



# Выявление деформационных аномалий по данным ГНСС наблюдений в связи с подготовкой и разрядкой сильных землетрясений

**В.И. Кафтан<sup>1,2,3</sup> А.Ю. Мельников<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Аграрно-Технологический Институт Российского Университета Дружбы Народов, Москва.

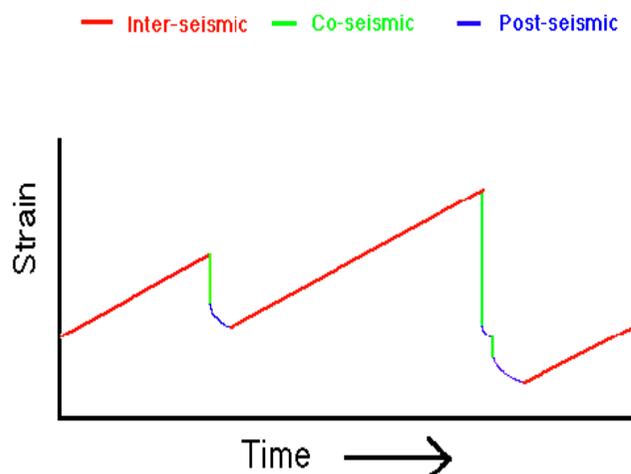
<sup>2</sup> Лаборатория геодинамики Геофизического Центра РАН, Москва

