

Учреждение Российской академии наук Санкт-Петербургский  
научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН

# Спутниковые методы изучения землетрясений

*Тронин Андрей Аркадьевич*

тел: 7-812-230-79-34

факс: 7-812-235-43-61

E-mail: [a.a.tronin@ecosafety-spb.ru](mailto:a.a.tronin@ecosafety-spb.ru)

<http://www.ecosafety-spb.ru>

# Современные методы изучения землетрясений



# Явления, регистрируемые спутниковыми методами при землетрясениях

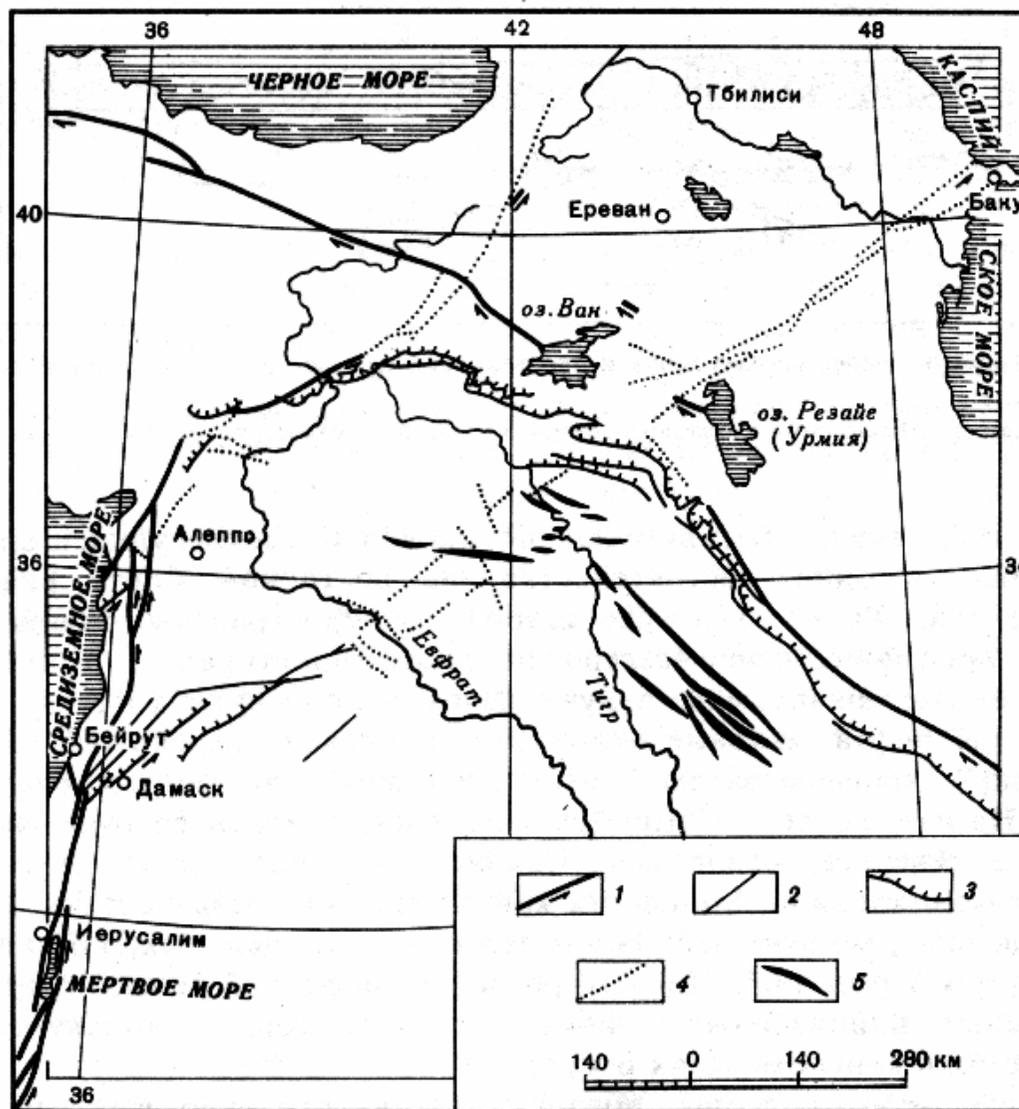
- Деформации поверхности
- Тепловые явления
- Электромагнитные явления

# Деформации земной поверхности

## Спутниковые методы:

- Структурные методы (оптические и радиолокационные)
- Радарная интерферометрия
- Системы глобального позиционирования
- Гравитационные измерения

## Главные новейшие разломы северного фланга Аравийской плиты

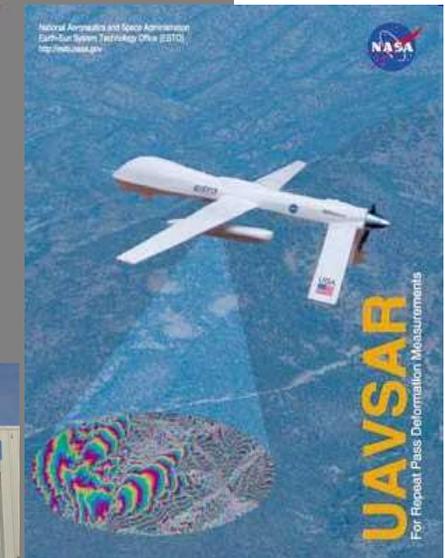
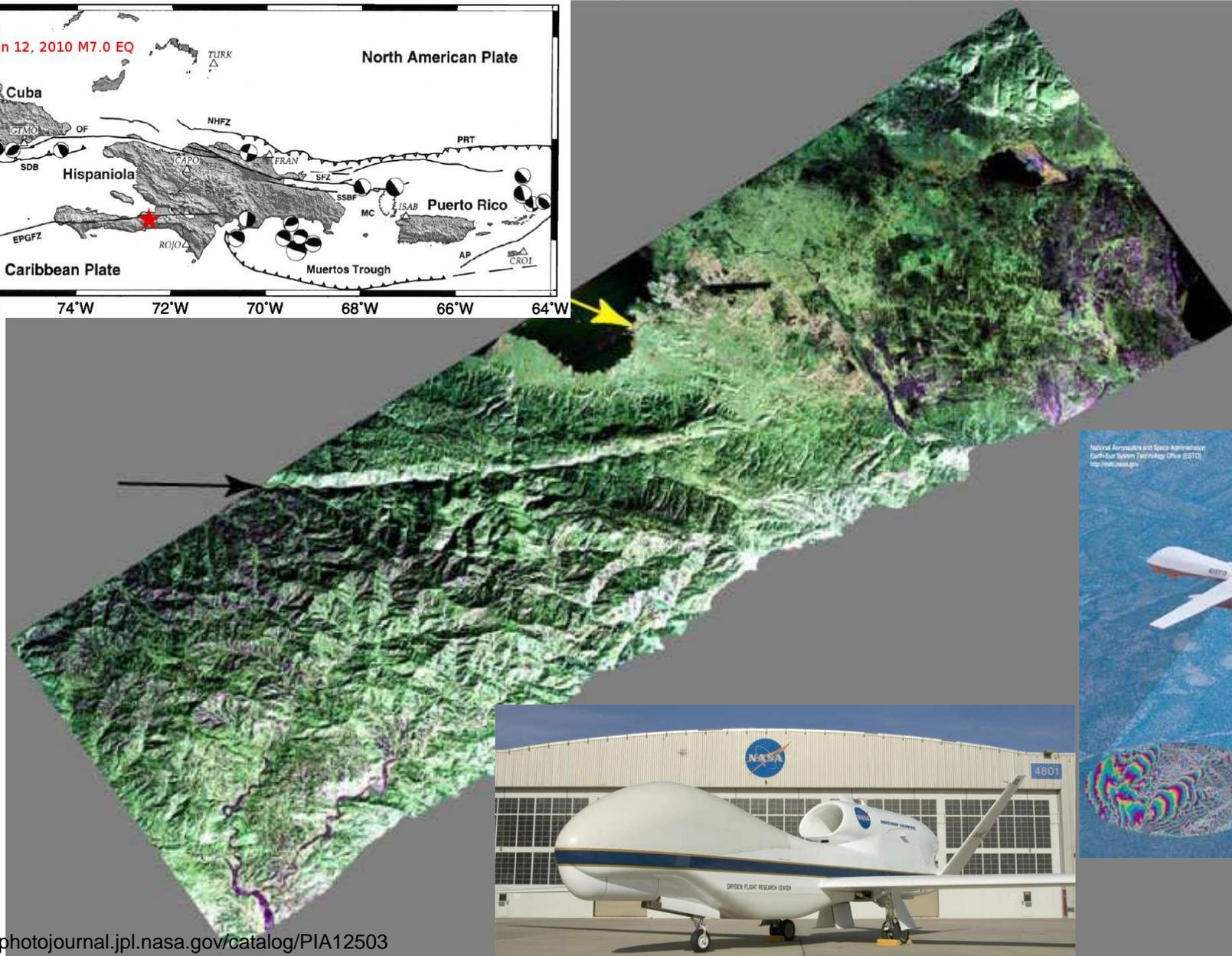
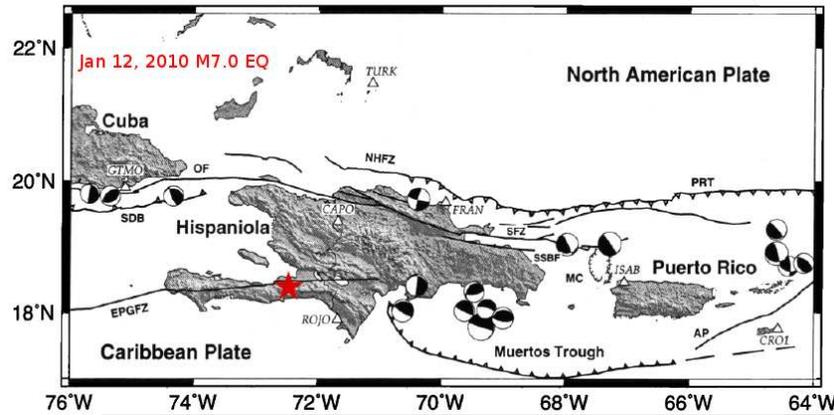


- 1-активные разломы
- 2-позднекайнозойские разломы
- 3-позднекайнозойские надвиги
- 4-линеаменты по космическим снимкам
- 5-антиклинали

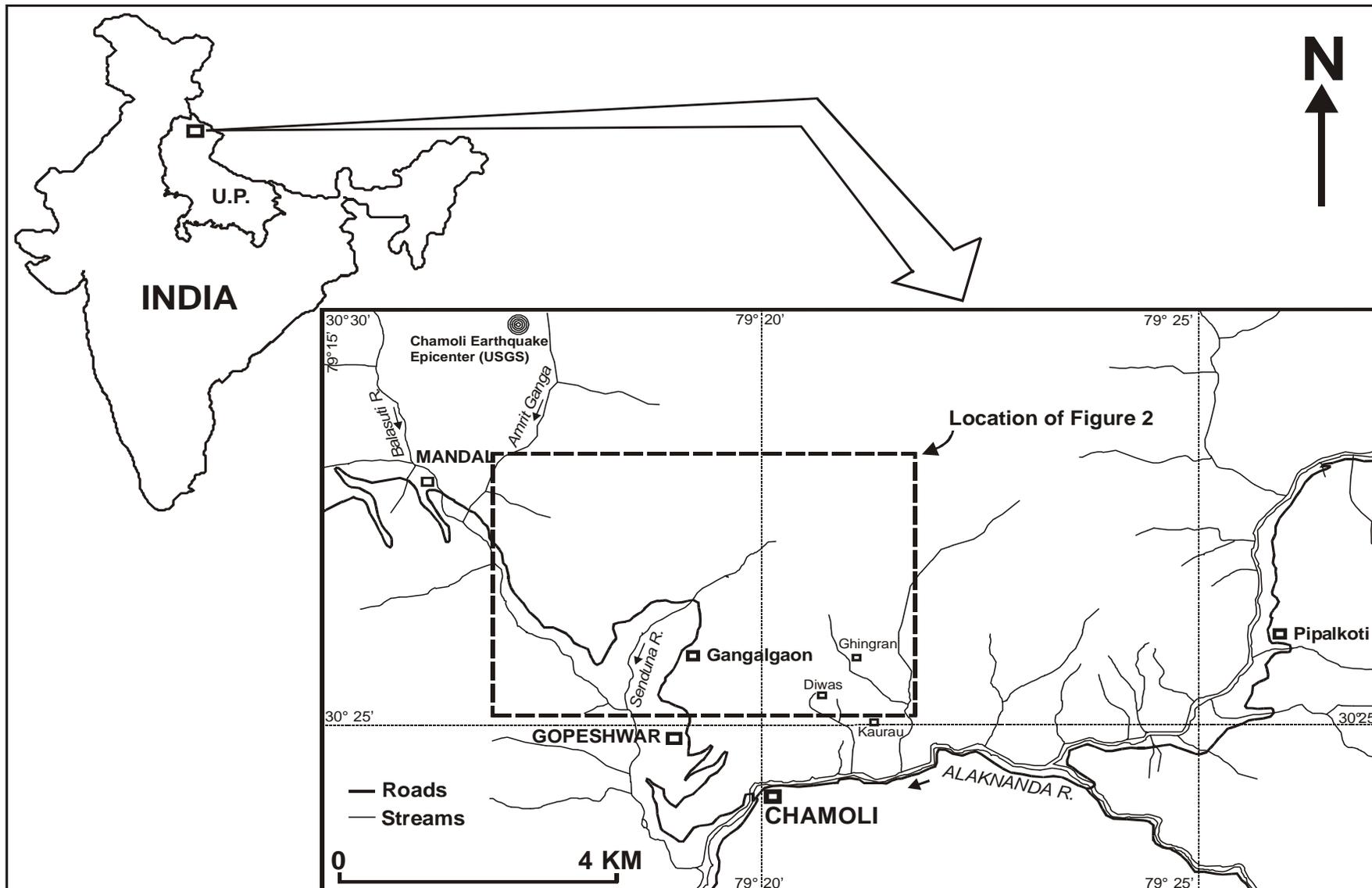
Деформации  
косейсмические

# Радиолокационная съёмка сейсмоактивного разлома при землетрясении на Гаити (12 января 2010, M= 7.0)

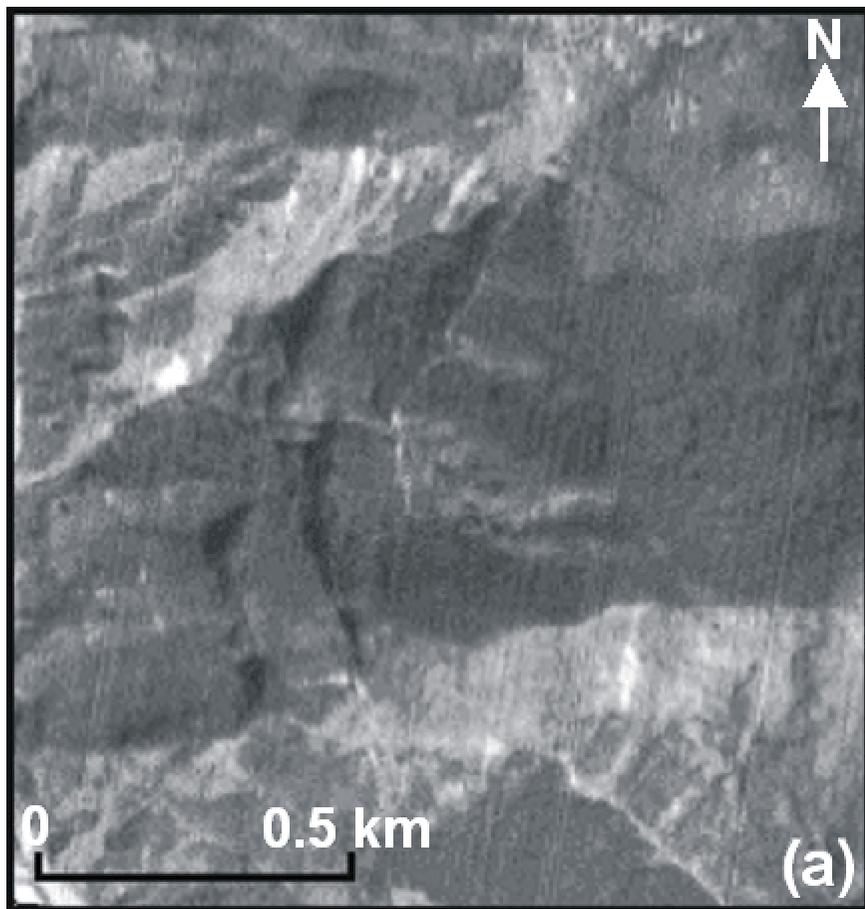
Структурные  
методы



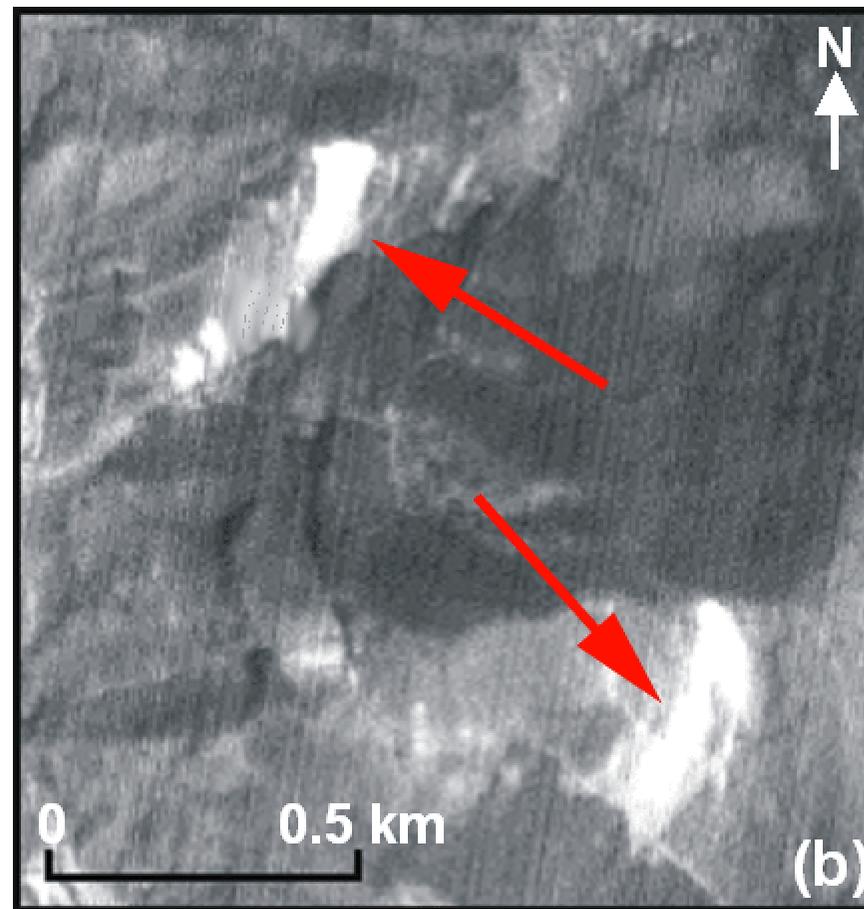
# Землетрясение Чамоли, Индия 29 Марта 1999, M = 6.3



