

9 марта 2016 года



**Лекция
Прогноз извержений**

Геологическая часть лекций

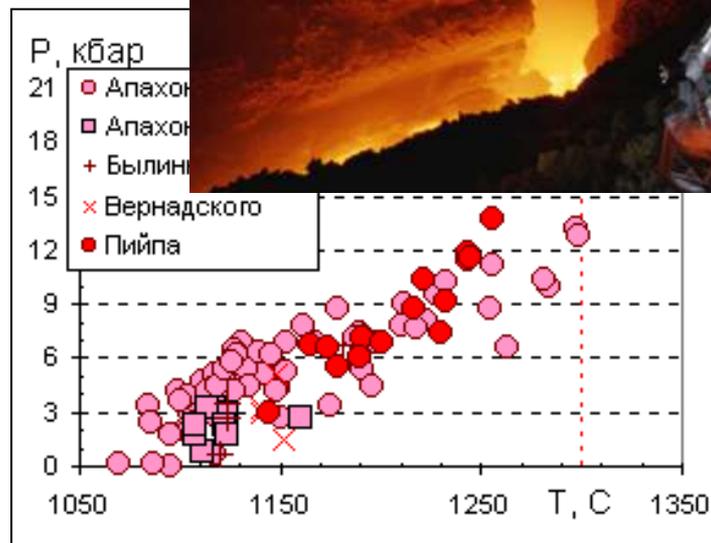
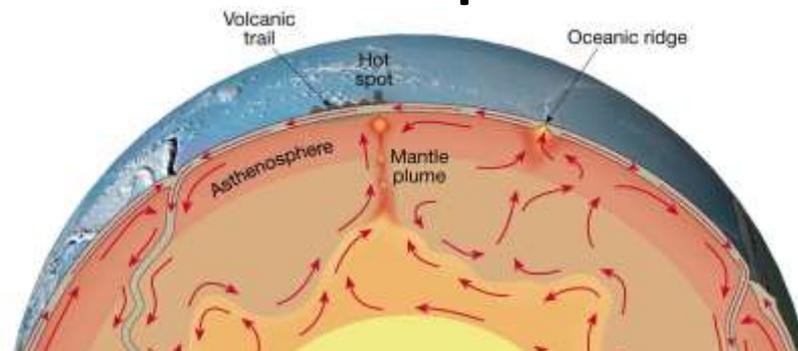
Строение Земли

геодинамика и вулканизм, типы извержений

Типы вулканов и морфология
вулканических образований, продукты
извержений

**Методы мониторинга и прогноза
извержений**

Методы реконструкции физико-
химических условий существования
магм



Словарик

Прогноз извержений – общее описание будущих вулканических событий, включающее приблизительную оценку времени, места и типа активности.

Прекурсор (предвестник) – геологическое событие, которое происходит до извержения и относится к процессу подготовки будущего извержения

Сейсмическая сеть – группа сейсмических станций, размещенных в данном районе с целью фиксации землетрясений (времени, места, силы, типа).

Сейсмическая станция – набор инструментов, включающих сейсмометр (закопан в землю), кабелей, батарей, передающих устройств и антенн.

Рой землетрясений – группа многих землетрясений сходного типа и силы, произошедших близко во времени и пространстве и без главного (выделяющегося по силе) сейсмического события.

2011 год

**С января по октябрь извергалось 56 вулканов.
4 вулкана извергалось в Европе:**



Май 2011, Исландия,
Гримсвотн



Июль 2011, Исландия, Катла



29 сентября 2011, Италия, Этна



Сентябрь 2011, Италия,
Стромболи

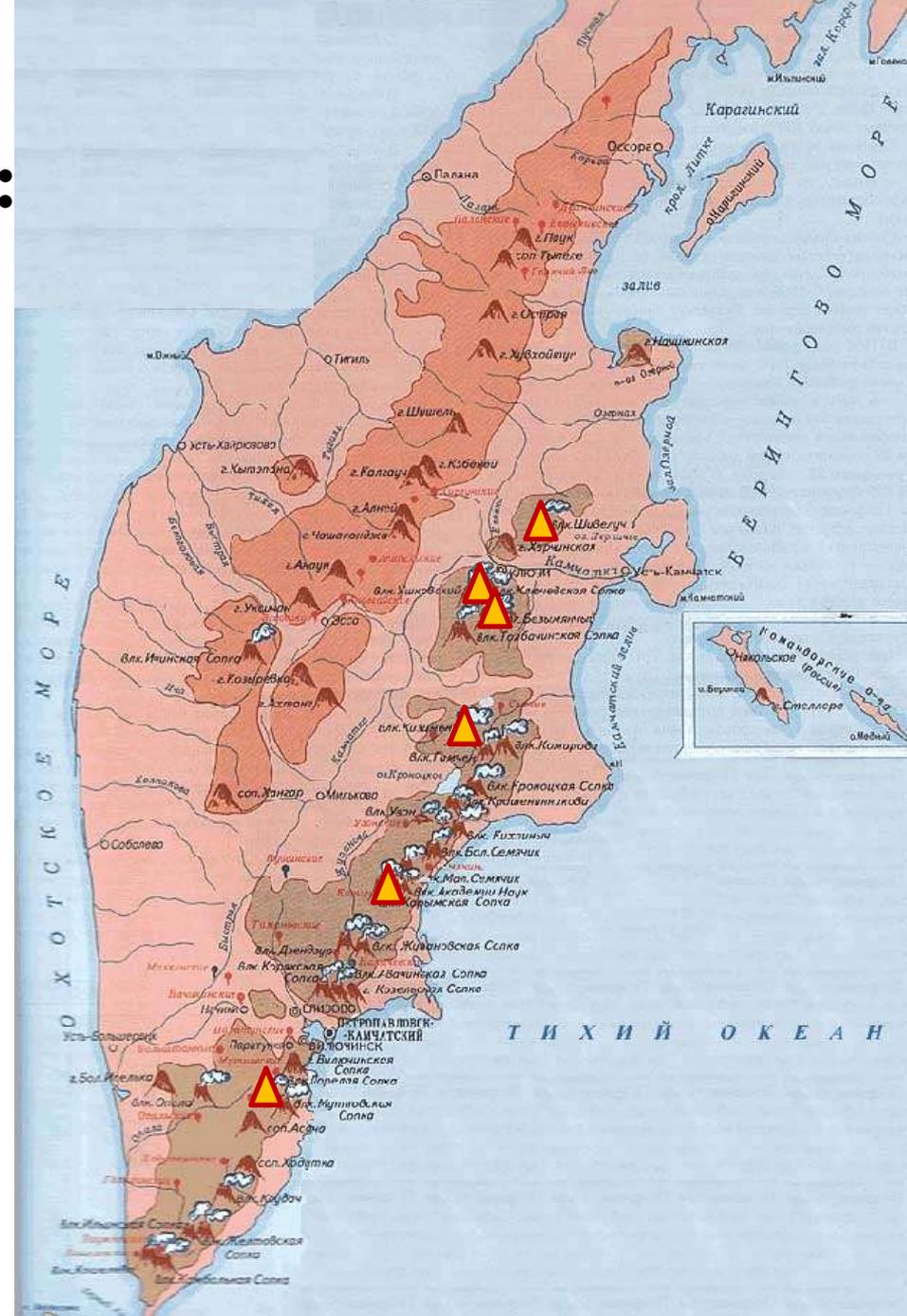
**Стромболи извергается
почти непрерывно более
2300 лет.**

**Этна извергается с
апреля 2010 года.**

2011 год - Россия

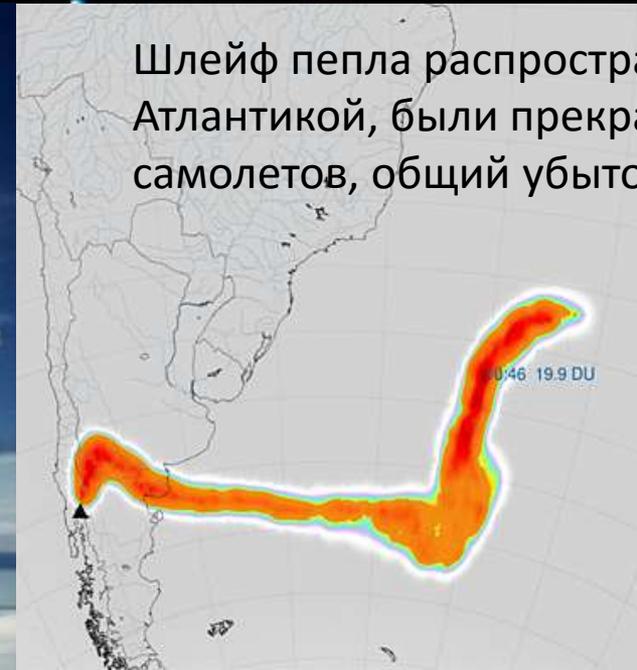
Извергалось 6 вулканов:

- Вулкан Ключевской
- Вулкан Безымянный
- Вулкан Шивелуч
- Вулкан Кизимен
- Вулкан Карымский
- Вулкан Горелый



Июль 2011, Кизимен

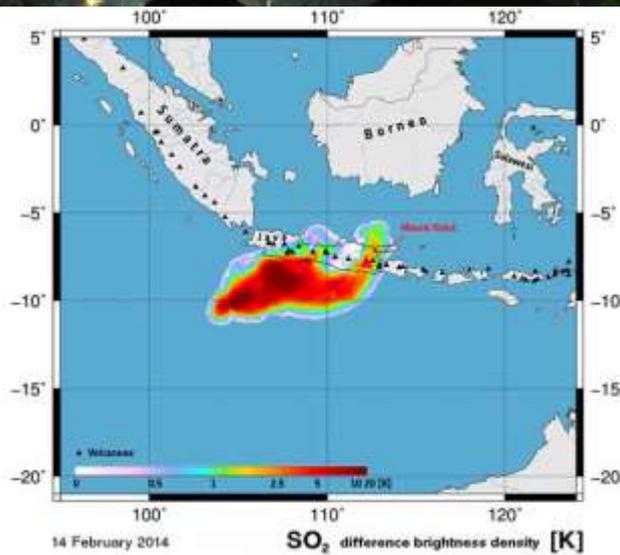
Вулкан Пуйэва (Чили), июнь 2011



Шлейф пепла распространился над Атлантикой, были прекращены полеты самолетов, общий убыток 2.5 млрд. \$