<sup>3</sup> Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и ИПД, Москва

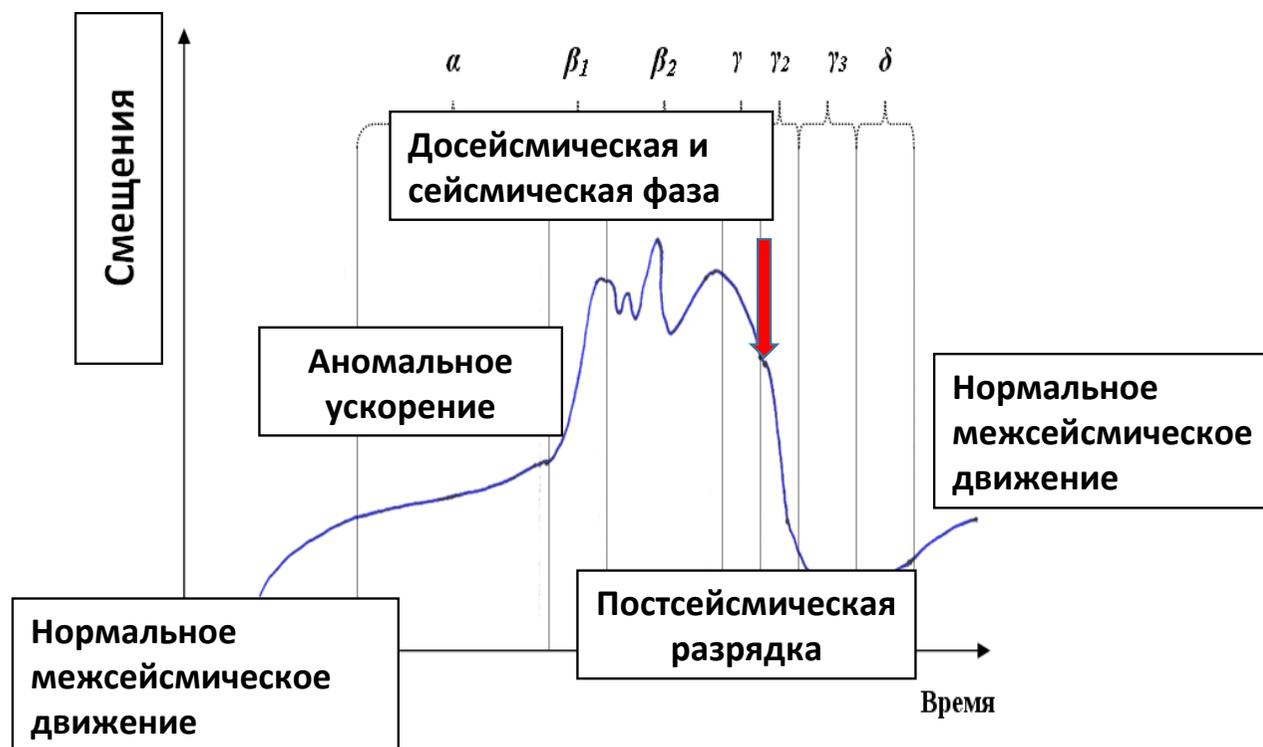
# Сейсмический цикл

(Mescherikov, J. A. 1968, Resent crustal movements in seismic regions: Geodetic and geomorphic data, Tectonophysics, 6, 29, doi:10.1016/0040-1951(68)90024-3)