## Выявление оползней по космическим снимкам

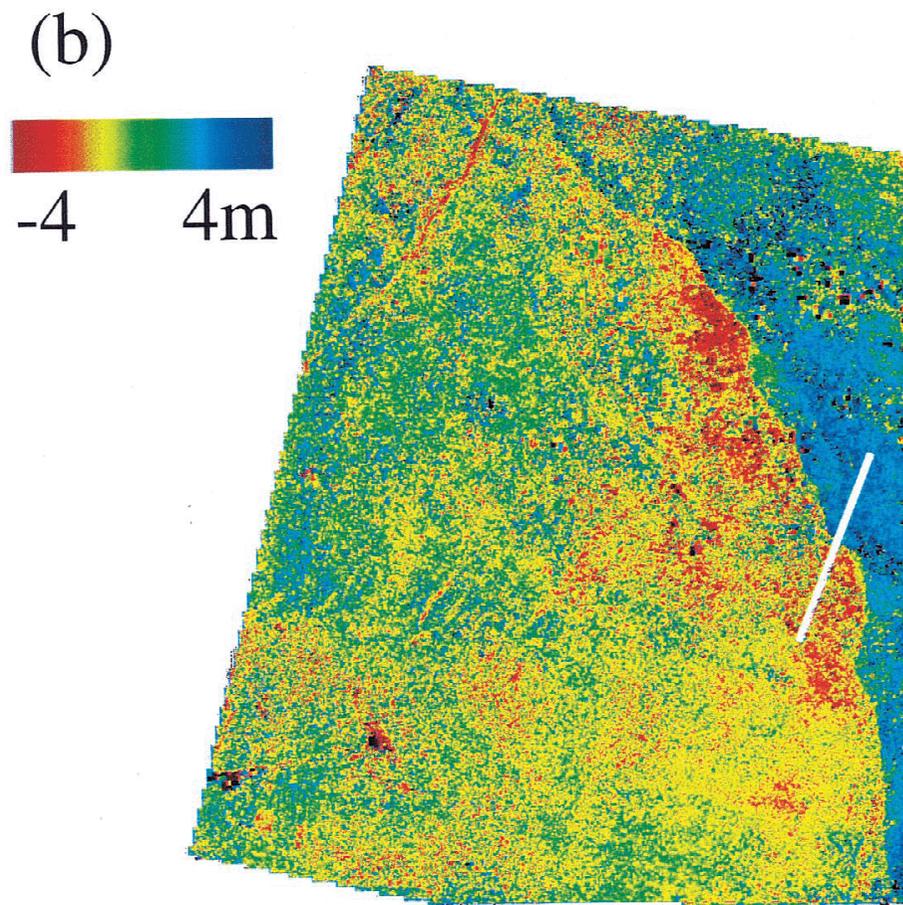
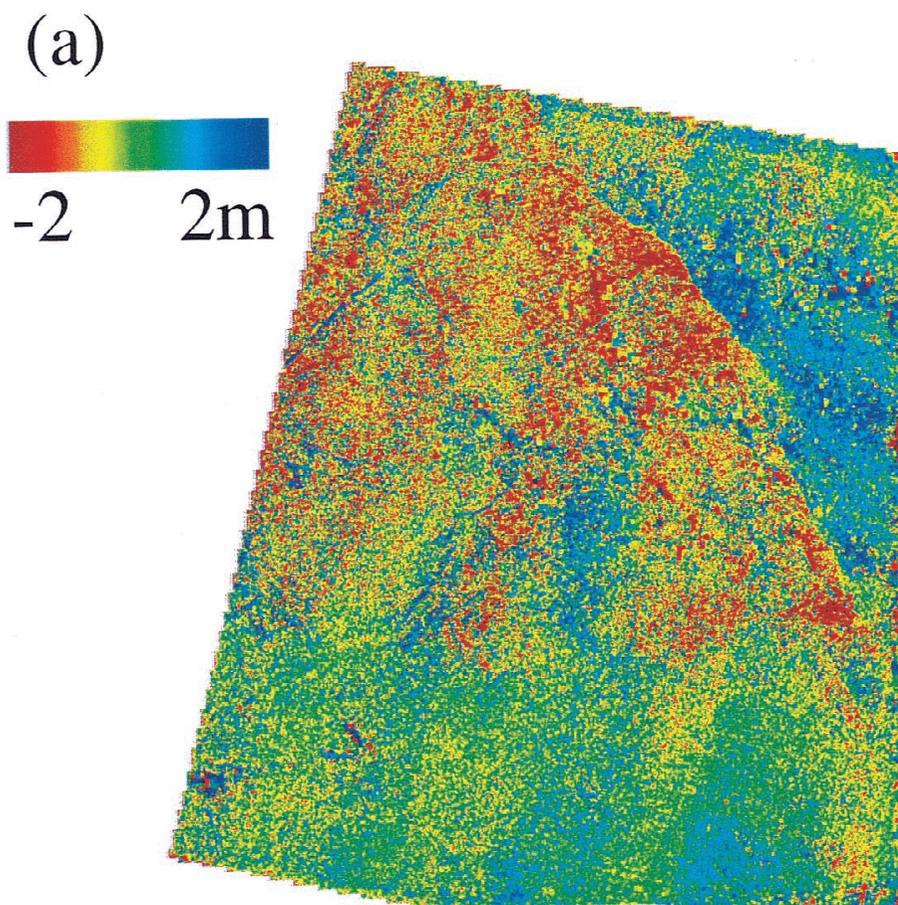


Космический снимок 26  
Марта 1999 IRS-1C-PAN до  
землетрясения



Космический снимок 31  
Марта 1999 IRS-1C-PAN  
после землетрясения

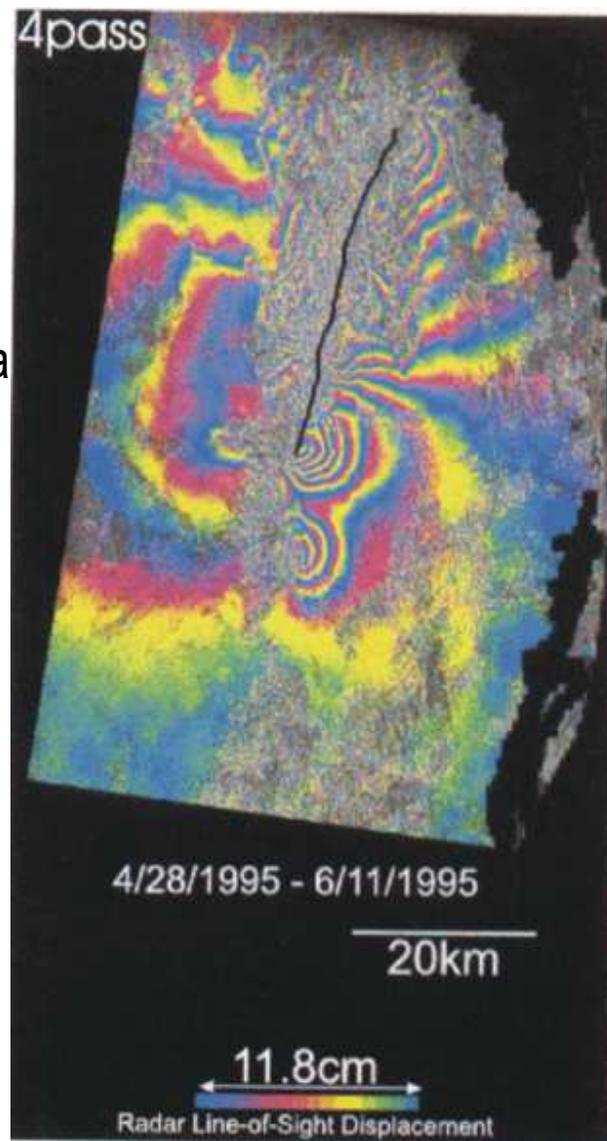
Горизонтальные косейсмические деформации  
Землетрясение Ландерс, США, 28 июня 1992, M=7.3



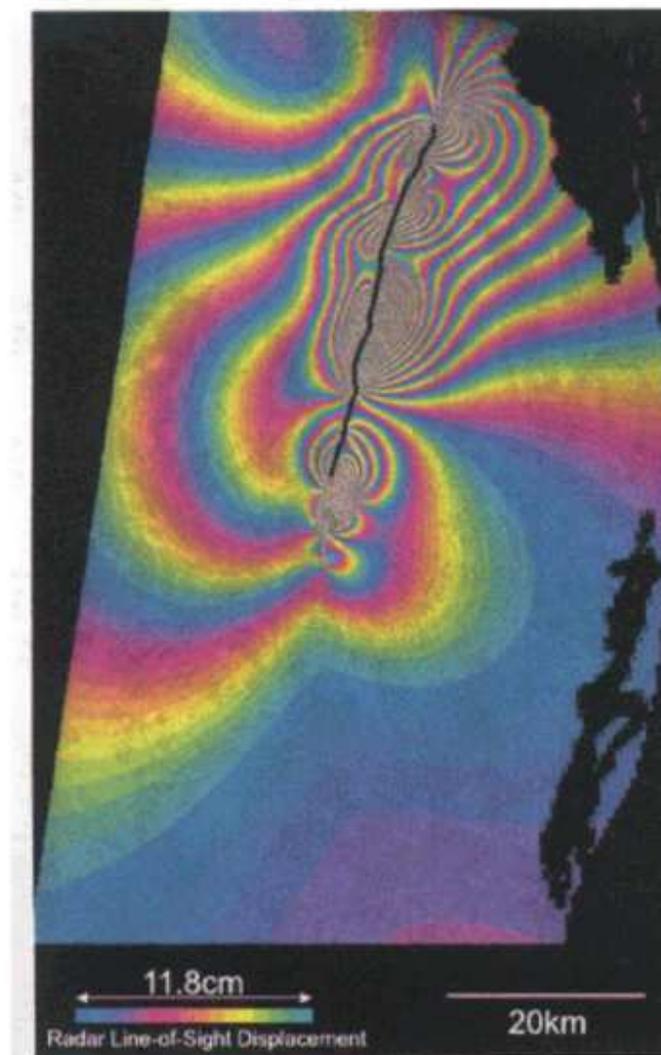
Снимки спутника SPOT-2 (разрешение на местности 10 м)  
Компоненты деформаций: (a) восток – запад, (b) север – юг

## Сравнение результатов интерферометрии и моделирования Нефтегорское землетрясение, Сахалин, 28 мая 1985 г., M=7.6

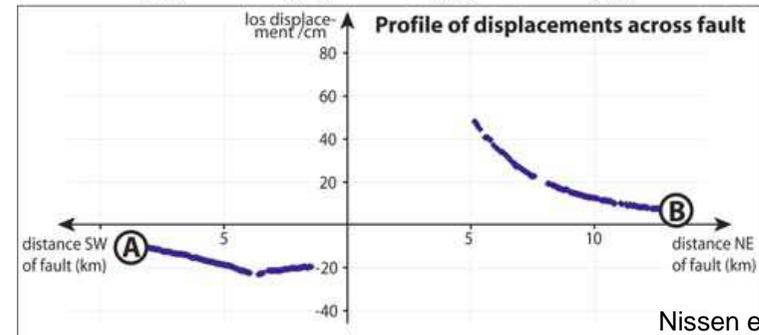
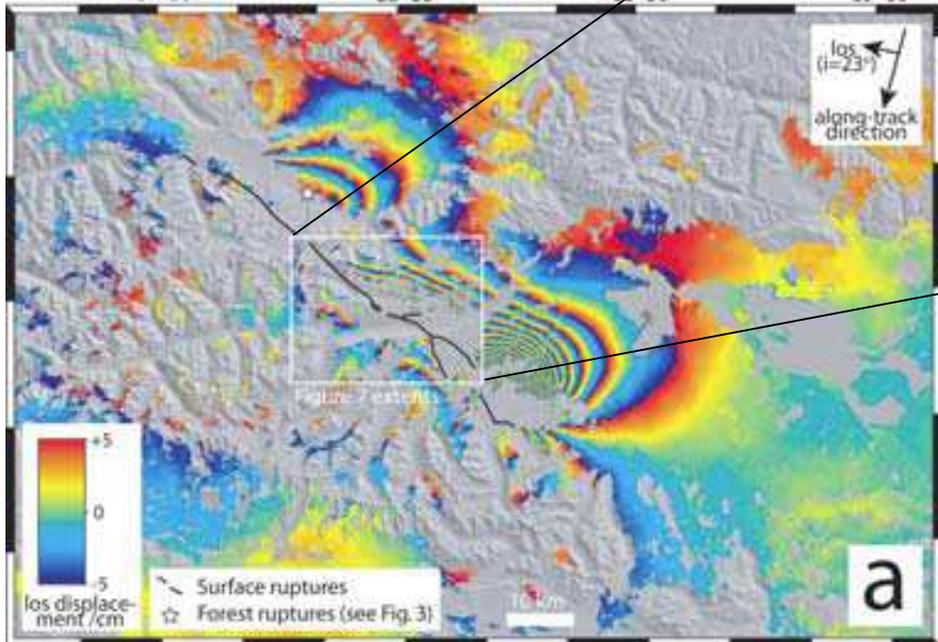
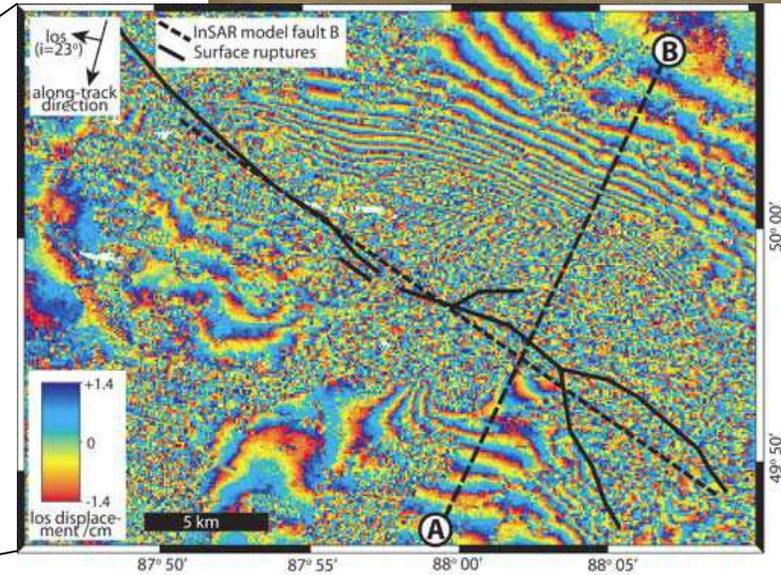
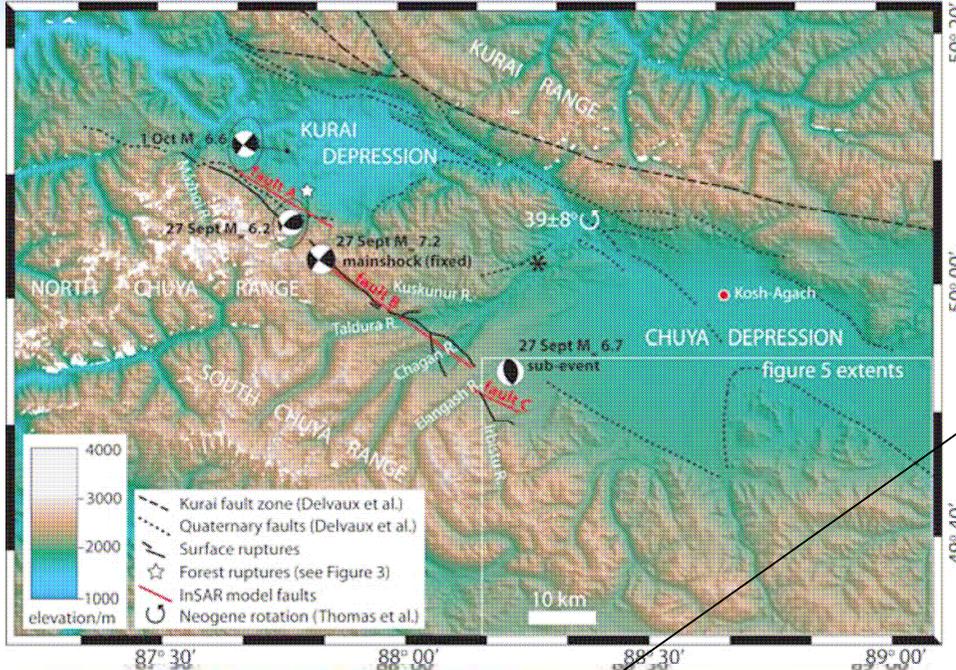
Интерферограмма



