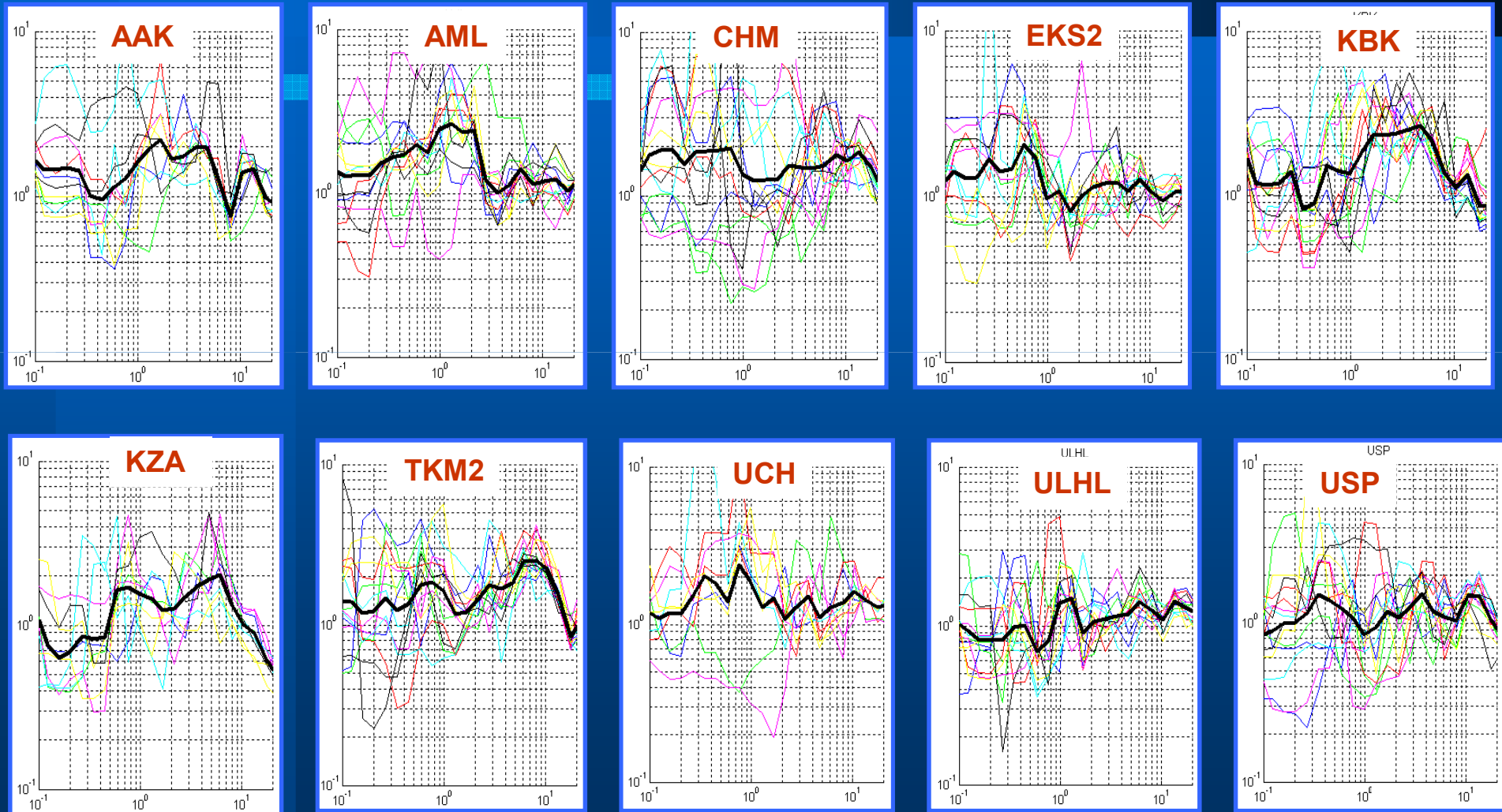


Рис. 7. Станционные поправки для станций сети KNET.

