

**15 марта 2015 года**



**Лекция  
Прогноз извержений**

# Геологическая часть лекций

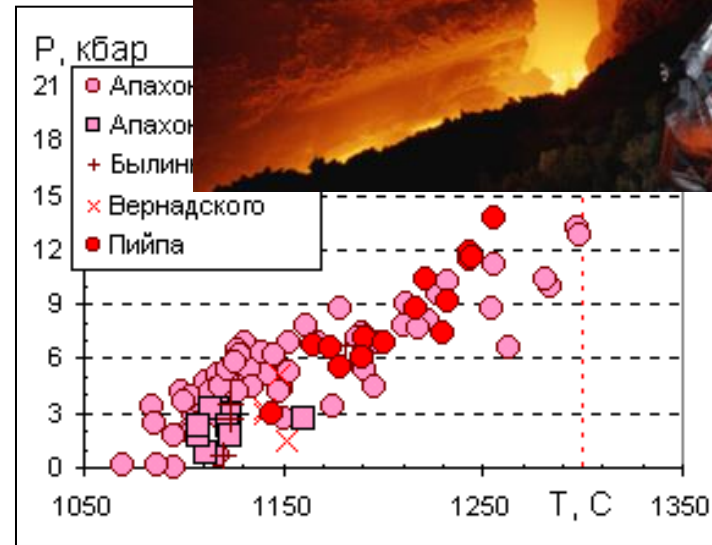
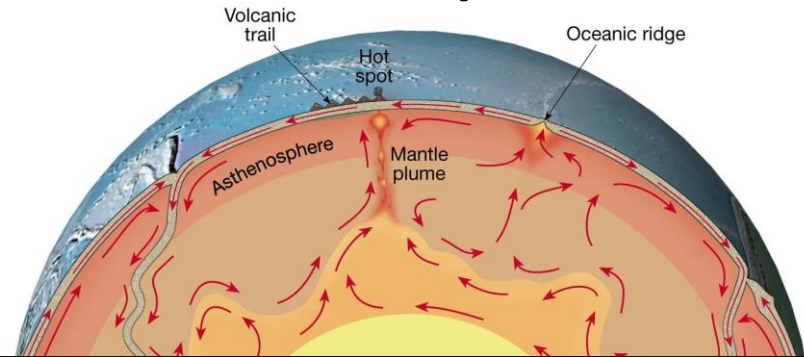
## Строение Земли

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



# *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

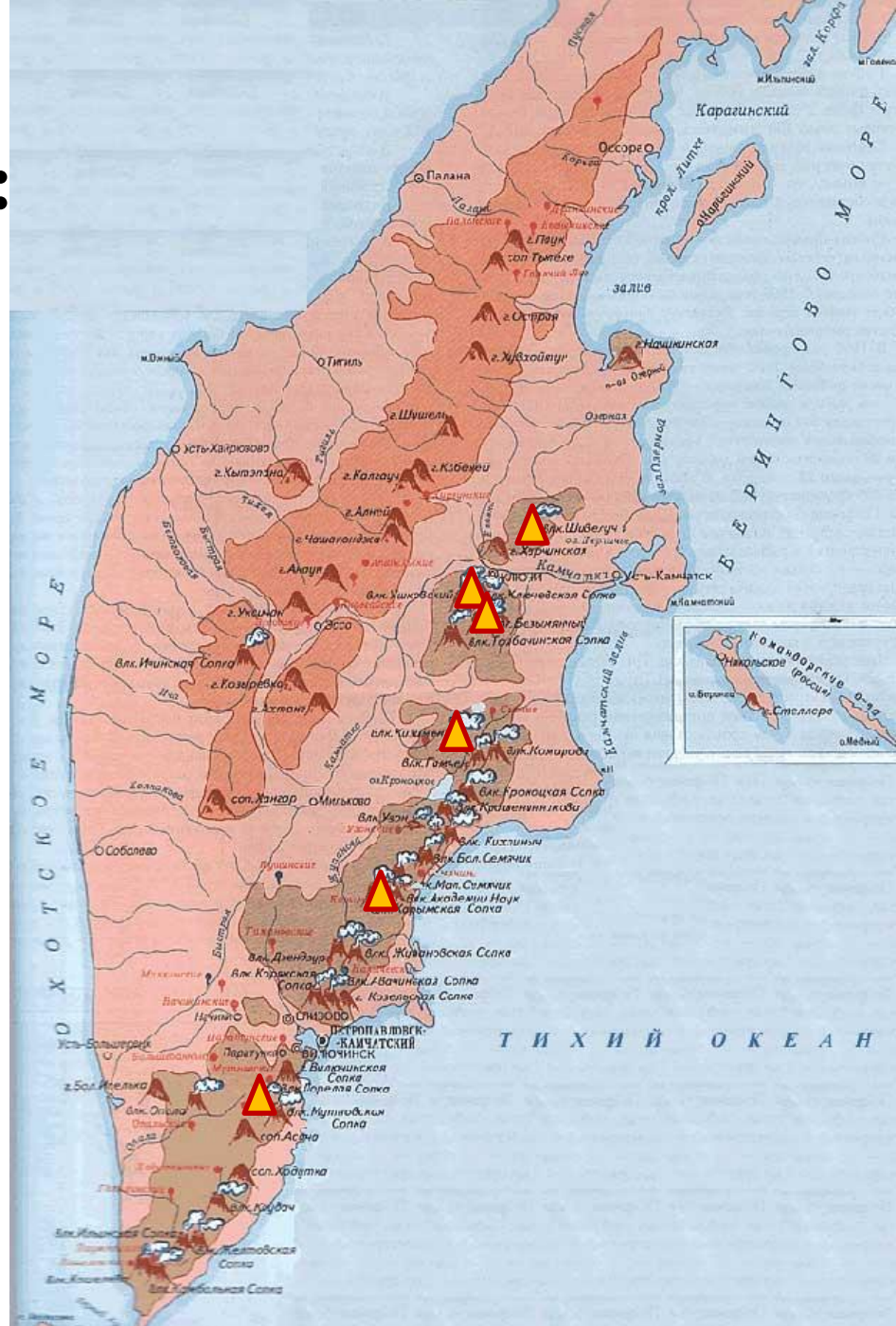
**Стромболи извергается  
почти непрерывно более  
2300 лет.**

**Этна извергается с  
апреля 2010 года.**

# 2011 год - Россия

Извергалось 6 вулканов:

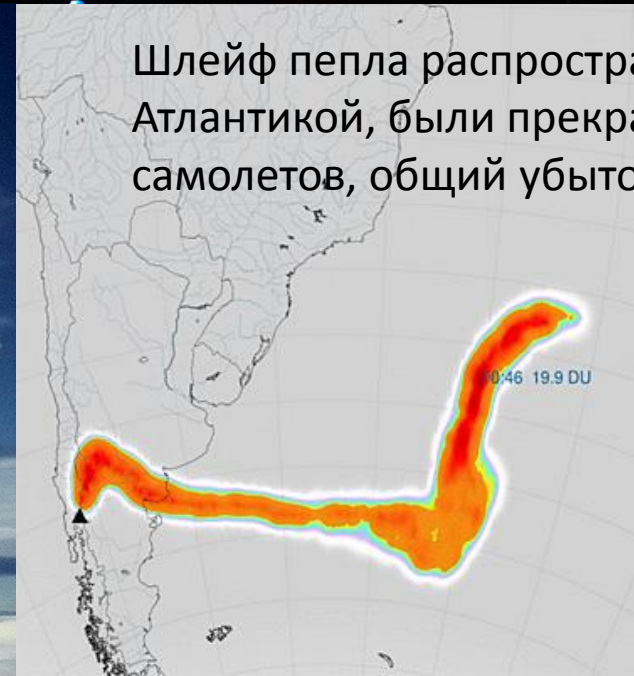
- Вулкан Ключевской
- Вулкан Безымянный
- Вулкан Шивелуч
- Вулкан Кизимен
- Вулкан Карымский
- Вулкан Горелый



Июль 2011, Кизимен

© Nikolay Ushakov

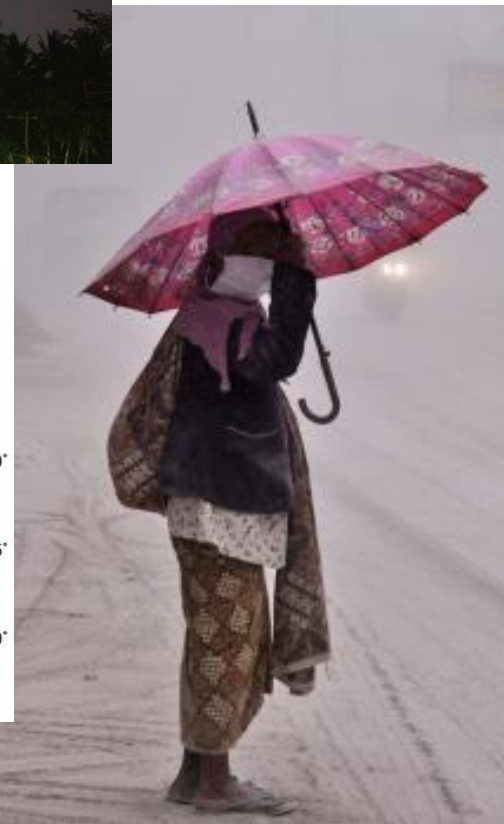
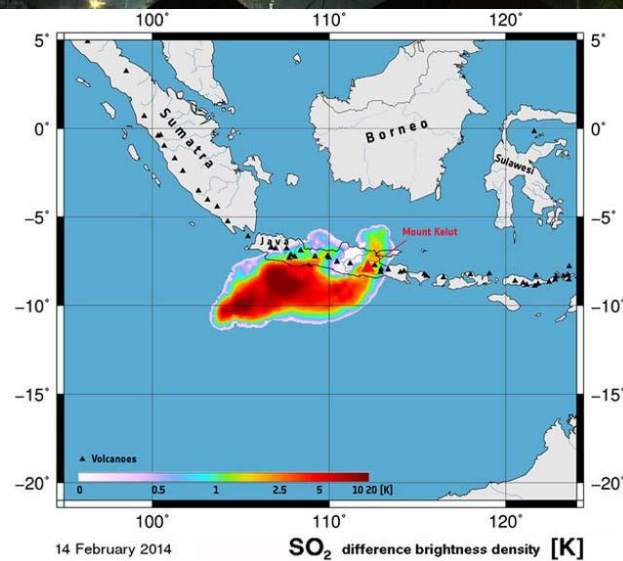
# Вулкан Пуйэва (Чили), июнь 2011