2014 год

извергалось 78 вулканов, 3 в Европе, 5 в России

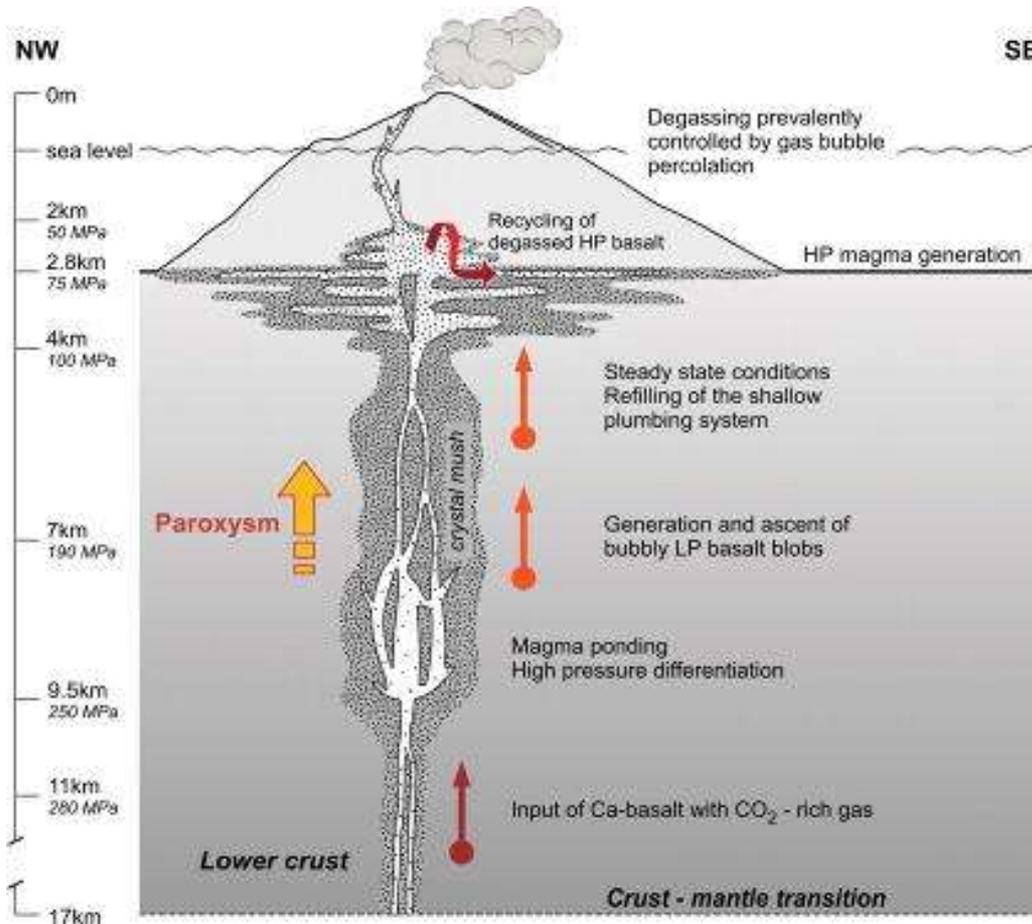


Вулкан Келуд (Индонезия) 14.02.2014

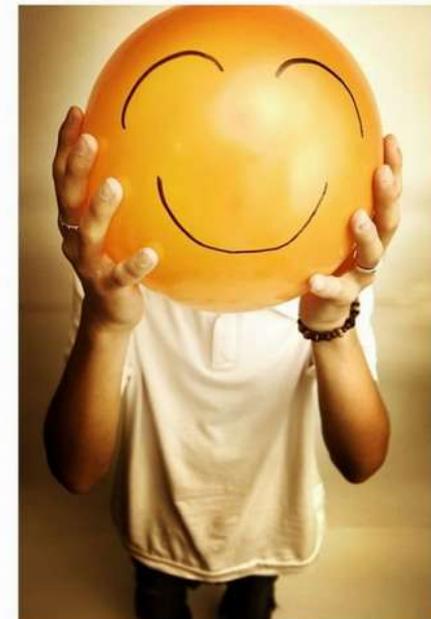
Причины извержений

**Основная причина извержений –
поступление свежей порции магмы**

- При подъеме свежей магмы:
1. Выделяются газы
 2. Нагревается грунт
 3. Происходит деформация поверхности
 4. Происходят сейсмические события



Metrich et al., 2009



Методы предсказания извержений

Сейсмические методы – наблюдения за землетрясениями с коротким и длинным периодами и за сейсмическим дрожанием.

Геохимические методы – наблюдения за выделением газов, преимущественно He, SO₂.

Геодезические методы – наблюдения за изменением поверхности

Физические методы – наблюдения за изменением температуры источников, почвы, воды в озерах и т.д., гравиметрия, магнитометрия

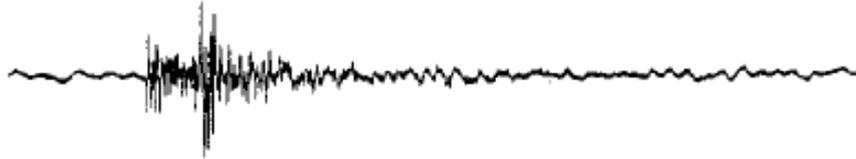
Сейсмические методы

Прекурсоры (предвестники) – события предшествующее извержению.

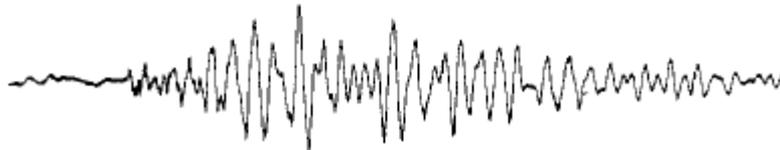
Перед извержением обычны рои землетрясений с небольшой магнитудой ($M < 5$). Повышается доля землетрясений с высокочастотными сейсмическими волнами.

Перед извержением появляется усиливается вулканический тремор (сейсмическое дрожание). Высокочастотная составляющая также возрастает.

Типы вулканических землетрясений



Высокочастотное землетрясение
(характерны 5-15 КHz)



Низкочастотное землетрясение
(характерны 1-5 КHz)



Вулканический тремор
(характерны 1-5 КHz)
Длится от минуты до многих
дней

По [Power et al., 1994]

Все частоты относятся к
акустическому диапазону, т.е.
различимы человеком и животными

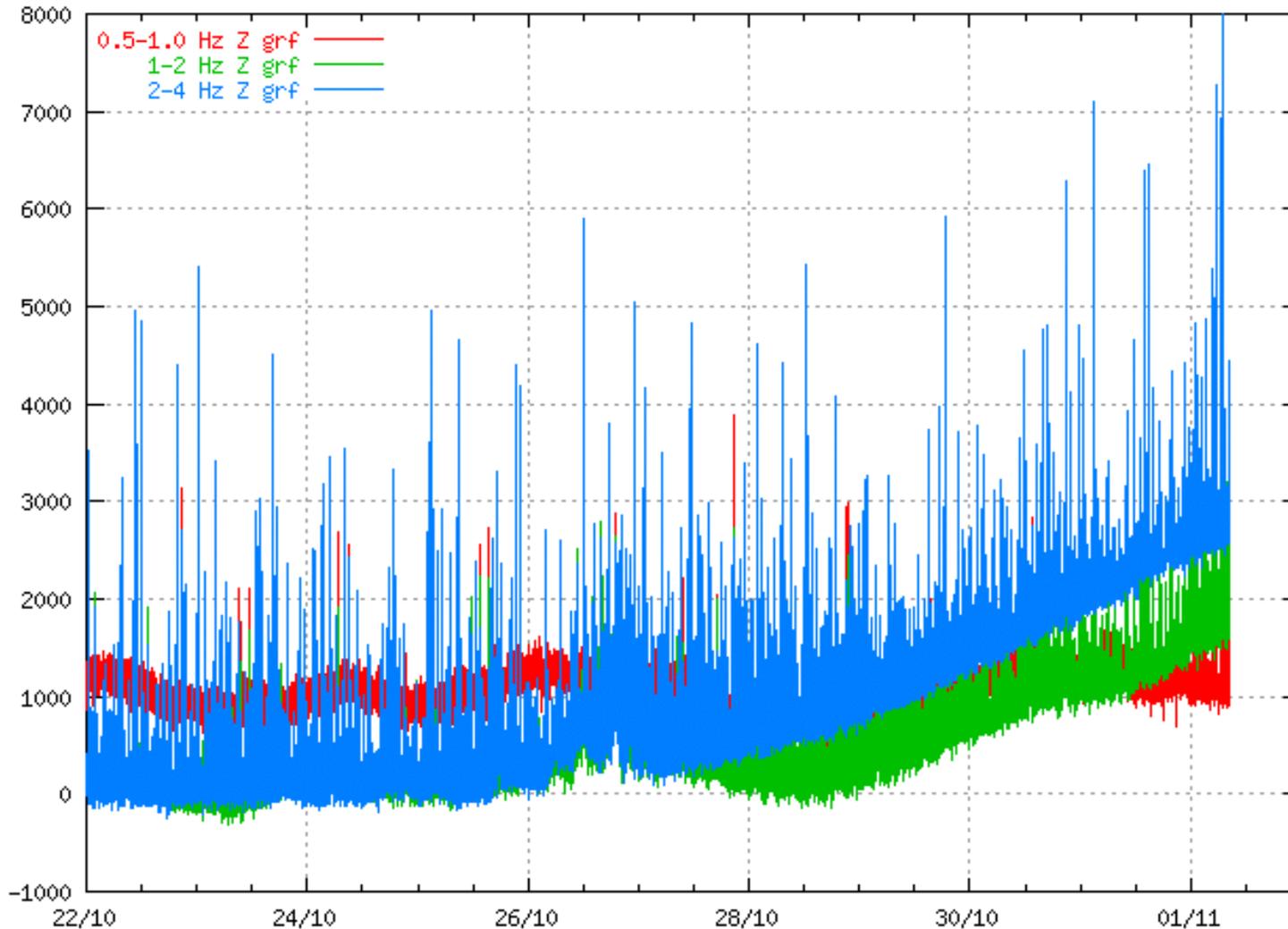
Землетрясения перед извержением



По [McNutt, 1999]