## Обобщенный сейсмический цикл



## Модель Мещерякова Ю.А.

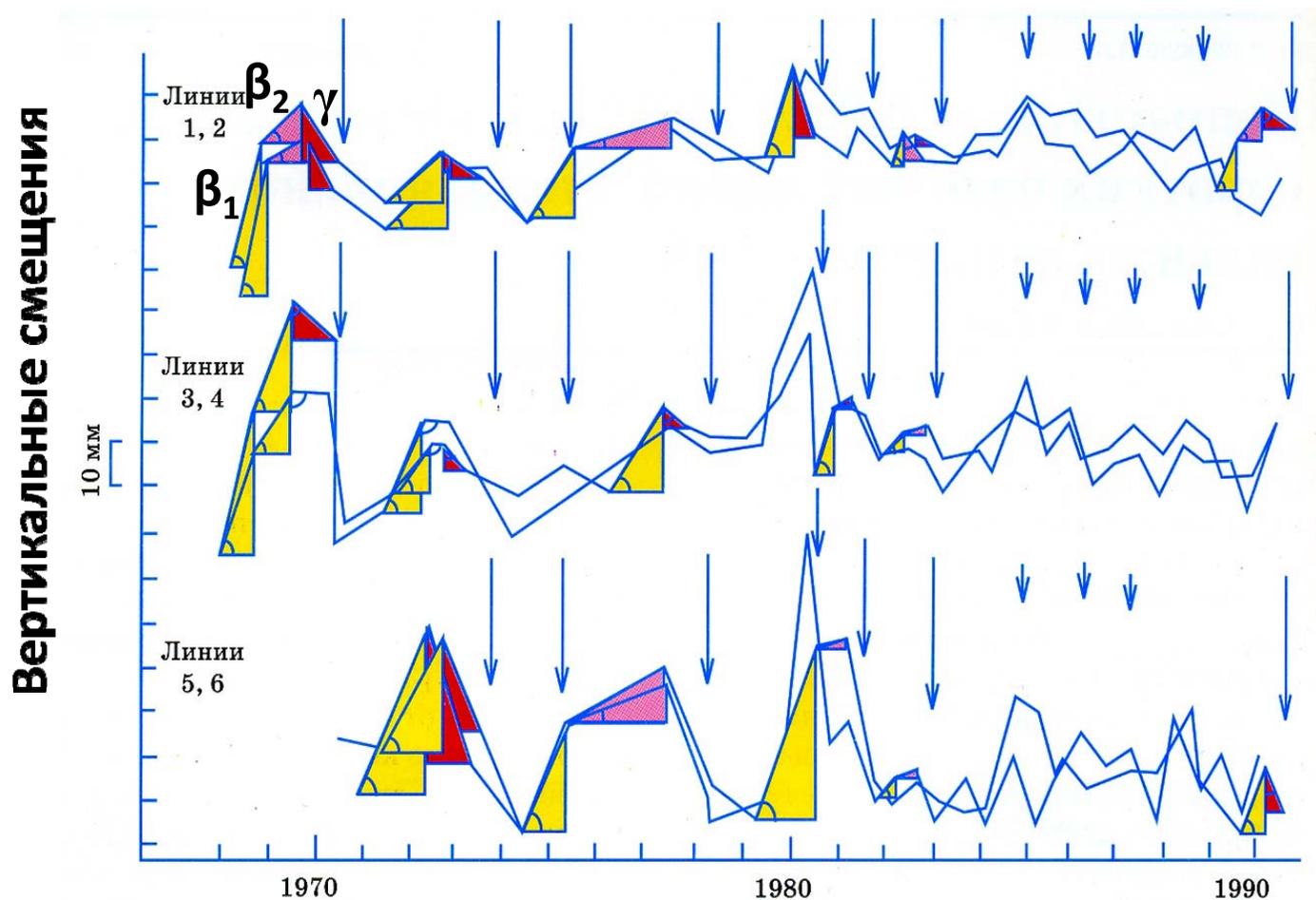


# Высокоточное нивелирование





**Двадцатилетний период изучения деформационных предвестников (Вертикальных смещений) по результатам нивелирования Алма-Атинского геодинимического полигона (Длинными стрелками обозначены землетрясения  $M > 5,0$ , короткими –  $M \leq 5,0$ )**



# Глобальные Навигационные Спутниковые Системы



# Исследуемые зоны (The San Andreas Fault Zone, California, USA)





# Технологическая схема обработки



# Уравнивание разностей векторов базовых линий

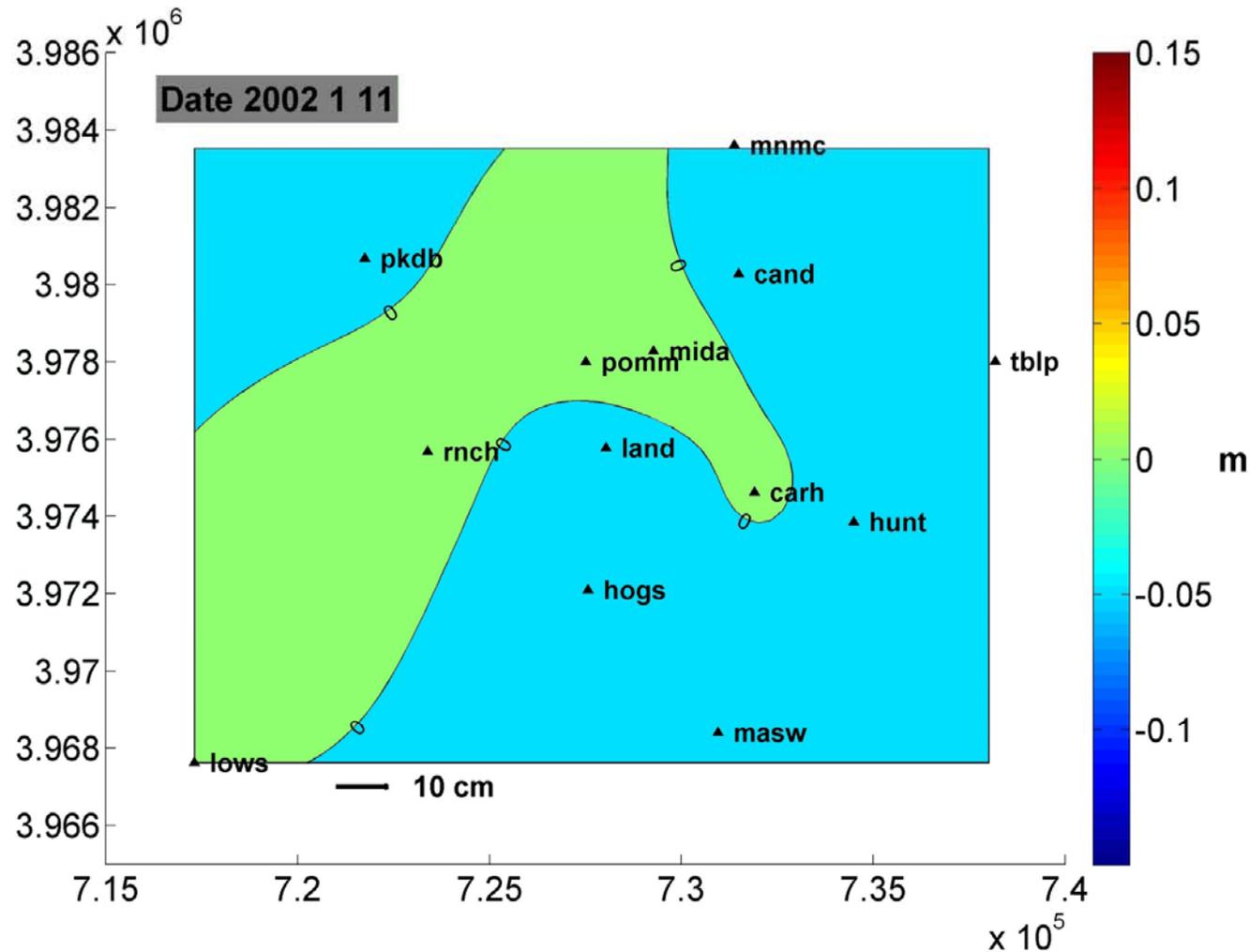
- Уравнение поправок в результаты наблюдений  $v=Adx+l$  (1)
- где  $v$  – вектор поправок в изменение вектора базовой линии каждого цикла повторных наблюдений по отношению к начальному циклу, порядка  $(3n-3) \times 1$  для  $n$  базовых линий;  $A$  – матрица коэффициентов уравнений поправок (1);  
 $dx$  – вектор смещения пункта порядка  $3k \times 1$ , где  $k$  – количество пунктов в сети;  
 $l$  – вектор разностей измеренных элементов сети (текущий минус начальный) порядка  $(3n-3) \times 1$ .
- Решение уравнения поправок (1) по методу наименьших квадратов представлено выражением  $dx=-N^+L=-Q_{dx}L$ ,
- Где  $N=A^TQ_l^+A$  и  $L=A^TQ_l^+l$ , так называемая матрица коэффициентов нормальных уравнений и вектор свободных членов нормальных уравнений, где  $Q_l^+=P$  матрица весов результатов наблюдений.
- Данное решение удовлетворяет не только условию  $v^TPv=\min$  но и  $x^TQ_{dx}^+x=\min$ .