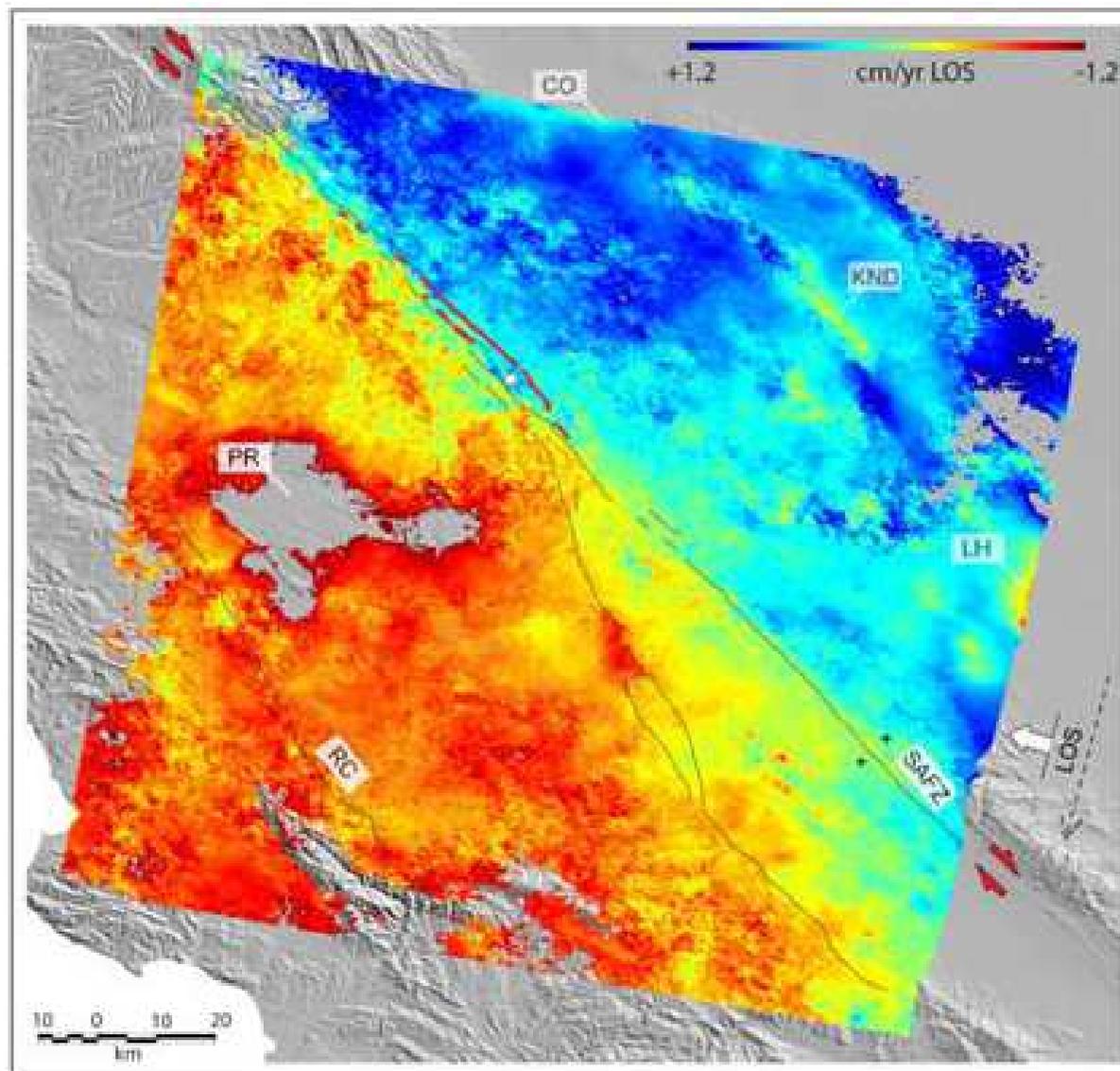
Модель



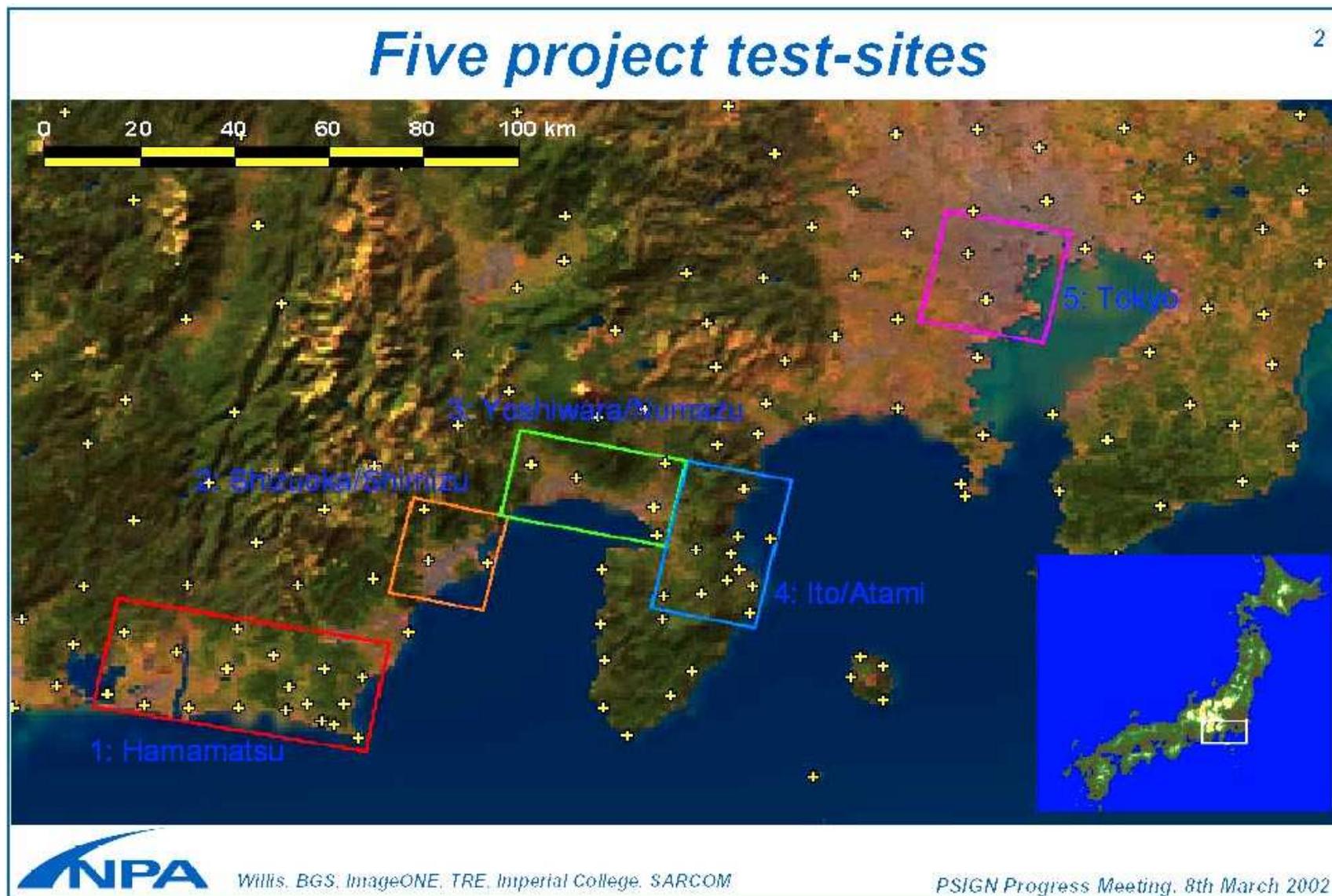
Reference: Tobita, et al., *Earth Planets Space*, 50, 1998



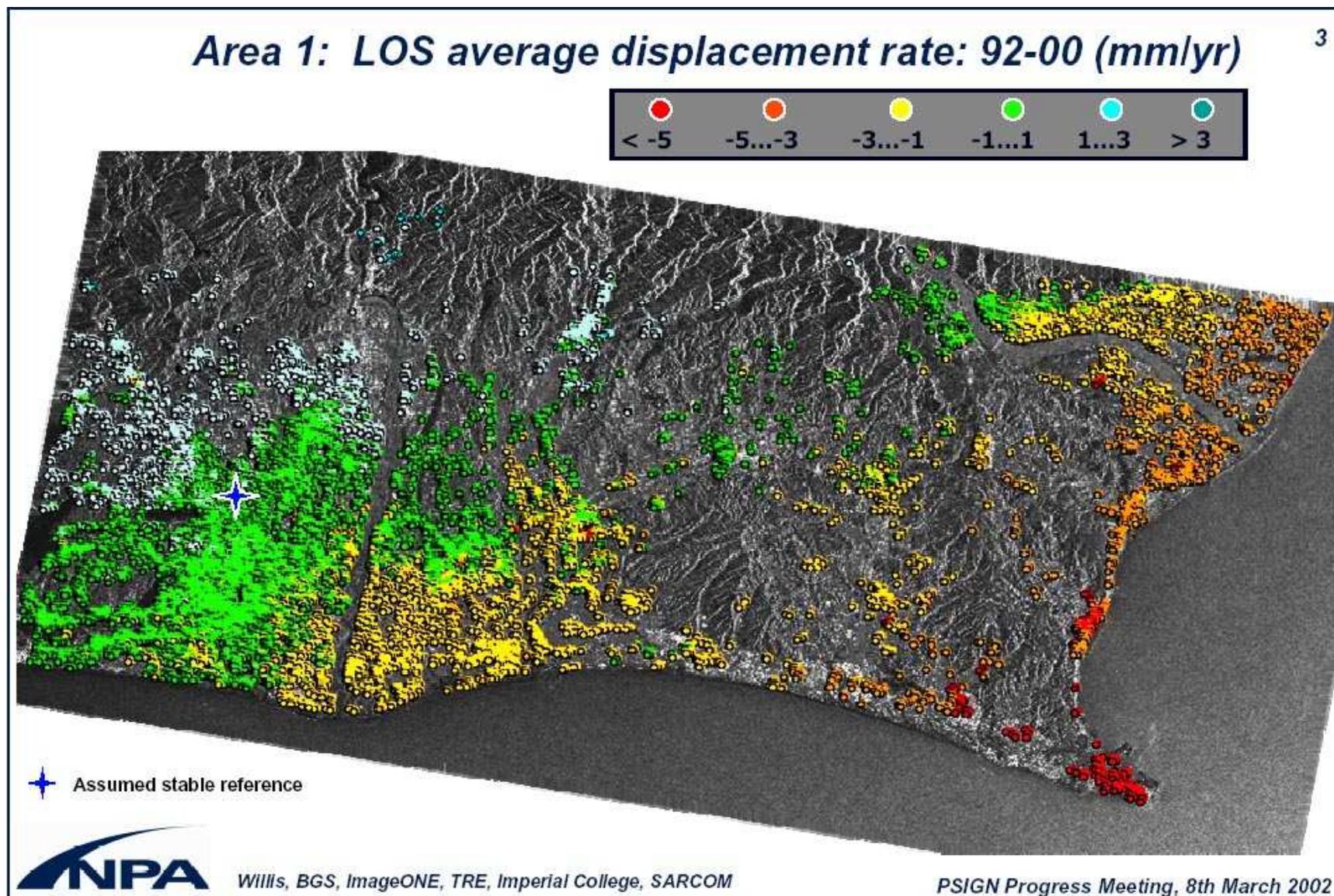
# Пресейсмические деформации (горизонтальные, параллельные разлому) в зоне разлома Сан-Андреас, Паркфилд, Калифорния ( $\pm 1.2$ см/год)



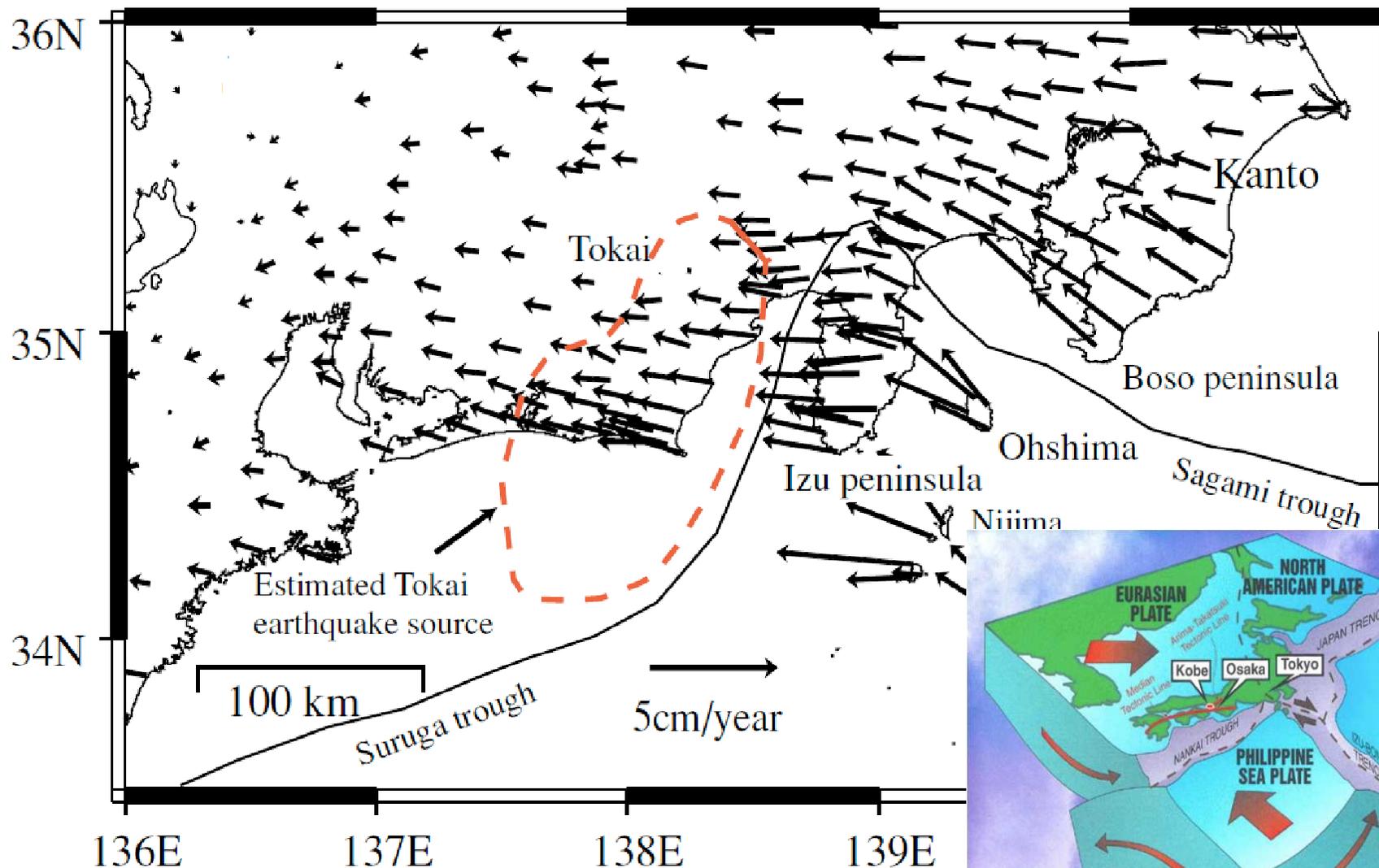
## Длительные наблюдения за смещениями поверхности в области Токай, Япония