Сейсмические методы

Grimsfjall (grf)

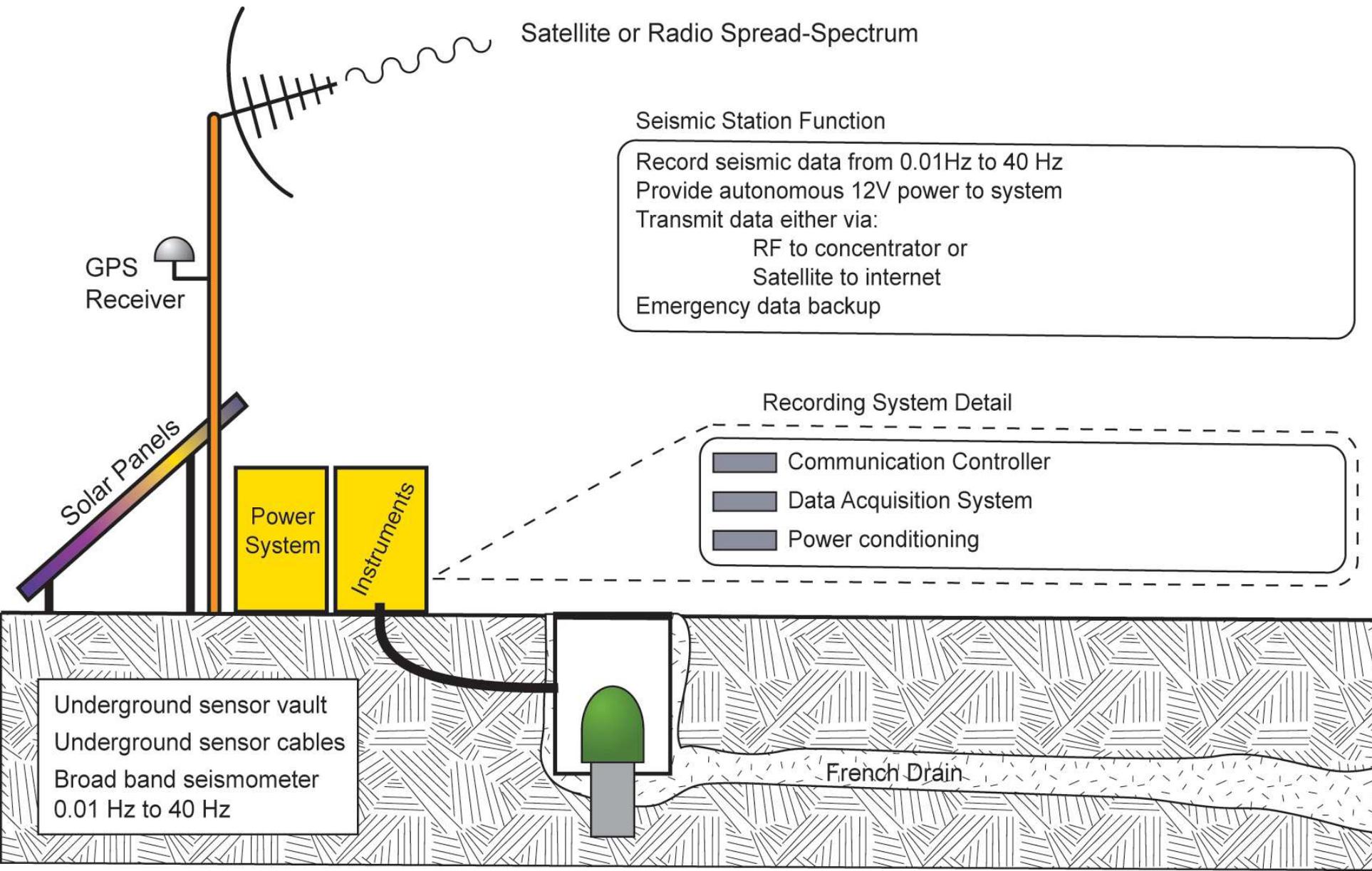


Сейсмическое дрожание перед извержением 2004 г. Гримсвотн, Исландия
Один из самых явных признаков близкого начала извержения

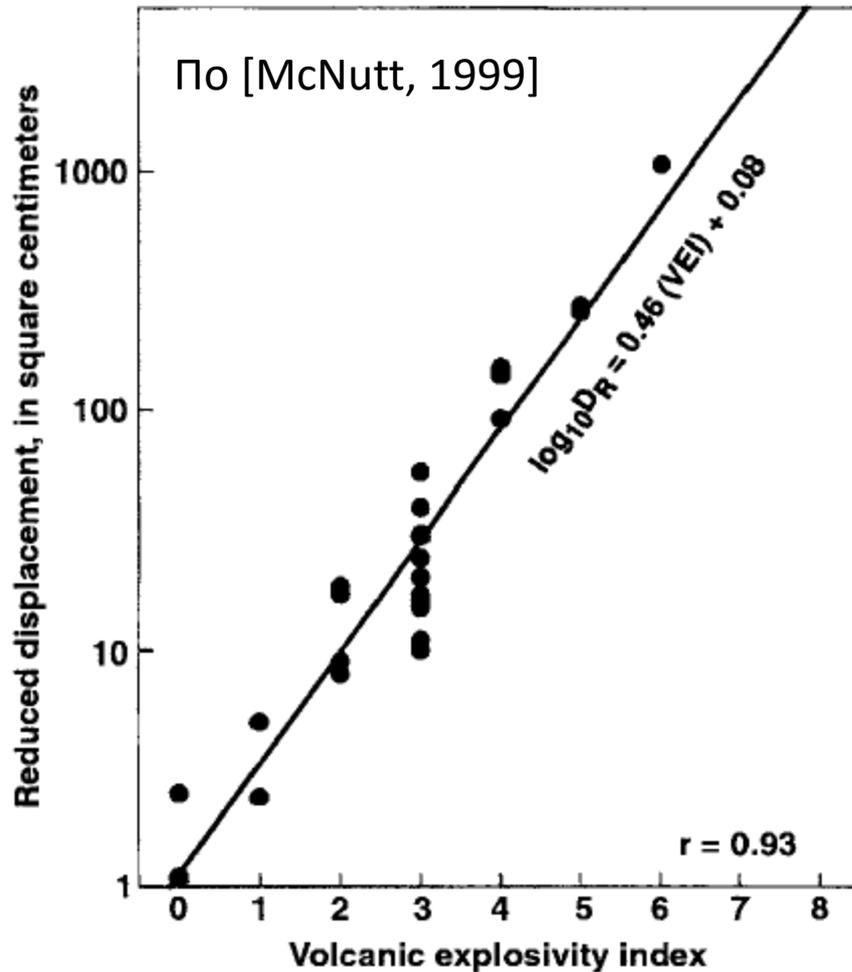
Сейсмостанции на вулканах



Схема работы сейсмостанции на вулкане



Оценка силы извержения по вулканическому тремору



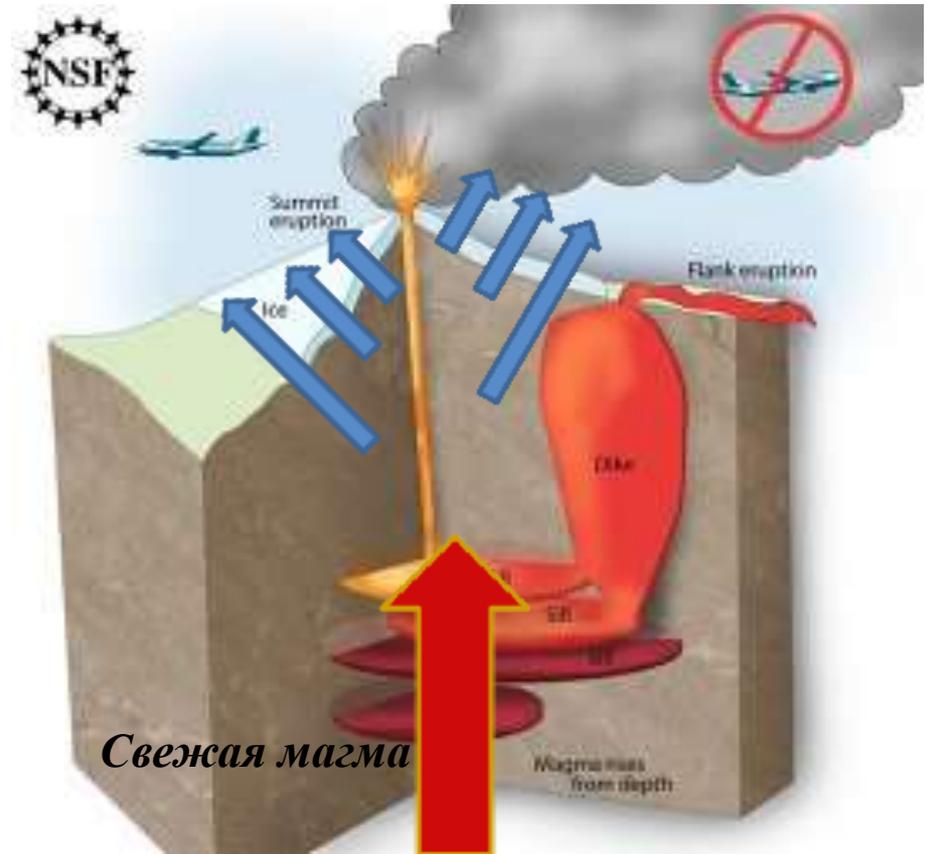
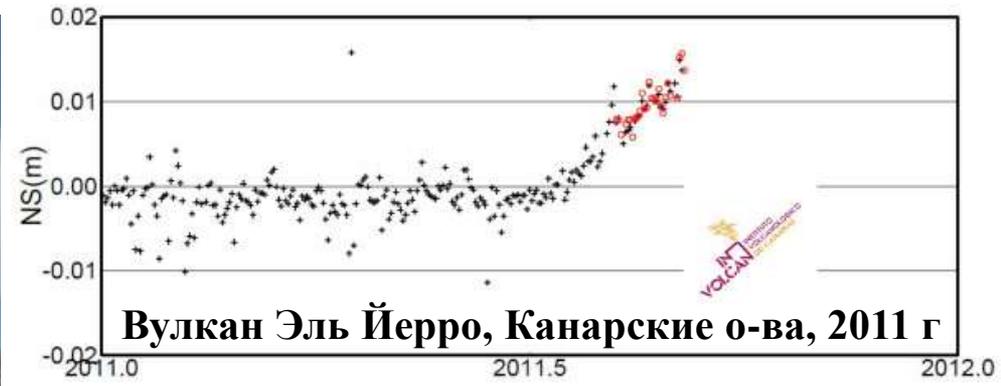
Для Р- и S-волн
Reduced Displacement
(стесненное смещение):