## Вычисление деформаций (дилатации) треугольников

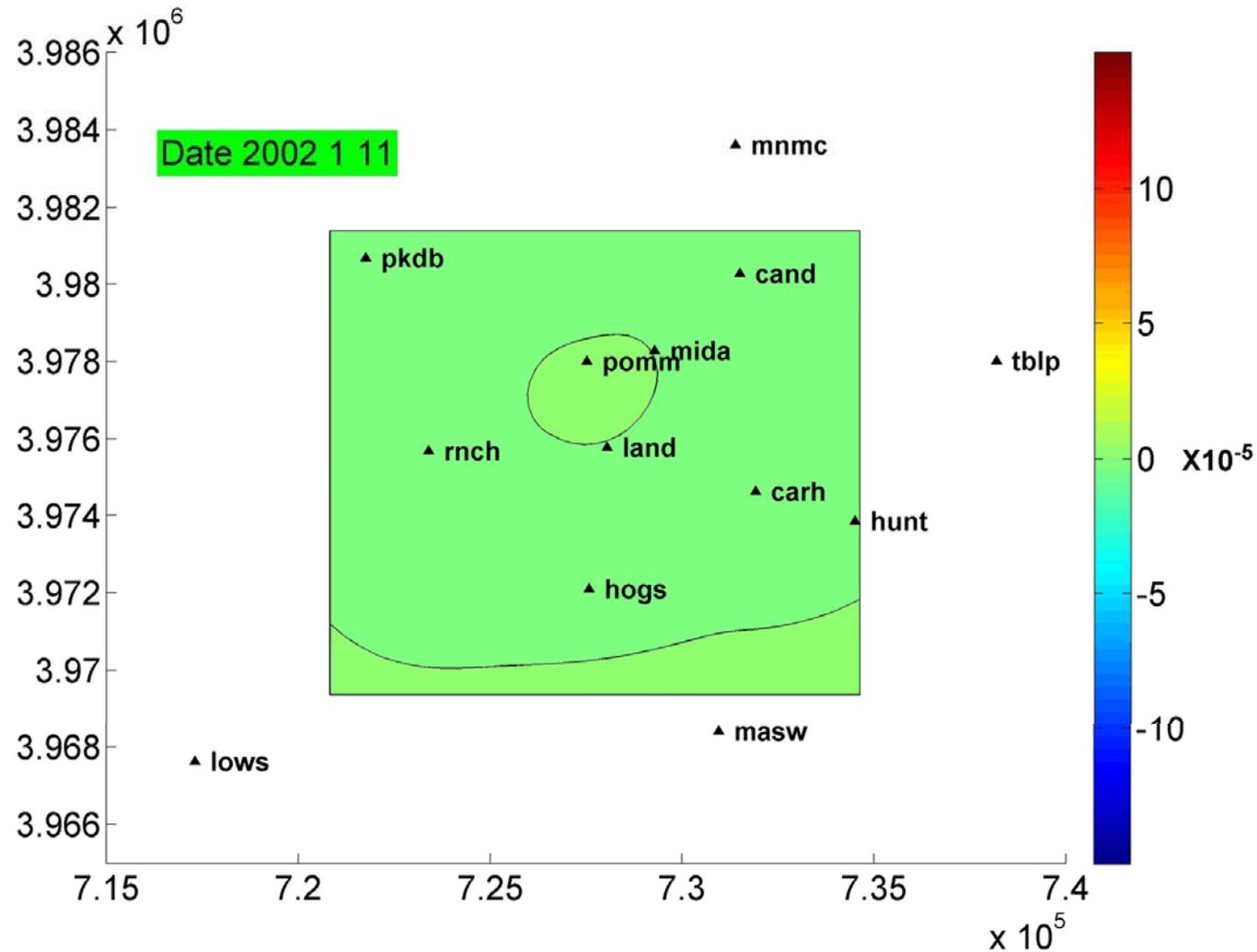
$$\Delta = \frac{x_2(dy_3 - dy_1) - y_2(dx_3 - dx_1) - x_3(dy_2 - dy_1) + y_3(dx_2 - dx_1)}{x_2y_3 - x_3y_2}.$$

$x, y$  – плоские прямоугольные координаты точек  
 $dx, dy$  – горизонтальные смещения точек