## Вертикальные деформации в районе Токай с 1992 по 2000 гг.

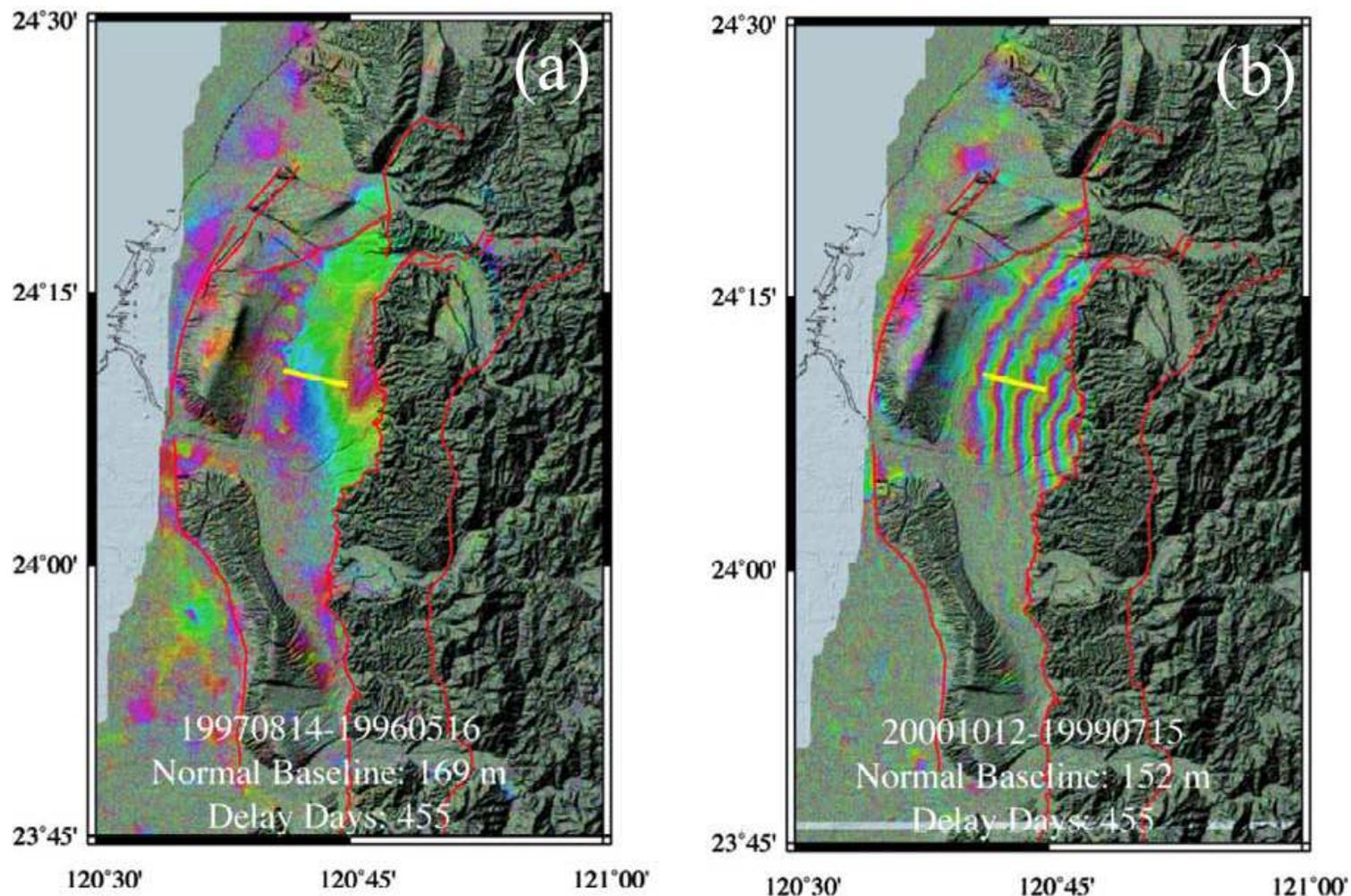


## Горизонтальные деформации в районе Токай по данным GPS измерений



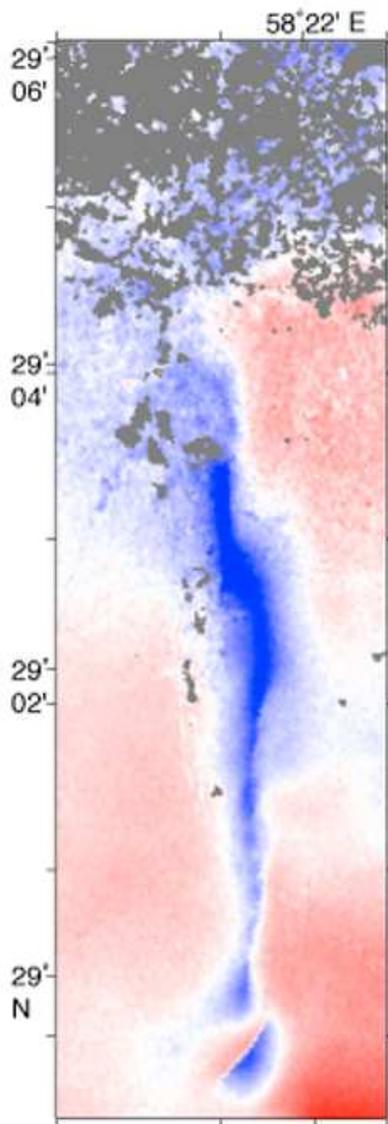
Филиппинская плита пододвигается под континентальную плиту по рвам Цуруга и Сагами. Стрелки показывают скорость горизонтальных деформаций см/год с 1997 по 1999.

## Пресейсмические и косейсмические деформации при землетрясении Чи-чи (Тайвань, 20 Сентября 1999, M= 7.6)

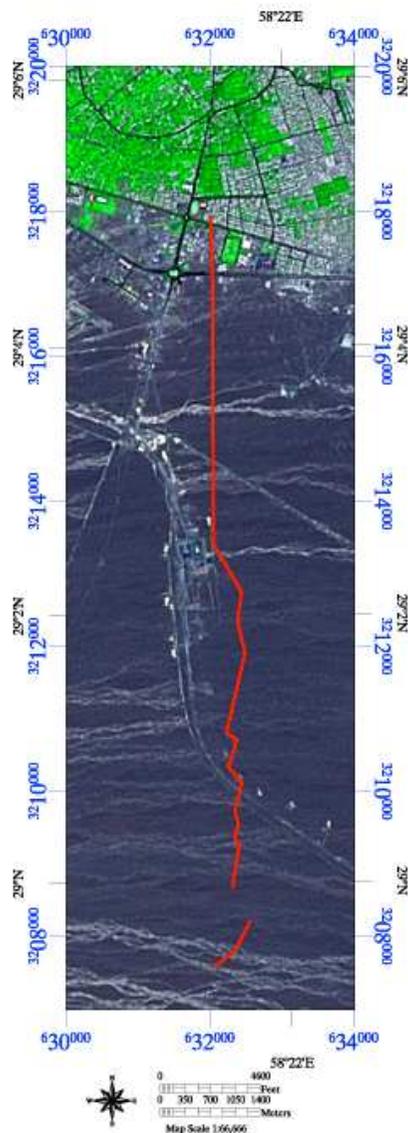


- (a) Пресейсмические деформации с 16 мая 1996 по 14 августа 1997.  
(b) Косейсмические деформации с 15 июля 1999 по 12 октября 2000.

## Постсейсмические деформации при землетрясении Бам (Иран, 26 декабря 2003, M= 6.6)



(a)

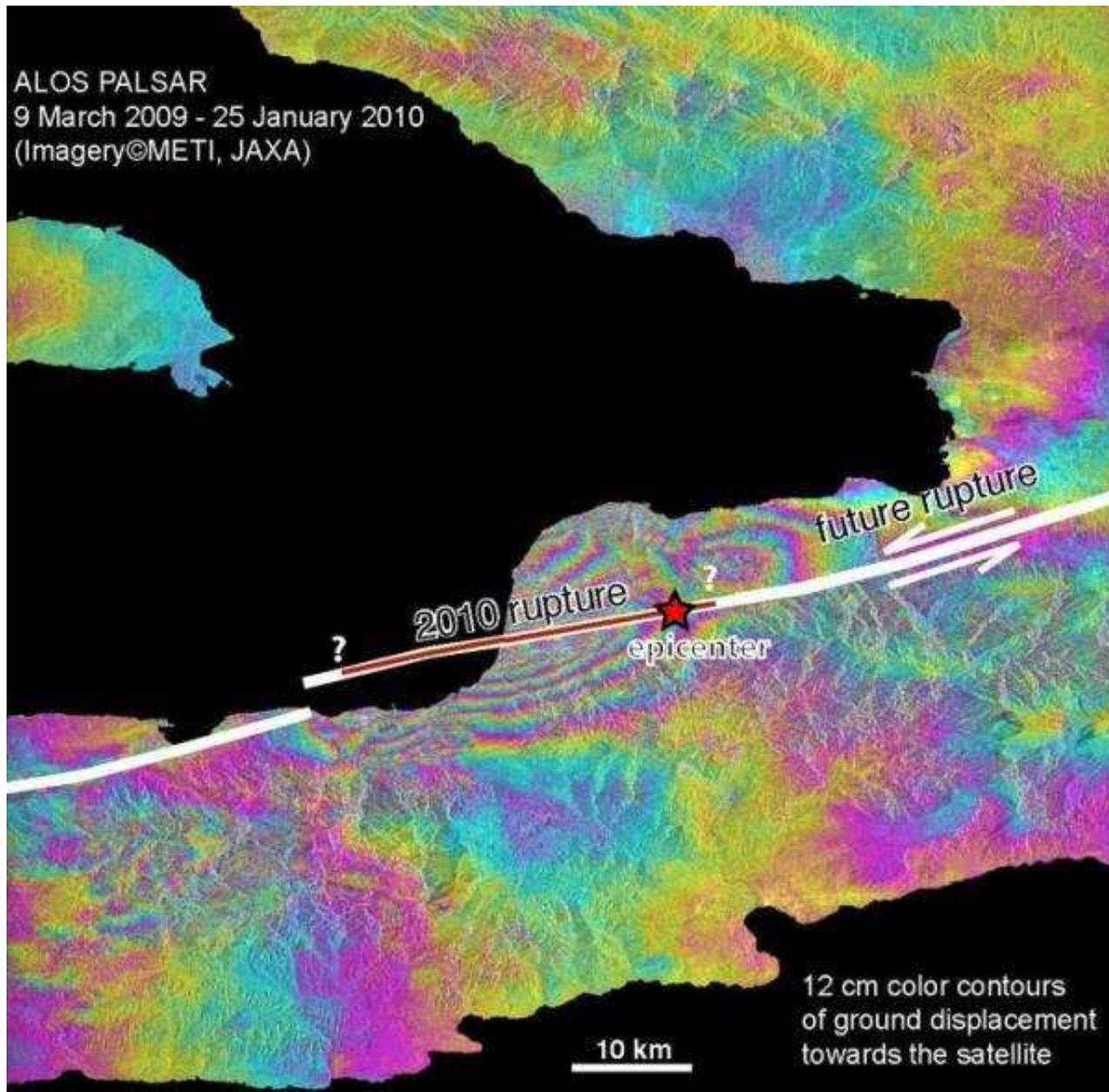


(b)

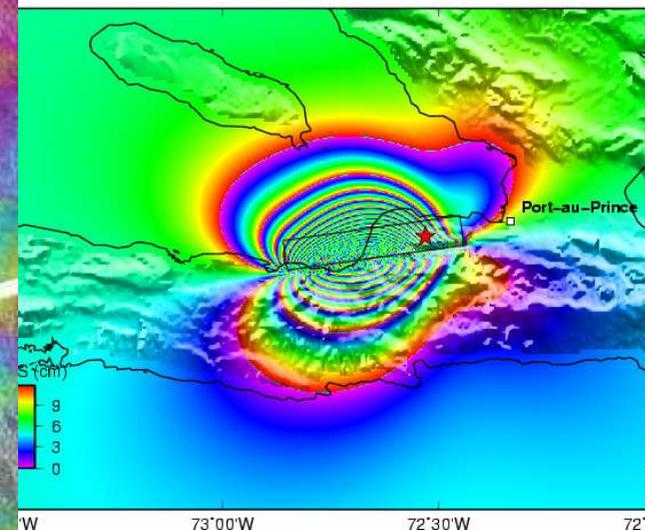
(a) Вертикальные деформации в течение 3.5 лет после толчка. Максимальные просадки показаны синим цветом и составляют около 3 см.

(b) Космический снимок участка южнее г. Бам, Иран. Красная линия показывает сейсмогенный разлом 2003 г.

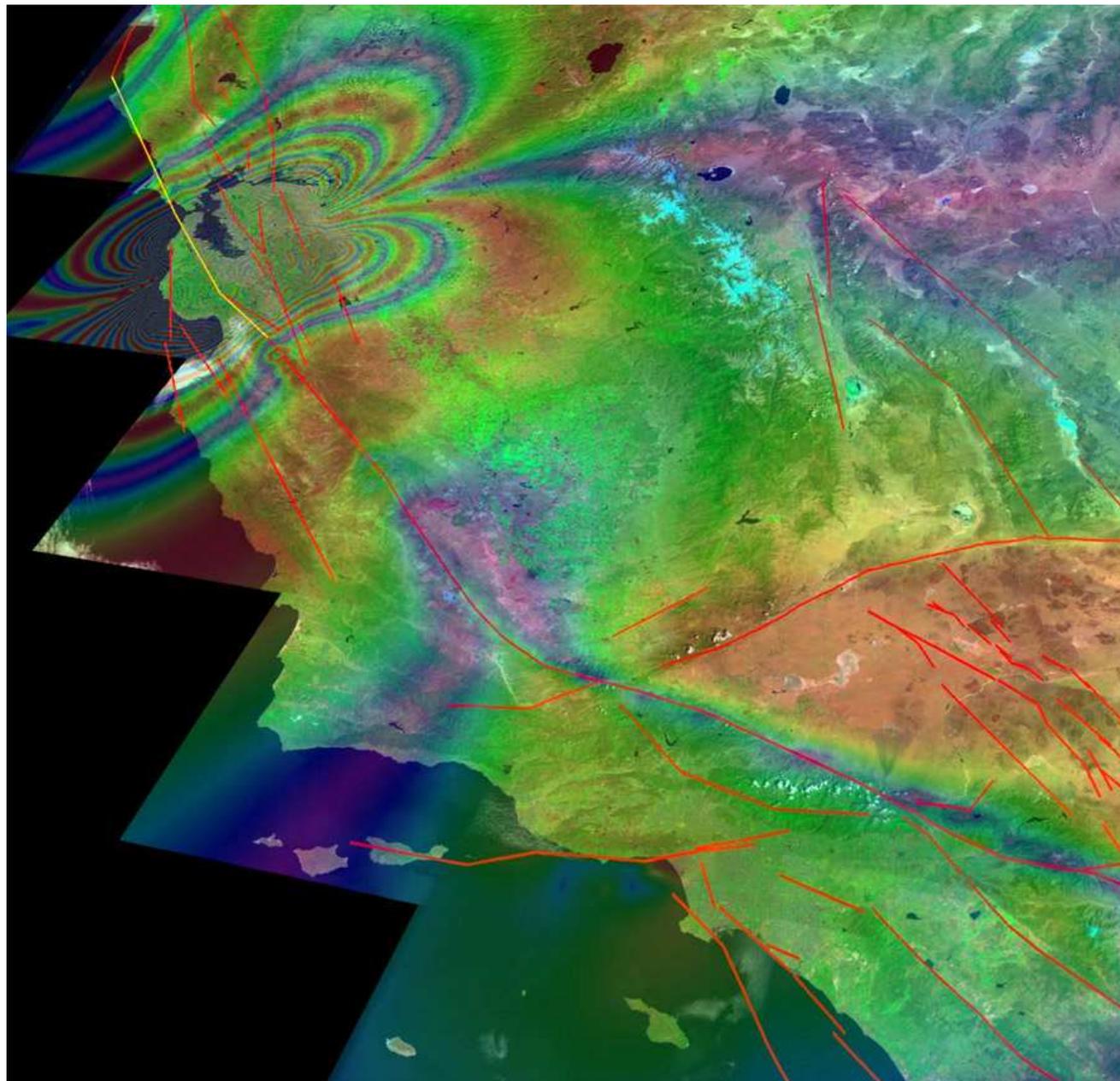
# Косейсмические деформации при землетрясении на Гаити (12 января 2010, M= 7.0)