От спектра станции к спектру источника

Source spectrum

attenuation

amplification

source and station spectra

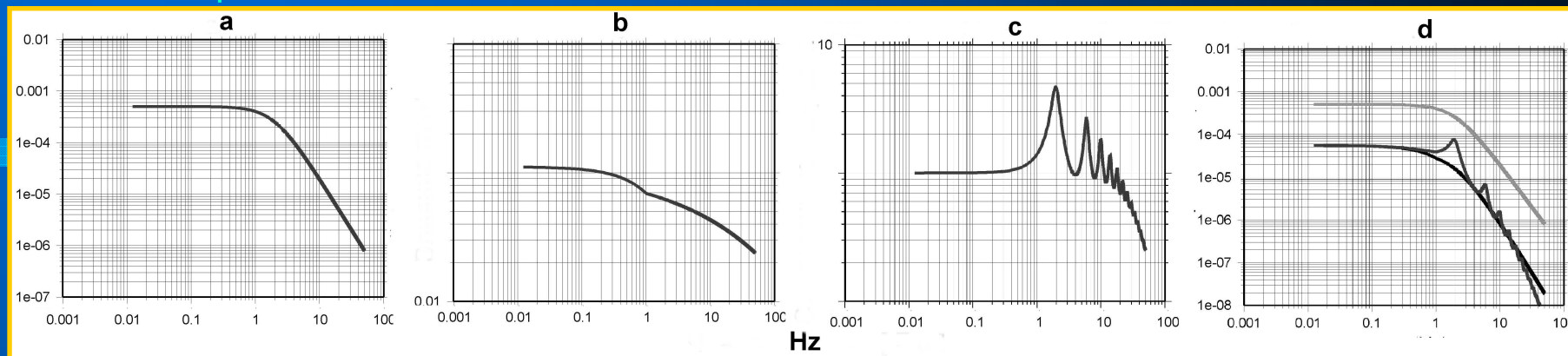


Рис. 8. Путь получения спектра источника.

$$U(f, R) = Si(f) \cdot A(f, R) \cdot Z(f), (10)$$

(10) Может быть приведено к линейному виду путем преобразования

$$\log_{10}(U(f, R)) = \log_{10}(Si(f)) + \log_{10}(A(f, R)) + \log_{10}(Z(f)). (14)$$

Для получения спектра источника необходимо исключить путь и место из спектра станции.