$$D_R = \frac{A \cdot r}{2\sqrt{2}M}$$

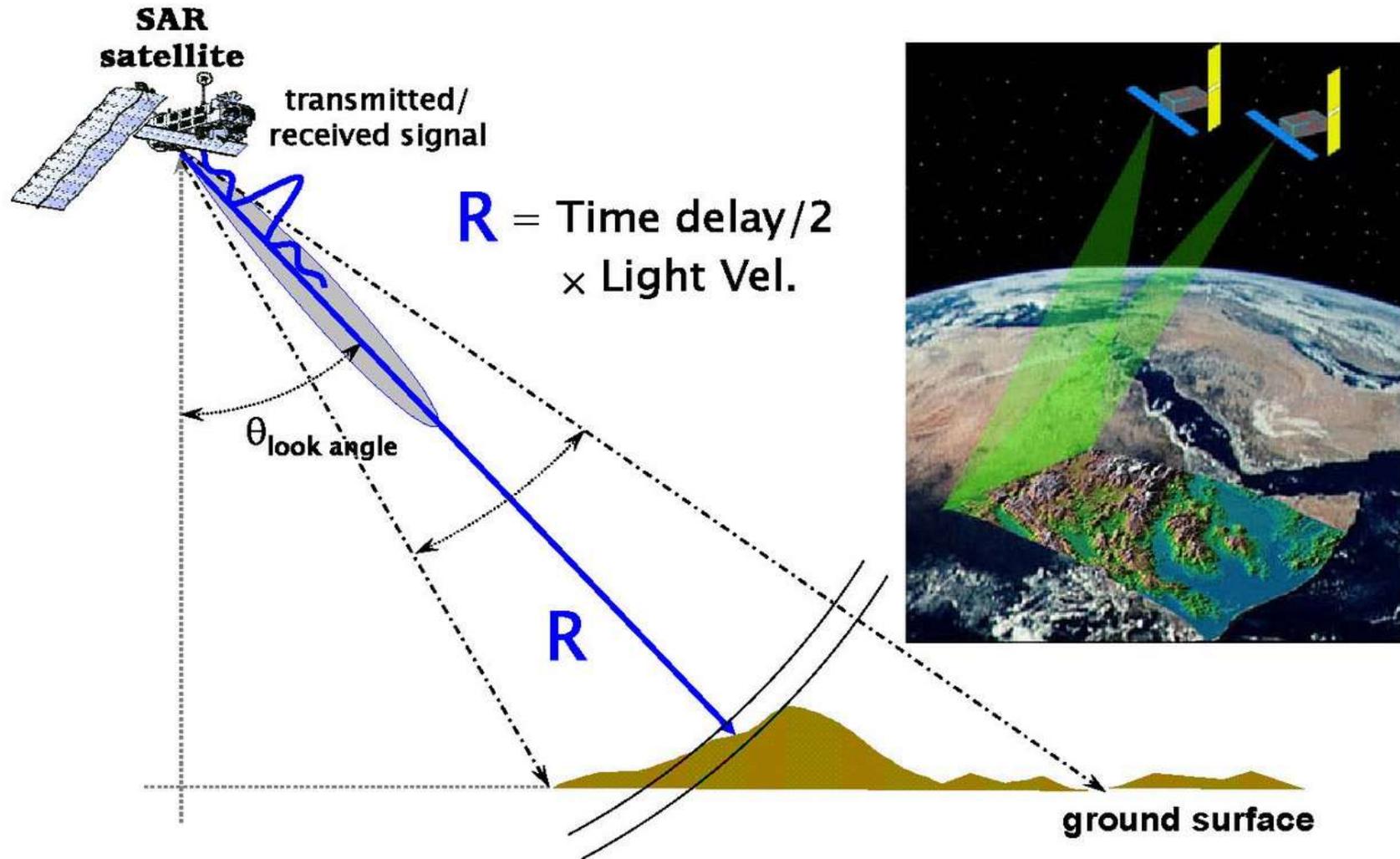
где
А – амплитуда колебаний
r - расстояние до источника
М – коррекция на масштабирование сейсмометра