модель



## Модель деформаций на земной поверхности при землетрясении в Сан-Франциско

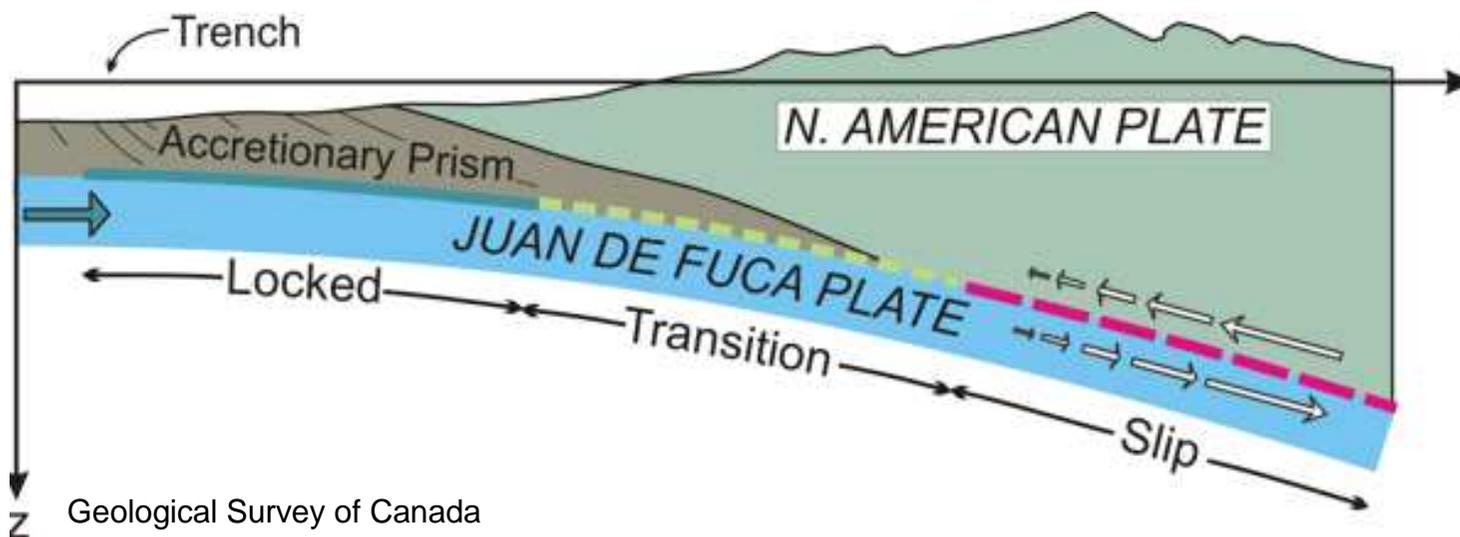
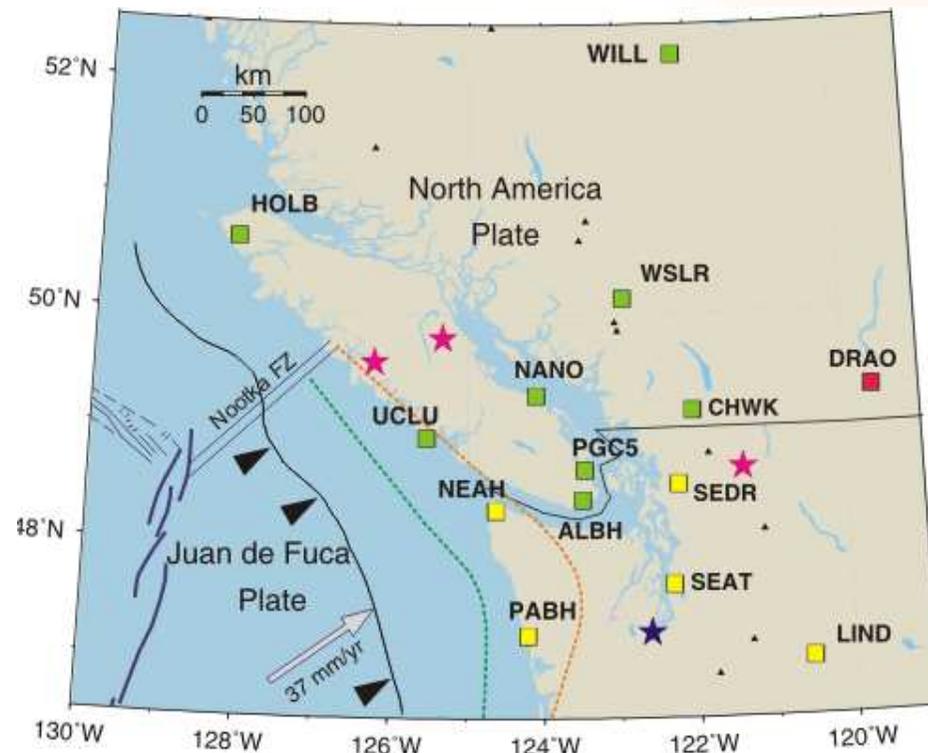


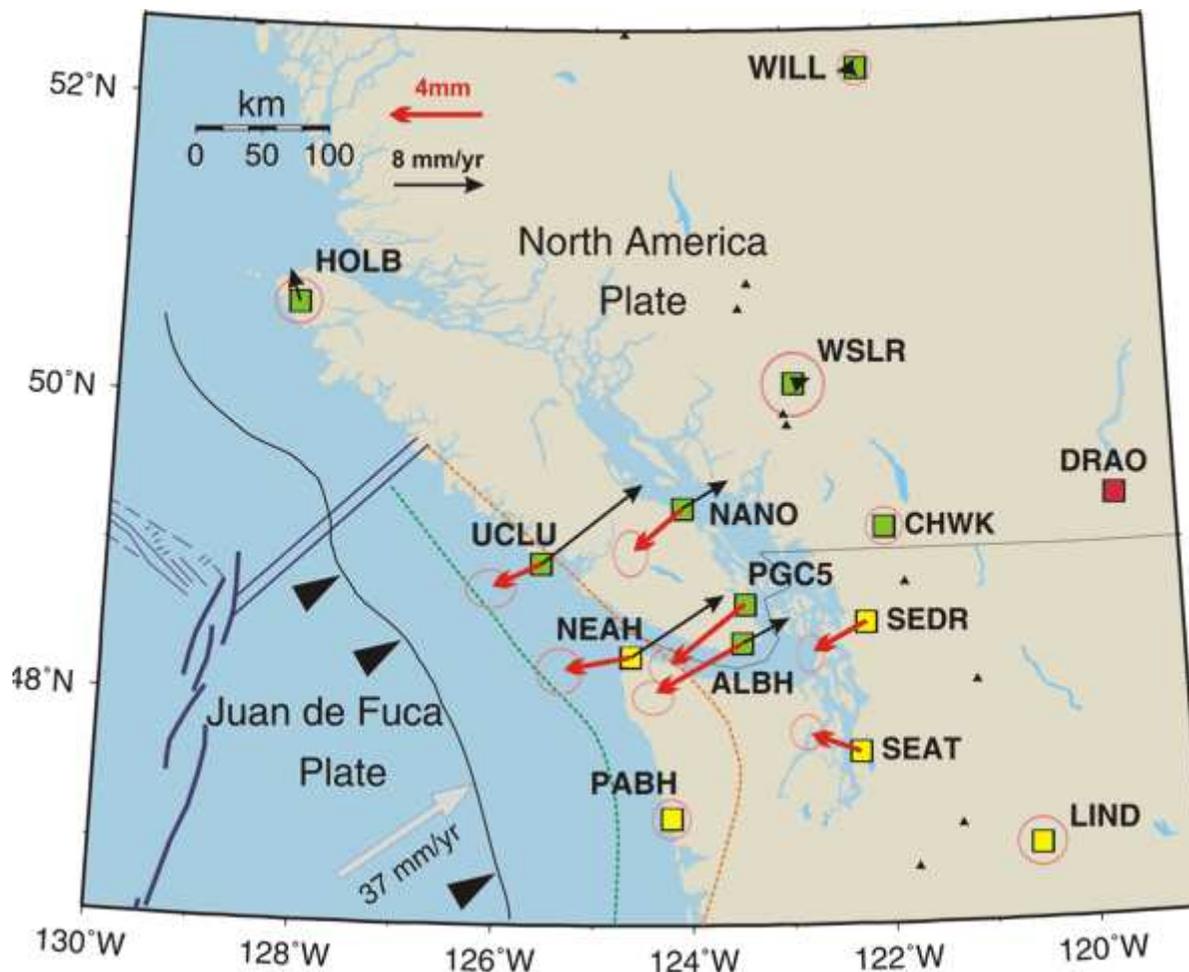
Модель содержит  
650 элементов  
разрывных  
нарушений

25 % вероятность  
землетрясения с  $M > 7$   
в ближайшие 20 лет

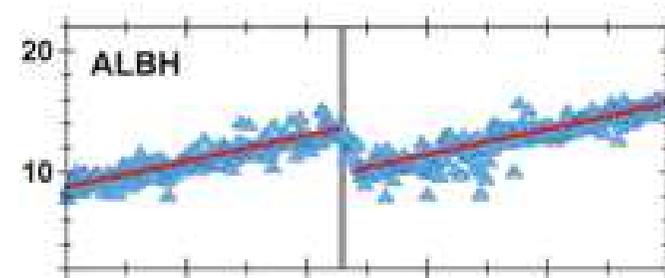
Каждая цветовая  
полоса – 56 мм.

# Исследование землетрясений по смещениям поверхности, регистрируемым GPS Северо-запад США и Канада

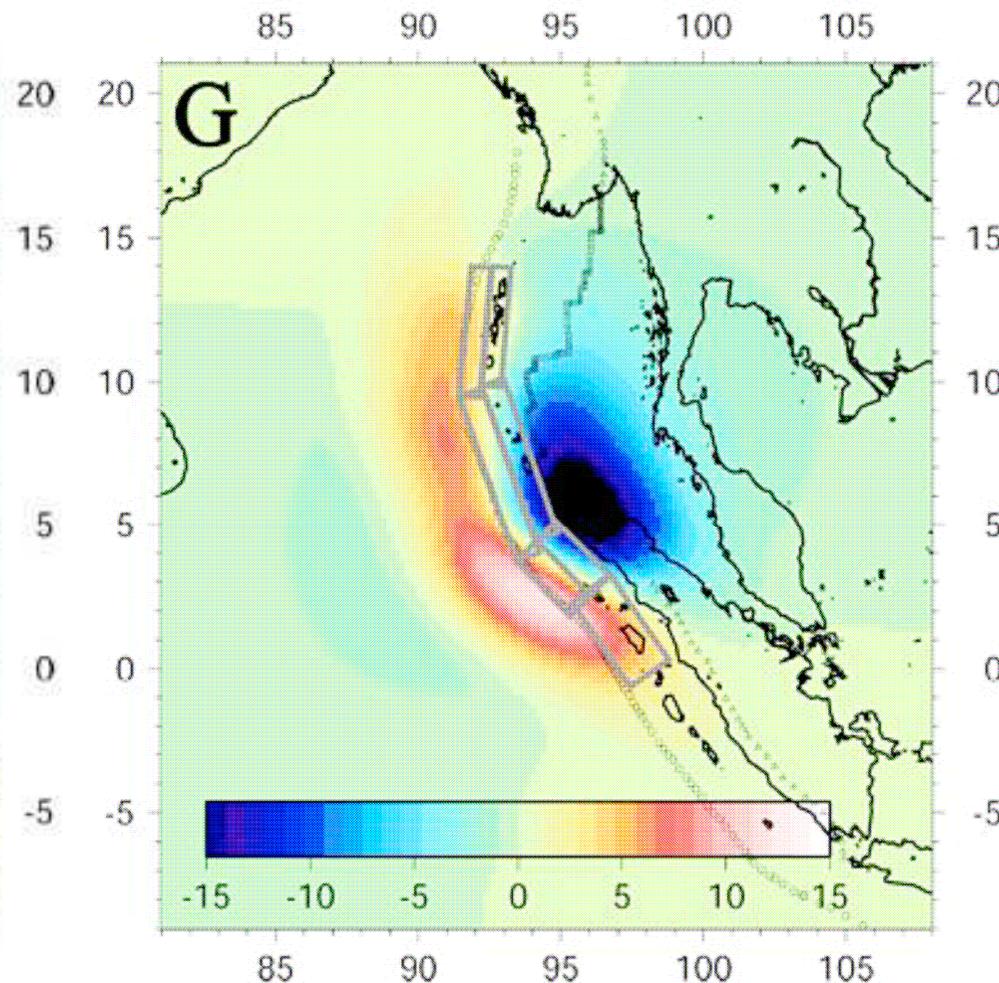
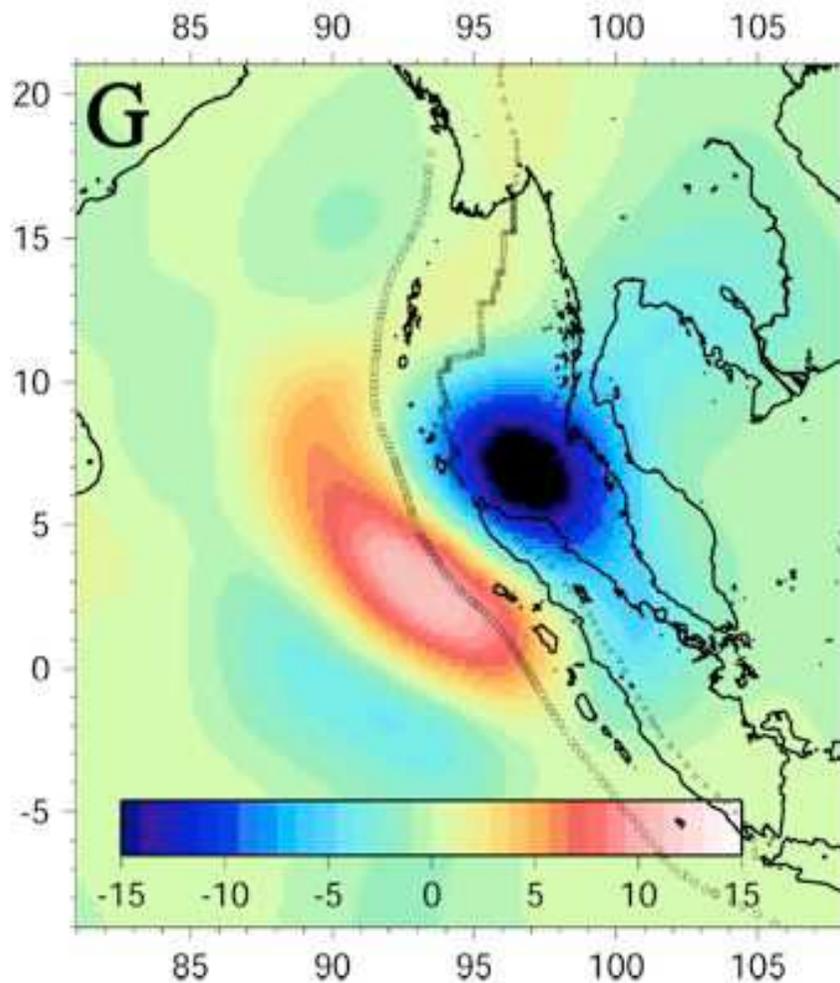




Чёрные стрелки – долговременные смещения  
Красные стрелки – слипы, резкие смещения  
при землетрясениях



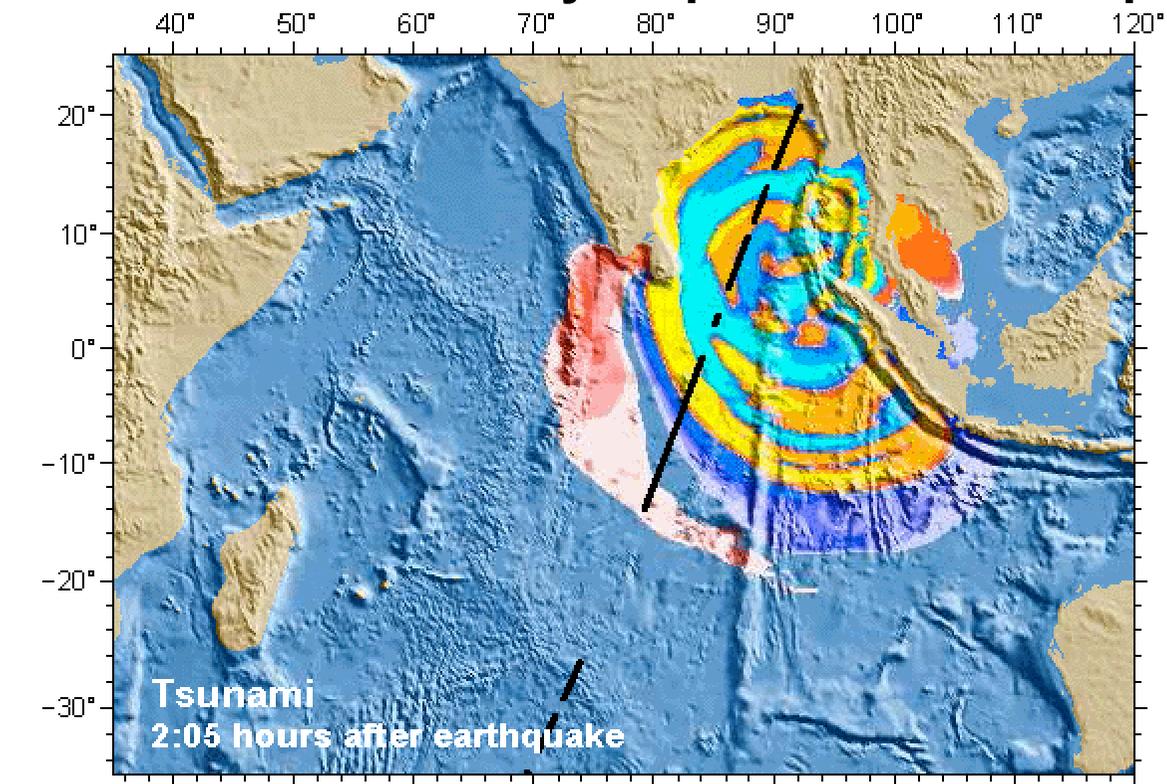
# Гравитационные спутниковые наблюдения при Суматранском землетрясении (Индонезия, 26 декабря 2004 года, M= 9.0)