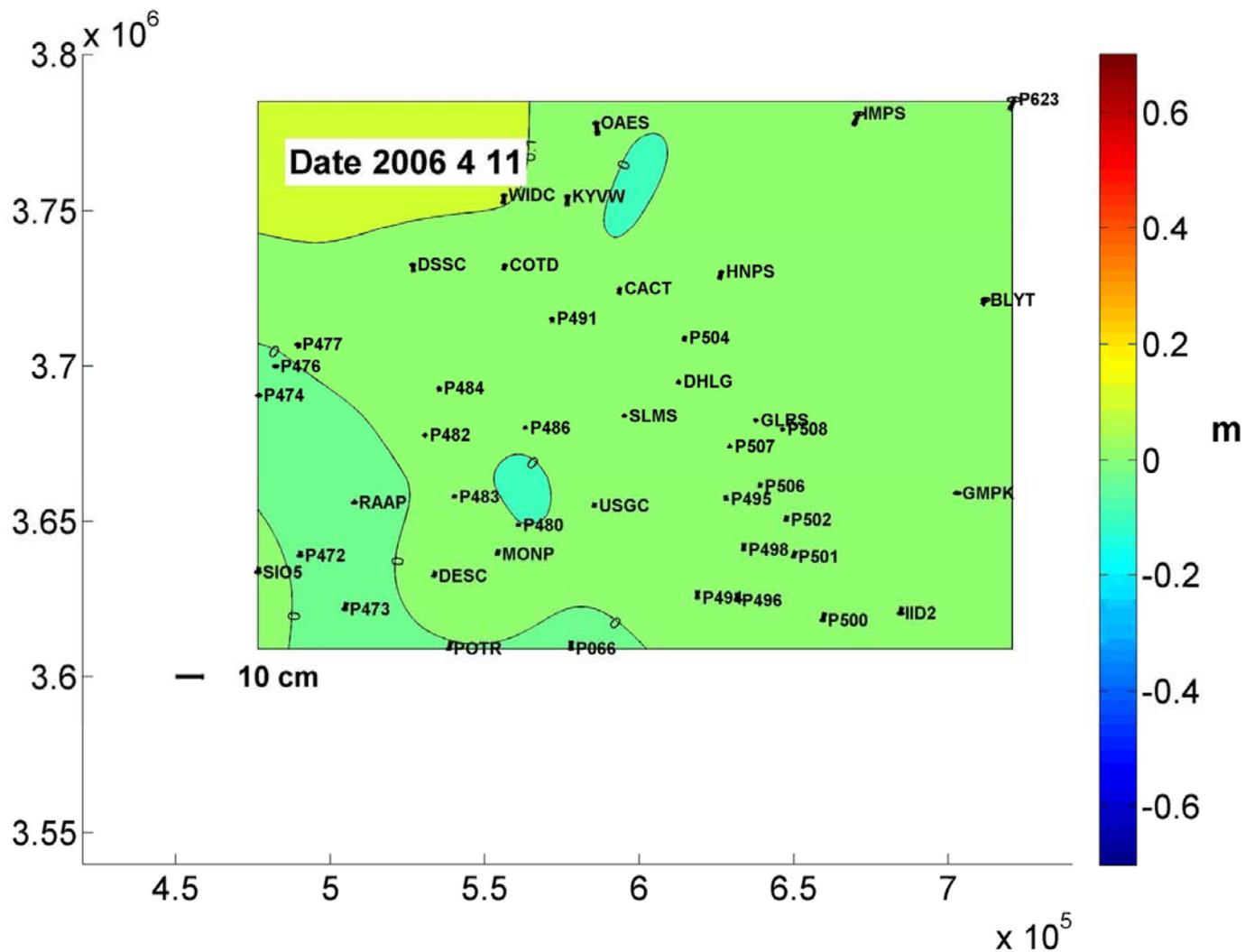
# Визуализация плановых (стрелки) и вертикальных (изолинии) смещений в зоне землетрясения Parkfield M=6.0 Earthquake