$$\log_{10}(D_R) = 0.46(VEI) + 0.08.$$

Геодезические методы мониторинга

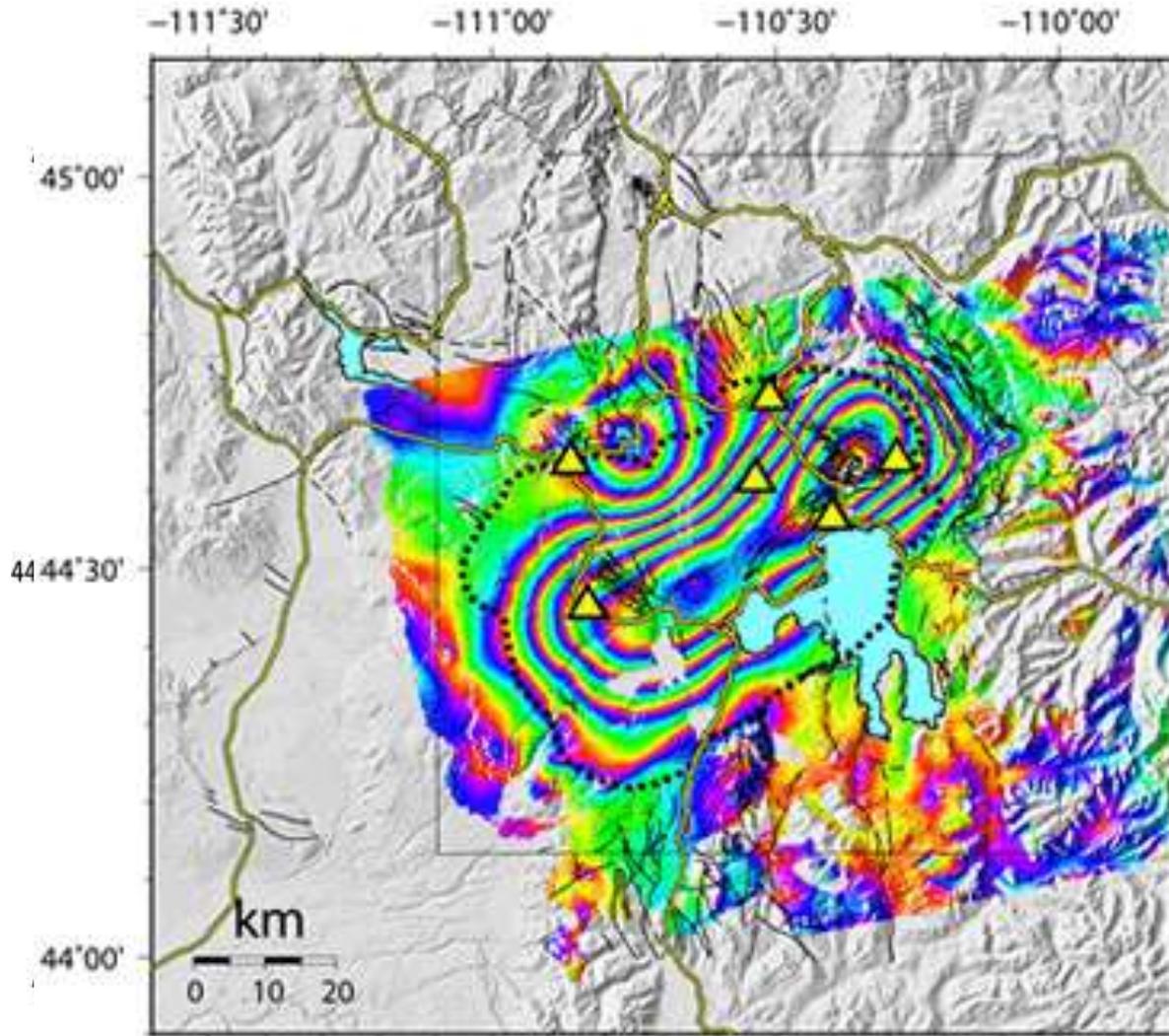


Система INSAR – Interferometry Synthetic Aperture Radar

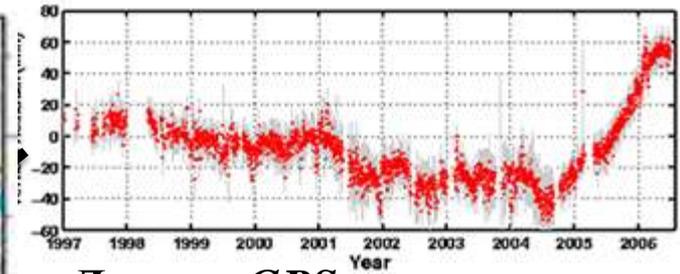


Используются данные Европейского космического агентства

Йеллоустонская кальдера, США



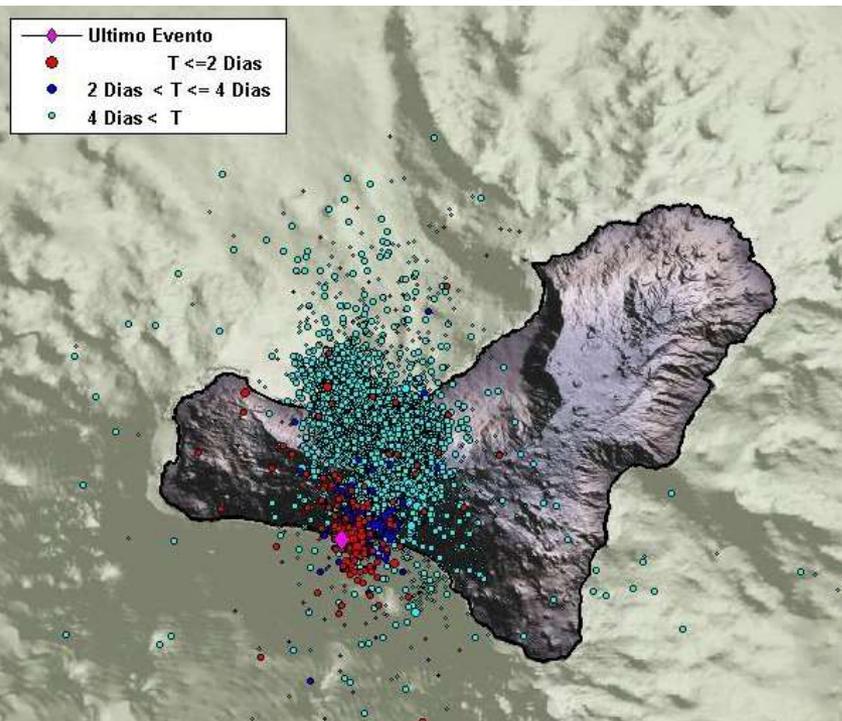
Данные INSAR за 2004-2006 г.



Данные GPS станции



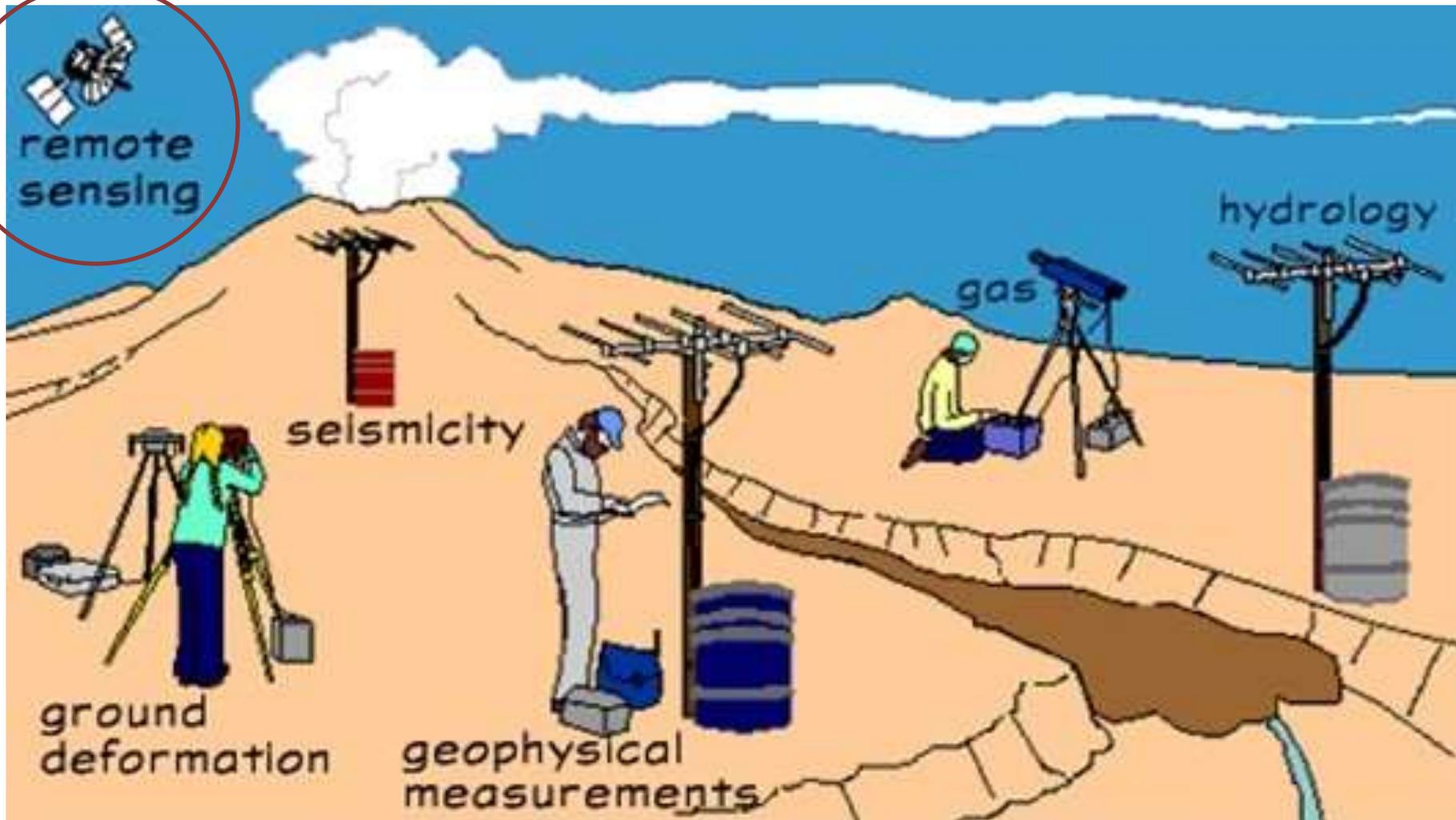
Эль Йерро, Канарские о-ва, 2011



Сейсмическая активность на 1 октября 2011 г. За 2.5 месяца – 8900 сейсмических событий, 55 землетрясений, глубина гипоцентров была около 20 км, 10 октября – около 10 км.