GRACE наблюденная гравика  
аномалия ( $\pm 15 \mu\text{Gal}$ )

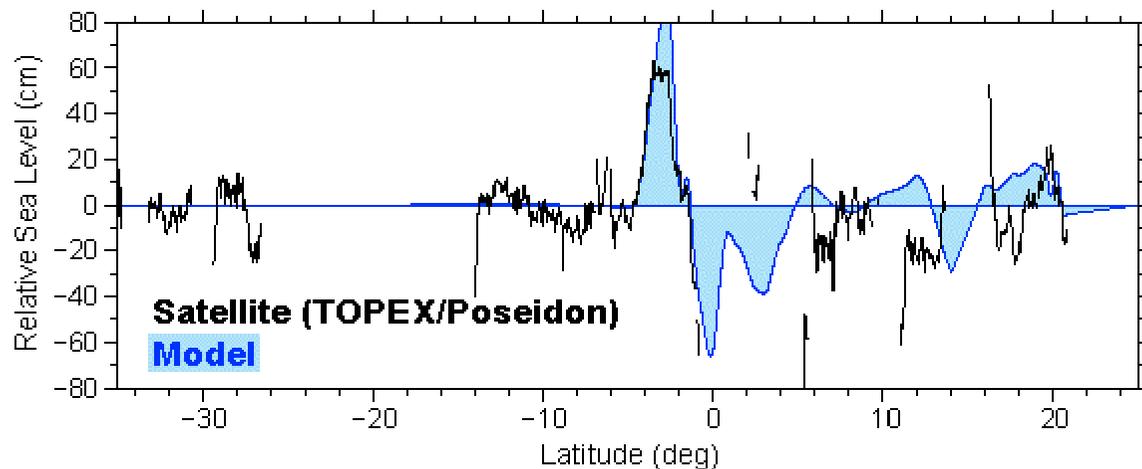
Модель

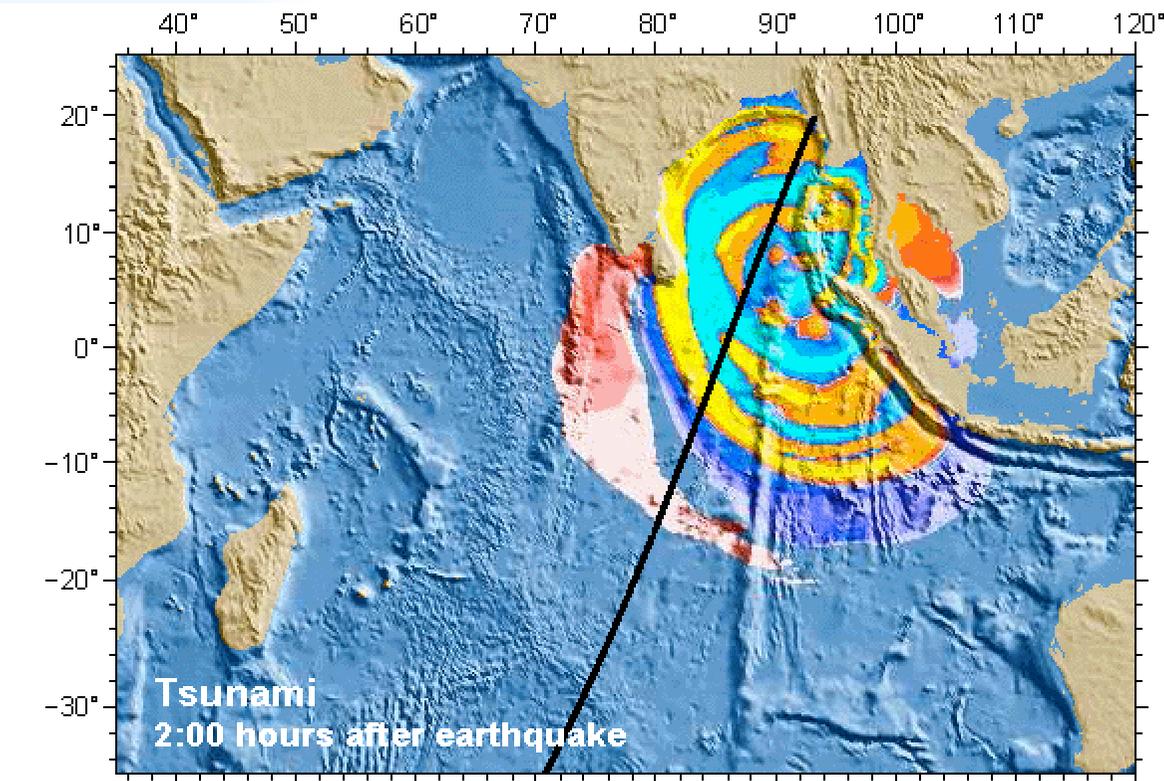
[Han et al., Science, 2006]



TOPEX/Poseidon

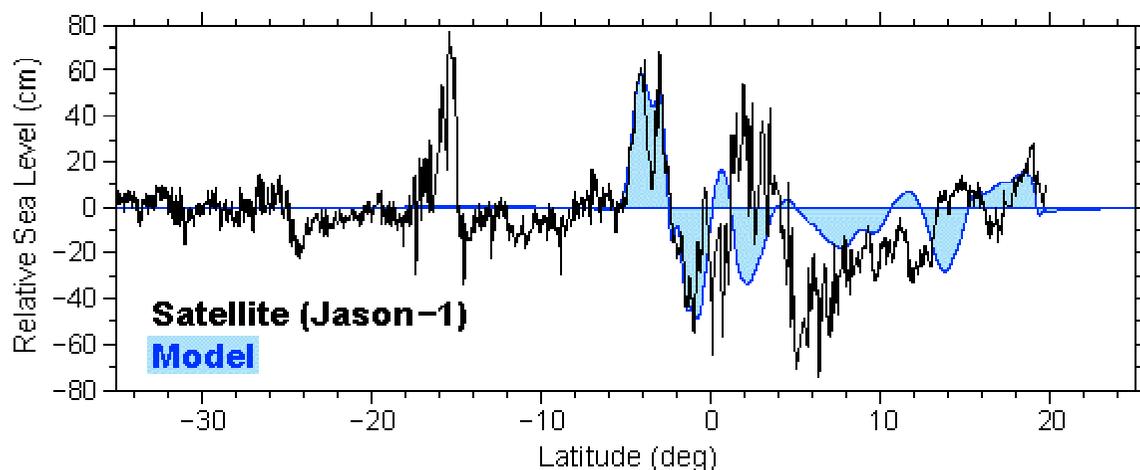
2:05 часа после  
землетрясения

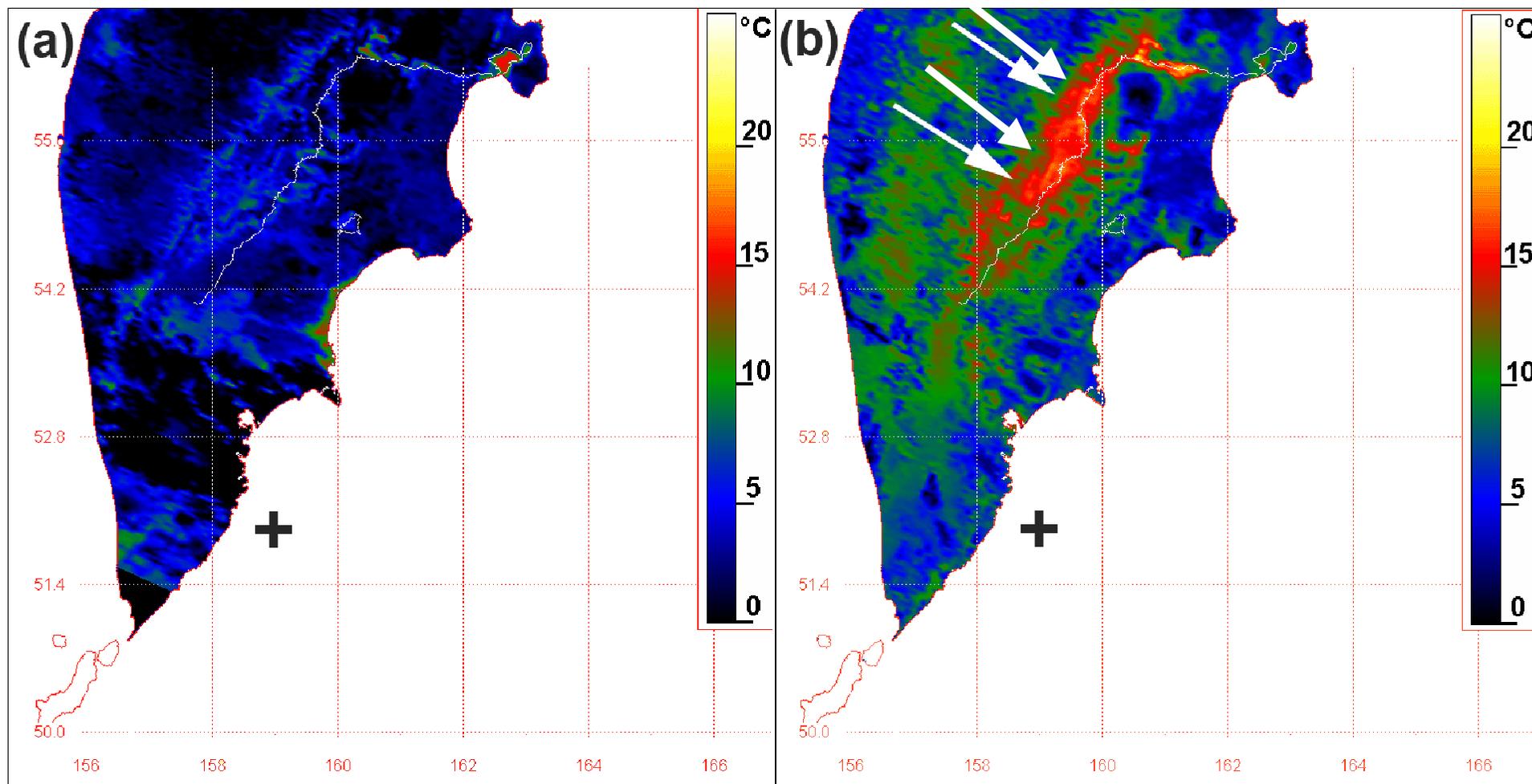




Jason-1

2:00 часа после  
землетрясения

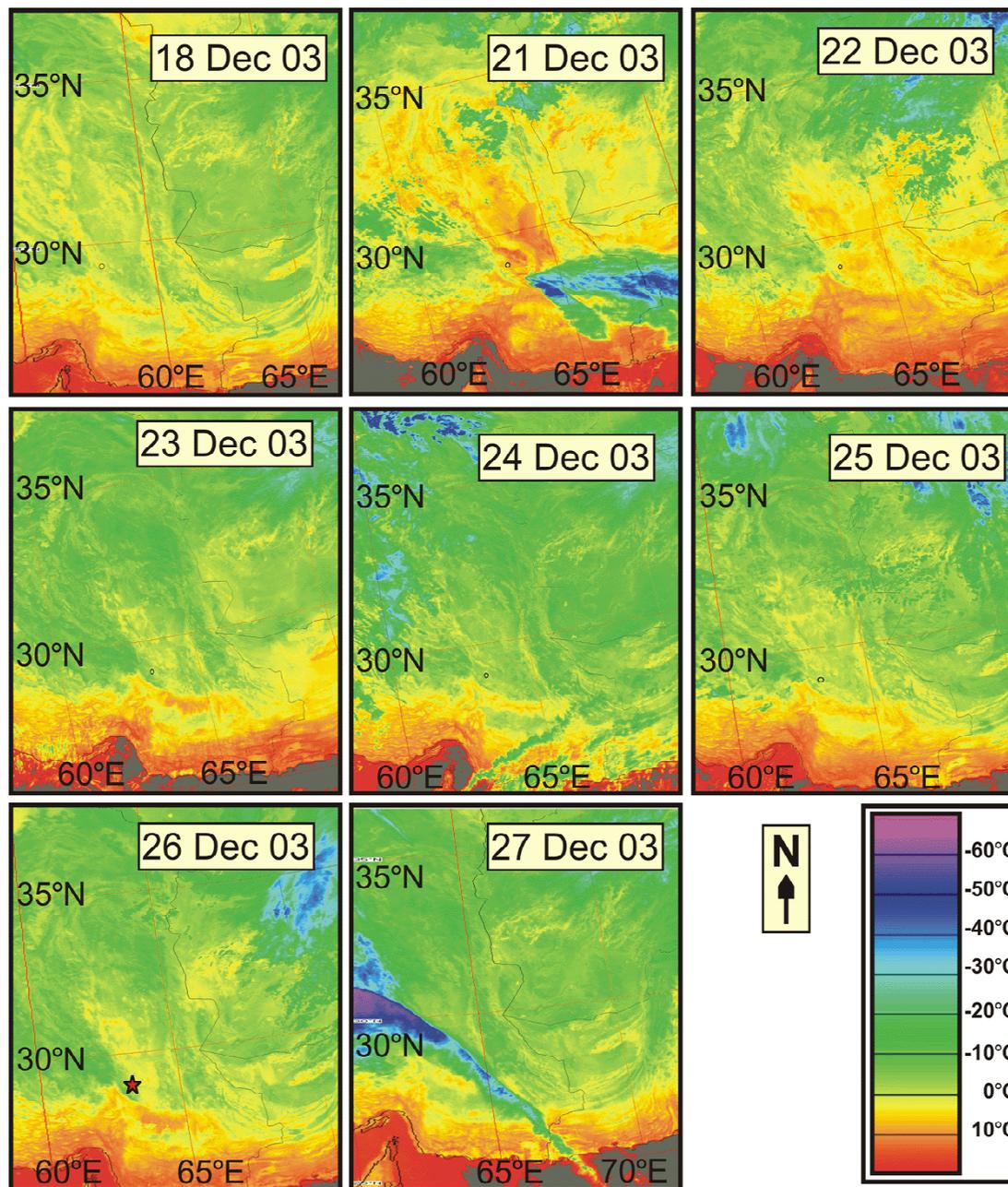




тепловой космический снимок 14.06.1996,  
за неделю до землетрясения  
фоновое состояние

тепловой космический снимок 22.06.1996,  
на следующий день после толчка  
**ТЕПЛОВАЯ АНОМАЛИЯ**

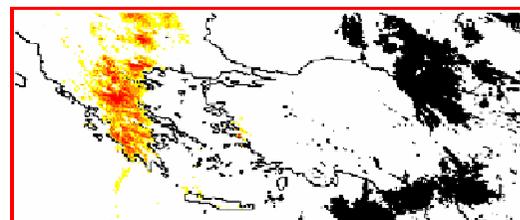
# Тепловые аномалии при землетрясении Бам, Иран (26 декабря 2003, M = 6.6)



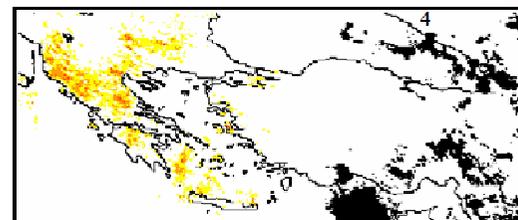
## Тепловые явления

Тепловые аномалии  
при Измитском  
землетрясении 17  
августа 1999,  $M=7.8$

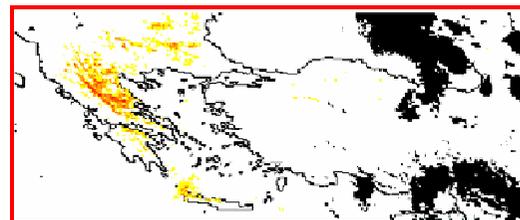
Рассчитаны  
статистические  
отличия от среднего  
многолетнего