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

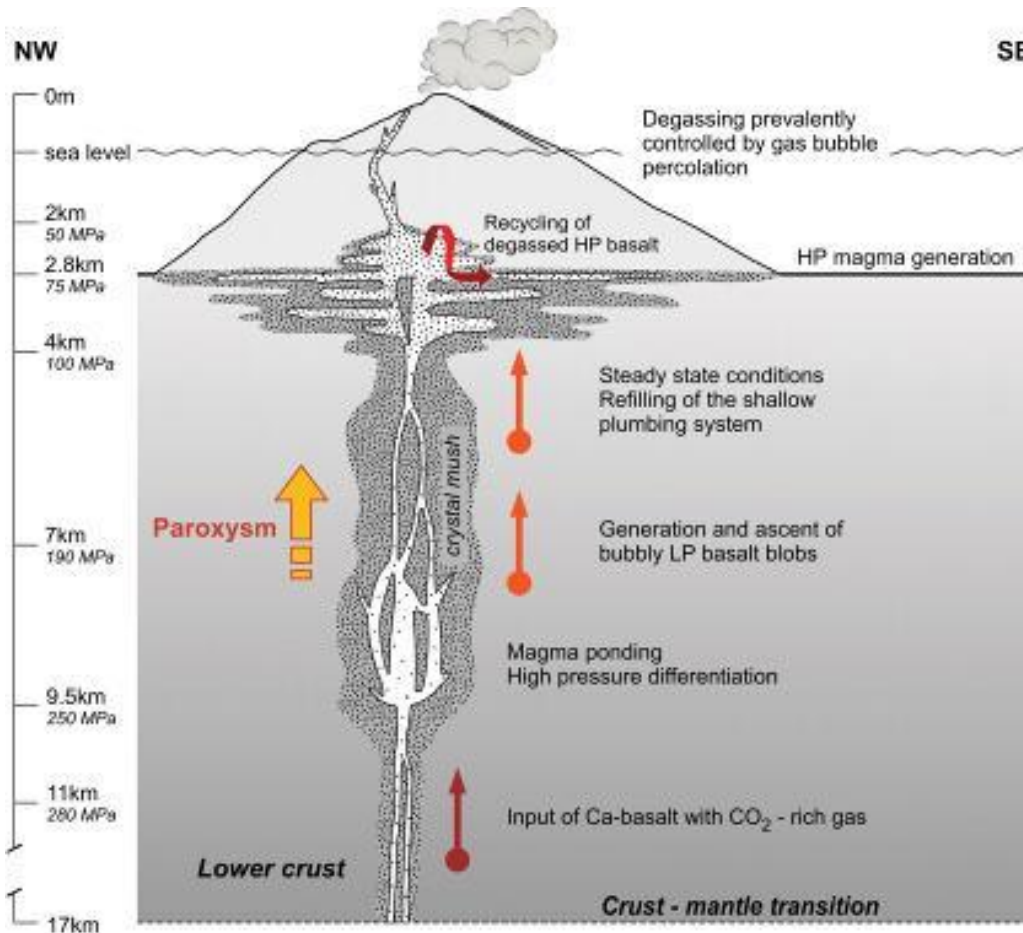


Вулкан Келуд (Индонезия) 14.02.2014

# 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, SO<sub>2</sub>.

*Геодезические методы* – наблюдения за изменением поверхности

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



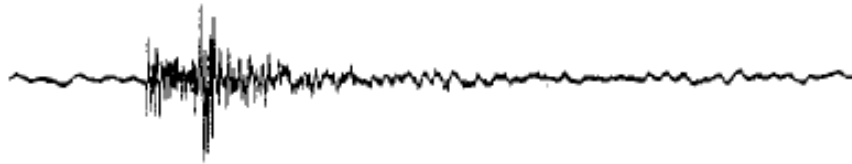
# *Сейсмические методы*

*Прекурсоры (предвестники) – события предшествующее извержению.*

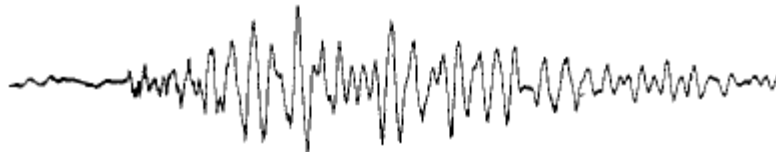
*Перед извержением обычны рои землетрясений с небольшой магнитудой ( $M < 5$ ). Повышается доля землетрясений с высокочастотными сейсмическими волнами.*

*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

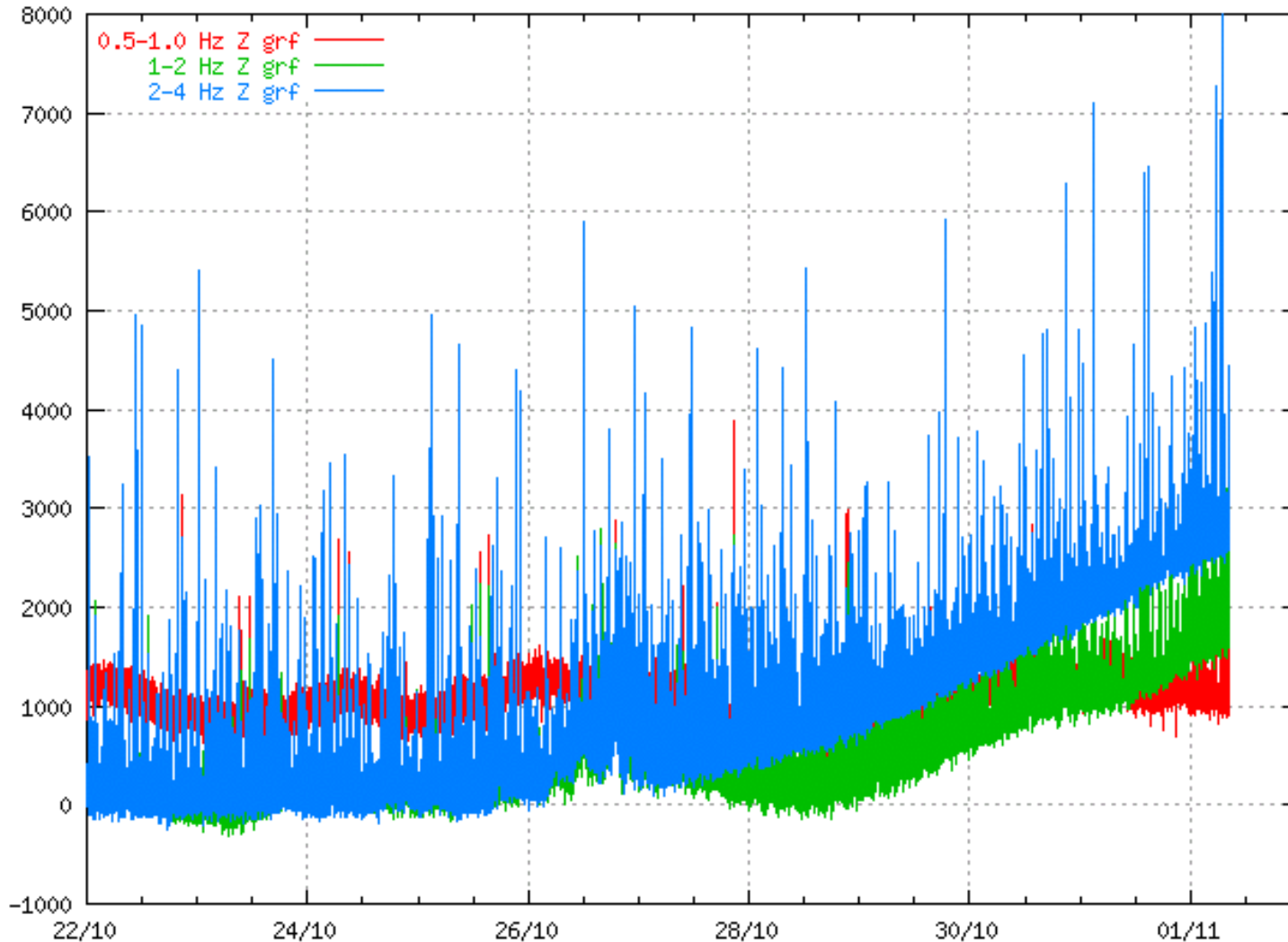
# Землетрясения перед извержением



По [McNutt, 1999]

# Сейсмические методы

Grimsfjall (grf)