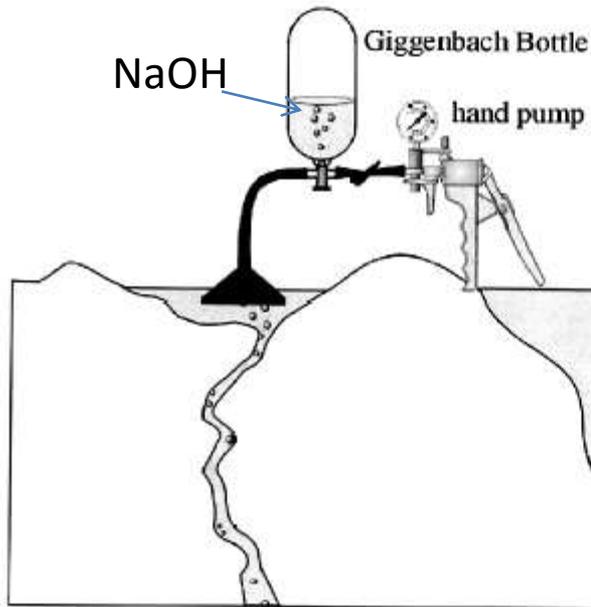


Надежный прогноз извержений должен быть основан на разных методах

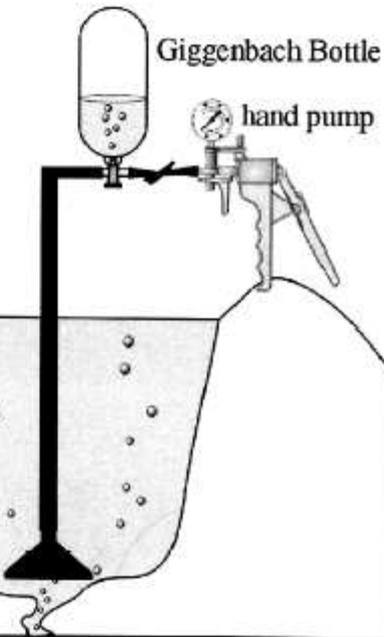


Анализ газов в горячих источниках

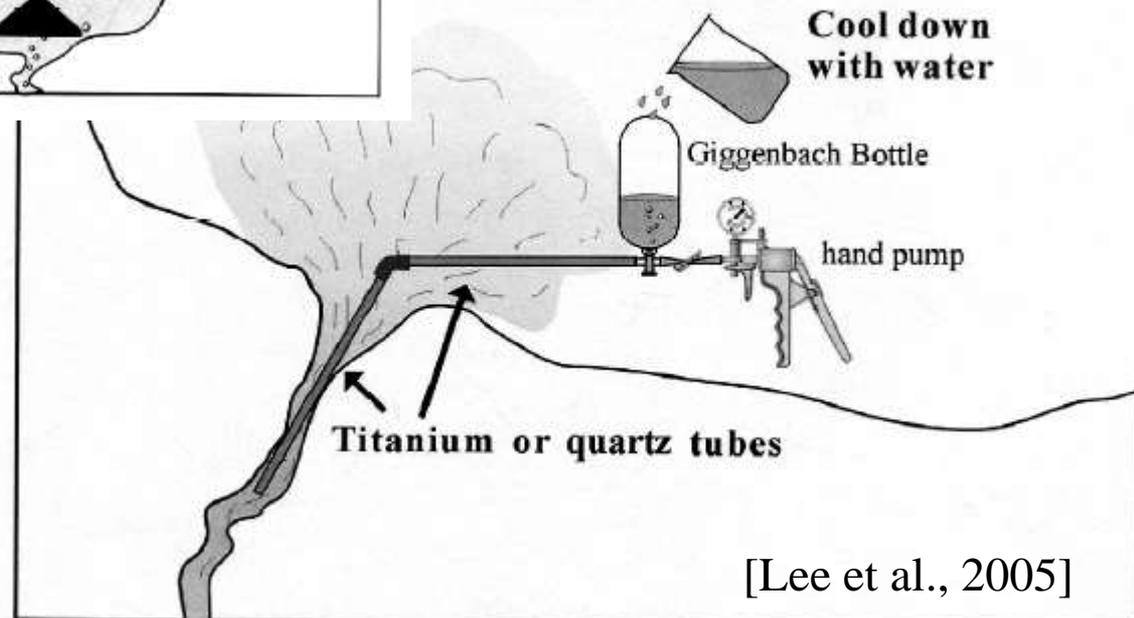
Shallow pools



Deep pools



Бутылка Гиггенбаха
заполняется щелочью и
связывает все кислые газы
(CO_2 , HCl , SO_2). Остальные
газы (H_2 , CO , He)
накапливаются в верхней
части бутылки.



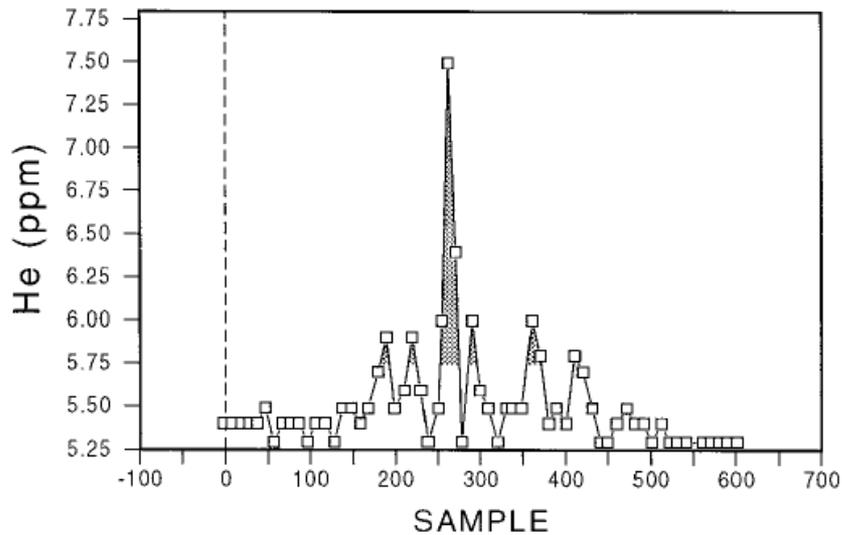
[Lee et al., 2005]

Изменение состава газов перед извержением

Перед извержением обычно резкое изменение соотношения газов и увеличение доли ювенильных газов, что отражает дегазацию магмы при подъеме и рост температуры в гидротермальной системе. Эти эффекты крайне нелинейны и требуют дальнейшего изучения.

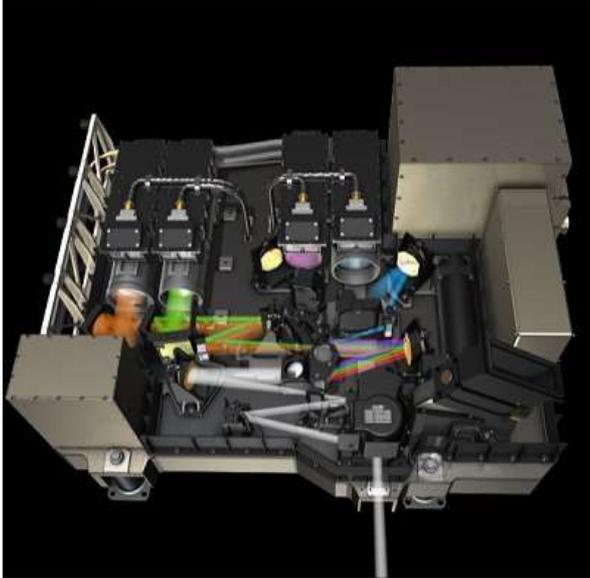
Анализ газов в почвах

Гелий, радон и CO_2 могут просачиваться сквозь породы и почву при невысоких температурах

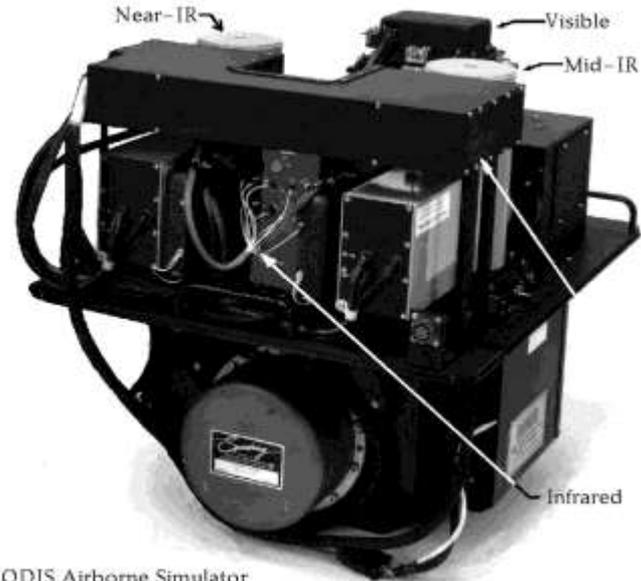


Профиль показывает положение разлома

Спутниковый мониторинг вулканических газов



GOME-2 на спутнике MetOp, 2007 г.

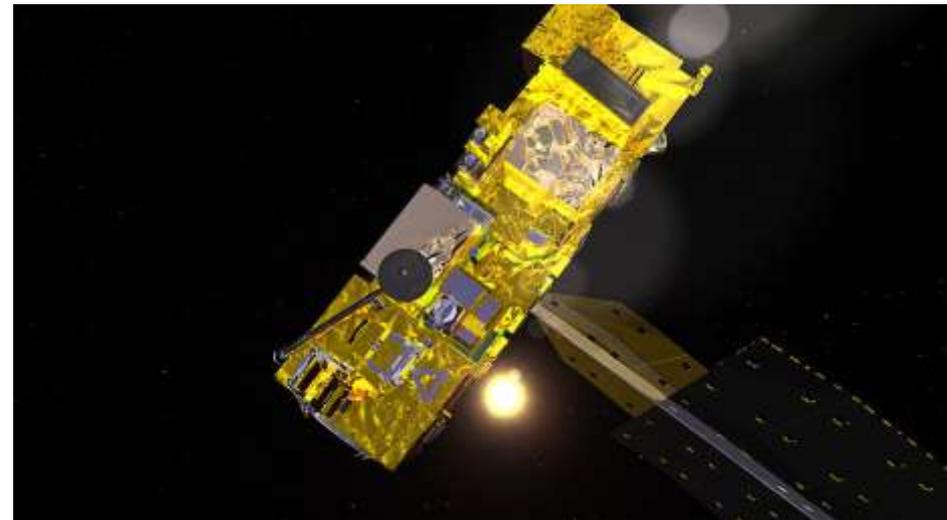


MODIS Airborne Simulator

MODIS на спутнике Terra, 1999 г.