Пример спектра станции и источника для события 02.11.1998

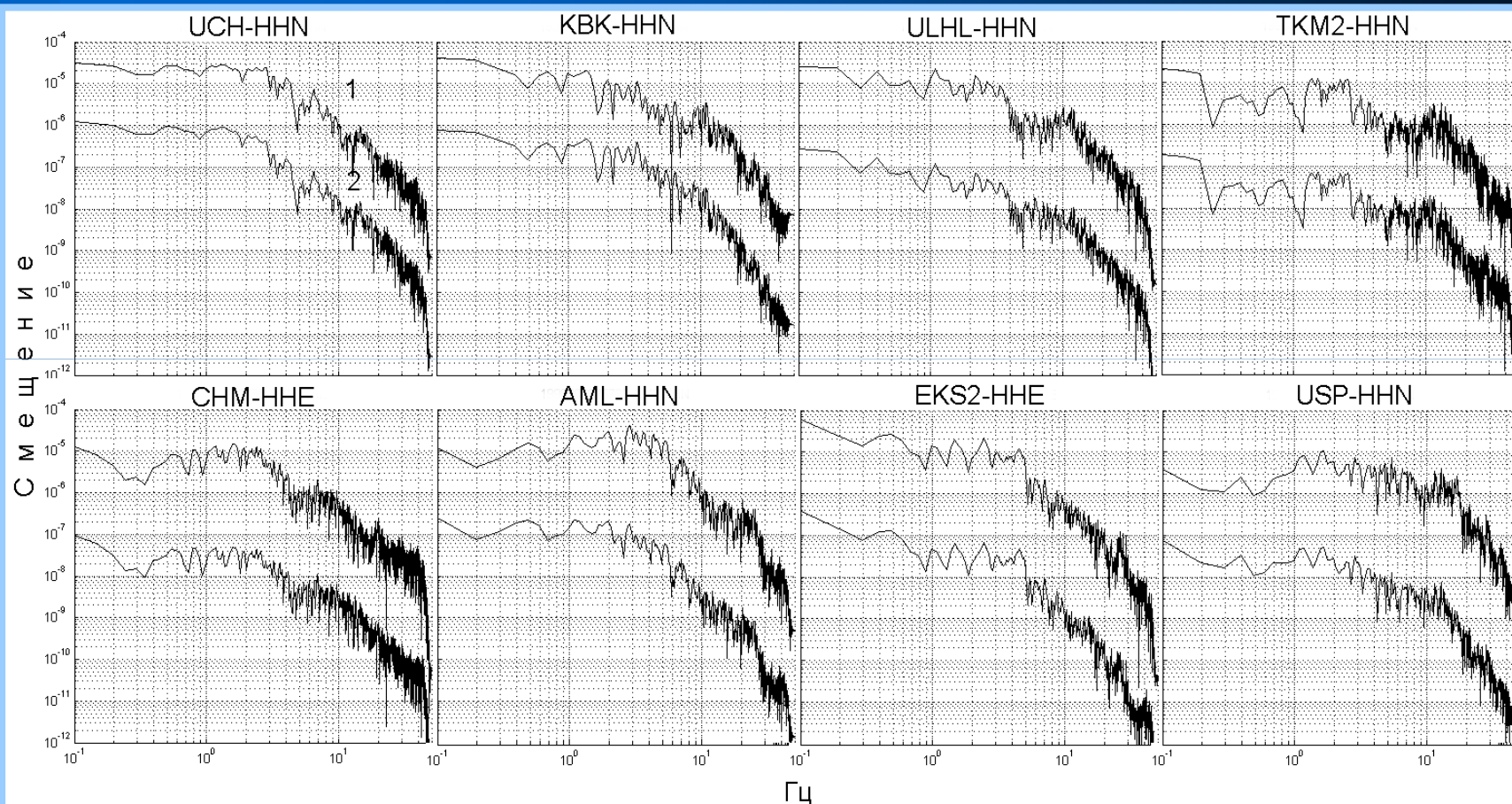


Рис. 9. Спектр источника и станции для локального события.

Динамические параметры локальных событий

ИС РАН

Таблица. Значения динамических параметров землетрясений.

Date	f_0	$\Omega_0(\text{m}\cdot\text{s})$	R(m)	$M_0(\text{n}\cdot\text{m})$	$M_0\text{d}\cdot\text{cm}$	$\Delta\sigma\text{Pa}$	$\Delta\sigma\text{Mpa}$	D(m)	Edin, J	Mw
02.11.1998	2,96	1,26E-05	440,36	3,49E+13	3,49E+20	1,79E+05	1,79E-01	1,80E-03	9,78E+07	2,96
21.11.1998	3,22	1,58E-04	404,81	3,40E+14	3,40E+21	2,24E+06	2,24E+00	2,07E-02	1,20E+10	3,62
18.11.2001	5,40	1,00E-04	241,39	4,05E+14	4,05E+21	1,26E+07	1,26E+01	6,95E-02	8,02E+10	3,67
21.02.2003	4,48	1,58E-05	290,96	5,18E+13	5,18E+20	9,20E+05	9,20E-01	6,11E-03	7,48E+08	3,07
06.10.2003	3,67	1,26E-04	355,17	4,11E+14	4,11E+21	4,02E+06	4,02E+00	3,26E-02	2,59E+10	3,67
16.01.2004	2,14	1,20E-03	609,10	4,87E+15	4,87E+22	9,43E+06	9,43E+00	1,31E-01	7,22E+11	4,39
02.06.2004	2,26	1,00E-03	576,76	2,19E+15	2,19E+22	4,99E+06	4,99E+00	6,58E-02	1,72E+11	4,16
20.06.2005	2,96	1,26E-05	440,36	2,70E+13	2,70E+20	1,38E+05	1,38E-01	1,39E-03	5,87E+07	2,88
27.12.2005	3,14	6,31E-06	415,12	3,95E+13	3,95E+20	2,41E+05	2,41E-01	2,29E-03	1,49E+08	2,99
28.12.2005	2,14	3,16E-05	609,10	8,76E+13	8,76E+20	1,70E+05	1,70E-01	2,36E-03	2,33E+08	3,23
08.11.2006	1,55	2,24E-04	840,95	6,20E+14	6,20E+21	4,56E+05	4,56E-01	8,77E-03	4,44E+09	3,79
06.06.2007	2,12	3,16E-04	614,85	8,76E+14	8,76E+21	1,65E+06	1,65E+00	2,32E-02	2,27E+10	3,89
01.02.2009	4,50	1,41E-05	289,66	4,61E+13	4,61E+20	8,31E+05	8,31E-01	5,50E-03	6,02E+08	3,04
07.08.2009	3,81	1,00E-05	342,12	6,25E+13	6,25E+20	6,83E+05	6,83E-01	5,34E-03	6,71E+08	3,13

Основные этапы расчета ДПЗ

1. Выбор участка записи : использование сигнала в окне с началом за 1 сек до начала S-волны и концом в месте достижения 80% общей энергии S-волны (Parolai et al., 2001) .
2. Применение поправок за прибор (STS-2) к выбранной записи.
3. Применение окна Хемминга к выбранной записи.
4. Расчет спектра с применением БПФ.
5. Определение спектра источника с использованием поправок за путь и места станции (attenuation and amplification).
6. Определение угловой частоты и спектральной плотности по спектру источника .
7. Определение динамических параметров (выражения 3-8)

Динамические параметры.