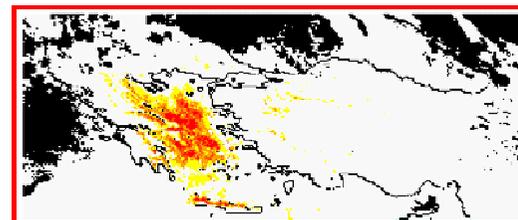
9 August 1999



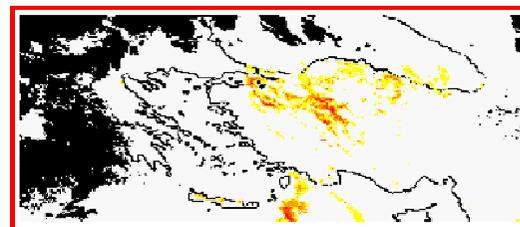
10 August 1999



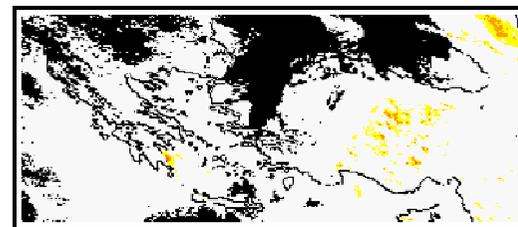
11 August 1999



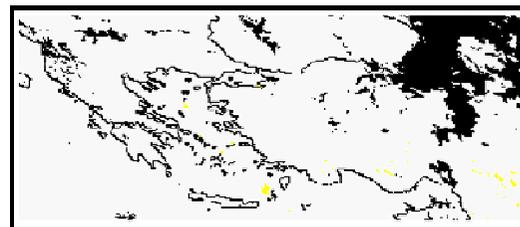
12 August 1999



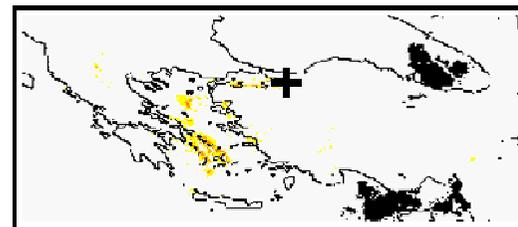
13 August 1999



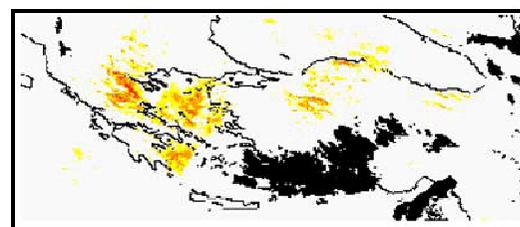
14 August 1999



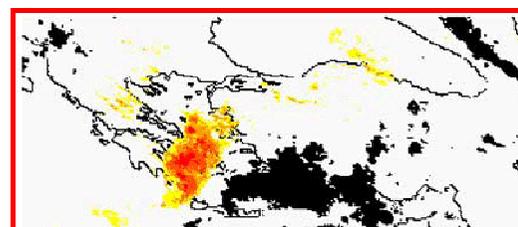
15 August 1999



16 August 1999



19 August 1999

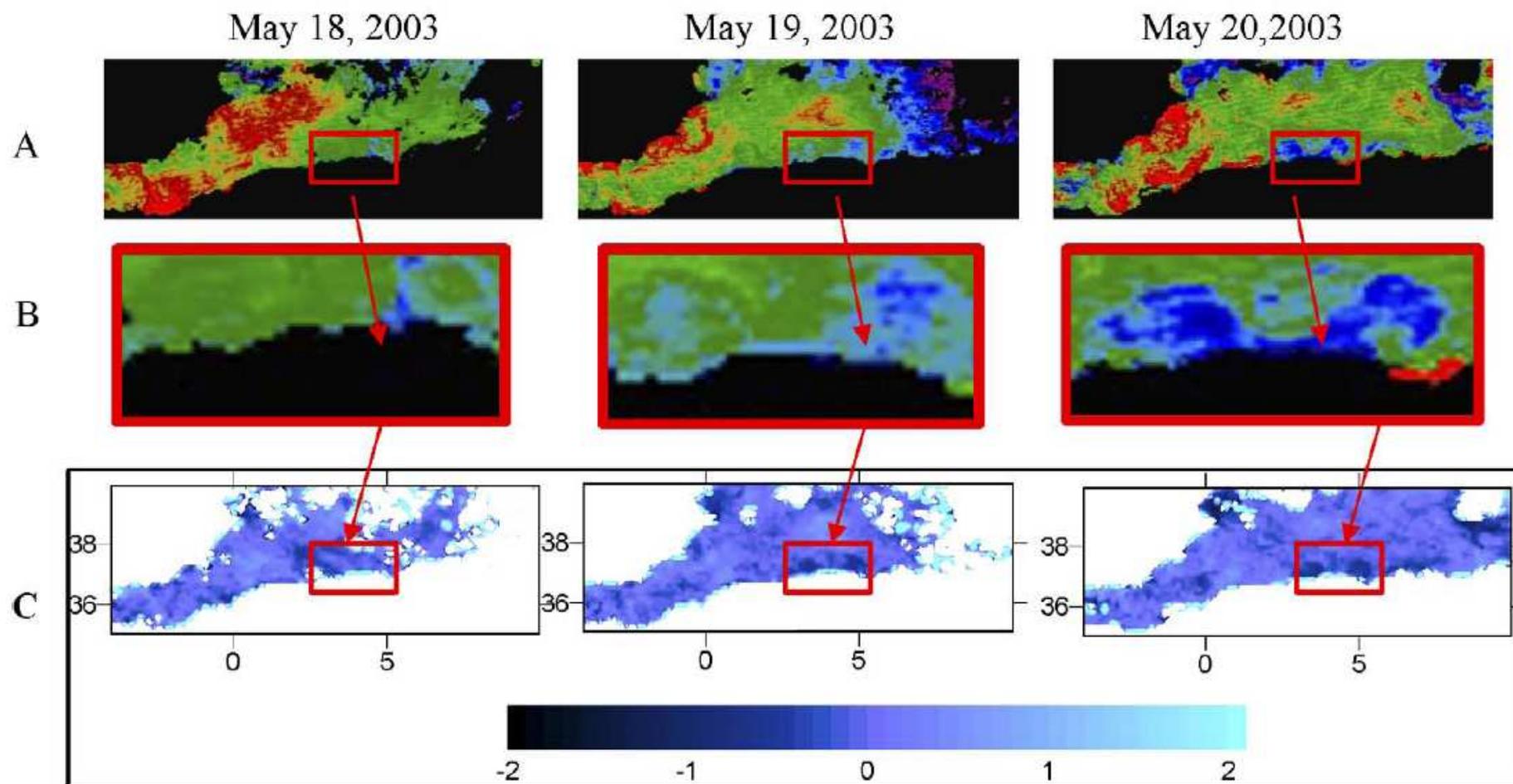


20 August 1999

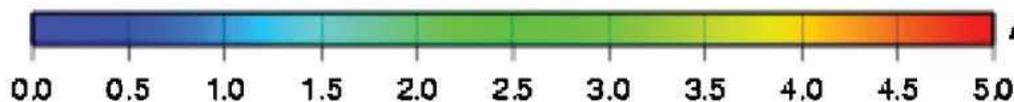
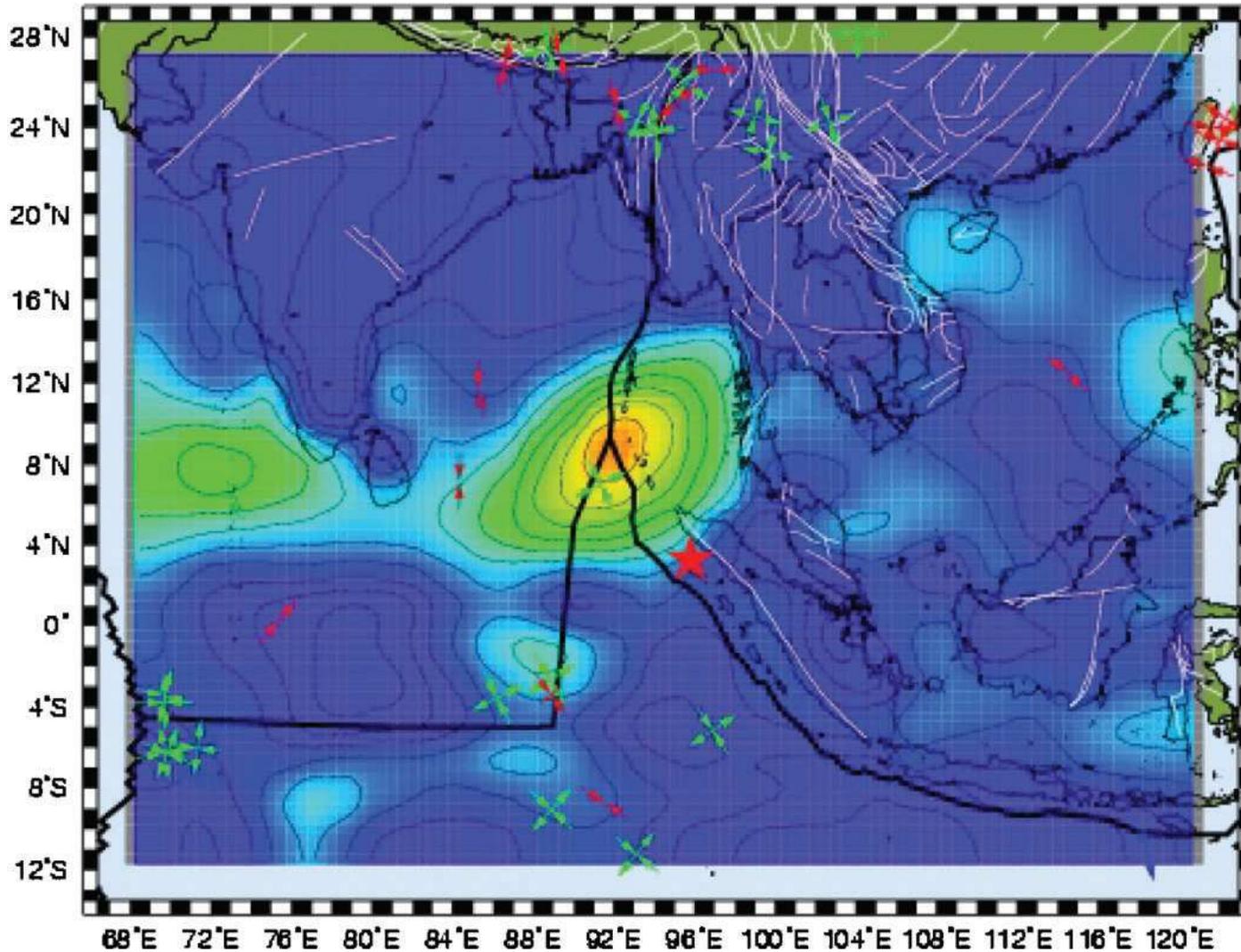
## Тепловая ИК



# Отрицательные тепловые аномалии на водной поверхности при землетрясении в Алжире (21 мая 2003, $M = 6.8$ )



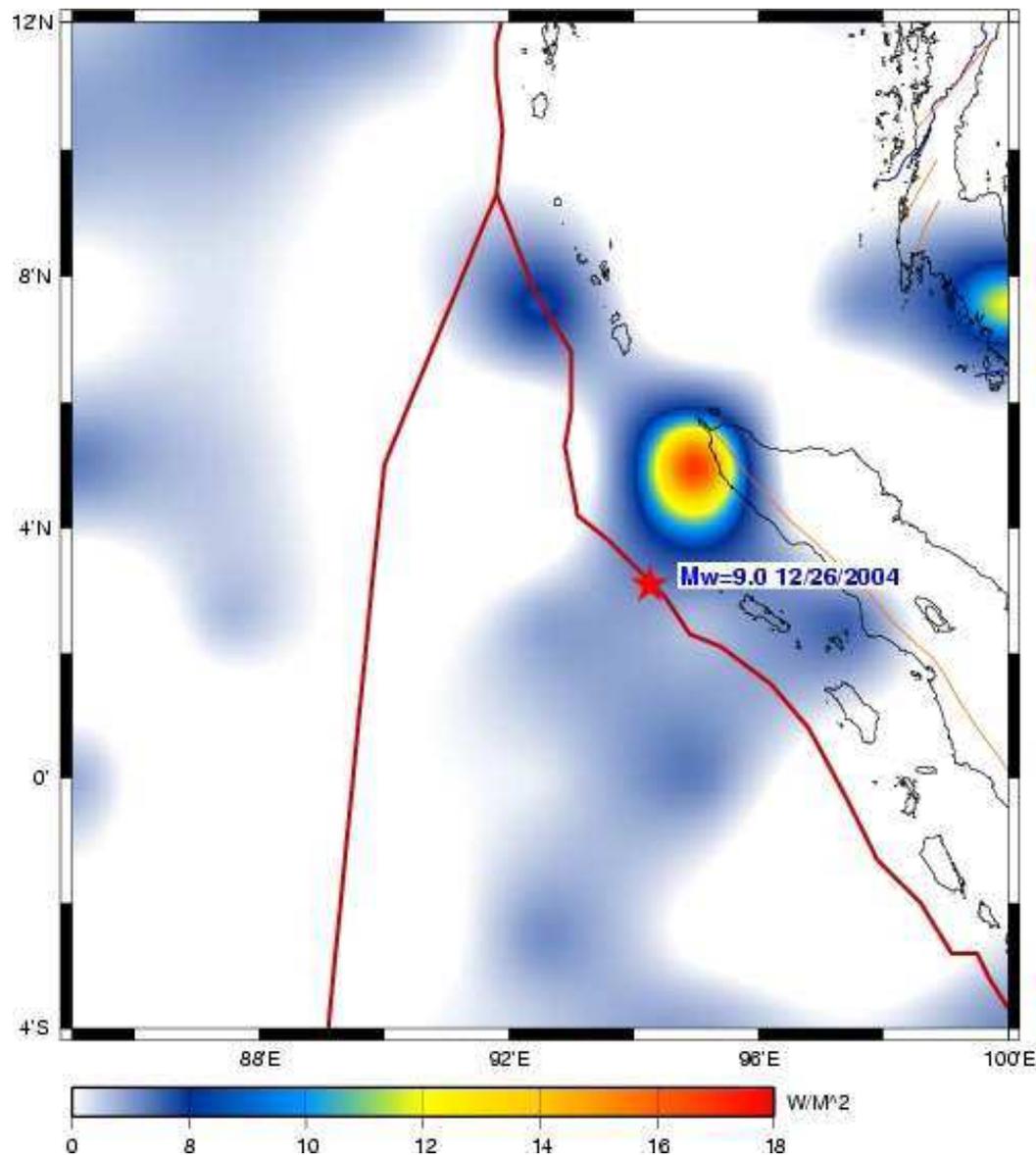
на испарение с водной поверхности при Суматранском землетрясении (Индонезия, 26 декабря 2004 года,  $M=9.0$ )