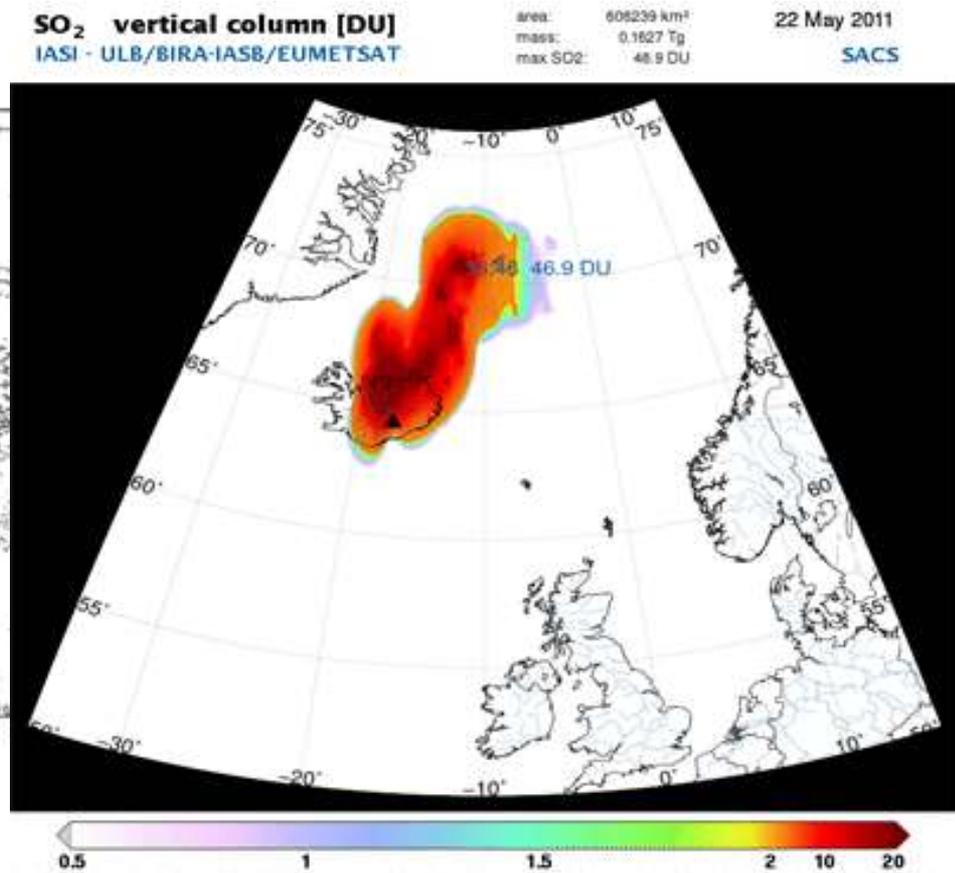
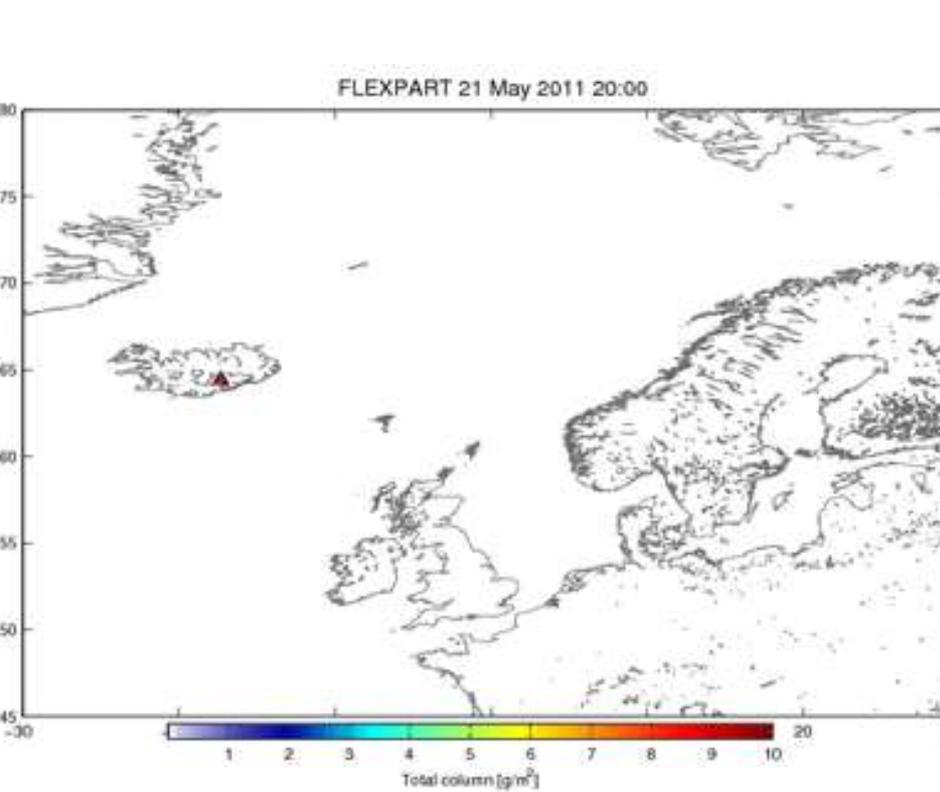


SCIAMACHY на спутнике ENVISAT, 2002 г.



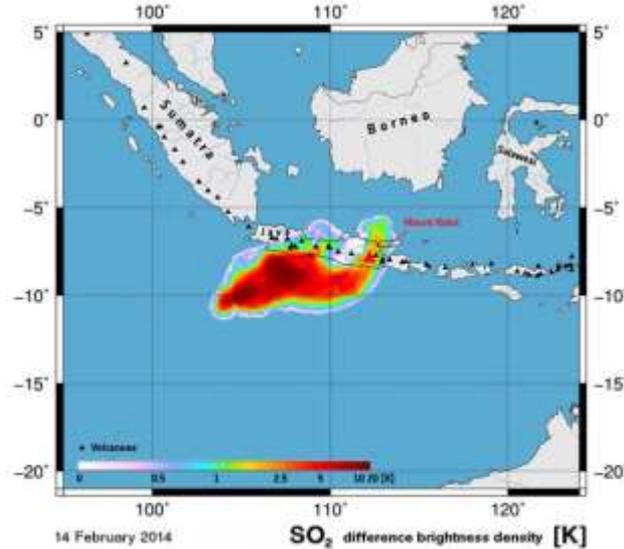
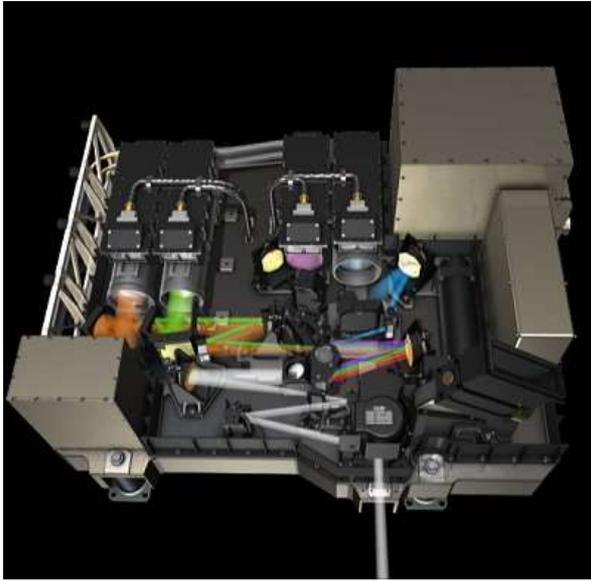
AIRS на спутнике AQUA запущен в 2010 г.

Извержение в Исландии, май 2011

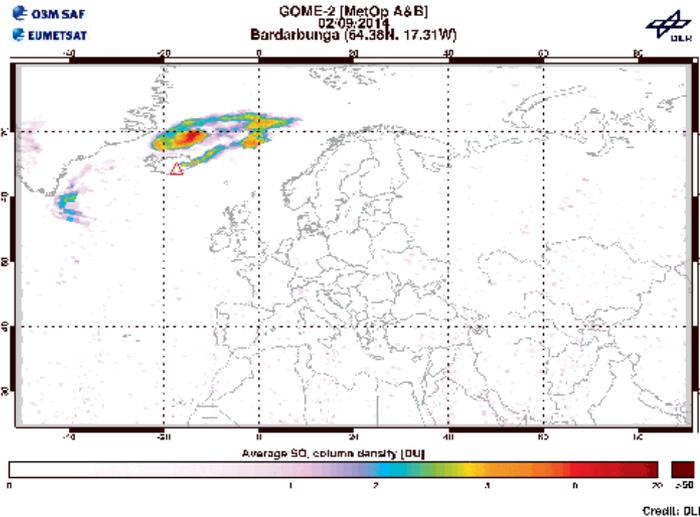
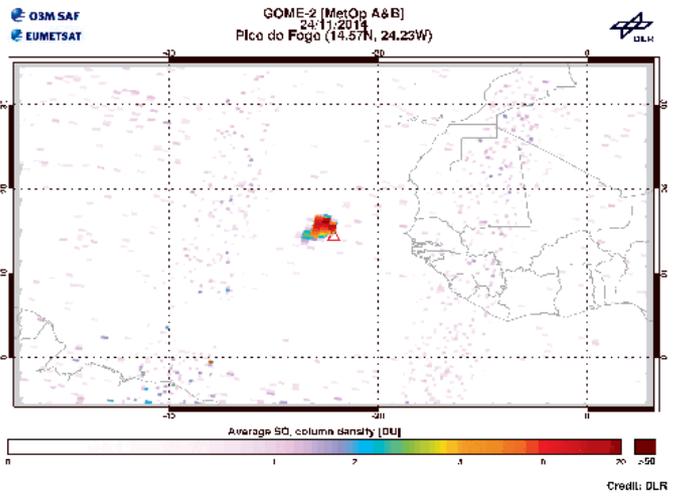


Данные спутника EuMetSat

GOME-2 на спутнике MetOP, запущен в 2007 г.