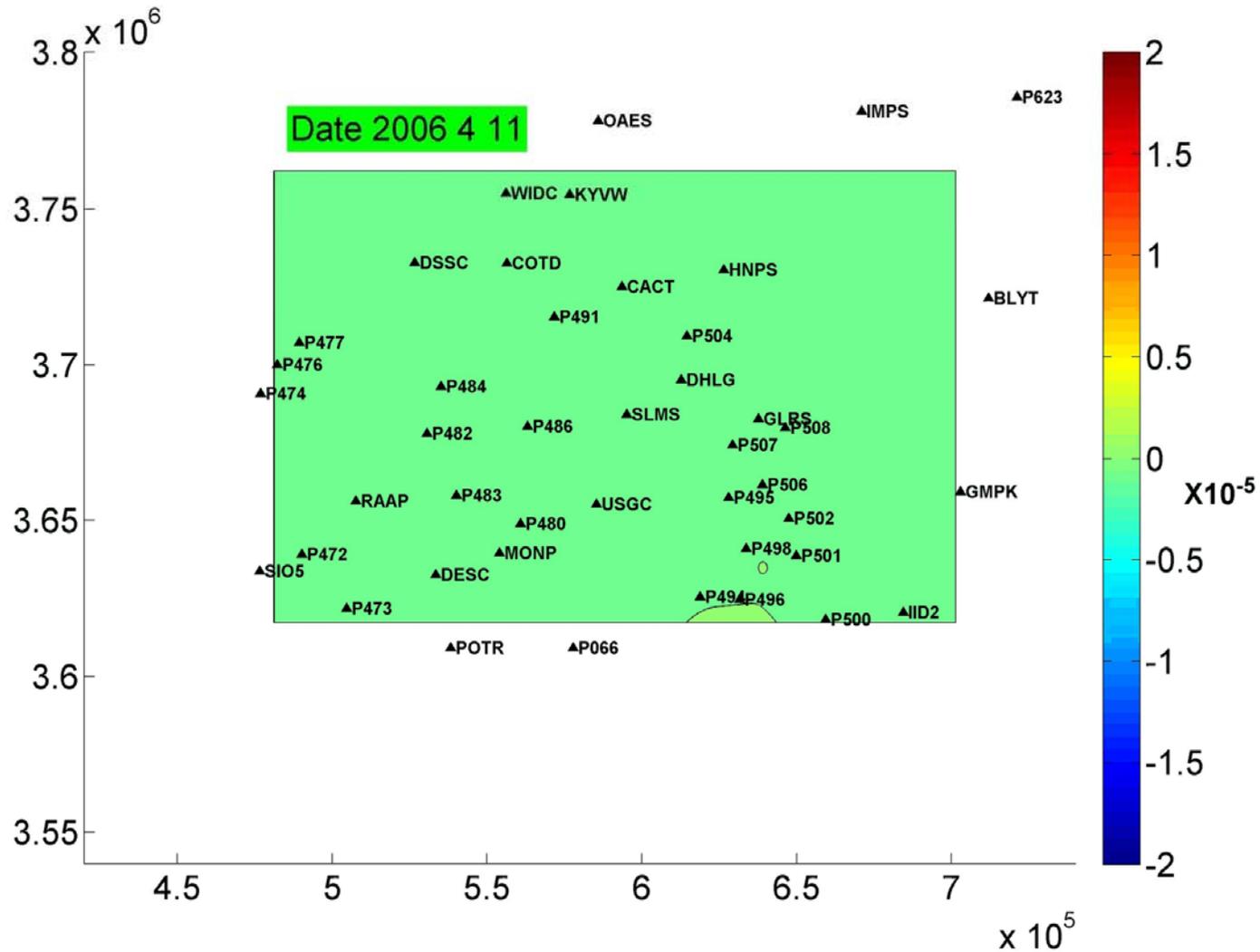
# Визуализация деформаций земной поверхности в зоне землетрясения Parkfield M=6.0 Earthquake



# Визуализация плановых (стрелки) и вертикальных (изолинии) смещений в зоне землетрясения El Major Кукарач M=7.2 Earthquake



# Визуализация деформаций земной поверхности в зоне землетрясения El Major Кукарач M=7.2 Earthquake



## Критические значения деформаций

Parkfield, Сентябрь 2004, M=6.0			El Mayor Cusarah, Апрель 2010, M=7.2		
Временной интервал до землетрясения (годы)	Временной интервал от начальной эпохи наблюдений (годы)	Дилатация $\pm$ СКП ( $10^{-5}$ )	Временной интервал до землетрясения (годы)	Временной интервал от начальной эпохи наблюдений (годы)	Дилатация $\pm$ СКП ( $10^{-5}$ )
1.78	0.96	0.50 $\pm$ 0.04	3.42	0.66	0.19 $\pm$ 0.03
0.89	1.85	1.00 $\pm$ 0.07	2	2.08	0.11 $\pm$ 0.01
0.01	2.74	1.77 $\pm$ 0.06	0.01	4.08	0.26 $\pm$ 0.01
-	2.74	3.41 $\pm$ 0.04	-	4.08	1.00 $\pm$ 0.03
-	3.7	10.1 $\pm$ 0.06	-	5.5	1.10 $\pm$ 0.006
-	5	12.5 $\pm$ 0.06	-	9.66	1.40 $\pm$ 0.01

# Выводы

- Проведены исследования горизонтальных деформаций на двух участках земной поверхности, показаны контрастные деформационные изменения в интервалах от нескольких лет до нескольких дней до и после землетрясений вблизи их эпицентров.
- Полученные критические значения деформаций могут рассматриваться как предвестники сильных землетрясений
- Сети постоянно действующих ГНСС-станций, покрывающих сейсмически активные районы, могут стать эффективным инструментом в предсказании землетрясений

**Спасибо за внимание**