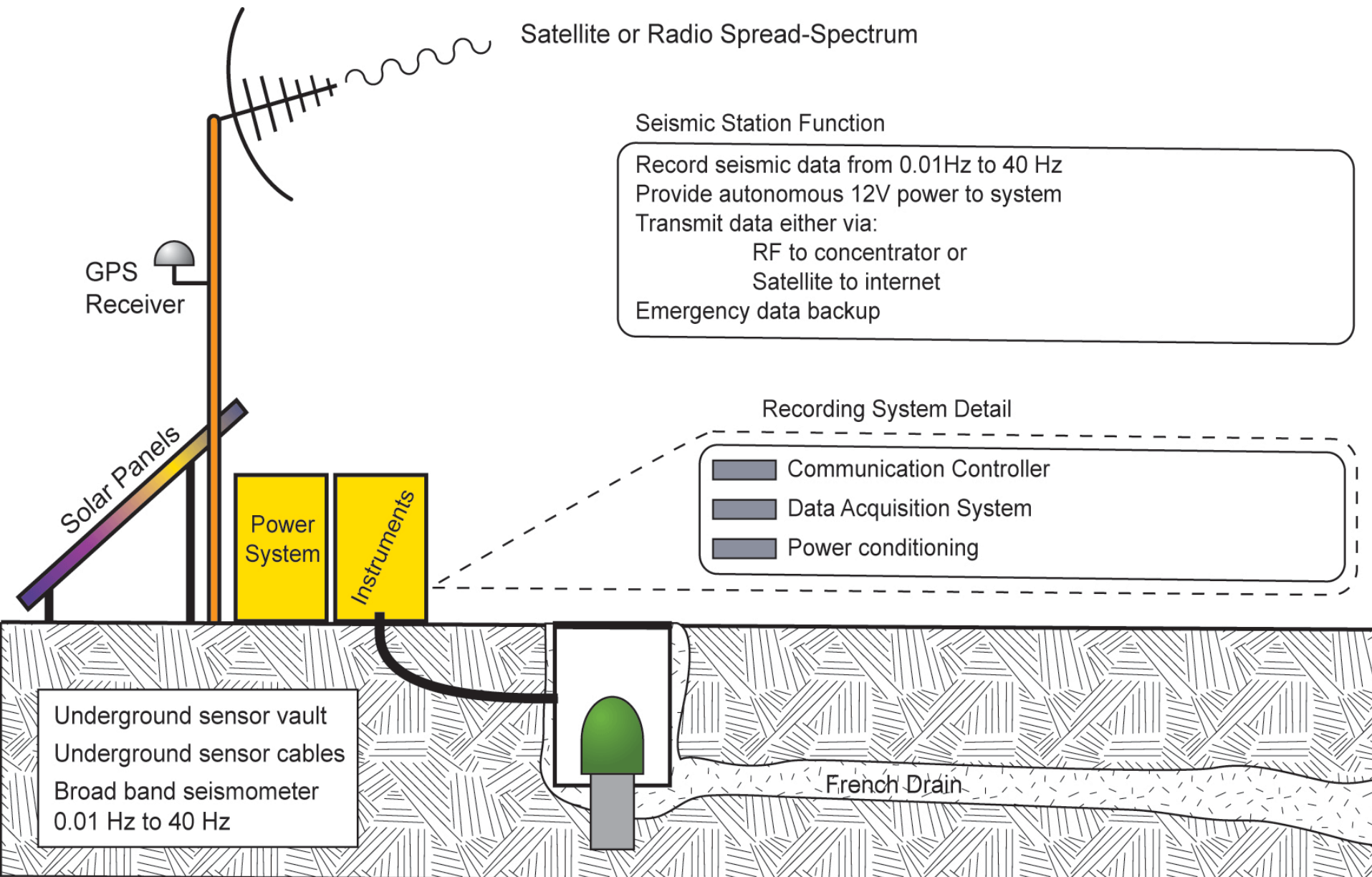


Сейсмическое дрожание перед извержением 2004 г. Гримсвотн, Исландия  
Один из самых явных признаков близкого начала извержения

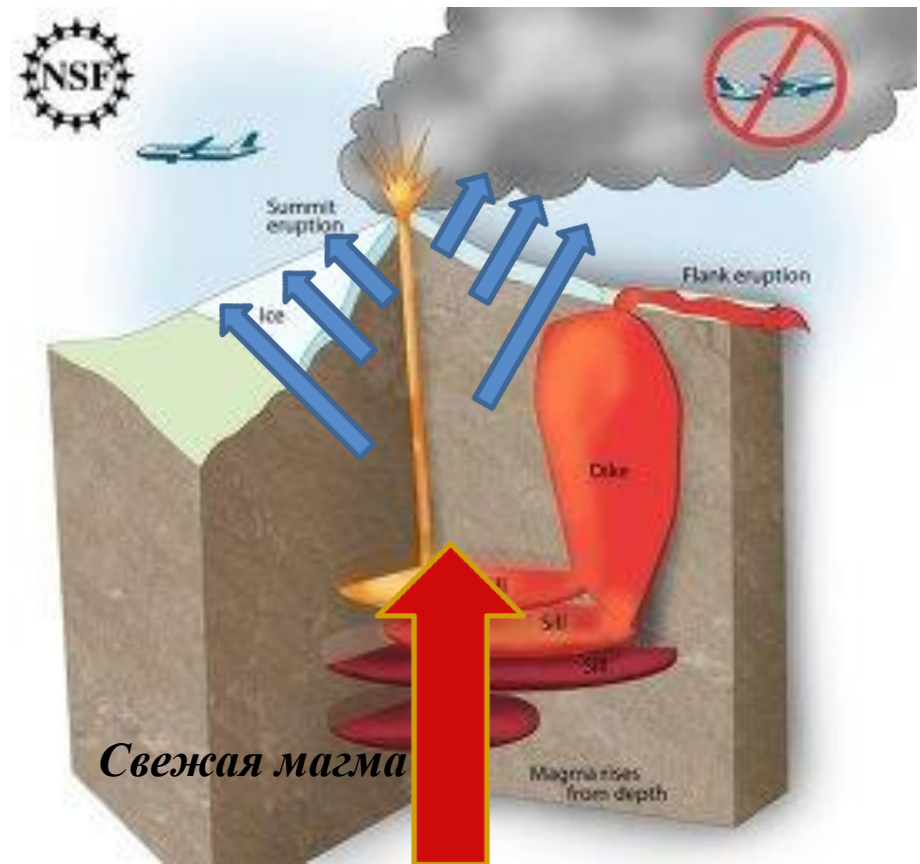
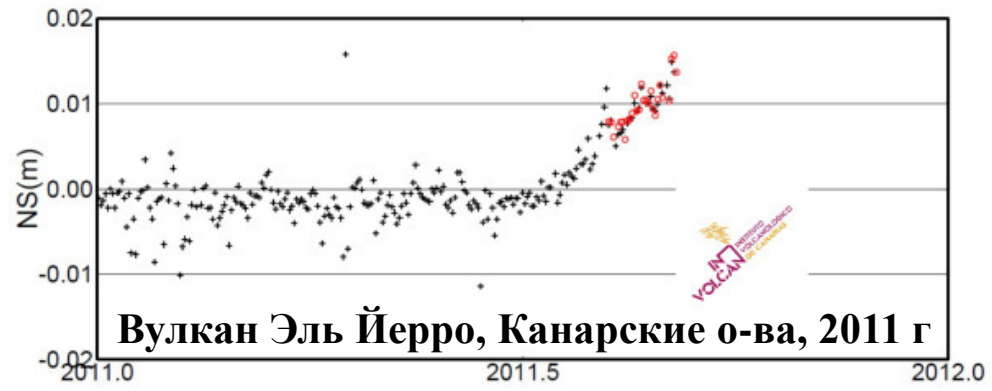
# Сейсмостанции на вулканах