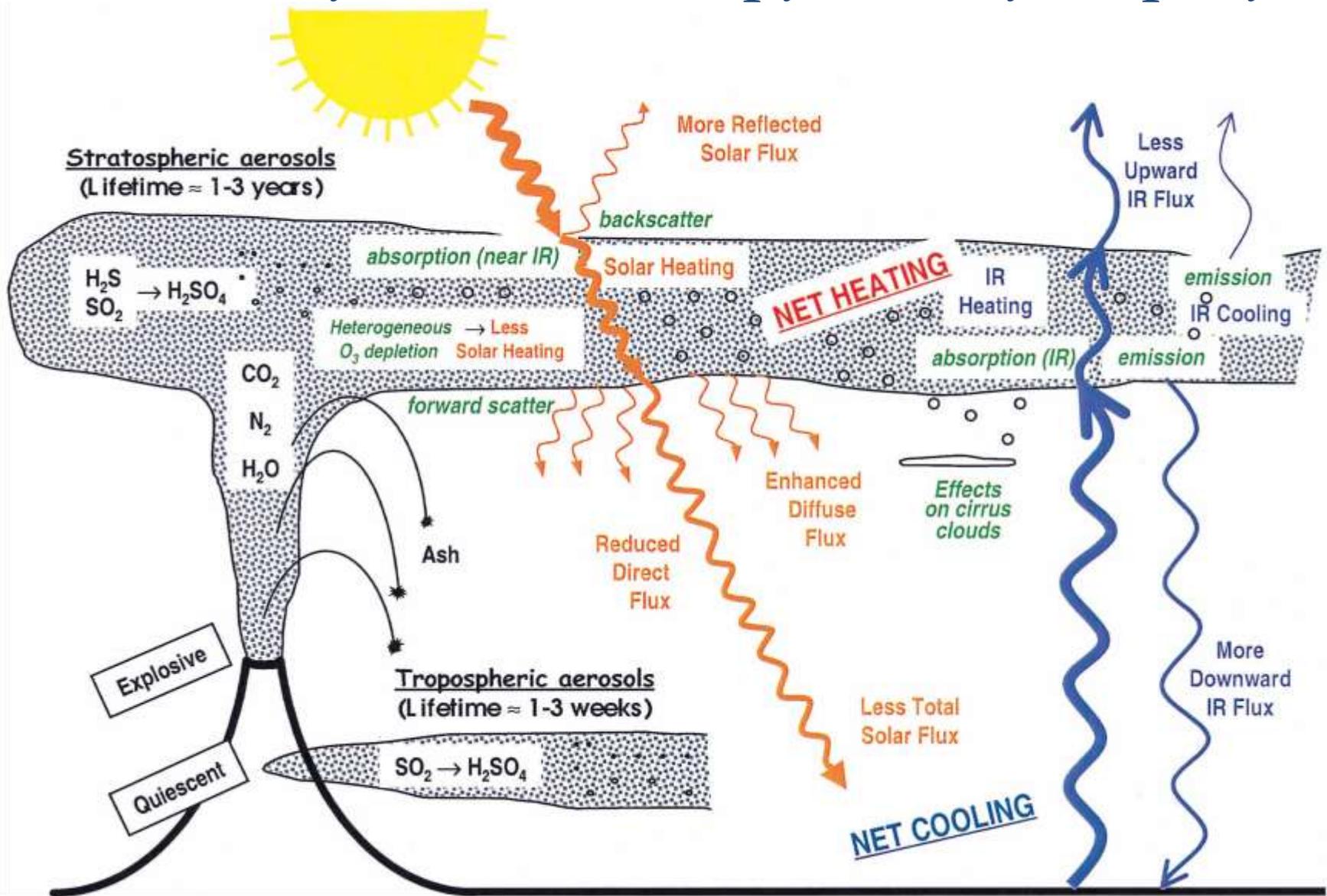
Kelut volcano, Feb. 14, 2014



Capo Verde, Nov. 24- Dec.11, 2014

Bardarbunga, Sep. 01- Oct.31, 2014

Влияние вулканов на окружающую среду



Влияние извержений на климат

Вулкан

Пинатубо (1991 г.)

Тамбора (1815 г.)

Гайнапatina (1600 г.)

Куваэ (1452 г.)

Объем, DRE

5.5 км³

50 км³

9.6 км³

60 км³

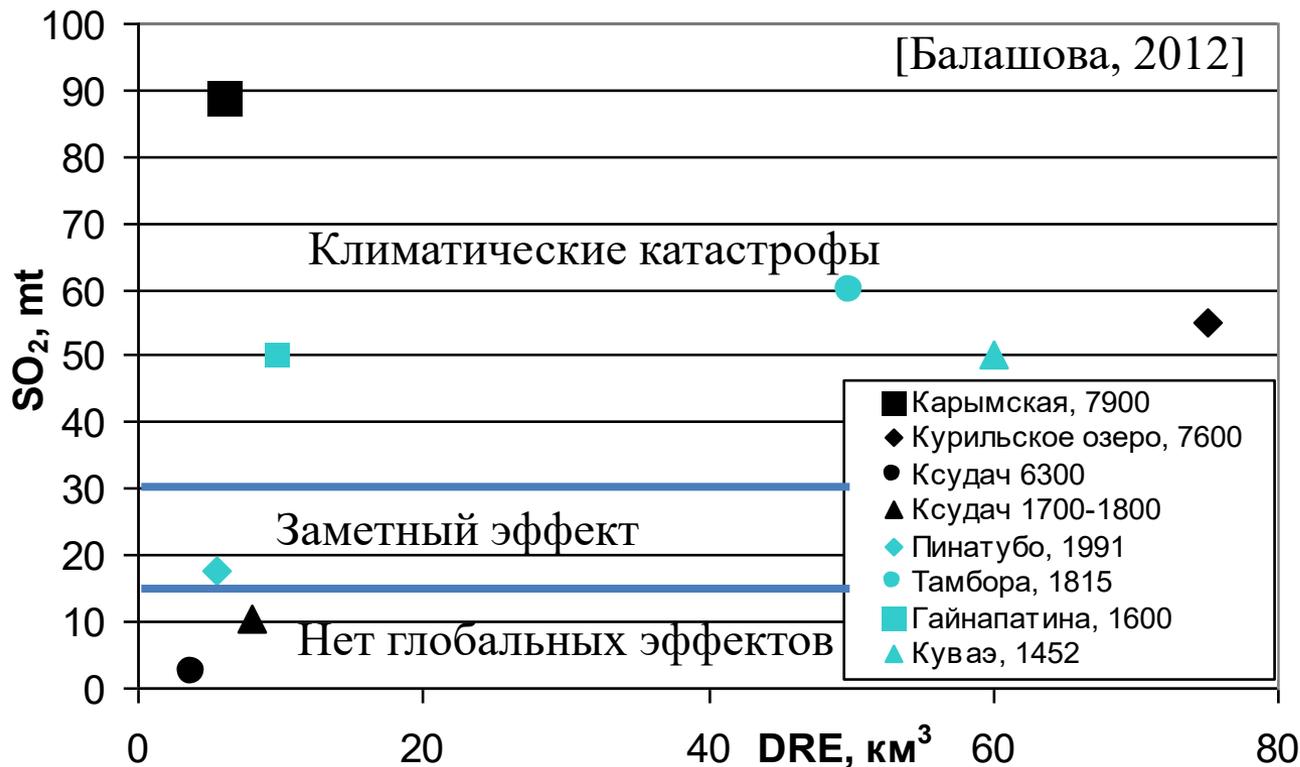
SO₂

15-20 Мт

~60 Мт

~50 Мт

~50 Мт

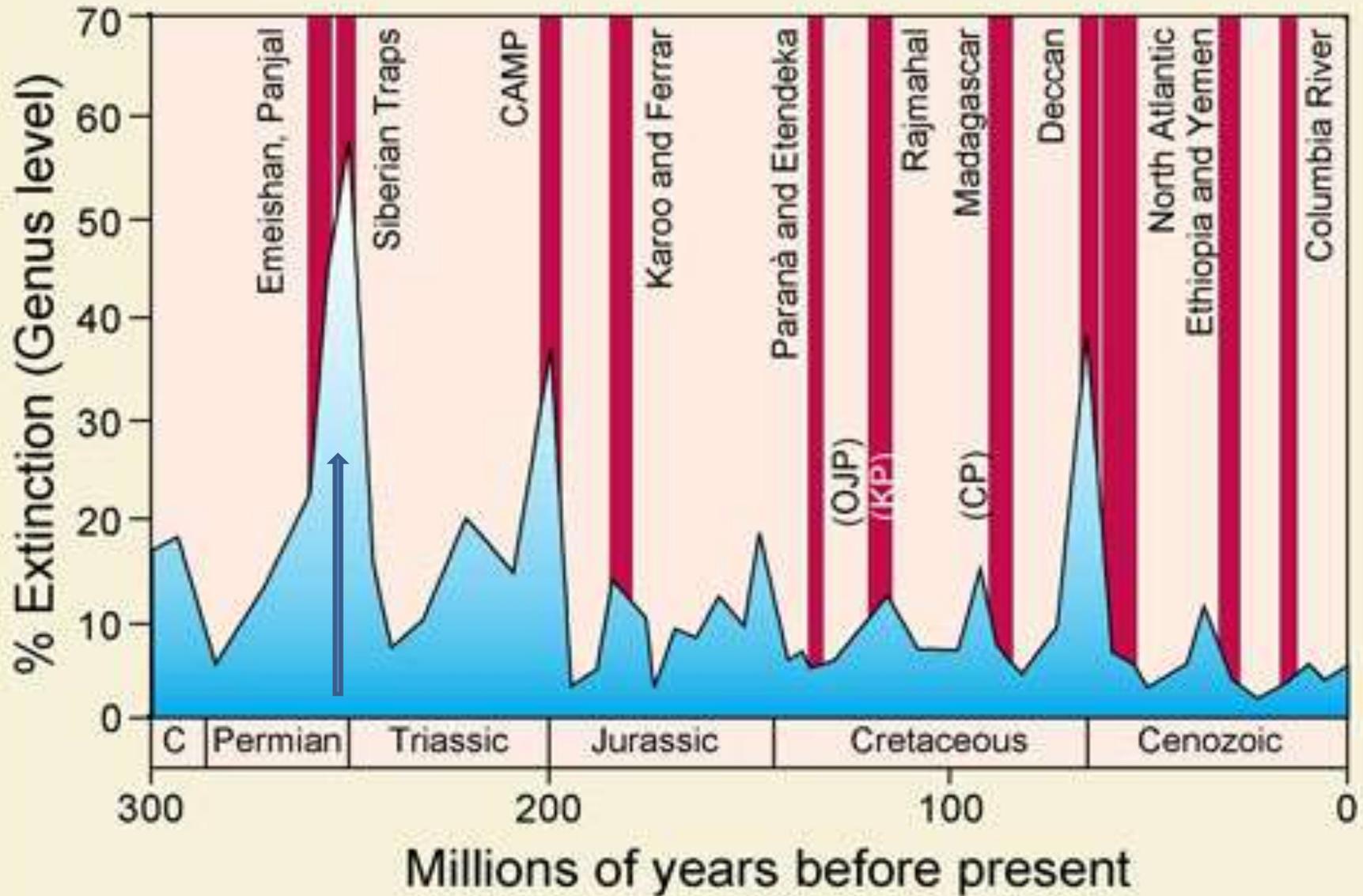


Весна 1453г. – в Китае
выпало несколько
футов снега

1601г. – снег в августе
1601-1603 гг. – неурожай
и голод в России

1816г. – «год без лета»

Массовые вымирания видов и вулканизм



Плато Путорана

*Часть сибирских траппов,
изливавшихся 251 млн.л.н.*

В это время вымерло около 83% видов животных