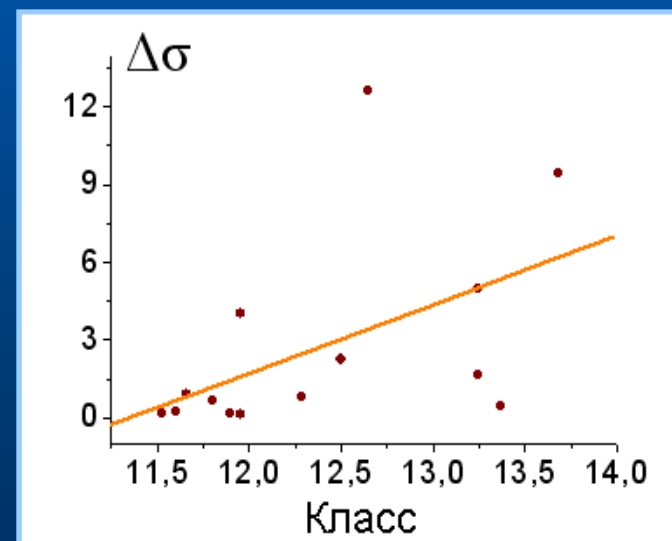
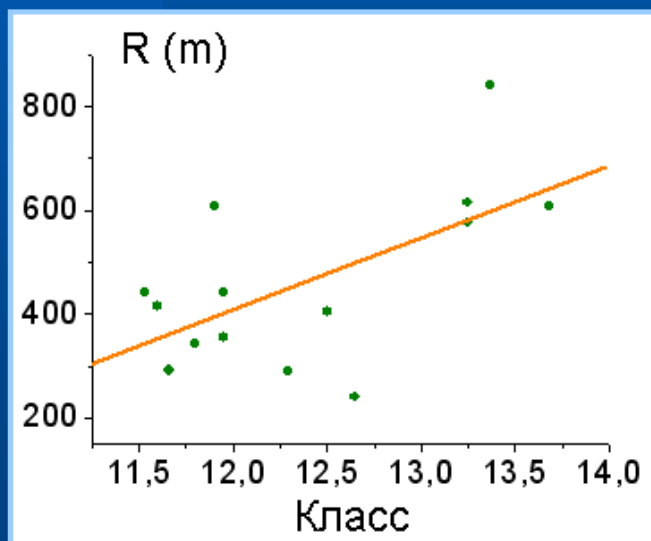
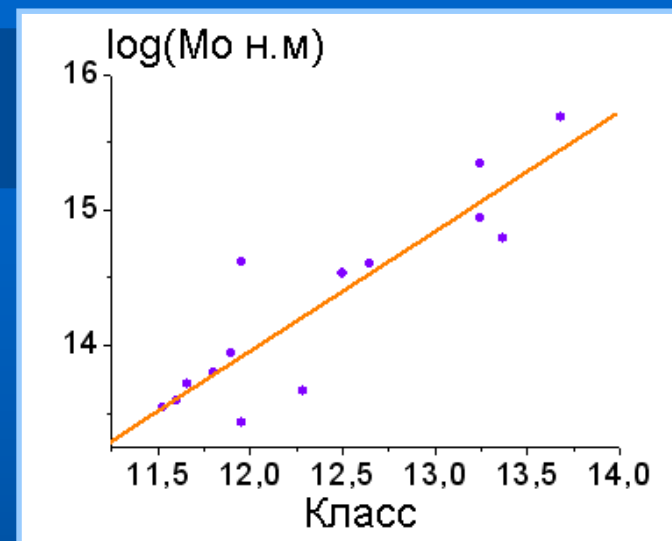
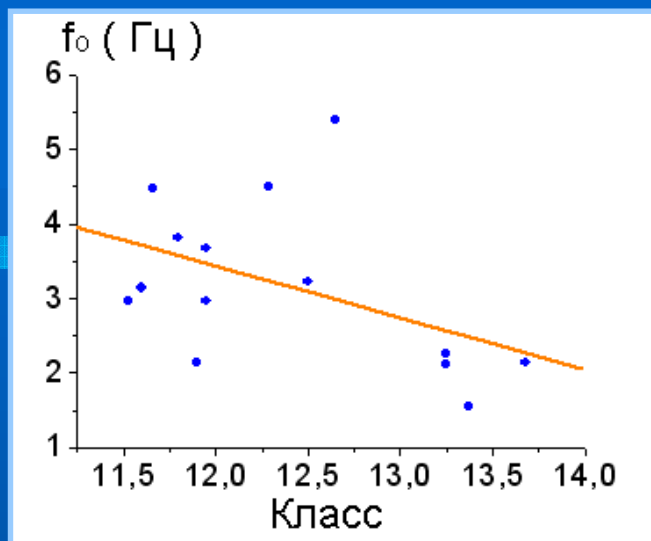


Рис.10. Зависимость некоторых динамических параметров от класса события.