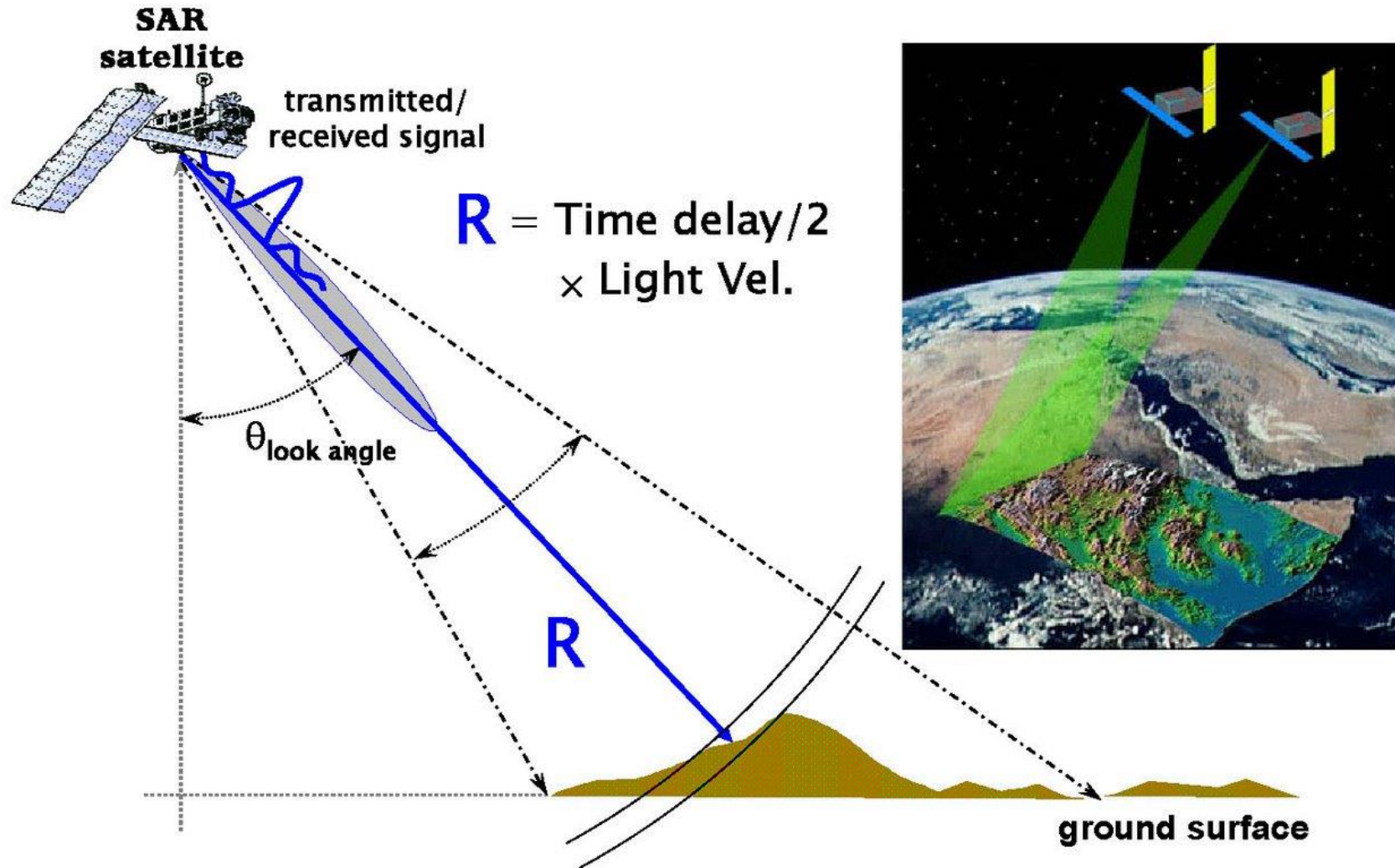
# Схема работы сейсмостанции на вулкане



# Геодезические методы мониторинга



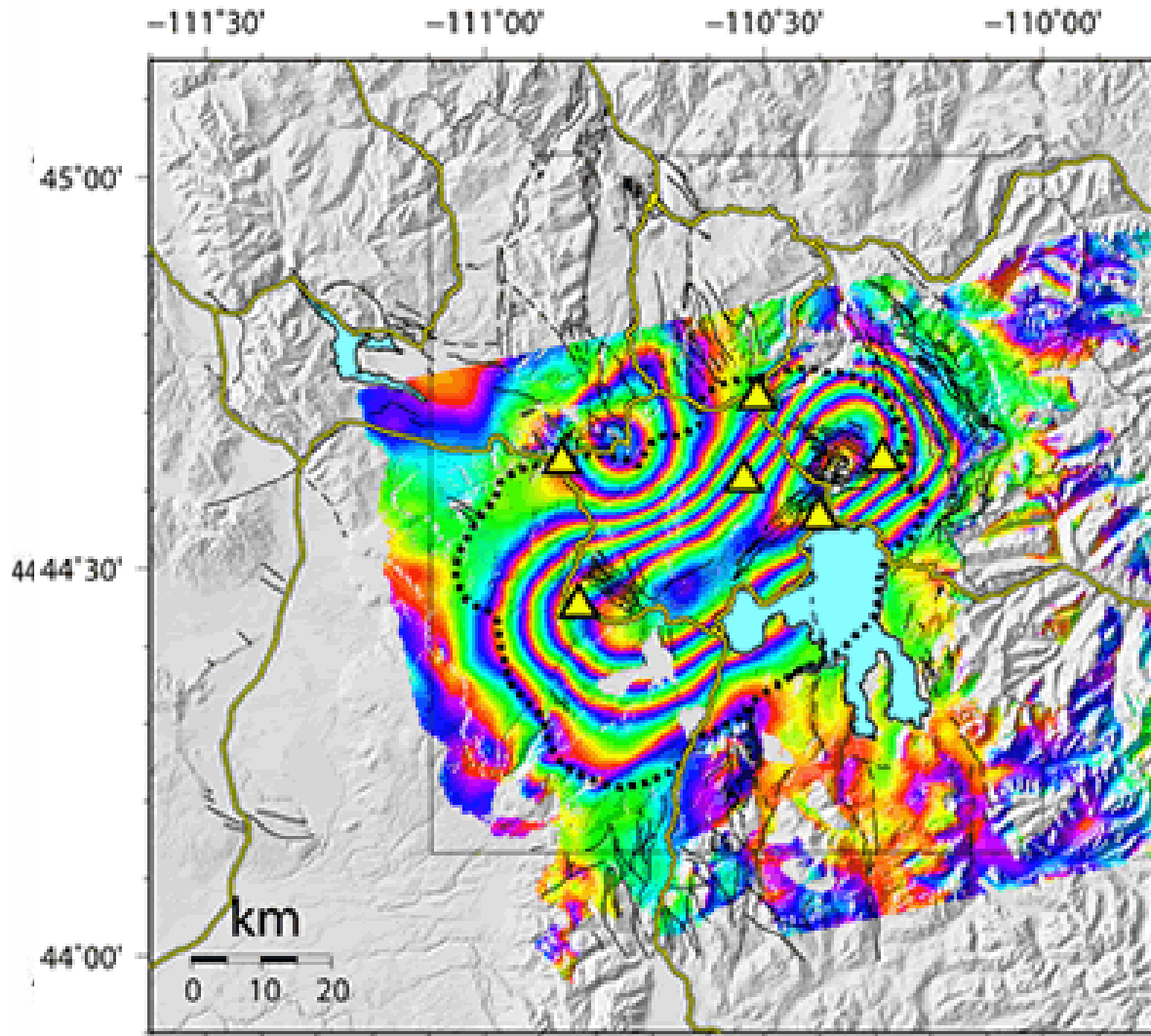
# Система INSAR – Interferometry Synthetic Aperture Radar



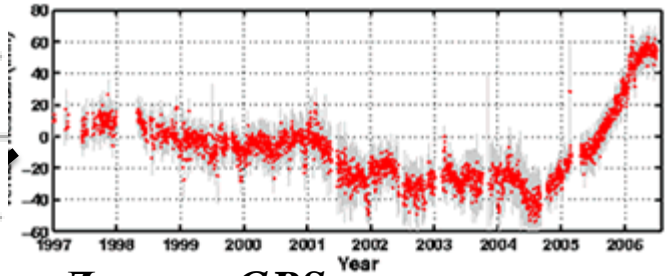
Используются данные Европейского космического агентства



# Йеллоустонская кальдера, США



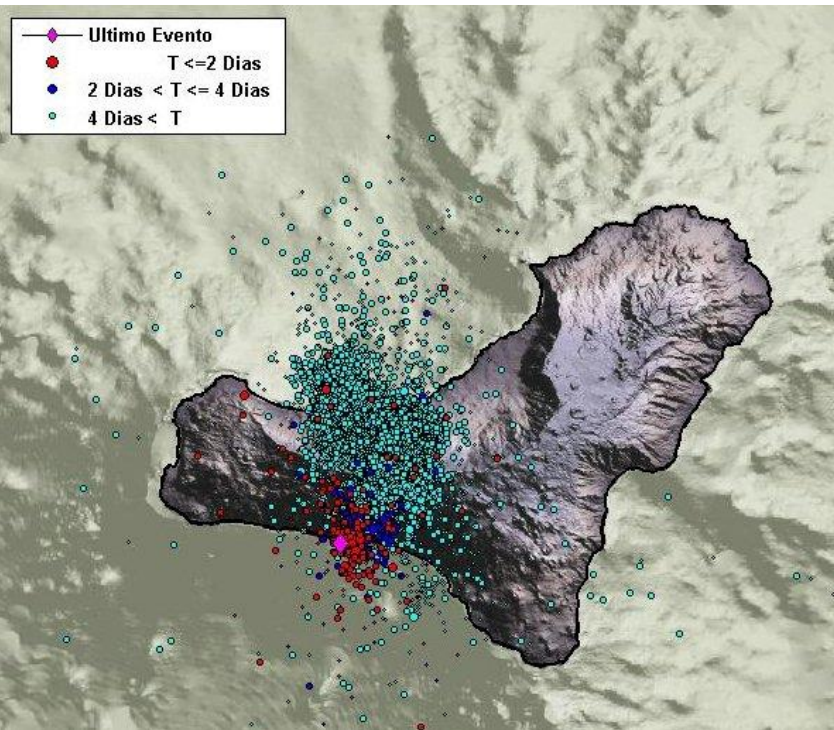
Данные INSAR за 2004-2006 г.