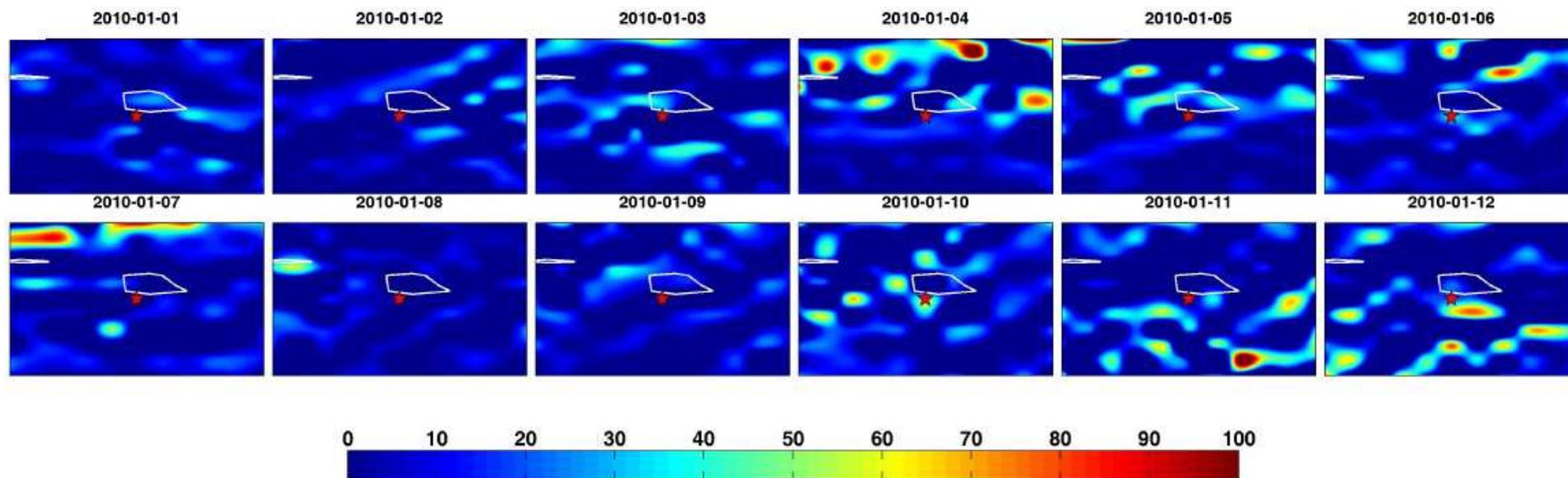
Аномалия 7 декабря 2004

# Земли при Суматранском землетрясении (Индонезия, 26 декабря 2004 года, M= 9.0)

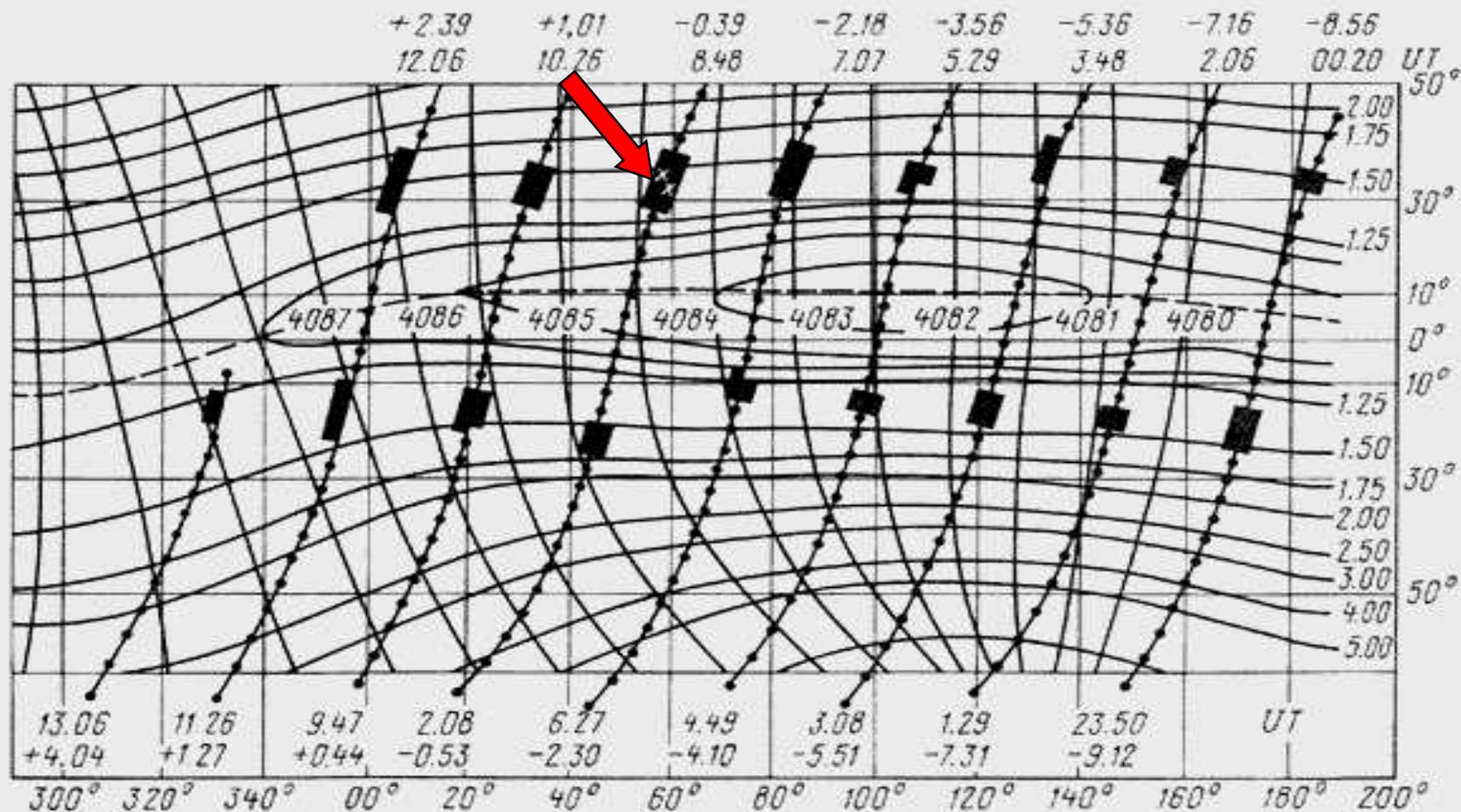
Карта уходящего теплового излучения Земли на ноябрь 2004



# Аномалии уходящего теплового излучения Земли при землетрясении на Гаити (12 января 2010, M= 7.0)



## Проекции витков орбит (4080...4087) спутника "Интеркосмос-19" в северном и южном полушариях при пролетах ИСЗ вблизи эпицентра землетрясения



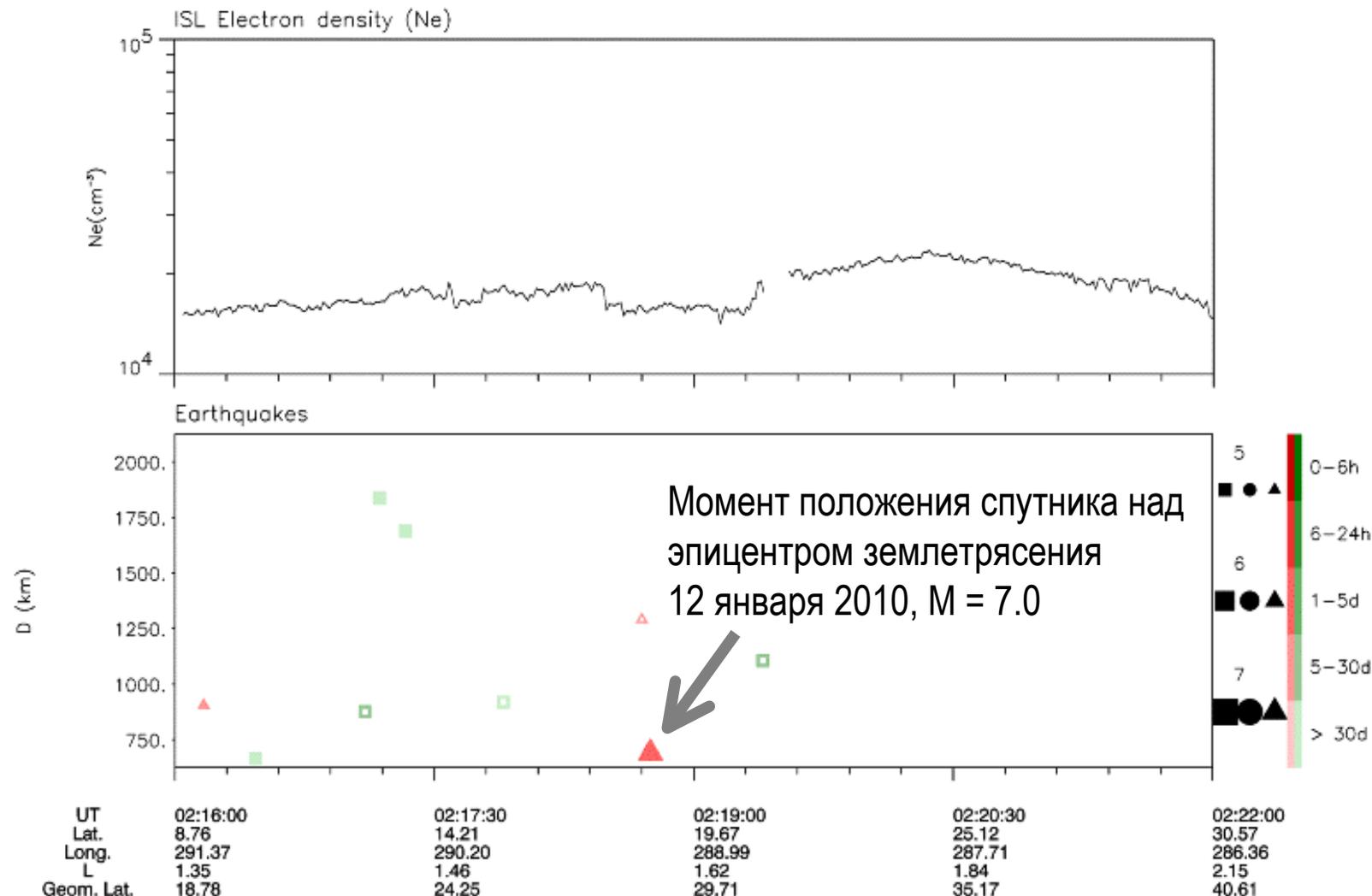
Проекции орбит ИСЗ над районом землетрясения и магнитосопреженном регионе с данными об увеличении излучения до и после главного удара.

# Наблюдения за плотностью электронов в ночное время на спутнике DEMETER за три дня до землетрясения на Гаити

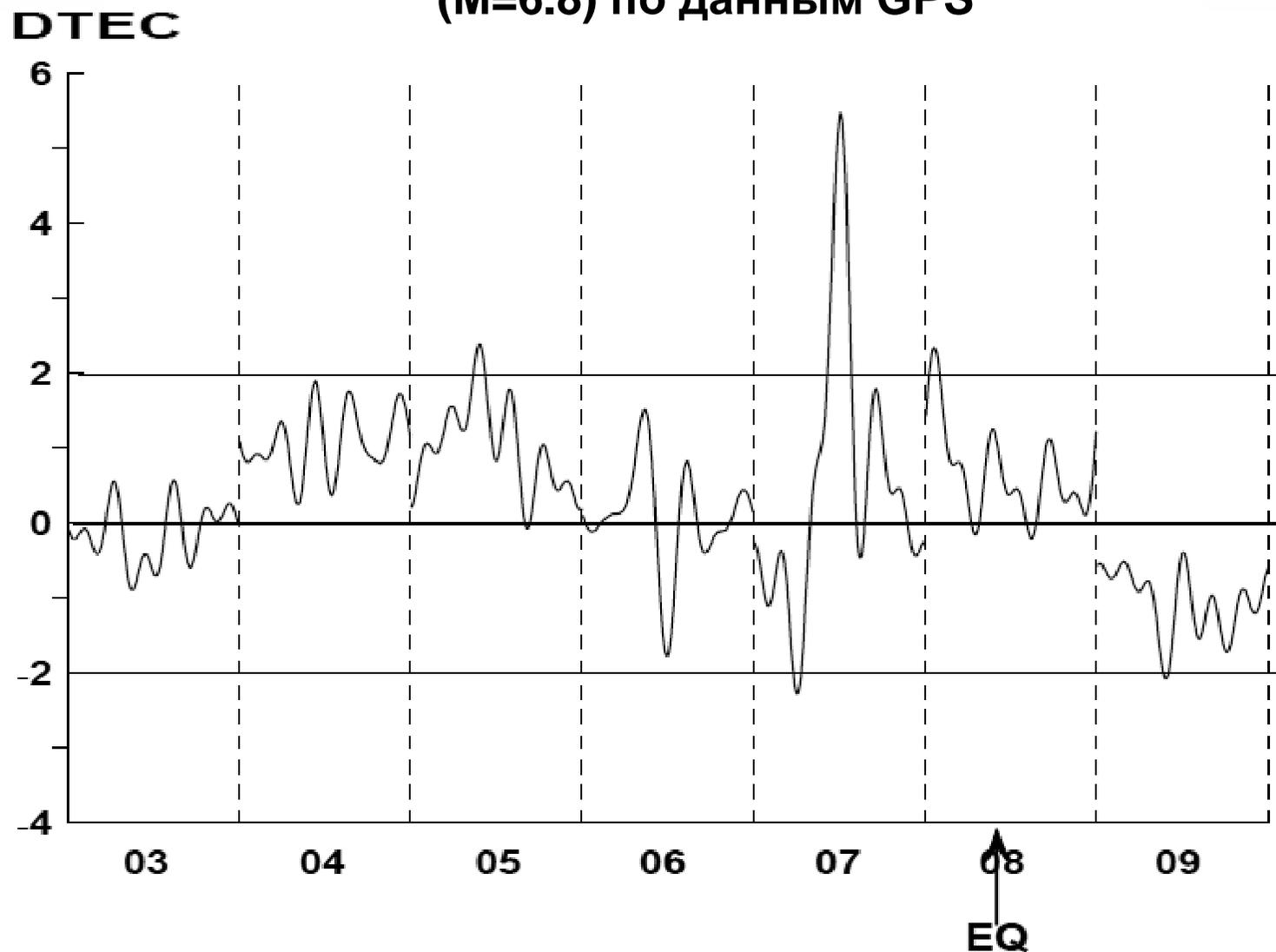
DEMETER

Date (y/m/d): 2010/01/09

Orbit: 29550\_1

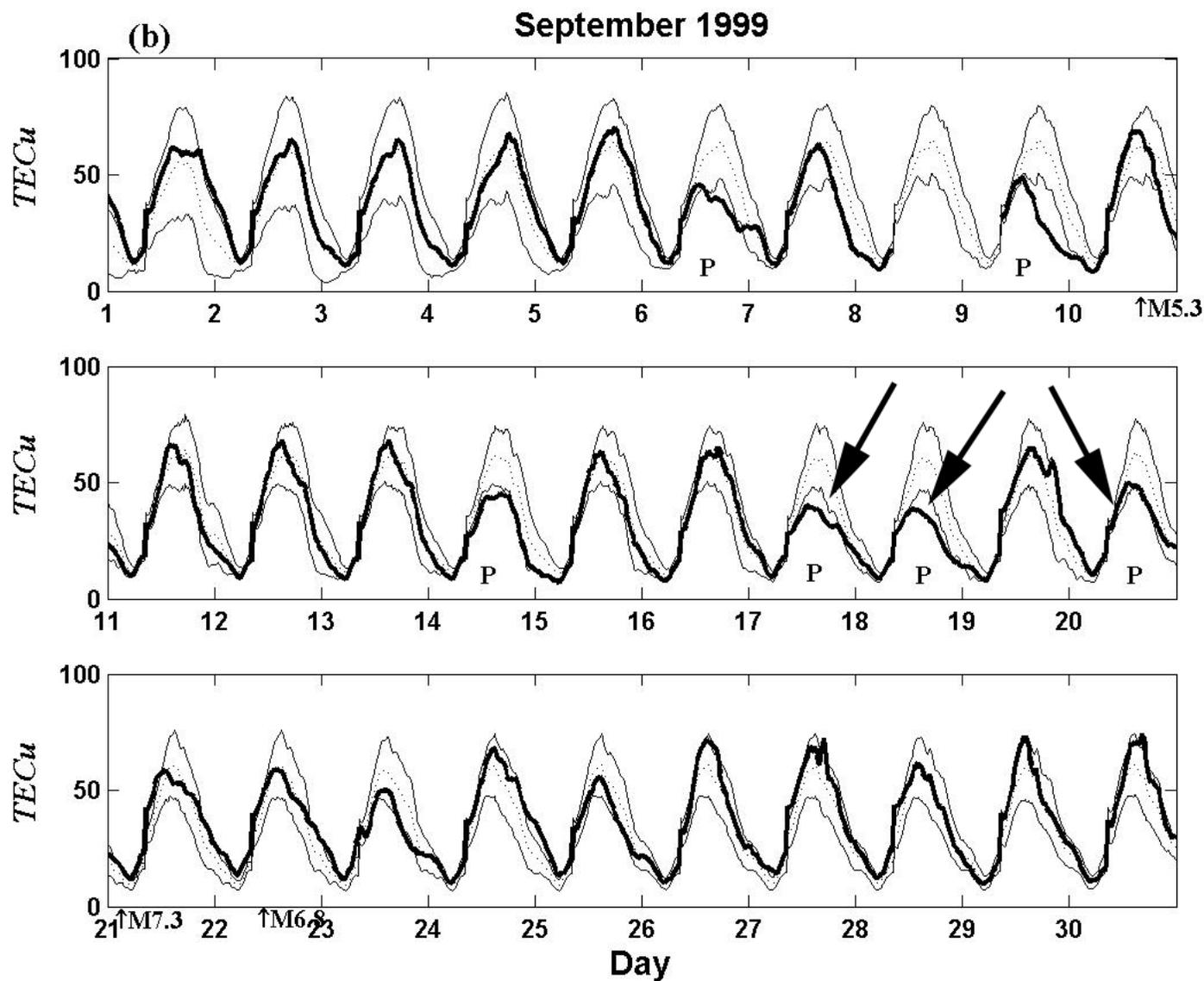


# Содержание электронов в ионосфере перед землетрясением в Греции 8 января 2006 г. (M=6.8) по данным GPS



Вариации DTEC за период 3-9 января 2006 г.

# Содержание электронов в ионосфере при землетрясении Чи-чи на Тайване 20 сентября 1999 г. (M=7.6) по данным GPS



## ВЫВОДЫ

1. Спутниковые методы исследования землетрясений бурно развиваются.
2. Наметилось отставание наземной базы сейсмологических исследований.
3. Необходимо развитие сетевых исследований по изучению процессов литосферно-атмосферно-ионосферных взаимодействий при землетрясениях. Наиболее подготовленная структура для таких исследований – Геофизическая служба РАН.
4. Пора переходить от научных исследований к созданию автоматизированных систем наблюдения за природными катастрофами. Первые элементы этих систем созданы в ИКИ РАН, Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Камчатка) и Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН (Сахалин).