Сброшенные напряжения

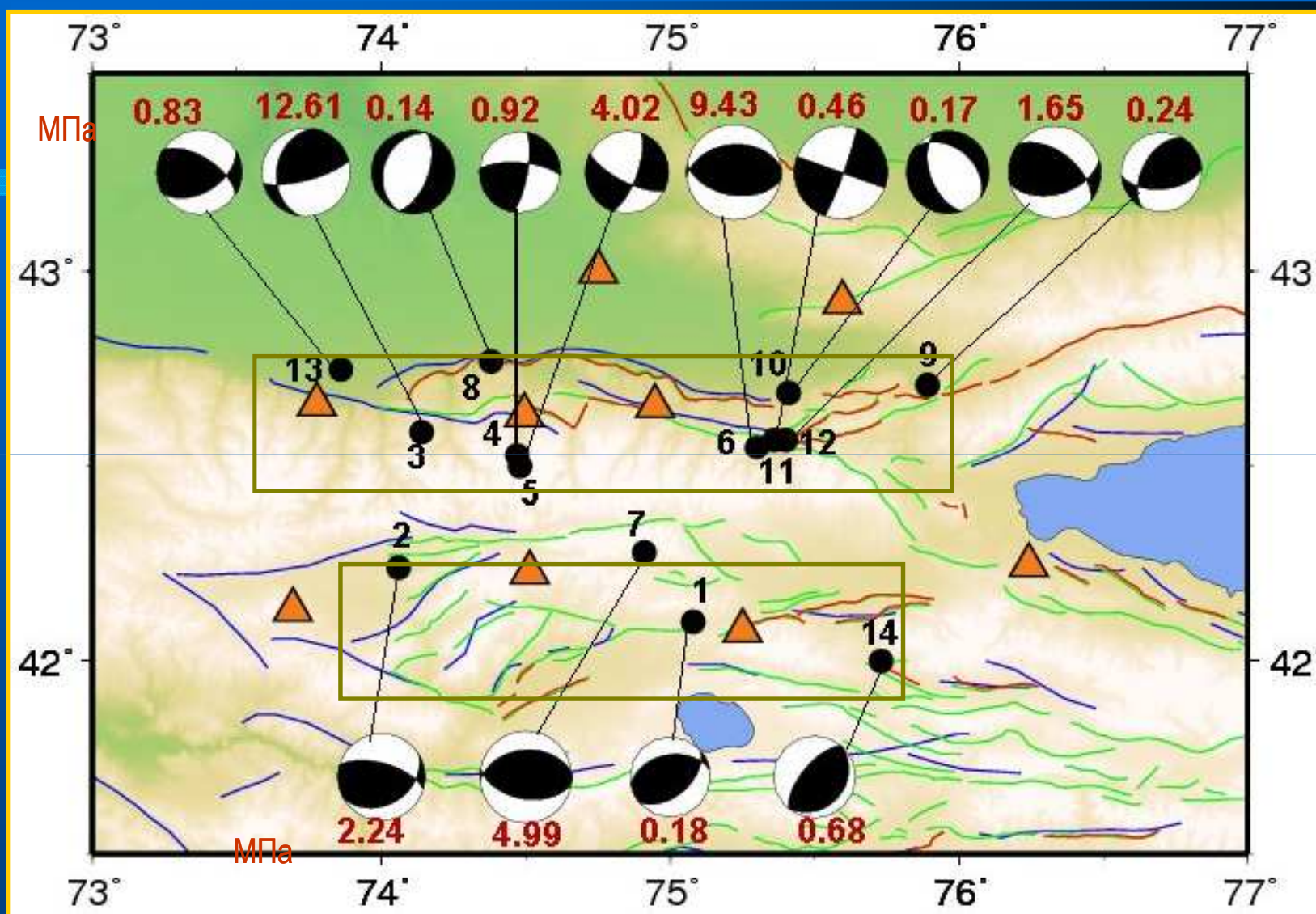


Рис. 11. Фокальные механизмы и сброшенные напряжения.

Резюме

- Сформулирована методика расчета ДПЗ для массового определения.
- Определены значения динамических параметров для 14 локальных землетрясений.
- Значения сброшенных напряжений для выбранных событий меняются от 0.14 до 12.0 МПа.
- Полученные результаты могут быть использованы МКА.

Спасибо за внимание

E-mail: nelya@gdirc.ru