Данные GPS станции



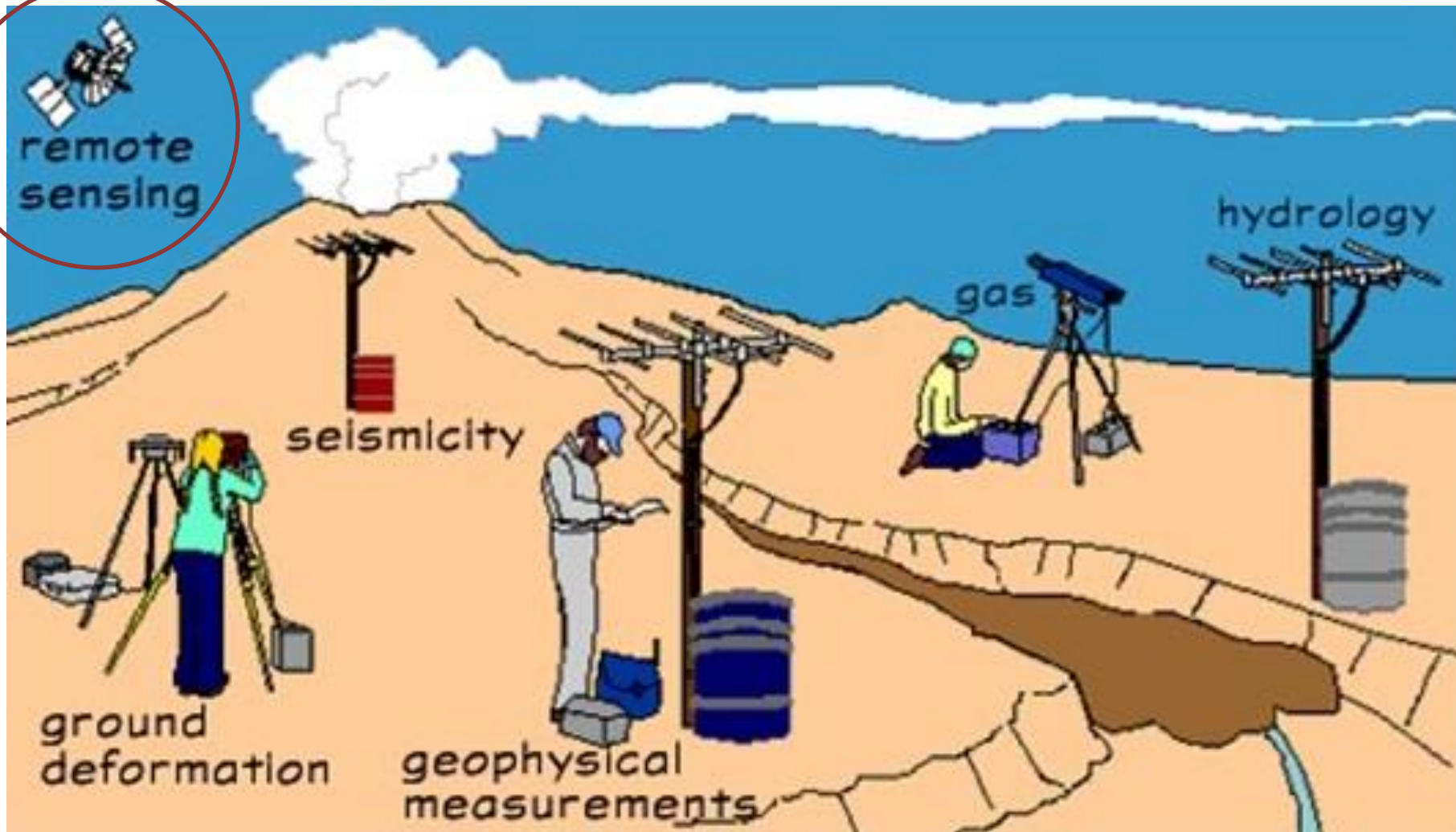
# Эль Йерро, Канарские о-ва, 2011



*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.*

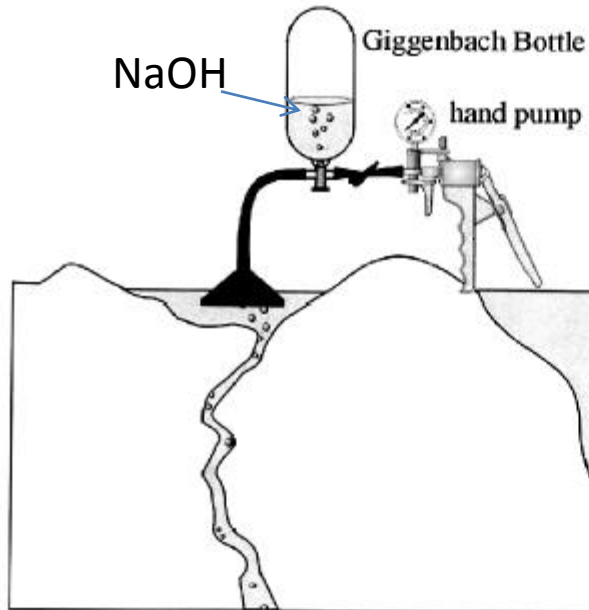


# *Надежный прогноз извержений должен быть основан на разных методах*

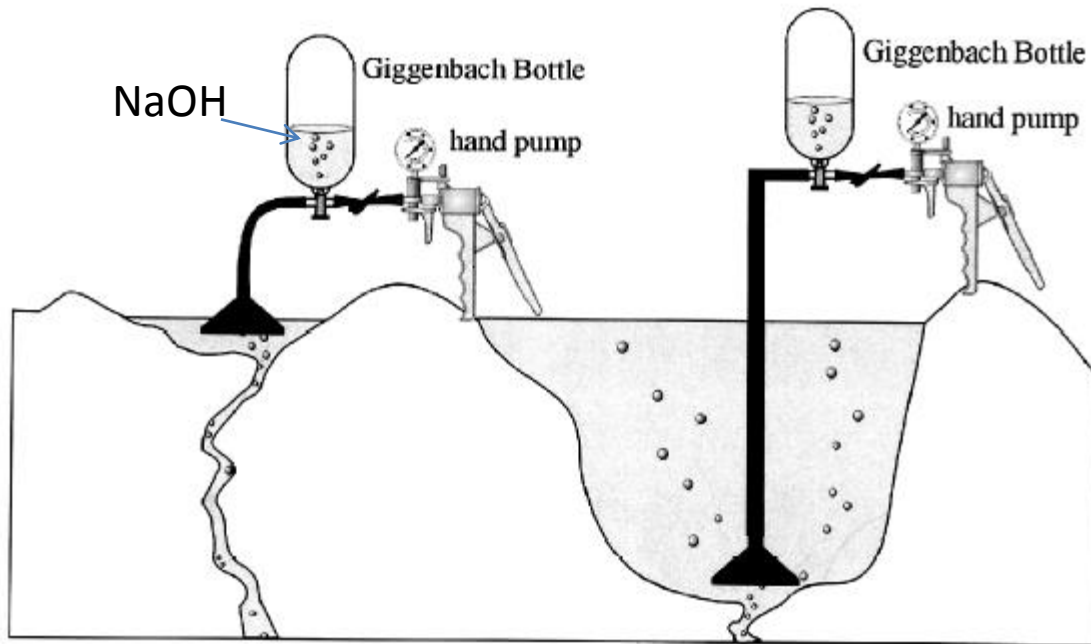


# Анализ газов в горячих источниках

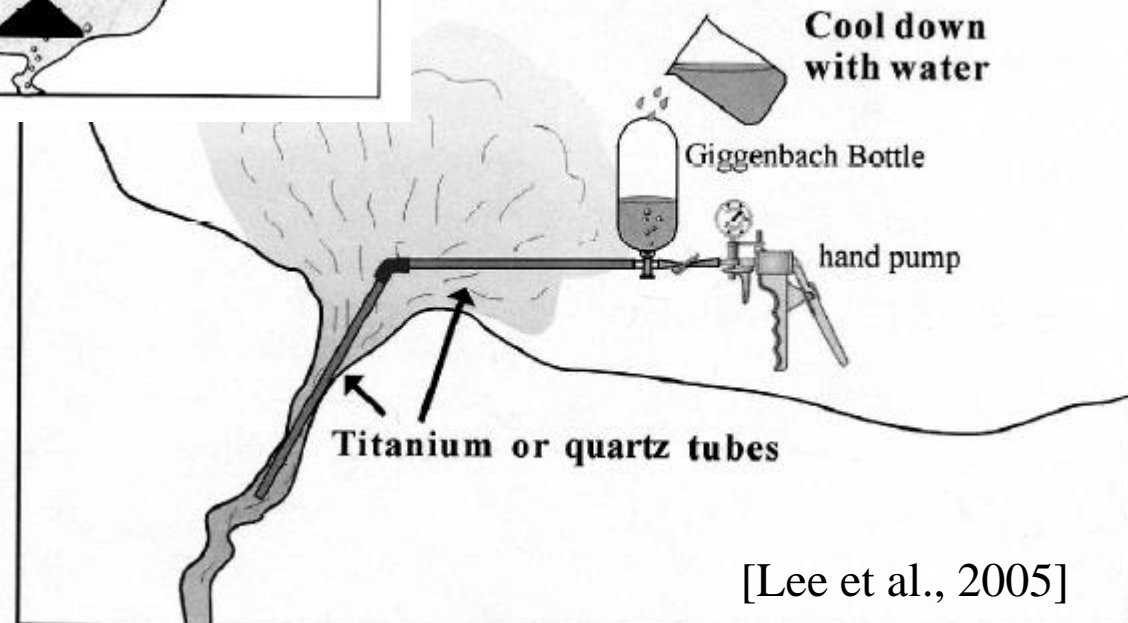
Shallow pools



Deep pools



Бутылка Гиггенбаха  
заполняется щелочью и  
связывает все кислые газы  
( $\text{CO}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{SO}_2$ ). Остальные  
газы ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{He}$ )  
накапливаются в верхней  
части бутылки.



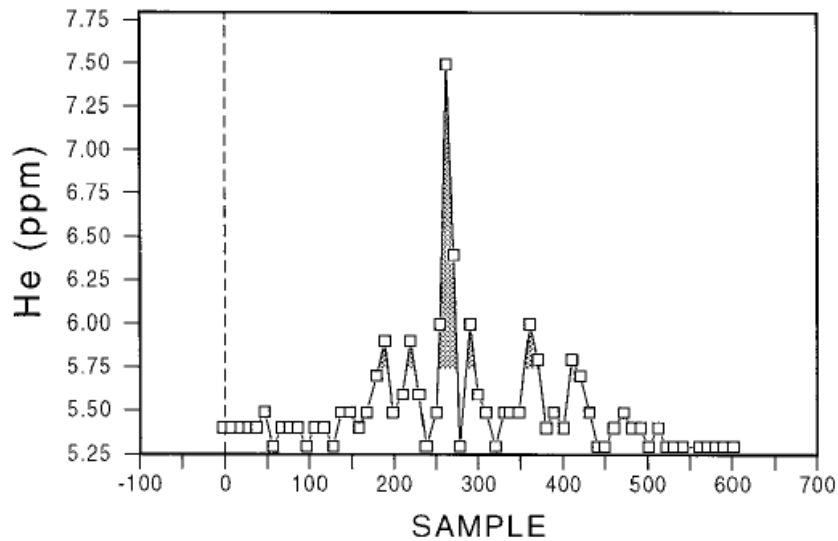
[Lee et al., 2005]

## *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.*

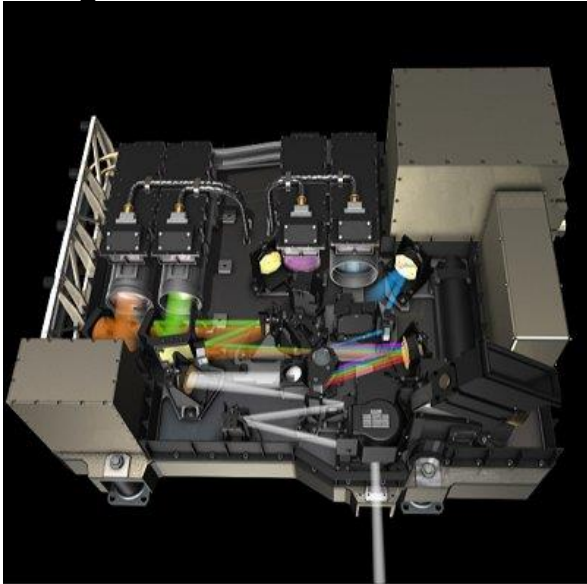
# Анализ газов в почвах

Гелий, радон и  $\text{CO}_2$  могут просачиваться сквозь породы и почву при невысоких температурах

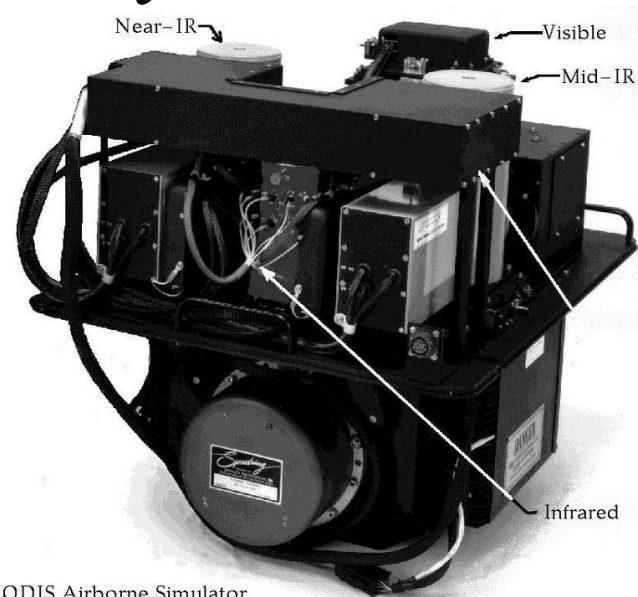


Профиль показывает положение разлома

# Спутниковый мониторинг вулканических газов



GOME-2 на спутнике MetOp, 2007 г.

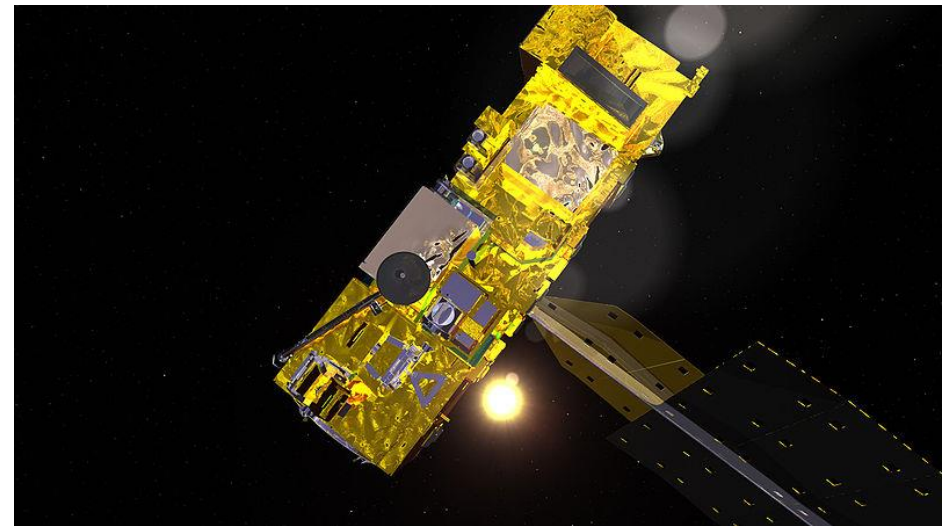


MODIS Airborne Simulator

MODIS на спутнике Terra, 1999 г.

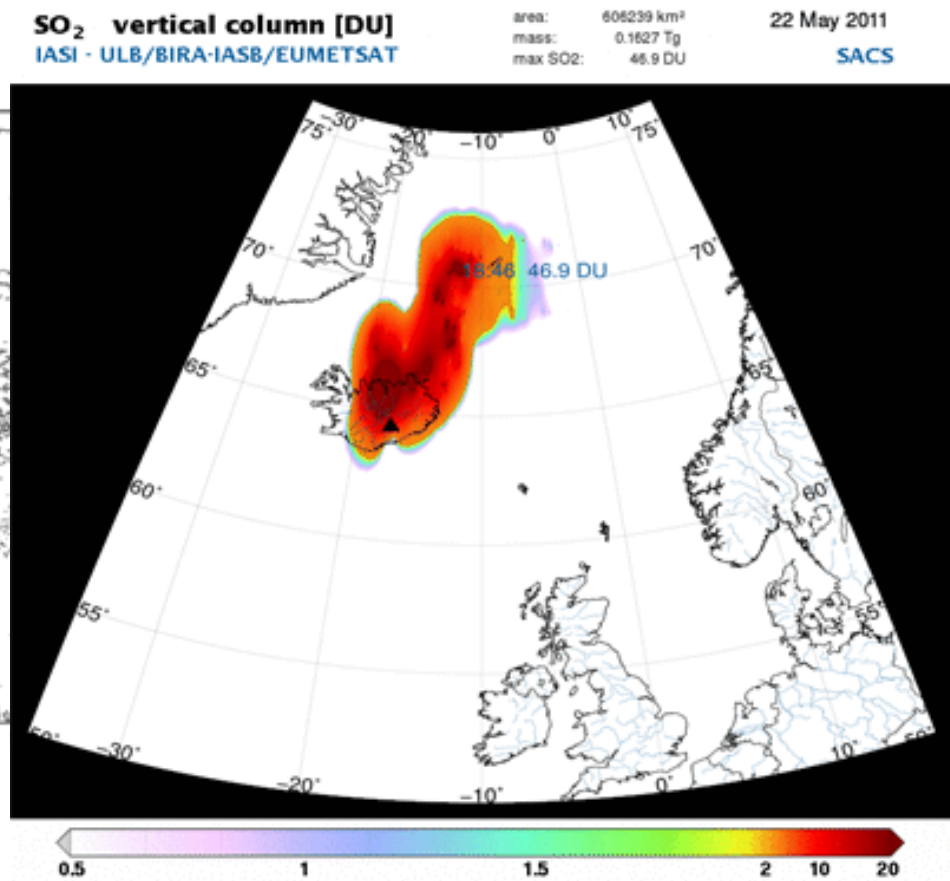
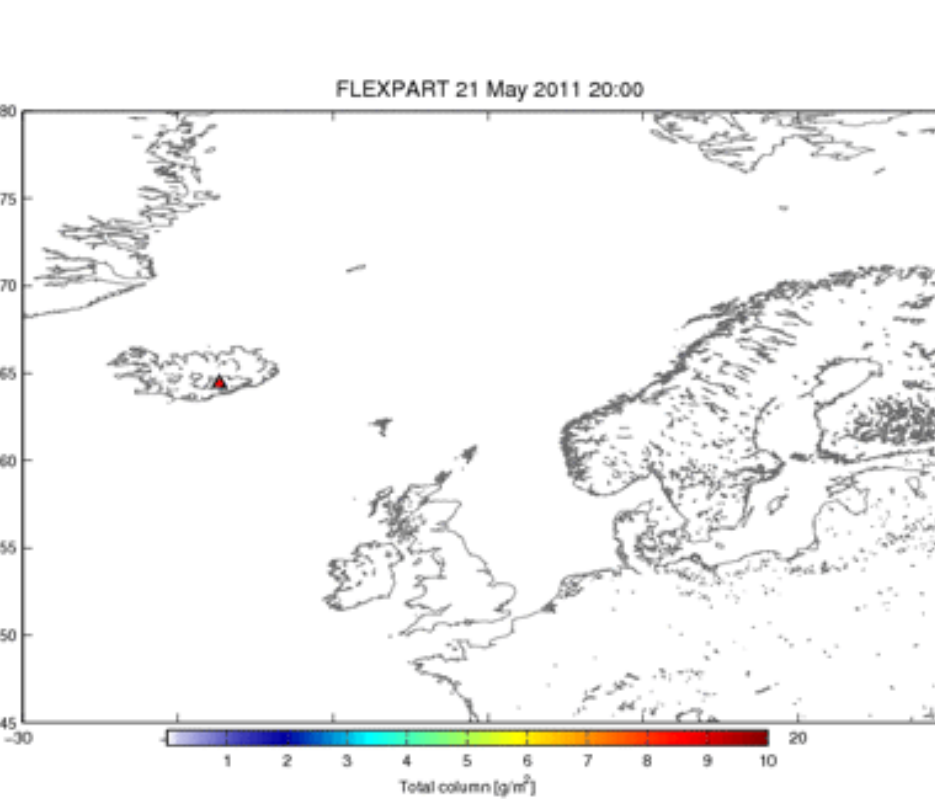


SCIAMACHY на спутнике ENVISAT, 2002 г.



AIRS на спутнике AQUA запущен в 2010 г.

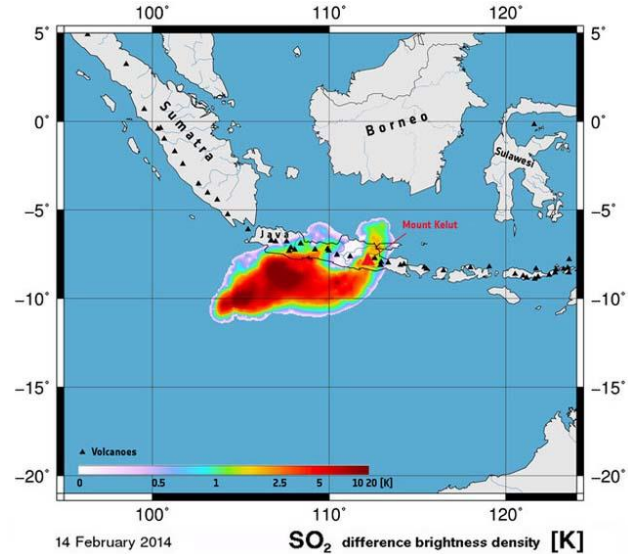
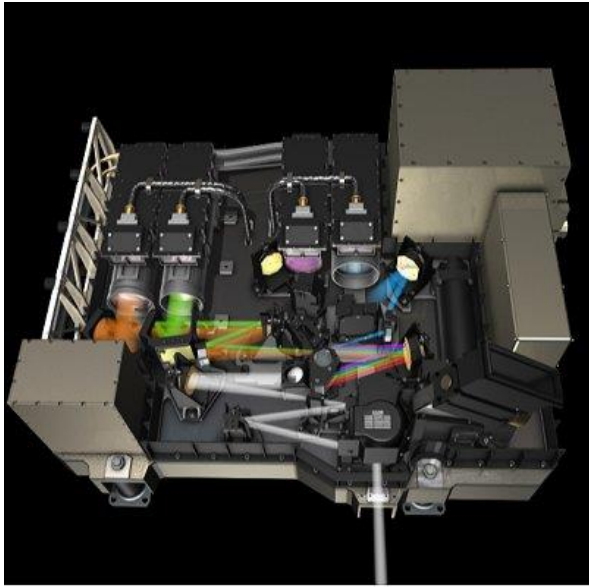
# Извержение в Исландии, май 2011



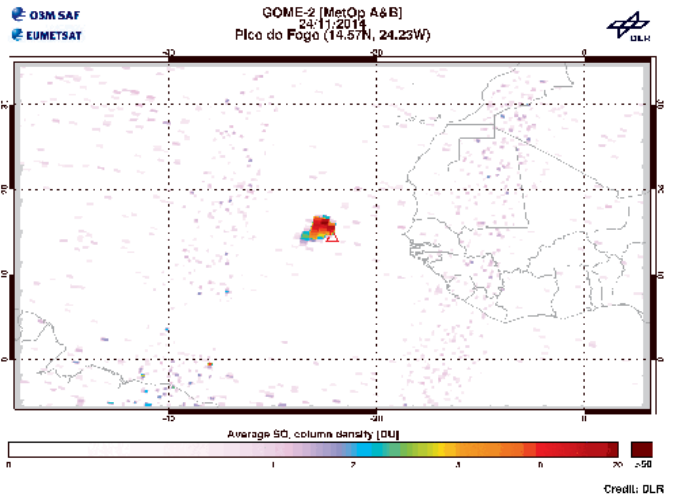
Данные спутника EuMetSat



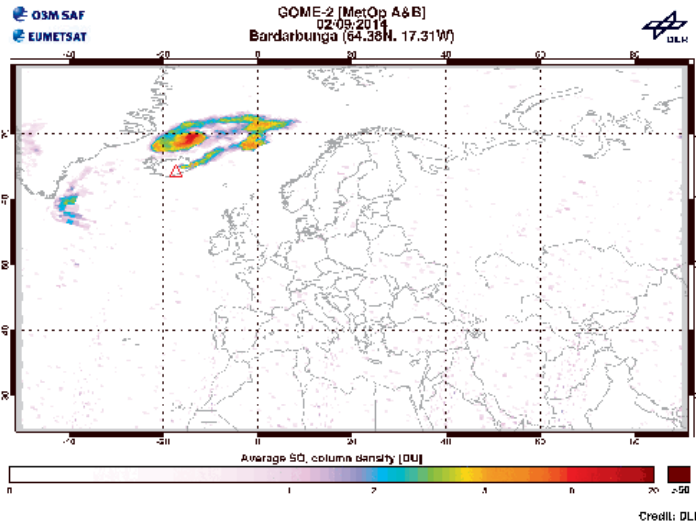
# *GOME-2 на спутнике MetOP, запущен в 2007 г.*



14 February 2014 **Kelut volcano, Feb. 14, 2014**



Creditt: DLR

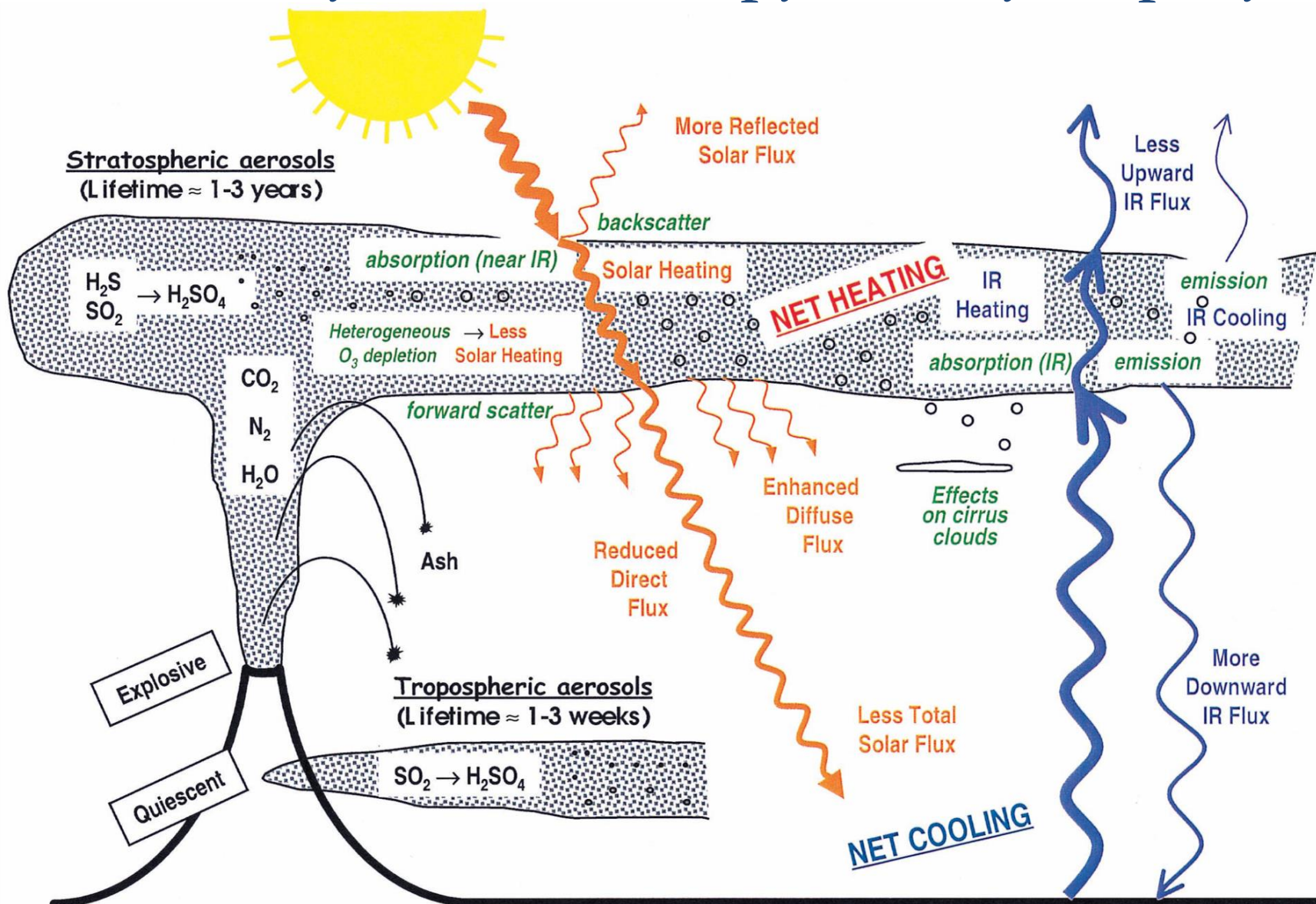


Creditt: DLR

**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.)

Гайнапатина (1600 г.)

Куваэ (1452 г.)

## Объем, DRE

5.5 км<sup>3</sup>

50 км<sup>3</sup>

9.6 км<sup>3</sup>

60 км<sup>3</sup>

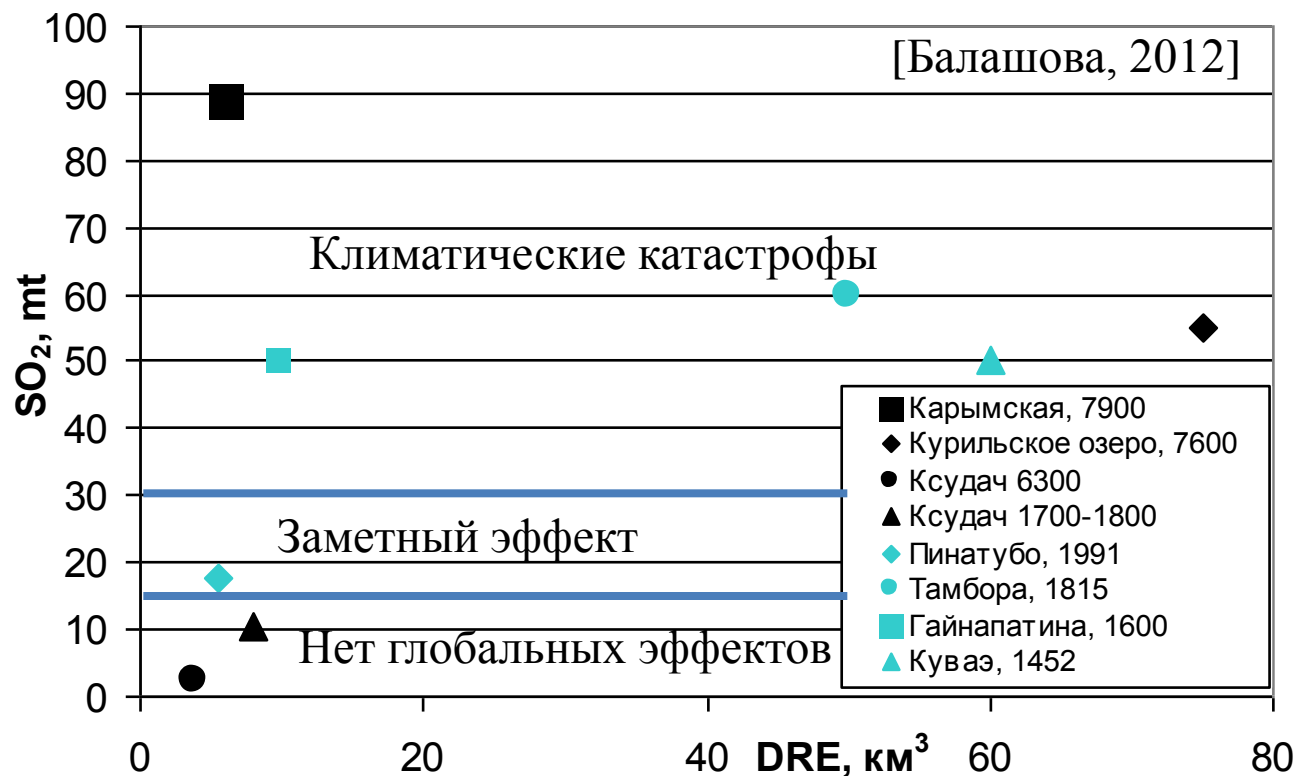
## SO<sub>2</sub>

15-20 Мт

~60 Мт

~50 Мт

~50 Мт

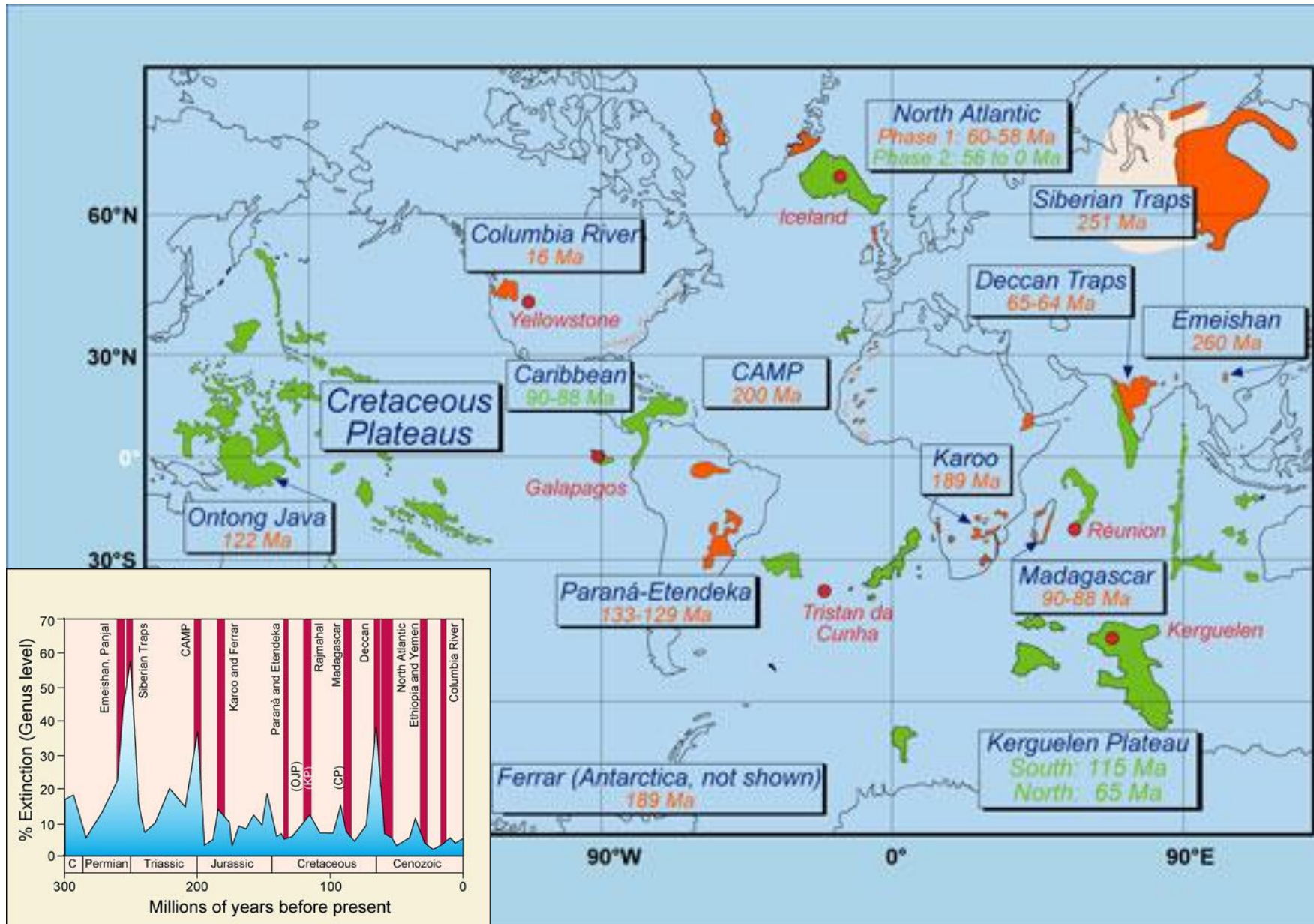


Весна 1453г. – в Китае  
выпало несколько  
футов снега

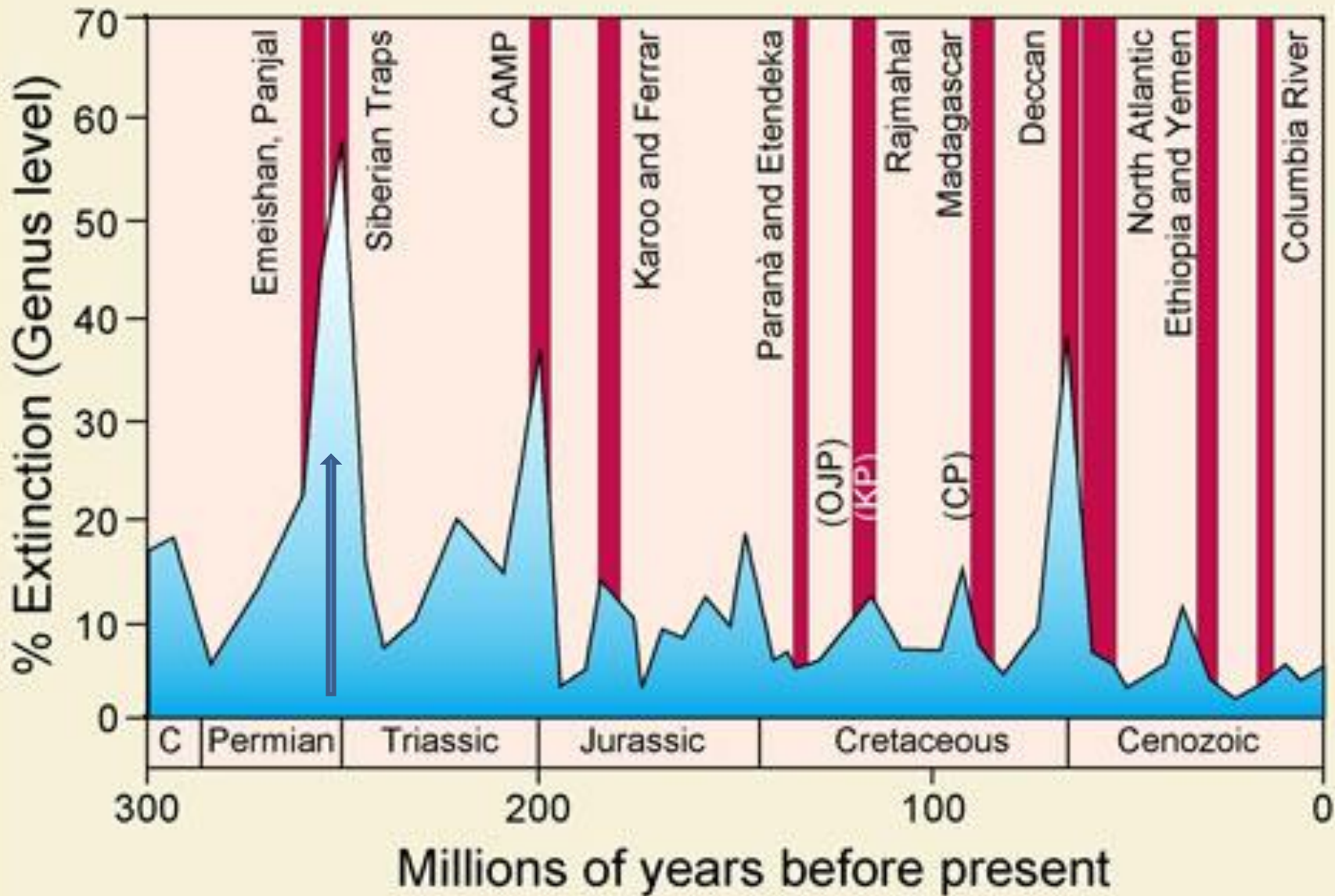
1601г. – снег в августе  
1601-1603 гг. – неурожай  
и голод в России

1816г. – «год без лета»

# Вулканизм и массовые вымирания



## *Массовые вымирания видов и вулканизм*



# *Плато Путорана*

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

*В это время вымерло около 83% видов животных*

